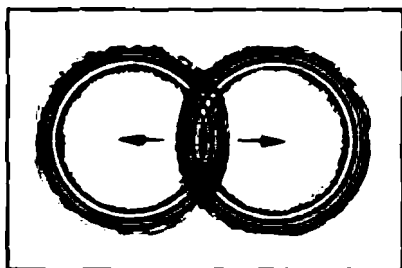


N. M. SHAXMAYEV, S. N. SHAXMAYEV, D. SH. SHODIYEV

FIZIKA

**ELEKTROMAGNIT TO‘LQINLAR
XX ASR FIZIKASI
MOLEKULAR FIZIKA VA TERMODINAMIKA
ASOSLARI**

O‘rta maktabning 11-sinfi uchun darslik



TOSHKENT „O‘QITUVCHI“ 2004

SHARTLI BELGILAR

fizik kattaliklarning ta'riflari,

asosiy qonunlar;

eng muhim formulalar;

- e'tibor bering, eslab qoling;
- ? mazkur paragraf matnini o'qib bo'lgach, javob berish lozim bo'lgan savollar;
- * fizikaga qiziquvchi o'quvchilarga mo'ljallangan materiallar;

Sh 4306021200—44 Buyurt.var—2004
353(04)—2004

ISBN 5—645—04146—1

„O'qituvchi“ nashriyoti, 2004



ELEKTROMAGNIT TO'LQINLAR

Elektrlangan jismlarning o'zaro ta'sirini o'rganib, Siz bildingizki, bu jismlarning zaryadi zaryadlarni o'rovchi va *elektrostatik maydon* deb yuritiluvchi elektr maydon bilan chambarchas bog'liq.

O'zgarmas tok qonunlarini o'rganishda, elektr maydon magnit maydon bilan bir vaqtda mavjud bo'lishi va bir hutun yagona elektromagnit maydonni hosil qilishi aniqlandi. Bu maydon vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi va shuning uchun *statsionar elektromagnit maydon* deb yuritiladi.

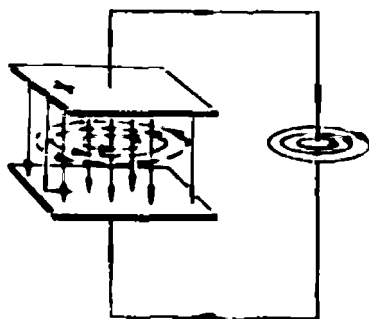
Magnit maydon harakatlanuvchi elektr zaryadlar tomonidan hosil qilinadi va faqat harakatlanuvchi elektr zaryadlarga ta'sir etadi.

Nihoyat, elektromagnit induksiya hodisasini o'rganishda, magnit maydonning har qanday o'zgarishida uyurmaviy induksion elektr maydon uyg'onishi aniqlandi.

Ingliz fizigi J. K. Maksvell (1831—1879) elektromagnit hodisalarni tahlil qilish asosida, elektr maydonning o'zgarishida o'zgaruvchi magnit maydon uyg'onishi kerak, degan fikrni ilgari surdi. Xususan, agar zaryadlangan kondensator o'tkazgich bilan tutashtirilsa, kondensator zaryadsizlanadi, bunda tutashtiruvchi o'tkazgichlar atrofida ham, kondensator qoplamlari orasida ham magnit maydon uyg'onadi (1- rasm). Shunday qilib, magnit maydon yo harakatlanuvchi elektr zaryadlar (toklar) tomonidan, yo o'zgaruvchi elektr maydon tomonidan uyg'otilishi mumkin.

Maksvell nazariyasiga ko'ra, tabiatda elektromagnit maydongina real mavjud bo'lib, elektr va magnit maydonlar bu maydonning ikki tomoni — ikki tashkil etuvchisidir. Maksvell 1865- yili o'zgaruvchi elektromagnit maydon fazoda elektromagnit to'lqin ko'rinishida c yorug'lik tezligi bilan tarqalishi kerakligini bashorat qildi.

Maksvellning elektromagnit to'lqin nazariyasi 1888- yili nemis fizigi G. Gers c tomonidan eksperimental tasdiqlandi.



1- rasm.

Keyinchalik, Maksvell nazariyasi radioto'liqlar, infraqizil, ko'rinadigan, ultrabinafsha, rentgen nurlari va gamma nurlanish ham elektromagnit to'liqlardan iboratligini aniqlashga imkon berdi. Ular chastotalari va to'liqin uzunliklari bilan farqlanadi (1- jadval).

1 - jadval

№	Chastota, Hz	To'liqin diapazoni	To'liqin uzunligi, m
1	$2 \cdot 10 - 10^3$	Паст частотали электромагнит тўлқинлар	10^5
2	$3 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^{12}$	Radioto'liqlar	$10^5 - 10^{-4}$
3	$3 \cdot 10^{12} - 3 \cdot 10^{14}$	Infraqizil	$10^{-4} - 10^{-6}$
4	$3 \cdot 10^{14}$	Ko'rinadigan yorug'lik	10^{-6}
5	$3 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{17}$	Ultrabinafsha	$10^{-6} - 10^{-9}$
6	$3 \cdot 10^{17} - 3 \cdot 10^{20}$	Rentgen	$10^{-9} - 10^{-12}$
7	$3 \cdot 10^{20} - 3 \cdot 10^{23}$	γ - nurlanish	$10^{-12} - 10^{-15}$

Jadvalda qo'pol yaxlitlangan sonlar keltirildi. Bundan tashqari, haqiqatda, qo'shni to'liqin diapazonlari orasida keskin chegara yo'qligini ham e'tiborga olish kerak. To'liqlarning xossalari sakrab emas, balki bir tekis o'zgariganligi sababli, to'liqin diapazonlari bir-biriga o'tib ketadi.

I bob. TO'LIQLARNING UMUMIY XOSSALARI

1- §. Elektromagnit to'liqlar haqidagi dastlabki ma'lumotlar

1. Elektr uzatuvchi liniyalardagi yuguruvchi to'liqlar. Yuqori chastotali sinusoidal o'zgaruvchi tok generatoriga aktiv qarshiligi kichik bo'lgan uzun elektr uzatuvchi liniyani ulaymiz. Liniyaning bo'sh uchiga aktiv nagruzka ($\cos\phi=1$) sifatida cho'g'lanma lampani ulaymiz (2- a rasm). Elektr uzatuvchi liniya bo'ylab elektromagnit tebranishlarning tarqalish jarayonini qarab chiqamiz. Aktiv qarshilik kichikligi sababli, liniyadagi energiya yo'qolishini hisobga olmaslik mumkin.

Agar liniya generatorga ulanish momentida uning zanjirlaridagi kuchlanish nolga teng bo'lib, so'ngra orta borgan bo'lsa, yuqoridagi o'tkazgich musbat, pastkisi — manfiy zaryadlangan bo'ladi. Chorak davr ichida generatorning majbur etuvchi kuchlanishi ta'sirida liniya simlari 2- a rasmda ko'rsatilganidek zaryadlanib ulguradi.

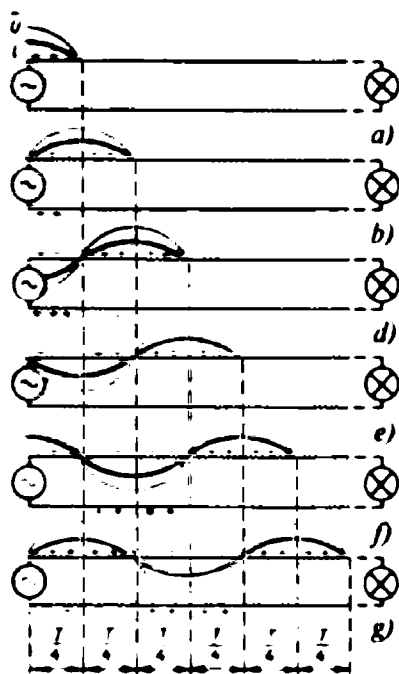
Ana shu rasmning o'zida simlar orasidagi kuchlanishning (yo'g'on chiziq) va liniyadagi tok kuchining (ingichka chiziq) grafiklari ham keltirilgan. Keyingi 2- b—g rasmlarda kuchlanish va tok kuchi tebranishlarining $2\frac{T}{4}$, $3\frac{T}{4}$, $4\frac{T}{4}$,

$5\frac{T}{4}$, $6\frac{T}{4}$ vaqtlar ichidagi tarqalishi ko'rsatilgan.

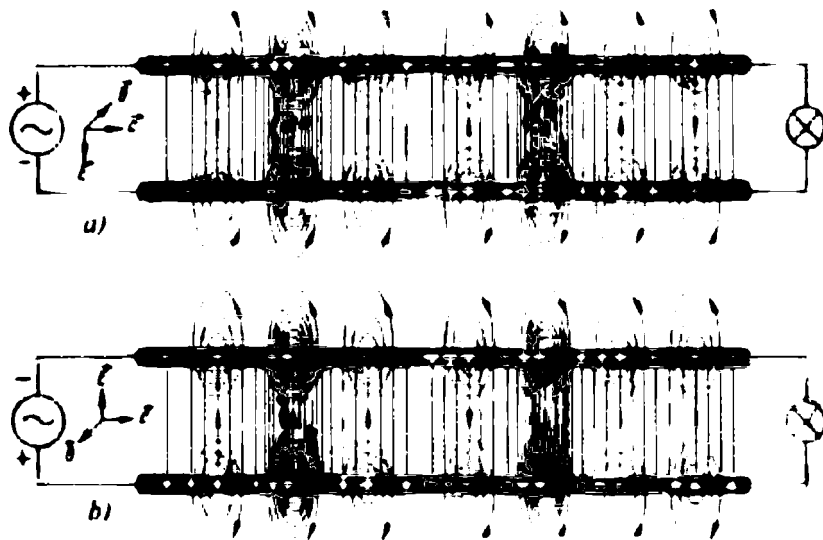
Rasmlarning tahlili shuni ko'rsatadiki, elektromagnit tebranishlarning liniya bo'ylab tarqalish jarayoni to'liqin xarakteriga ega: elektr uzatuvchi liniya bo'ylab tok kuchi va kuchlanishning *yuguruvchi to'lqinlar* deb nomlangan to'lqinlari tarqaladi. Aktiv iste'molchi (lampa) uchun $\cos\varphi = 1$ bo'lgani sababli, tok kuchi va kuchlanishning tebranishlari fazasi bo'yicha mos keladi. Bu esa elektromagnit to'lqinlar manbadan iste'molchiga energiya olib o'tishini anglatadi.

2. Yuguruvchi to'lqinlarning elektromagnit maydoni. Yagona elektromagnit maydon ikkita tashkil etuvchi — elektr va magnit maydonlardan iborat. Elektr maydonni \vec{E} kuchlanganlik vektori

chiziqlari bilan, magnit maydonni esa B magnit induksiya vektori chiziqlari bilan tasvirlash qulay. 3- a rasmda ikki simli liniyaning muayyan vaqt momentidagi elektromagnit maydoni kuchlanganlik va induksiya chiziqlari yordamida tasvirlangan, 3- b rasmda esa yarim davr o'tgandan keyingi maydon tasvirlangan. Rasmlarda kuchlanganlik va induksiya chiziqlaridan tashqari, elektromagnit energiyaning ko'chish yo'nalishi ham tasvirlangan, bu yo'nalish c to'lqin tezligi vektori bilan aniqlanadi. Rasmlardan ko'rinadiki, B va E vektorlarning yo'nalishi har yarim davrda o'zgarsa ham, ular har doim c vektorga perpendikular bo'lgan tekislikda qoladi.



2- rasm.

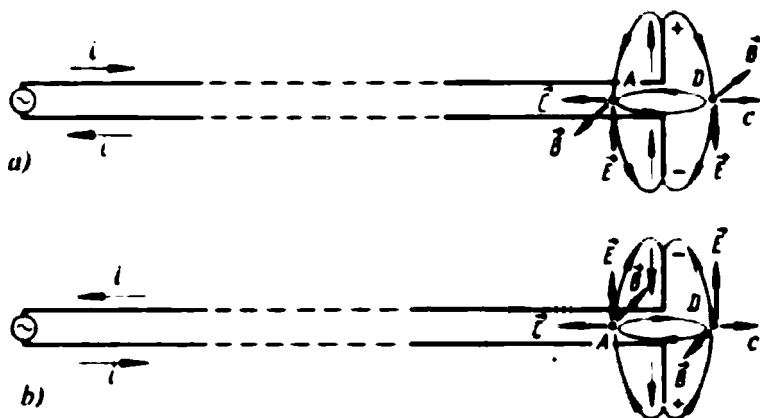


3- rasm.

Bu vektorlarning o'zaro joylashishi (oriyentatsiyasi) hamma joyda bir xil va uni quyidagi qoida (o'ng parma qoidasi) bo'yicha eslab qolish qulay: *agar o'ng parma dastasining aylanma harakati E kuchlanganlik vektoridan B induksiya vektoriga eng qisqa yo'l bilan o'tish yo'nalishiga mos kelsa, parmaning ilgariylanma harakati elektromagnit to'lqinning tarqalish yo'nalishiga mos keladi*. O'zaro perpendikular bo'lgan \vec{E} kuchlanganlik va B induksiya vektorlari tebranishlarning c tarqalish tezligiga ham perpendikular bo'lgani sababli, elektromagnit to'lqinlar *ko'ndalang to'lqin* bo'ladi.

3. Elektromagnit to'lqinlarning nurlanishi. Yuqorida ko'rilgan misolda elektromagnit to'lqin tarqalar ekan, hamma vaqt simlar bilan bog'langan holda qoladi. U simlar bo'ylab sirpangandek bo'ladi. Agar simlar oxiriga lampa o'rniga chorak to'lqin uzunligidagi to'g'ri burchak ostida bukilgan ikkita to'g'ri chiziqli sim bo'lagi ulansa (4-*a* rasm) manzara butunlay o'zgaradi. Bu ikki sim bo'lagi yarim to'lqinli vibrator (uni *Gers vibratori* deb ham yuritiladi) hosil qiladi. Yarim to'lqinli vibrator atrofida o'zgaruvchi elektromagnit maydon hosil bo'ladi. 4-*a* va 4-*b* rasmlarda kuchlanganlik va induksiya

chiziqlari yordamida bu maydonning t va $\left(t + \frac{T}{2}\right)$ vaqt momentlaridagi tuzilishi (strukturasi) ko'rsatilgan.



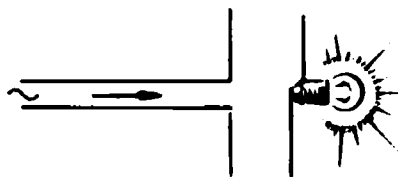
4- rasm.

Kuchlanganlik va induksiya vektorlarining yo'nalishlarini bilgan holda A va D nuqtalarda to'liq inergiyasining t momentdagi va

yarim davrdan so'ng, $\left(t + \frac{T}{2}\right)$ momentdagi tarqalish yo'nalishini

aniqlash mumkin. Har ikkala holda ham to'liqinning tarqalish tezligi vektori vibratordan tashqariga yo'nalgan. Bu — *vibratordan elektromagnit to'liqin nurlanadi*, deb taxmin qilishga asos bo'ladi. Birinchi bo'lib, bunday xulosaga 1865- yil J. K. Maksvell kelgan edi. Elektromagnit to'liqlarning nurlanishini va tarqalishini 1888 yilda G. Gers (1857—1894) tajribada aniqlagan.

Elektromagnit to'liqlarning simlarsiz ham tarqalishi mumkinligi haqidagi xulosani tekshirib ko'rish uchun yuqori chastotali elektromagnit tebranishlar generatori, uzatish liniyasi va yarim to'liqli vibratordan iborat qurilmani yig'amiz (5- rasm). Vibratordan 1—2 metr masofaga xuddi ana shunday vibratorni qo'yamiz, ammo uning ikkita sim bo'laklari oralig'iga kichik quvvatli cho'ntak fonari lampochkasini ulaymiz. Generatorni ulab, lampochkaning yonishini ko'ramiz. Tajribadan ko'rinadiki, elektromagnit tebranishlar generatoriga ulangan yarim to'liqli vibrator atrof fazoga elektromagnit maydonni elektromagnit to'liqin tarzida nurlantiradi va ana shunday vibrator elektromagnit to'liqinni qabul qiladi. Qabul qiluvchi vibratorda



5- rasm.

elektromagnit to'liqin ta'sirida majburiy tebranishlar paydo bo'ladi. Agar qabul qiluvchi vibratorming uzunligi $\lambda / 2$ ga teng bo'lsa, u rezonansga sozlangan bo'ladi va undan yuzaga keluvchi tok kuchining majburiy tebranishlari amplitudasi eng katta bo'ladi. Shuning uchun ham yuqorida bayon etilgan tajribada qabul qiluvchi vibrator o'tkazgichlari orasiga ulangan lampochkaning ravshan yonishini ko'rish mumkin bo'ldi.

Nazariy hisoblashlarning ko'rsatishicha, antenna nurlanishining quvvati tebranishlar chastotasining to'rtinchi darajasiga proporsional ($P \sim \nu^4$). Shuning uchun ham katta quvvatli elektromagnit to'liqin olish uchun yuqori chastotali tebranishlardan foydalaniladi. Keyingi tajribalarimizda biz ultra yuqori (300 MHz) va o'ta yuqori (10 000 MHz) chastotali generatorlardan foydalanamiz.

4. Elektromagnit to'liqin energiyasi va intensivligi. Yuqoridagi tajribada qabul qiluvchi antennaga ulangan lampochkaning yonishi elektromagnit to'liqinlar energiya tashishini ko'rsatadi.

To'liqlarning energetik xarakteristikasi sifatida maxsus kattalik — *energiya oqimining sirt zichligi* (yoki *to'liqlar intensivligi*) I kiritilgan.

Energiya oqimining sirt zichligi to'liqlarning tarqalish yo'nalishiga perpendikular joylashgan S sirt yuzasidan t vaqt birligi ichida o'tuvchi W elektromagnit maydon energiyasiga teng:

$$I = \frac{W}{St}.$$

Energiya oqimi sirt zichligining Xalqaro birliklar sistemasidagi birligi

$$[I] = \frac{1\text{J}}{1\text{m}^2 \cdot 1\text{s}} = 1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}.$$

5*. Juda muhim va ajoyib munosabat. Maksvell elektromagnit to'liqidagi \vec{E} kuchlanganlik va \vec{B} magnit induksiyasi quyidagi

$$\frac{E}{B} = c$$

oddiy munosabat bilan bog'langanligini nazariy isbotlagan edi. Bu yerda c — elektromagnit to'liqinning vakuumdagi tarqalish tezligi.

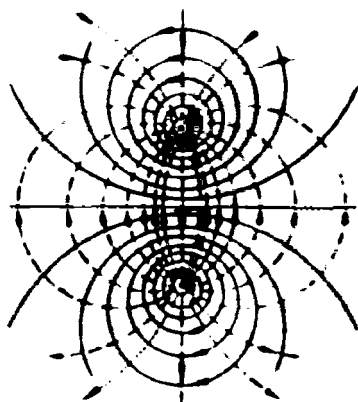
Bu munosabatdan foydalanib, elektromagnit maydonning elektr va magnit tashkil etuvchilari tomonidan v tezlik bilan harakatlانuvchi zaryadga ta'sir etuvchi kuchlar nisbatini aniqlaymiz:

$$f_e = qE, f_m = qvB; \quad \frac{f_e}{f_m} = \frac{qE}{qvB} = \frac{E}{vB} = \frac{c}{v}$$

Ravshanki, $v \ll c$ bo'lgani uchun

$f_e \gg f_m$ bo'ladi, demak, elektr za-

ryadlarga elektromagnit to'liqin elektr tashkil etuvchisining ta'siri magnit tashkil etuvchisining ta'siriga qaraganda ancha kuchli ekan.



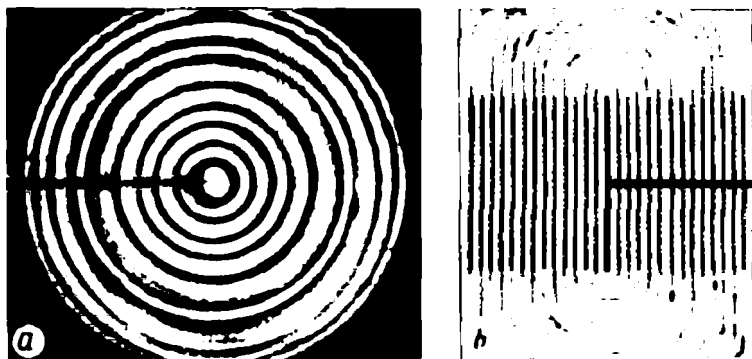
6- rasm

- ?
- Ikki simli liniyada tebranishlar tarqalishini 2- rasmdan foydalanib tushuntiring.
 - Ikki simli liniya elektromagnit maydonining kesimi 6- rasmda ko'rsatilgan. Elektromagnit maydon energiyasiga elektr va magnit maydon energiyalari yig'indisi sifatida qaralishi mumkin. Elektromagnit maydon energiyasi asosan qayerga to'planganligini aniqlang:
 - elektr uzatish liniyasi simlari yaqinidami?
 - simlardan uzoqdami?
 - liniyani o'rovchi hajm bo'yicha bir tekis taqsimlanganmi?
 - Yuqori chastotali generatorga ulangan yarim to'liqinli vibrator elektromagnit to'liqinlar tarqatishi kerakligini 5- rasmdan foydalanib ko'rsating.
 - Energiya oqimining sirt zichligi nima?

2- §. To'liqinni xarakterlovchi asosiy tushuncha va kattaliklar

1. To'liqin fronti. Nur. Suv sirtida to'liqinlarni kuzatish to'liqin fronti tushunchasini kiritishni ancha osonlashtiradi. Qandaydir vaqt momentida tebranishlar yetib kelgan nuqtalarning geometrik o'rni to'liqin fronti deyiladi.

O'lchamlari uncha katta bo'lmagan yakka vibrator tomonidan qo'zg'atilgan to'liqinning fronti aylana shaklida bo'ladi. Uzaytirilgan



7- rasm.

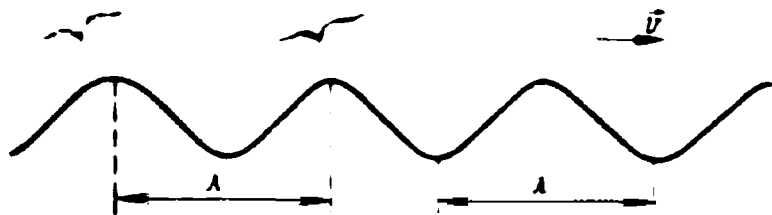
yassi vibratordan „yuguruvchi“ to‘lqinlar to‘g‘ri chiziq shakliga ega va ularning fronti — to‘g‘ri chiziqdan iborat (7- rasm). Tebranuvchi tordan tarqaluvchi to‘lqin fronti silindr shakliga ega.

To‘lqinning tarqalish yo‘nalishi hamma vaqt uning frontiga perpendikular bo‘ladi. Bu yo‘nalish *nur* deb ataladi.

Bir xil fazali nuqtalarning geometrik o‘rni to‘lqin sirt deyiladi. To‘lqin sirtlar har qancha bo‘lishi mumkin, ammo to‘lqin fronti bitta bo‘ladi.

2. To‘lqin harakatning tezligi haqida. Tebranishlarning tarqalishi bilan tanishganimizda biz tezlik tushunchasidan foydalangan edik. Ammo tezlik tushunchasi mexanikada moddiy nuqta harakatini xarakterlash uchun kiritilgan edi. Shuning uchun ilgari kiritilgan tezlik tushunchasi to‘lqin hodisalar uchun kengaytirilishi zarur.

Aytaylik, chuqurligi doimiy bo‘lgan tinch holatdagi ko‘lga tosh tashlansin. Ko‘l sirtining tosh tushgan joyi tebranma harakatga keladi va bu joydan to‘lqinlar tarqala boshlaydi. 8- rasmda bu to‘lqinlarning kesimi tasvirlangan. Aytaylik, bu vaqtda tosh tushgan



8- rasm.

joydan boshlab to'liqin do'ngliklaridan birining ustida undan orqada qolmasdan nur yo'nalishi bo'ylab baliqchi qush (chayka) uchayotgan bo'lsin. Do'nglik ustida uchayotgan chaykaning tezligi to'liqinlar fazasining tarqalish tezligiga teng bo'ladi. Shuning uchun bu tezlik to'liqinning *fazaviy tezligi* deb yuritiladi.

Ravshanki, agar chayka to'liqin do'ngligi ustida emas, balki uning xohlagan nuqtasi (masalan, to'liqin chuqurchasi) ustida undan orqada qolmasdan uchganda ham, uning tezligi to'liqinning fazaviy tezligiga teng bo'lar edi. To'liqinning fazaviy tezligini v bilan belgilaymiz.

3. Elektromagnit to'liqinlar tezligi. Maksvell nazariyasiga ko'ra, elektromagnit to'liqinlar tezligi yorug'lik tezligiga teng bo'lishi kerak. Maksvell nazariyasining bu natijasi keyinchalik tajribada tasdiqlangan.

Yorug'lik tezligini bilish nafaqat fizika uchun, balki butun tabiatshunoslik uchun muhim ahamiyatga ega. Shuning uchun yorug'lik tezligini aniqlash muhim eksperimental masala hisoblanar edi. Yorug'lik tezligini aniqlash bo'yicha tajribalar qariyb 300 yildan buyon olib borilmoqda. Zamonaviy tajriba dalillari bo'yicha yorug'likning vakuumdagi tezligi

$$c = (299792459 \pm 1,2) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

ga teng.

Maksvell nazariyasi bo'yicha yorug'likning ixtiyoriy muhitdagi tezligi

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

formula bilan aniqlanadi. Bu yerdagi ϵ, μ — muhitning dielektrik va magnit singdiruvchanliklari:

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon', \quad \mu = \mu_0 \mu'$$

Bu ifodalardagi ϵ', μ' — muhitning nisbiy dielektrik va magnit singdiruvchanliklari deyiladi va faqat son qiymati bilan xarakterlanadi (o'lchamsiz). ϵ_0, μ_0 — elektr va magnit doimiylari, ular aniq son qiymati va o'lchamlikka ega (SI sistemasida):

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{F}}{\text{m}}, \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Yuqoridagilarni e'tiborga olib, yorug'lik tezligi formulasini

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon' \mu_0 \mu'}} = \frac{c}{n}$$

ko'rinishda yozish mumkin. Bu yerda

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}; n = \sqrt{\epsilon' \mu'}$$

- belgilash kiritildi, n — muhitning singdirish ko'rsatkichi, c — yorug'likning vakuumdagi (nazariy) tezligi. Barcha muhitlarning nisbiy dielektrik va magnit singdiruvchanliklari birdan katta ekani
- sababli *yorug'likning har qanday muhitdagi tezligi vakuumdagi tezligidan kichik bo'ladi.*

4. To'lqin uzunligi. Tebranish bir davr ichida tarqaladigan masofa yoki tebranishlar fazasi 2π ga farqlanuvchi ikkita eng yaqin nuqta orasidagi masofa to'lqin uzunligi deyiladi. To'lqin uzunligini λ (lambda) grek harfi bilan belgilasak:

$$\lambda = vT \quad \text{yoki} \quad \lambda = \frac{v}{\nu}$$

bo'ladi.

5. Gyuygens prinsipi. Golland fizigi X. Gyuygens (1629—1695) 1690- yili agar to'lqin frontining t vaqt momentidagi holati ma'lum bo'lsa, uning $t + \Delta t$ momentdagi holatini aniqlashning oddiy geometrik usulini topdi. Gyuygens fazoning t vaqt momentida to'lqin jarayoni yetib borgan har bir nuqtasini *ikkilamchi to'lqin manbayi*, deb hisoblashni taklif etdi. U holda $t + \Delta t$ vaqt momentidagi to'lqin fronti bu ikkilamchi to'lqinlarni o'rovchi sirt bo'ladi.



9- rasm.

Aytaylik, bir jinsli izotrop muhitda (hamma nuqtalarining xossalari bir xil bo'lgan muhit *bir jinsli*, barcha yo'nalishlar bo'yicha xususiyatlari bir xil bo'lgan muhit *izotrop* muhit deb ataladi) t vaqt momentidagi to'lqin fronti R radiusli sfera bo'lsin (9- rasm). Gyuygens prinsipiga ko'ra, to'lqin fronti (sfera) ning har bir nuqtasi ikkilamchi to'lqin

manbaya bo'ladi. Shuning uchun to'liq fronti (sfera)ning har bir nuqtasidan chiqqan ikkilamchi to'liqlar Δt vaqt ichida

$$\Delta R = v\Delta t$$

masofani o'tadi, bu yerda v — to'liqning berilgan muhitdagi fazaviy tezligi. Bu ikkilamchi to'liqlarni o'rovchi $R + \Delta R$ radiusli sfera $t + \Delta t$ vaqt momentidagi yangi to'liq fronti bo'ladi.

- ?
1. Nuqtaviy manbadan nurlanuvchi to'liq qarshiligini hisobga olmaslik mumkin bo'lgan muhitda tarqaladi. Manbadan uzoqlashgan sari to'liq amplitudasi o'zgaradimi?
 2. Yassi to'liqlar holi uchun yuqoridagi savolga javob bering.
 3. Tovush to'liqlarining havodagi tezligi 340 km/s. Inson chastotasi 20 Hz dan 20 kHz gacha bo'lgan tebranishlarni tovush sifatida qabul qiladi. Tovush to'liqlari uzunliklari intervalini aniqlang.
 4. To'liq fronti to'liq sirtidan nimasi bilan farq qiladi?
 5. 7- a, b rasmlarda to'liq sirtlarini ko'rsating.
 6. Gyuygens prinsipini aytib bering.

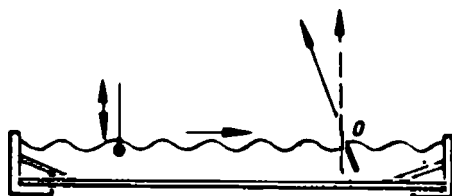
3- §. To'liqlar bosimi

1. Mexanik to'liqlar bosimi. To'siqqa uchragan to'liqlar unga bosim beradi. Bunga quyidagi tajribalarda ishonch hosil qilish mumkin.

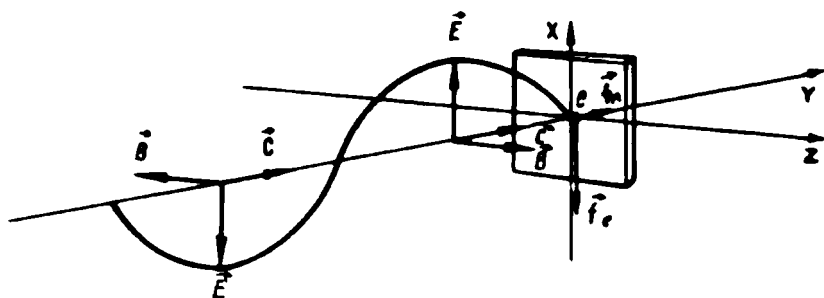
To'liq vannaga vertikal tekislikda og'uvchan to'siq qo'yamiz (10- rasm). Vibrator ulab, to'liqlar ta'sirida to'siq vertikal holatdan to'liqlar tarqalayotgan tomonga og'ishini ko'ramiz.

Tovush to'liqlari inson qulog'i pardasiga, mikrofon membranasiga bosim beradi.

2. Elektromagnit to'liqlar bosimi. To'siqqa tushuvchi elektromagnit to'liqlar ham unga bosim beradi. Buni isbot qilaylik. Aytaylik, Y o'qi bo'yicha tarqaluvchi elektromagnit to'liq o'z yo'lida elektr o'tkazuvchi plastinkaga uchrasin, elektr maydon \vec{E} kuchlanganlik vektori X o'qi bo'yicha, magnit maydon \vec{B} induksiya vektori esa Z o'qi bo'yicha yo'nalgan bo'lsin (11- rasm, rasmda faqat \vec{E} vektorning grafigi ko'rsatilgan; \vec{B} vektorning grafigi rasm tekisligiga perpendikular bo'lgan tekislikda yotadi).



10- rasm.



11- rasm.

Elektromagnit maydonning elektr tashkil etuvchisi metall plastinka kristall panjarasining ionlariga va undagi erkin elektronlarga ta'sir etadi. Ionlar massasining katta bo'lishligi va ular kristall panjaraga bog'langanligi sababli, ionlarga beriladigan ta'sirning effekti juda kichik bo'ladi, shuning uchun uni hisobga olmaslik mumkin. Erkin elektronlar boshqa gap. Elektromagnit maydonning elektr ta'sir etuvchisi erkin elektronga

$$f_e = eE = eE_m \sin \omega t$$

kuch bilan ta'sir etadi. Bu kuchning moduli va yo'nalishi uzluksiz ravishda garmonik qonuniyat bo'yicha o'zgaradi. Shuning uchun elektron X o'qi bo'ylab majburiy tebranishlar hosil qiladi. Ammo tebranuvchi elektronga yana elektromagnit to'lqinning magnit tashkil etuvchisi

$$f_m = evB_m \sin \omega t$$

kuch bilan ta'sir etadi. Chap qo'l qoidasiga ko'ra bu kuch metall plastinka ichiga Y o'qi yo'nalishida (elektromagnit to'lqinning tarqalish yo'nalishida) ta'sir etadi. \vec{E} va \vec{B} vektorlarning yo'nalishlari o'zgarganda (ularning yo'nalishi bir vaqtda o'zgaradi), kuchning yo'nalishi o'zgarishsiz qoladi. Elektronlarni metall ichiga „bosib“, elektromagnit to'lqin plastinkaga bosim beradi.

3*. To'lqin impulsi. To'lqin tomonidan to'siqqa bosim berilishi shu narsaga guvohlik beradiki, to'lqin to'siqqacha borib unga \vec{p} impulsni uzatadi. Elektromagnit to'lqin tomonidan bitta elektronga uzatiladigan impulsni hisoblaylik. Ta'rifga ko'ra

$$p = f \Delta t$$

bo'ladi. Bunda f — harakatlanuvchi elektronga ta'sir qiluvchi kuch — Lorens kuchi. Shuning uchun to'lqin tomonidan bitta elektronga uzatiladigan bosim

$$p_1 = f_m \Delta t = e B v \Delta t \sin \omega t$$

ga teng. Ammo har qanday elektromagnit to'liqida $B = E/c$, binobarin,

$$p_1 = \frac{e E_m v \Delta t}{c} \sin \omega t$$

bo'ladi yoki $f_e = e E_m \sin \omega t$ ekani e'tiborga olinsa,

$$p_1 = f_e v \Delta t / c$$

kelib chiqadi. Bu tenglikning suratidagi $f_e v \Delta t = \Delta W_1$ ifoda elektromagnit to'liqin tomonidan Δt vaqt ichida elektronga uzatilgan energiya, shuning uchun

$$p_1 = \frac{\Delta W_1}{c}$$

bo'ladi. Elektromagnit to'liqinning to'liq impulsi, to'liqlar bilan o'zaro ta'sirlashgan barcha elektronlarga berilgan bosimlar yig'indisiga teng:

$$p = \frac{\Delta W}{c}$$

bu yerda: ΔW — elektromagnit to'liqinning to'siqqa bergan energiyasi, c — uning tarqalish tezligi.

Mexanik to'liqin impulsi formulasi elektromagnit to'liqin impulsi formulasiga o'xshash:

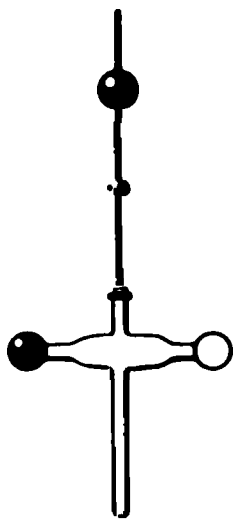
$$p = \frac{\Delta W}{v}$$

4. Yorug'lik bosimi. J. K. Maksvell 1873- yili o'zining „Elektromagnetizm haqida traktat“ nomli asarida yorug'lik ham har qanday elektromagnit to'liqin kabi o'z yo'liga qo'yilgan to'siqqa bosim berishi kerak, degan xulosaga keladi. Yorug'likning bosimi borligi haqidagi Maksvell xulosasini tasdiqlovchi hech qanday eksperimental dalillar o'sha davrda yo'q edi va ko'pchilik fiziklar bu xulosaga gumonsirab qarashar edi. Maksvell, havo ochiq kuni tush paytida Quyosh nurlariga perpendikular joylashgan qoraytirilgan

(nur to'liq yutilishi uchun) sirtga Quyosh yorug'ligi beradigan bosim kuchini nazariy hisobladi. Bu bosim $4 \cdot 10^{-6}$ Pa ekani ma'lum bo'ladi.

Bunchalik kichik bosimni sezish va o'lchash juda qiyin eksperimental masala bo'lishiga qaramay, uni rus fizigi P. N. Lebedev (1866—1912) hal qilgan. Lebedevning eksperimental qurilmasida ingichka va elastik kvarts ipga uchlarida yupqa metall folga (zar) dan qilingan qanotchalar bo'lgan shayin osilgan. Qanotchalardan biri qoraytirilgan (qurum bilan qoplangan, 12- rasm). Qanotchalar kuchli yorug'lik manbayi bilan yoritilgan.

Lebedev tajribasining asosiy g'oyasi shundaki, qora qanotcha tomonidan yorug'lik yutilganda, u to'liqidan \bar{p} impuls oladi, qoraytirilmagan yaltiroq qanotchadan yorug'lik qaytganda esa, u to'liqidan $2\bar{p}$ impuls oladi. Bu yerda quyidagi o'xshashlik o'rinni: qumli qopga tekkan o'q, impulsning saqlanish qonuniga ko'ra, qopga \bar{p} impuls beradi, po'lat listga urilib, undan urilishdan oldingidek tezlik bilan qaytgan o'q esa po'lat listga $2\bar{p}$ impuls beradi. Shuning uchun qora qanotchaga berilgan yorug'lik bosimi, yaltirog'iga berilganga qaraganda ikki marta kichik bo'ladi. Bu esa shayinning burilishiga va elastik ipning eshilishiga olib keladi. Shayinning burilish burchagini, uning uzunligini, qanotchalar yuzini va ipning elastiklik xususiyatlarini bilgan holda yorug'lik bosimini tajribada aniqlash mumkin. Shayinning burilish burchagi yorug'lik nurlarining og'ishiga qarab aniqlangan.



12- rasm.

Yuqorida bayon etilgan sxema bo'yicha tajriba qo'ygan Lebedev qo'shimcha — ikkinchi darajali hodisalarga duch kelgan. Ulardan biri *radiometrik effekt* deb yuritiladi. Buning ma'nosini tushuntiraylik. Yorug'lik ta'sirida qanotchalar qiziydi. Qora qanotcha yorug'likni deyarli to'liq yutganligi sababli, u yaltirog'iga qaraganda kuchliroq qiziydi. Qanotchalarning molekullari bilan to'qnashgan gaz molekullari ularning impulsini oladi. Qora qanotchaning temperaturasi yaltirog'nikiga qaraganda yuqori bo'lgani sababli, qora qanotcha gaz

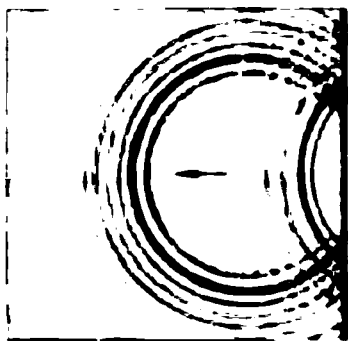
molekulariga yaltirog'iga qaraganda ko'proq yig'indi impuls beradi va impulsning saqlanish qonuniga ko'ra o'zi ham qarama-qarshi yo'nalishda ko'proq impuls oladi. Natijada yorug'lik bosimi tufayli yuzaga keladiganga qaraganda 1000 marta kattaroq bo'lgan burovchi moment yuzaga keladi. Radiometrik effektini bartaraf qilish uchun Lebedev butun asbobni havosi so'rib olingan idishga joylashtiradi. Qo'shimcha hodisalarning oldini oluvchi boshqa choralar ham ko'riladi. P. N. Lebedev tomonidan 1900- yili olingan eksperimental natijalar 2 foizgacha aniqlik bilan nazariy hisoblab topilgan yorug'lik bosimi qiymatiga mos keladi va J. K. Maksvell tomonidan yorug'likning elektromagnit tabiati haqidagi tasavvurlarga asoslanib bajarilgan hisob-kitoblarning to'g'riligini tasdiqladi.

- ?
1. Mexanik to'liqlar to'siqqa bosim berishini ko'rsatuvchi tajribalarni tushuntiring.
 2. Elektromagnit to'liq impulsini formulasini keltirib chiqaring.
 3. Elektromagnit to'liqning o'tkazuvchi to'siqqa beradigan bosimi mexanizmini tushuntiring.
 4. Elektromagnit to'liq elektronga $f_e = eE$ va $f_m = eBv$ kuchlar bilan ta'sir etadi. Ulardan qaysinisi katta? Nima uchun?
 5. Yorug'lik hodisalarining elektromagnit tabiatini aniqlashda P. N. Lebedev tajribalarining ahamiyati qanday bo'lgan?
 6. P. N. Lebedev tajribasining g'oyasini tushuntiring.
 7. Yorug'lik bosimini o'lchashda P. N. Lebedev qanday asosiy qiyinchilikka duch keldi va uni qanday bartaraf etdi?

4- §. To'liqlarning ikki muhit chegarasida qaytishi

1. Mexanik to'liqlarning qaytishi. To'liq vannada nuqtaviy vibrator yordamida yakka sferik to'liq qo'zg'atamiz va uning yo'liga to'siq qo'yamiz. To'liq to'siqqa urilib, o'z harakati yo'nalishini teskarisiga o'zgartiradi — u to'siqdan qaytadi (13- a rasm). To'siqqa yassi to'liq tushganda ham qaytish yuz beradi (13- b rasm).

Tovush to'liqlarining qaytishini 14- rasmda tasvirlangan qurilma yordamida kuzatish mumkin. Radiokamaydan tarqaluvchi, uzunligi 5—10 sm (chastotasi 3—6 kHz) bo'lgan tovush to'liqlarini mikrofon qabul qilmaydi (to'liqlar uning yonidan o'tib ketadi) va kuchaytirgichga ulangan galvanometr strelkasi nolni ko'rsatadi. Tovush to'liqlari yo'liga qaytaruvchi ekran (masalan, faner listi) qo'ysak, galvanometr strelkasining og'ishi kuzatiladi. Bu ekrandan qaytgan to'liqlarni mikrofon qabul qilayotganligini ko'rsatadi.

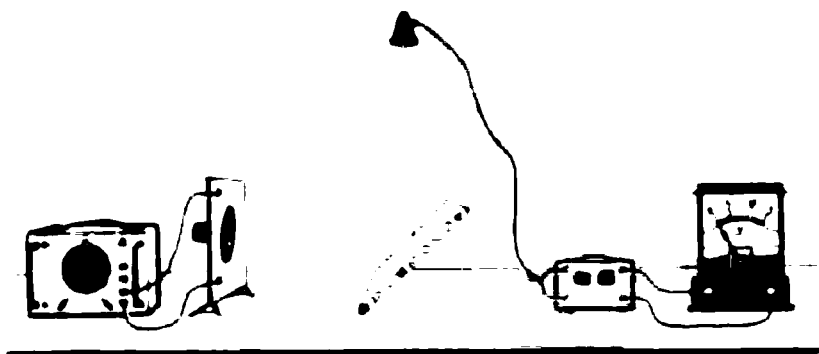


a)



b)

13- rasm



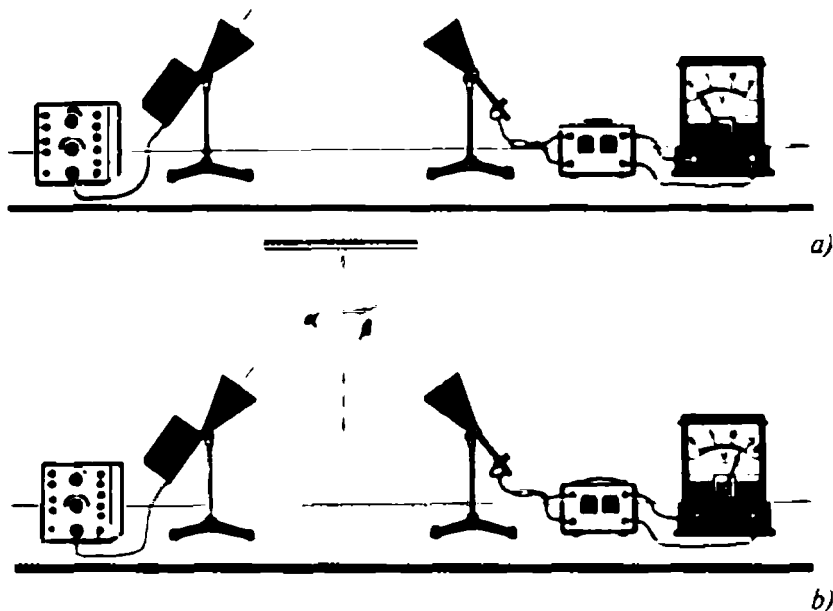
14- rasm

Tushuvchi to'liqin va ekran orasidagi burchakni o'zgartirib, bunda qaytuvchi to'liqlarning ham yo'nalishi o'zgarishini sezamiz.

Tovush to'liqlarining qaytishi kundalik turmushimizda ham uchrab turadi. Xususan, aks-sado — tovush to'liqlarining to'siqdan qaytishidan boshqa narsa emas.

2. Elektromagnit to'liqlarning qaytishi. To'liqlarning to'siqlardan qaytishi — ularning tabiatiga bog'liq bo'lmagan umumiy xususiyatdir. Elektromagnit to'liqlar ham to'siqlardan qaytadi.

Elektromagnit to'liqlarning xossalarini eksperimental o'rganish uchun to'liqin uzunligi 3 sm bo'lgan elektromagnit to'liqlar generatori va priyomnigidan foydalanamiz (15- rasm). Generator va priyomnik ruporli antennaga ega, ruporlar elektromagnit to'liqlarni aniq yo'nalish bo'yicha tarqatish va qabul qilishni ta'minlaydi. Qabul qilingan tebranishlar to'g'riylanadi va kuchaytirilgandan so'ng elektromagnit to'liqlar indikatorini hisoblanuvchi voltmetrga yuboriladi.



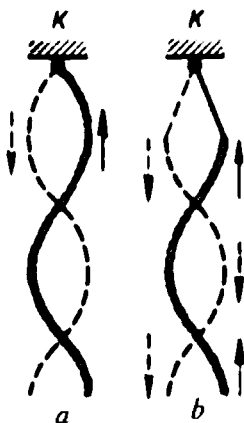
15- rasm.

Yuqori chastotali generator va priyomnikni 15- *a* rasmda ko'rsatilgandek joylashtirib, voltmetr strelkasi nolga turishini ko'ramiz. Buning sababi shundaki, ruporli antennadan nurlanuvchi elektromagnit to'lqinlarning ensiz dastasi qabul qiluvchi antenna yonidan o'tib ketadi. Elektromagnit to'lqinlar yo'liga metall plastinka qo'yib (15- *b* rasm), galvanometr strelkasining og'ishini ko'ramiz. Demak, elektromagnit to'lqinlar metall plastinkadan qaytar ekan, shunga o'xshash yorug'lik to'lqinlari ham metall to'siqdan qaytadi.

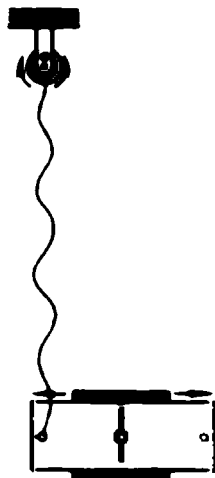
3. To'lqinlarning qaytish qonuni. 14- va 15- rasmlarda tasvirlangan qurilmalar yordamida to'lqinlarning qaytish qonunlarini o'rganish mumkin. Buning uchun ikkita yangi tushuncha — tushish va qaytish burchagi tushunchalarini kiritamiz. Tushuvchi to'lqin nuri bilan qaytaruvchi sirt normal orasidagi *burchak tushish* burchagi, qaytaruvchi sirt normal bilan qaytgan to'lqin nuri orasidagi *burchak qaytish burchagi* deyiladi.

To'lqinlarning plastinkaga tushish burchagini o'zgartirib, quyidagi ikkita qonuniyatni aniqlash mumkin:

1. Tushish va qaytish burchaklari bir tekislikda yotadi.
2. Tushish burchagi qaytish burchagiga teng. Bu ikki qonun barcha turdagi to'lqinlar uchun o'rinli.



16- rasm.



17- rasm.

4. Qaytgan to'liqin fazasi. Qaytgan to'liqinni diqqat bilan kuzatib, shuni aniqlash mumkinki, to'liqin ancha egiluvchan (elastik) muhitdan, masalan, K ilmoqdan qaytganda (16- a rasm), qaytgan to'liqin fazasi tushuvchi to'liqin fazasiga qarama-qarshi bo'ladi, boshqacha aytganda, to'liqinning ancha egiluvchan muhitdan qaytishi yarim to'liqinni yo'qotish bilan yuz beradi. Kamroq egiluvchan muhitdan, masalan, havzadan qaytganda qaytgan to'liqin fazasi tushuvchi to'liqin fazasidek bo'ladi, boshqacha aytganda to'liqinning kamroq egiluvchan muhitdan qaytishi yarim to'liqin yo'qotmasdan yuz beradi.

5. To'liqinning qaytishi qachon yuz bermaydi? To'liqlarning qaytishi shuning uchun yuz beradiki, ular tushadigan muhit mazkur to'liqin olib kelgan energiyani to'liq yutmaydi. Agar tushuvchi to'liqin yetib kelgan muhit to'liqin olib kelgan energiyani to'liq yutsa, to'liqlarning qaytishi yuz bermaydi. Misol uchun, ko'l sirtidagi to'liqlar qoyali qirg'oqdan yaxshi qaytadi, ammo qamish bilan qoplangan botqoqlikdan iborat qirg'oqdan qaytmaydi.

Yuqorida aytilganlarni tasdiqlovchi tajriba o'tkazish ham mumkin. Buning uchun rezina shnurning bir uchini ishqalanishi bir tekis o'zgartiriladigan blokka mahkamlaymiz, ikkinchi uchini esa garmonik tebranishlar bajaruvchi vibratorga biriktiramiz (17-rasm). Vibratorni ulab, ham tushuvchi, ham qaytuvchi to'liqlar borligini ko'rish mumkin. Blokdagi ishqalanishni sekin orttira borib, shnur bo'ylab faqat tushuvchi to'liqin tarqalishiga, qaytuvchi

to'liqin bo'lmasligiga erishish mumkin. Bu shuni ko'rsatadiki, vibrator shnurga bergan energiyani to'liqin to'lig'icha blokka olib boradi va blokda ishqalanish ko'p bo'lganligidan, bu energiya qaytarilmaydigan ichki energiyaga aylanadi.

1. To'liqinlarning qaytishini ko'rsatuvchi eksperimental dalillar keltiring.
2. To'liqinlarning qaytish qonunini aytib bering.
3. Qanday hollarda to'liqinlarning qaytishi yarim to'liqin yo'qotish bilan, qaysi hollarda yarim to'liqin yo'qotmasdan yuz beradi?
4. Uzunligi 3 sm bo'lgan to'liqin nurlantiruvchi generatoridagi elektromagnit tebranishlar chastotasi qanday bo'ladi?
5. Elektromagnit tebranishlar generatoriga uzun, berk bo'lmagan zanjir (liniya) ulangan. Bu zanjirda to'liqinlarning qaytishi yuz beradimi? Javobingizni asoslab bering.

5- §. To'liqinlarning ikki muhit chegarasida sinishi

1. **To'liqinlarning har xil muhitlardagi tezligi.** To'liqin vannasining tubiga, taxminan vanna yuzining yarmini egallaydigan qilib, oyna joylashtiramiz. Vannaga 3—4 mm qalinlikda suv quyamiz. Vannada suv qalinligi har xil bo'lgan ikkita soha yuzaga keladi: oyna yotgan joyda suvning qalinligi 1—2 mm, oyna yo'q joyda, 3—4 mm. Biitta vibrator yordamida vannada yassi to'liqinlar qo'zg'atib, shuni ko'ramizki, suvning qalinligi katta bo'lgan (chuqur) sohadagi to'liqin uzunligi λ_1 suvning qalinligi kichik bo'lgan (sayoz) sohadagi to'liqin uzunligi λ_2 dan katta bo'lar ekan (18- rasm):

$$\lambda_1 > \lambda_2.$$

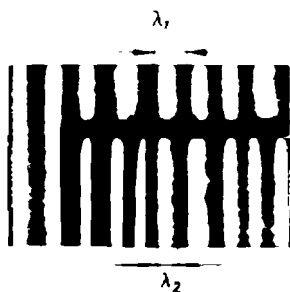
To'liqinlar bitta vibrator yordamida qo'zg'atilgani sababli, har ikkala sohadagi to'liqinlarning chastotalari bir xil bo'ladi. Ammo $\lambda = vT = v/v$ munosabatdan, v chastota bir xil bo'lganda, har xil λ ga har xil v to'g'ri kelishi aniq:

$$\lambda_1 = \frac{v_1}{v}, \quad \lambda_2 = \frac{v_2}{v}.$$

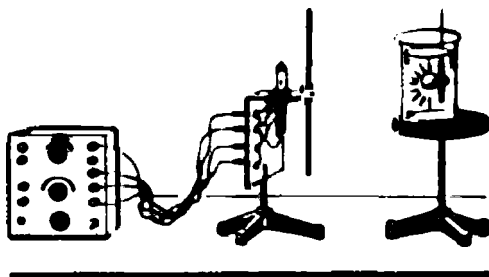
U holda $\lambda_1 > \lambda_2$ tengsizlikdan

$$v_1 > v_2$$

bo'lishi kelib chiqadi.



18- rasm.



19- rasm.

Demak, suv sirtida tarqaluvchi yassi to‘lqinlarning fazaviy tezligi chuqur joyda katta, sayoz joyda kichik bo‘lar ekan.

To‘lqinlar tezligining muhit xossalariga bog‘liqligini elektromagnit to‘lqinlar uchun ham ko‘rsatish mumkin. Buning uchun uzatuvchi (peredatchik) bilan rezonansga sozlangan elektromagnit to‘lqinlarni qabul qiluvchi antenning uzunligi to‘lqin uzunligining yarmiga teng bo‘lishi kerakligini eslash zarur (1- § ga qarang). Uzunligi yarim to‘lqin uzunligidan 9 marta

kichik bo‘lgan $\left(l = \frac{1}{9} \lambda\right)$ qabul qiluvchi dipol (antennacha) yasaymiz. Ultraqisqa to‘lqinlar generatori (UQT)ni ulab, uzunligi

yarim to‘lqin uzunligiga $\left(\frac{1}{2} \lambda\right)$ ga teng bo‘lgan antenning o‘rtasiga ulangan lampa ravshan yonishini, biz tayyorlagan uzunligi $\frac{1}{18} \lambda$ ga teng bo‘lgan antenning o‘rtasiga ulangan lampaning esa yonmasligini ko‘ramiz. Bu antenani distillangan suv quyilgan idishga tushirsak, unga ulangan lampa yonadi (19- rasm). Tajriba elektromagnit to‘lqinning suvdagi λ_1 uzunligi havodagi λ uzunligidan 9 marta kichikligini ko‘rsatadi:

$$\lambda_1 = \frac{1}{9} \lambda.$$

Bu elektromagnit to‘lqinning suvdagi c_1 tezligi havodagi c tezligidan shuncha marta kichik bo‘lishini anglatadi:

$$c_1 = \frac{1}{9} c.$$

- Bu tajribalar to‘lqinlarning fazaviy tezligi ular tarqalayotgan

muhitning xossalriga bog'liqligini ko'rsatadi.

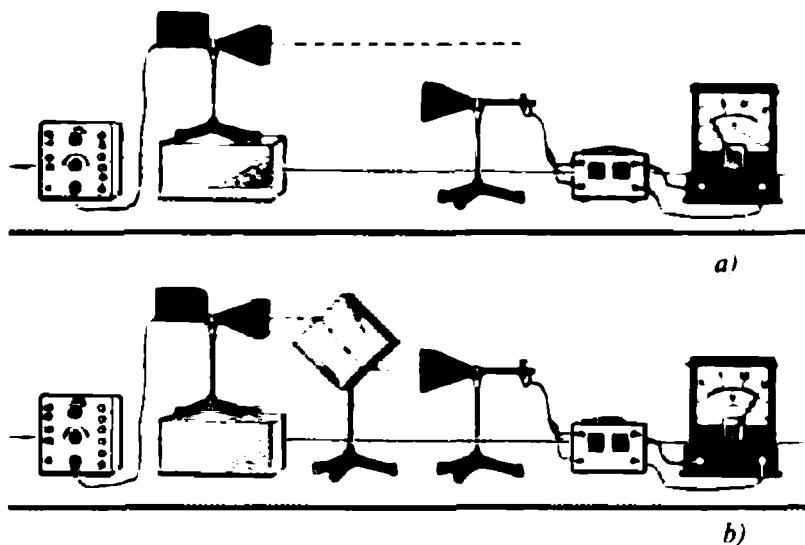
2. Ikki muhit chegarasida yuz beruvchi hodisalar. Suvning qalinligi har xil bo'lgan sohalar chegarasi unga tushuvchi to'lqinlar bilan burchak hosil qilib joylashgan to'lqin vannasida to'lqinlarning tarqalishini kuzatamiz (20- rasm). Kuzatish davomida sohalar chegarasiga ma'lum burchak ostida tushgan yassi to'lqinlar bir vaqtda undan ham o'tib ketishini, ham qaytishini ko'rish mumkin.



20- rasm.

Binobarin, ikki muhit chegarasida tushuvchi to'lqin ikkiga—qaytuvchi va o'tib ketuvchi to'lqinlarga ajraladi. Muhimi shundaki, o'tib ketuvchi to'lqin yo'nalishi, tushuvchi to'lqin yo'nalishidan boshqacha bo'ladi, ya'ni o'tib ketuvchi to'lqin *sinadi*.

Barcha turdagi to'lqinlar, ularning tabiatidan qat'iy nazar, ikki muhit chegarasidan o'tishda sinadi. Elektromagnit to'lqinlarning sinishini kuzatish uchun 21- a rasmda tasvirlangan qurilmani yig'amiz. Generatorni ulab, priyomnik elektromagnit to'lqinlarni qabul qilmayotganini ko'ramiz. Buning sababini tushuntirish oson:



21- rasm.



22- rasm.

ruporli' antennadan nurlanuvchi to'qlinlar priyomnik antenanasining yonidan o'tib ketadi.

Generator bilan priyomnik oralig'iga parafin yoki qattiq smoladan yasalgan to'g'ri burchakli prizmani 21- b rasmda ko'rsatilganidek qo'yib, priyomnik

elektromagnit to'qlinlarni qabul qilayotganini ko'ramiz. Bu tajriba elektromagnit to'qlinlarning sinishini ko'rsatadi.

Ikki muhit chegarasidan o'tishda yorug'lik ham sinadi.

Ensiz yorug'lik dastasini qalin shisha plastinkaga yo'naltiramiz. Yaqqol ko'ramizki, havo bilan shisha chegarasida yorug'lik bir vaqtda ham qaytadi, ham sinadi (22- rasm).

- ?
1. Qanday tajribalar to'qlinlarning fazaviy tezligi ular tarqalayotgan muhitning hossalriga bog'liqligini ko'rsatadi?
 2. Ikki muhit chegarasidan o'tishda to'qlinlarning sinishiga misollar keltiring.

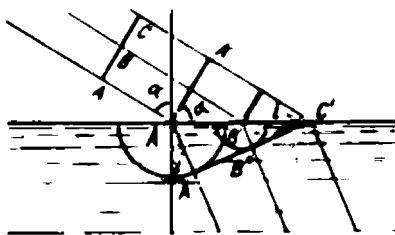
6- §. To'qlinlarning sinish qonunlari

To'qlinlarning sinish qonunlari birinchi marta yorug'lik to'qlinlari uchun 1621- yili golland fizigi V. Snellius tomonidan aniqlangan. Bu qonunlarning mazmuni quyidagi ikki jumlada mujassamlashgan.

1. To'qlinlarning tushish va sinish burchaklari bir tekislikda yotadi.

2. Tushish burchagi sinuchining sinish burchagi sinusiga nisbati berilgan ikki muhit uchun doimiy kattalikdir. Bu kattalik ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan sindirish ko'rsatkichi deyiladi.

To'qlinlarning sinish qonunlari Gyuygens prinsipiga asosan osongina tushuntiriladi. Aytaylik, ikki muhit chegarasiga α burchak ostida ABC yassi to'qlin tushsin (23- rasm). To'qlinning birinchi muhitdagi v_1 tezligi ikkinchi muhitdagi v_2 tezligidan katta bo'lsin.



23- rasm.

To'qlin hammadan oldin ajratuvchi chegaraning A' nuqtasiga, keyin B' va C' nuqtalariga

yetib keladi. Tushuvchi to'liqin C' nuqtaga yetib kelguncha, B' va A' nuqtalardan tarqaluvchi ikkilamchi to'liqinlar ikkinchi muhitda

$$A'A'' = v_2 \Delta t_1, \quad B'B'' = v_2 \Delta t_2$$

masofalarni o'tib ulguradi. Ikkilamchi to'liqinlarni o'rovchi sirt ikkinchi muhitdagi to'liqinlarning to'liqin fronti bo'ladi. $A'A'' C'$ va $A'KC'$ to'g'ri burchakli uchburchaklardan

$$KC' = A'C' \sin \alpha; \quad A'A'' = A'C' \sin i.$$

Bulardan

$$\frac{KC'}{A'A''} = \frac{\sin \alpha}{\sin i} = n_{21}$$

nisbat topiladi, bu yerdagi n_{21} doimiy kattalik — *ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan nisbiy sindirish ko'rsatkichi* deb yuritiladi.

Ammo KC' va $A'A''$ masofalarni to'liqinning tarqalish tezliklari orqali ifodalash mumkin:

$$KC' = v_1 \Delta t_1; \quad A'A'' = v_2 \Delta t_1.$$

U holda

$$\frac{\sin \alpha}{\sin i} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}$$

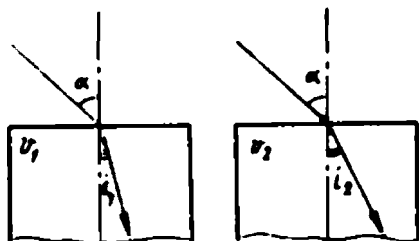
bo'ladi.

Ko'ramizki, **ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan nisbiy sindirish ko'rsatkichi birinchi muhitdagi to'liqini fazaviy tezligining ikkinchi muhitdagi to'liqin fazaviy tezligiga nisbatiga teng.**

Agar birinchi muhit vakkum bo'lsa, ikkinchi (umuman, ixtiyoriy) muhitning vakuumga nisbatan sindirish ko'rsatkichi *absolut sindirish ko'rsatkichi* deyiladi:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin i} = \frac{c}{v} = n.$$

Ikki muhitning nisbiy sindirish ko'rsatkichi bilan ularning absolut sindirish ko'rsatkichlari orasidagi bog'lanishni topaylik. Buning uchun vakuumda yorug'lik har xil moddalardan



24- rasm.

tayyorlangan ikkita plastinkaga tushadi, deb faraz qilamiz (24- rasm). Ularning absolut sindirish ko'rsatkichlarini yuqoridagi so'nggi formulaga asosan

$$n_1 = \frac{c}{v_1}, \quad n_2 = \frac{c}{v_2}$$

shaklda yozamiz. Bu tengliklarning chap va o'ng tomonlarini bir-biriga bo'lib,

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

nisbatiga ega bo'lamiz, ammo $v_1 / v_2 = n_{21}$, shuning uchun

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$

bo'ladi.

Shunday qilib, ikki muhitning nisbiy sindirish ko'rsatkichi ularning absolut sindirish ko'rsatkichlari nisbatiga teng ekan.

Eksperimental vazifa. Qirralari parallel bo'lgan plastinka yordamida shishaning sindirish ko'rsatkichini aniqlang.

Kerakli asbob-uskunalar: 1) qirralari parallel bo'lgan shisha plastinka, 2) taxtacha, 3) bir varaq oq qog'oz, 4) knopkalar, 5) transportir, 6) uchta to'g'nag'ich, 7) qalam, 8) uchburchak chizg'ich.

Vazifani bajarish tartibi

1. Bir varaq qog'ozni taxtachaga mahkamlang.
2. Parallel qirrali shisha plastinkani qog'oz varag'i ustiga qo'yib, sindiruvchi qirralar bo'ylab chiziq o'tkazing.
3. Plastinkaning bir tomonidan taxtachaga ikkita to'g'nag'ichni shunday qadangi, ulardan bir plastinkaga tegib tursin, ular orqali o'tkazilgan to'g'ri chiziq kesmasi esa plastinka qirralari bilan ixtiyoriy α burchak hosil qilsin.
4. Taxtachani ko'zingiz baravarigacha ko'tarib, uchinchi to'g'nag'ichni plastinkaning ikkinchi (ko'zingiz turgan) tomonida taxtachaga shunday qadangi, plastinka orqali qaralganda u oldingi ikki to'g'nag'ichni to'sib qolsin.

5. Plastinka va to'g'nag'ichlarni olib, to'g'nag'ichchdan qolgan teshikchalarni to'g'ri chiziq kesmalari bilan birlashtiring.

6. Transportir yordamida tushish va sinish burchaklarini o'lchang.

7. Sindirish ko'rsatkichini

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin i}$$

formula bo'yicha hisoblang.

8. Boshqa tushish burchaklari uchun tajribani, o'lchash va hisoblashlarni takrorlang.

9. O'lchashlar xatoligini baholang.

? 1. Gyuygens prinsipidan foydalanib, nisbiy sindirish ko'rsatkichi to'lqinning u tushayotgan muhitdagi fazaviy tezligining to'lqin o'tib ketayotgan muhitdagi fazaviy tezligiga nisbatiga tengligini isbotlang.

2. To'lqinlarning sinish qonunlarini aytib bering.

3. To'lqinlarning fazaviy tezliklari har xil muhitlarda har xil ekanligini ko'rsatuvchi dalillar keltiring.

7- §. To'la qaytish

1. Chegaraviy burchak. Suv bilan to'ldirilgan shisha vanna ichiga ensiz yorug'lik dastasi beruvchi yorug'lik manbayini joylashtiramiz (25- rasm). Ko'ramizki, suv — havo chegarasida yorug'lik nuri qisman qaytadi va qisman havoga o'tadi. O'z-o'zidan ravshanki, bu tajribada hech qanday g'ayritabiiy narsa yo'q.

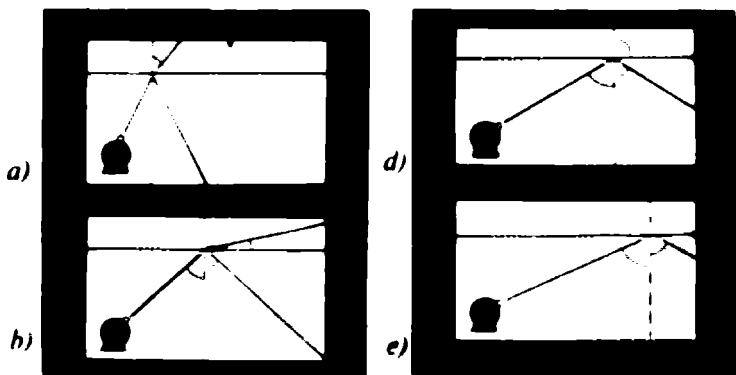
Yoritkichni gorizontal o'q atrofida aylantirib, sekin-asta nurlarning tushish burchagini orttiramiz (25- a, b, d rasmlar). Bunda tushish va sinish burchaklari ham mos holda o'zgaradi. Singan nur tobora ajratuvchi chegaraga yaqinlasha boradi. Nihoyat, shunday holat keladiki, sinish burchagi 90° ga tenglashadi va singan nur ajratuvchi chegara bo'ylab tarqaladi (25- d rasm).

Sinish burchagining 90° ga mos keluvchi tushish burchagi *chegaraviy burchak* deb ataladi. Aniqlanishga ko'ra

$$\sin \alpha_{\text{ch}} = n_{21}$$

bo'ladi. Demak, *chegaraviy burchak sinusi nisbiy sindirish ko'rsatkichiga teng.*

2. To'la qaytish. Tushish burchagini yanada orttira borsak (25- e rasm), singan nur yo'qoladi, qaytgan nur yo'lidagi suvning



25-rasm.

ravshanligi xuddi tushuvchi nur yo'lidagi kabi bo'ladi, bu yorug'likning ikki muhit chegarasidan to'la qaytishi yuz berganligini ko'rsatadi.

To'la qaytishni tabiatda ham kuzatish mumkin. Misol uchun, suv o'simliklari tanasidagi havo pufakchalari ko'zguga o'xshab qoladi, chunki ularga suv orqali tushuvchi yorug'lik to'la qaytadi. Agar suvli shaffof idishga ichi bo'sh probirka tushirsak, u ham ko'zgudek bo'lib qoladi. Ammo probirkaga suv quyilsa, uning ko'zgudek yarqirashi yo'qoladi. Shuni ta'kidlash kerakki, to'la qaytish hodisasi yorug'lik zichligi katta bo'lgan moddadan zichligi kichik moddaga o'tish chegarasiga tushganda yuz beradi.

Shisha — havo chegarasi uchun chegaraviy burchakni hisoblaymiz. Shishaning sindirish ko'rsatkichi 1,5 dan 1,9 gacha bo'lgan qiymatlarni qabul qiladi, havoning sindirish ko'rsatkichi esa birga teng: $n_1 = 1,5 + 1,9$; $n_2 = 1$.

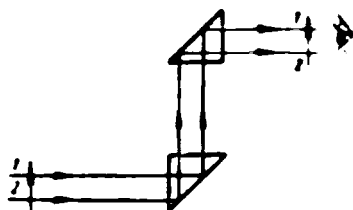
Shuning uchun

$$\sin \alpha_{\text{ch}}^{\text{max}} = \frac{1}{1,5} \approx 0,6666; \quad \alpha_{\text{ch}}^{\text{max}} \approx 42^\circ,$$

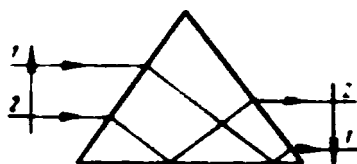
$$\sin \alpha_{\text{ch}}^{\text{min}} = \frac{1}{1,9} \approx 0,5263; \quad \alpha_{\text{ch}}^{\text{min}} \approx 32^\circ$$

bo'ladi. Shunday qilib, har xil shishalar uchun chegaraviy burchak 32° dan 42° gacha o'zgarishi mumkin ekan.

3. Prizmalar. To'la qaytish hodisasidan buruvchi (26- rasm) va to'ntaruvchi (27- rasm) prizmalarda foydalaniladi.



26- rasm.



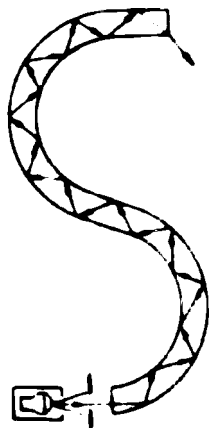
27- rasm.

Optik shisha uchun chegaraviy burchak $34-40^\circ$ bo'lgani sababli, tushish burchagi bundan katta bo'lganda to'la qaytish boshlanadi. To'ntaruvchi va buruvchi prizmalar ko'p hollarda ko'zgular o'rnida ishlatiladi. Ularning qulayligi shundaki, metall ko'zgular vaqt o'tishi bilan oksidlanish tufayli xiralashadi, prizmalarning qaytarish xususiyati esa o'zgarmaydi. Bundan tashqari, prizmalarni qo'llash ularga ekvivalent bo'lgan ko'zgular tizimini qo'llashga qaraganda ancha oson.

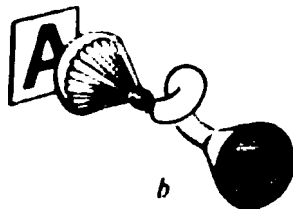
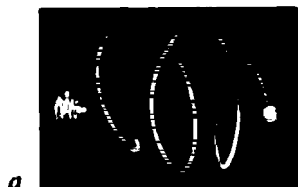
4. Silindrik yorug'lik o'tkazgich (svetovod). Agar yorug'lik dastasi bukilgan yaxlit shisha silindrning bir uchiga yo'naltirilsa, yorug'lik uning ikkinchi uchidan chiqadi (28- rasm); silindrning yon sirti orqali yorug'lik deyarli chiqmaydi. Yorug'likning shisha silindr ichidan o'tishi quyidagicha tushuntiriladi: yorug'lik silindrning ichki sirtiga chegaraviy burchakdan katta burchak ostida tushib, ko'p marta to'la qaytadi va silindrning ikkinchi uchigacha yetib boradi.

Shisha silindr qancha ingichka bo'lsa, nurning qaytishi shuncha tez yuz beradi va yorug'likning shuncha ko'p qismi silindrning ichki sirtiga chegaraviy burchakdan katta bo'lgan burchaklar ostida tushadi. Agar ko'p sonli ingichka shisha tolalarni birga qo'yib, birlashtiruvchi lenta bilan o'ralsa, egiluvchan yorug'lik o'tkazgich hosil bo'ladi, bu yorug'lik o'tkazgich spiral shaklida o'ralganda ham undan yorug'lik o'tadi. 29- a rasmda shaffof trubkaga joylashtirilgan tolalar bog'lami (jgut) yordamida yorug'likning uzatilishi ko'rsatilgan. Manbadan chiquvchi yorug'lik bog'laming bir uchiga to'planadi, uning ikkinchi uchi kuzatuvchi tomonga buriladi.

5. Tolalar optikasi. „Yalang'och“ tolalardan tayyorlangan tolalar bog'lami uncha sifatli bo'lmaydi, chunki ular bir-biriga tekkanda yorug'lik bir toladan ikkinchisiga o'tib ketadi. Bunday bo'lmasligi uchun tolalar bir-biridan izolatsiyalanadi. Buning uchun shisha tola sindirish ko'rsatkichi tolaning sindirish ko'rsatkichidan kichik bo'lgan shisha qobiq bilan qoplanadi. Bunda to'la qaytish sharti bajariladi, yorug'likning chiqib ketishi esa yo'qotiladi. Agar



28- rasm.



29- rasm.

izolatsiyalangan tolalar „to‘g‘ri“ joylashtirilsa, bunday tolalar bog‘lami *moslashgan* yoki *regular* deyiladi. Bunday bog‘lam yordamida nafaqat yorug‘likning, balki boshqa diapazonlardagi elektromagnit to‘lqinlarni ham uzatish mumkin. 29- *b* rasmda uchlari o‘rtasiga qaraganda kattaroq ko‘ndalang kesimga ega bo‘lgan, to‘g‘ri joylashtirilgan yorug‘lik o‘tkazgichlar yordamida tasvirlarni uzatish ko‘rsatilgan.

Yorug‘lik o‘tkazgich orqali uzatilgan tasvirning sifati tolalar diametriga va ularning joylashish zichligiga bog‘liq. Hozirgi vaqtda tolalarining diametri 1 nm bo‘lgan yorug‘lik o‘tkazgichlar bor, ular tolalarining soni esa bir necha o‘n mingga yetadi.

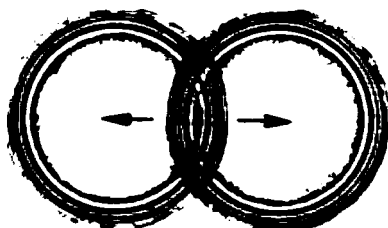
Tolalar optikasi hozirgi zamon texnikasida va meditsinada keng qo‘llanadi. Xususan, bemorning ichki organlarini, masalan, oshqozonni ko‘zdan kechirish uchun ingichka va juda egiluvchan qo‘sh yorug‘lik o‘tkazgichdan iborat tolali gastroskop qo‘llaniladi, u qizilo‘ngach orqali oshqozonga kiritiladi. Kiritilgan yorug‘lik o‘tkazgichdan biri orqali oshqozon yoritiladi, ikkinchisi orqali esa oshqozon ko‘zdan kechiriladi yoki rasmga olinadi.

Yorug‘lik o‘tkazgichlarning oddiy simlardan afzalligi shundaki, ularga tashqi elektromagnit maydonlar ta‘sir etmaydi.

- ?**
1. Suv va olmos uchun chegaraviy burchaklarni hisoblang.
 2. Suvga olmos va o‘shanday shaklga ega bo‘lgan shisha tushirilgan. Suvda nima yaxshiroq ko‘rinadi — olmosmi yoki shisha? Nima sababdan?
 3. Sinish burchagi qanday chegaralarda o‘zgarishi mumkin?

8- §. To'liqlar interferensiyasi

1. To'liqlarning superpozitsiya prinsipi. To'liqin vannasida bir vaqtda ikkita yakka to'liqin hosil qilamiz (30- rasm). Ularni kuzatib, har bir to'liqin boshqasiga bog'liq bo'lmasdan, xuddi ikkinchi to'liqin yo'qdek, mustaqil harakatlanishini ko'ramiz.



30- rasm.

Uncha katta bo'lmagan amplitudali to'liqlar uchun quyidagi superpozitsiya prinsipi o'rinni ekani tajribada aniqlangan: to'liqlar qo'shilganda natijaviy siljish har bir to'liqin tomonidan yuzaga keltirilgan siljishlarning yig'indisiga teng bo'ladi:

$$x = x_1 + x_2.$$

2. To'liqlar interferensiyasi. Aytaylik, ikkita S_1 va S_2 sinusoidal to'liqlar vibratori berilgan bo'lsin (31- rasm), ular vibratorlardan d_1 va d_2 masofalarda yotuvchi C nuqtada tebranishlar qo'zg'atsin. S_1 va S_2 vibratorlarning tebranish fazalari mos kelsin va bir xil chastotaga ega bo'lsin. C nuqtadagi natijaviy siljishni topamiz.

C nuqtadagi natijaviy siljish amplitudasi to'liqlarning yo'l farqi deb yuritiluvchi $d_2 - d_1$ masofaga bog'liq bo'ladi. Uch holni ko'ramiz:

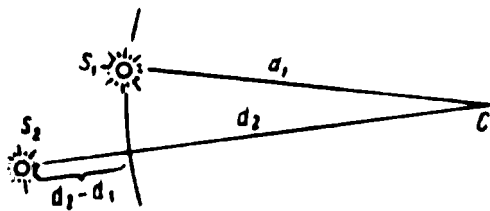
1- hol. To'liqlarning yo'l farqi juft sondagi yarim to'liqinga teng:

$$d_2 - d_1 = 2k \frac{\lambda}{2}.$$

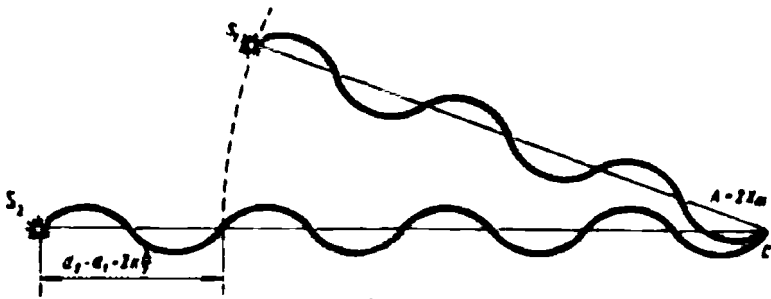
32- rasmda yo'l farqi $2 \frac{\lambda}{2}$ ga teng bo'lgan hol tasvirlangan, ammo bu hol yo'l farqi

$$4 \frac{\lambda}{2}, 6 \frac{\lambda}{2}, 8 \frac{\lambda}{2}, \dots, 2k \frac{\lambda}{2}$$

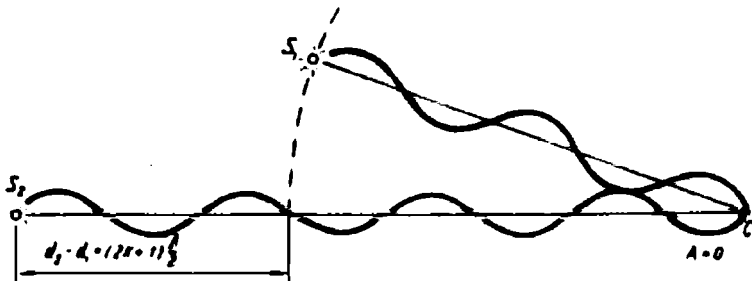
bo'lgan hollarga o'xshash. Barcha hollarda to'liqlar S_1 va S_2 manbalardan C nuqtaga bir xil faza bilan



31- rasm.



32- rasm.



33- rasm.

keladi va bir-birini kuchaytiradi. C nuqtadagi natijaviy siljish amplitudasi ikkilangan amplitudaga teng bo'ladi:

$$A = 2X_m.$$

2- hol. To'liqlarning yo'l farqi toq sonli yarim to'liqiga teng:

$$d_2 - d_1 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

33- rasmda yo'l farqi $1 \cdot \frac{\lambda}{2}$ ga teng bo'lgan hol tasvirlangan,

ammo bu hol yo'l farqi $3 \cdot \frac{\lambda}{2}, 5 \cdot \frac{\lambda}{2}, 7 \cdot \frac{\lambda}{2}, \dots, (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ bo'lgan

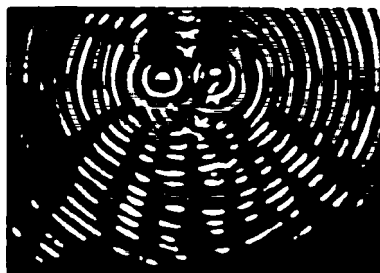
hollarga o'xshash. Barcha bunday hollarda to'liqlar S_1 va S_2 manbalardan C nuqtaga qarama-qarshi faza bilan keladi va bir-birini „so'ndiradi“. C nuqtadagi natijaviy to'liq amplitudasi nolga teng bo'ladi:

$$A = 0.$$

3- hol. Yo'l farqi butun bo'lmagan (kasr) sondagi yarim to'liqiga teng. Bu holda S_1 va S_2 manbalardan C nuqtaga keluvchi

to'liqlarning fazalari farqi ixtiyoriy bo'ladi va ular bir-birini yo kuchaytiradi, yo susaytiradi. C nuqtadagi natijaviy siljishning amplitudasi noldan katta va $2X_m$ dan kichik bo'lgan qandaydir oraliq qiymatga ega bo'ladi:

$$0 < A < 2X_m.$$



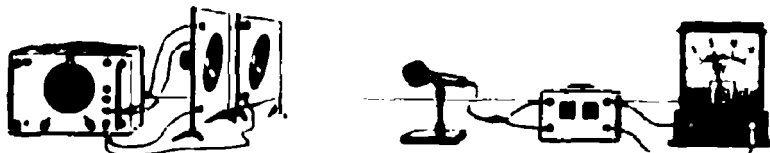
34- rasm.

Yuqorida olingan natijalarning to'g'riligi tajribada osongina tekshirib ko'rilishi mumkin. Buning uchun suv sirtida bir xil chastota va amplitudaga ega bo'lgan ikkita to'liq tizimini qo'zg'atamiz. Natijada 34- rasmda tasvirlangan manzarani ko'ramiz.

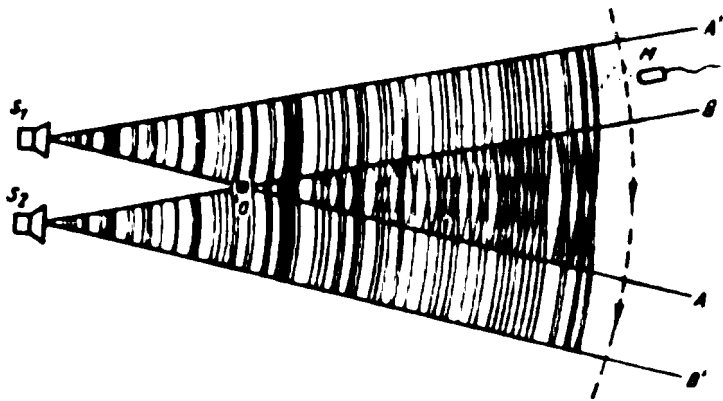
Vannaning to'liqlar bir-birini so'ndirgan joylarida to'liqsiz yo'llar ko'rinadi, to'liqlar bir-birini kuchaytirgan joylarda yorug' yo'llarning (do'ngliklar) qorong'i yo'llar (chuqurchalar) bilan almashinib turishini ko'ramiz.

Suv betida hosil bo'lgan manzara *interferension manzara*, hodisaning o'zi esa *interferensiya hodisasi* deb yuritiladi. Interferensiya — barcha to'liqlarning umumiy xususiyatidir.

3. Tovush to'liqlari interferensiyasi. Tovush to'liqlari interferensiyasini kuzatish uchun 35- rasmda tasvirlangan qurilmani yig'amiz. Radiokarnaylardan birini ulab, voltmetr strelkasining og'ish burchagini belgilab olamiz. Birinchi radiokarnayni o'chirib, ikkinchisini ulaymiz. Voltmetrning strelkasi yana birinchi holdagidek burchakka og'adi. Har ikkala radiokarnay ulanganda voltmetr strelkasi yo oldingi hollardagiga qaraganda kattaroq, yo kichikroq burchakka og'adi. Voltmetrning ko'rsatishlari natijaviy tebranishlar amplitudasiga proporsional bo'lgani sababli, tajriba tovush to'liqlarining interferensiyasi yuz berganligini ko'rsatadi, deyish mumkin.



35- rasm.

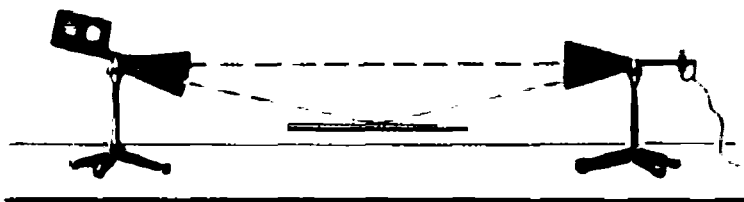


36- rasm.

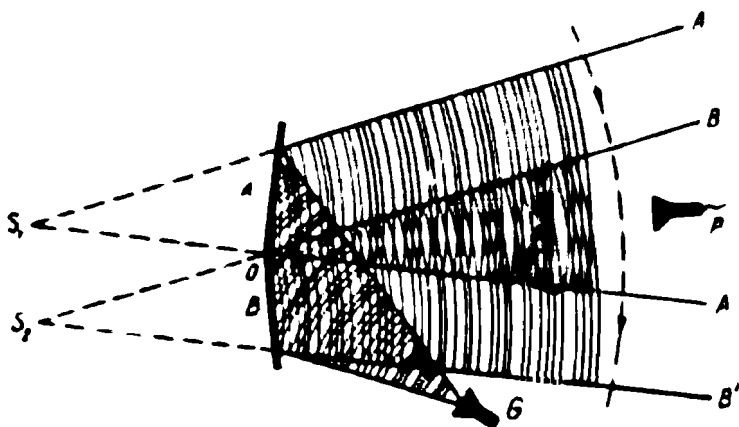
Yuqorida bajarilgan tajribaning sxemasi 36- rasmda keltirilgan, undan ko'rinadiki, tovush to'liqlari interferensiyasi faqat OB va OA nurlar bilan chegaralangan sohadaгина yuz berishi mumkin, chunki faqat ana shu sohada S_1 va S_2 manbalardan keluvchi to'liqlar bir vaqtda tarqaladi. Bunga M mikrofonni radiokarnaylarga nisbatan ko'chirib, ishonch hosil qilish mumkin. Mikrofon $A'B$ sohada bo'lganda voltmetr strelkasi bir joydan qo'zg'almaydi, bu interferensiya yo'qligidan dalolat beradi. Mikrofon BA soha ichida siljirilganda voltmetr strelkasi goh juda katta burchakka og'adi, goh deyarli nolgacha tushadi. Bu BA sohada interferensiya borligidan dalolat beradi. Mikrofon pastki AB' sohada siljirilsa, voltmetr strelkasi yana bir joyda harakatsiz qoladi. Bajarilgan bu tajribalar tovush to'liqlarining interferensiyasi yuz berishini ko'rsatadi.

4. Elektromagnit to'liqlar interferensiyasi. Elektromagnit to'liqlar interferensiyasini kuzatish uchun ikkita bir xil chastotali sinusoidal to'liqlar manbayi bo'lishi kerak. Tovush to'liqlari holda, yuqoridagi tajribada bayon etilganidek, bunday manbalar sifatida bitta generatorga ulangan ikkita radiokarnay xizmat qiladi. Elektromagnit to'liqlar interferensiyasini kuzatish uchun ham ana shunday usulni qo'llash, ya'ni bitta generatorga ikkita nurlanuvchi antennalarni ulash mumkin. Ammo amalda boshqa usul — bitta manbadan chiquvchi to'liqlar dastasini ikkiga ajratish usuli qulayroq ekan. Birinchi bo'lib, bunday usulni fransuz fizigi O. J. Frenel (1788—1827) taklif etgan.

O. J. Frenel usuli bo'yicha qo'yilgan tajribalardan biri quyidagicha. Yuqori chastotali tebranishlar generatorining rporli antennasi shunday o'rnatiladiki, uning o'qi qabul qiluvchi



37- rasm.



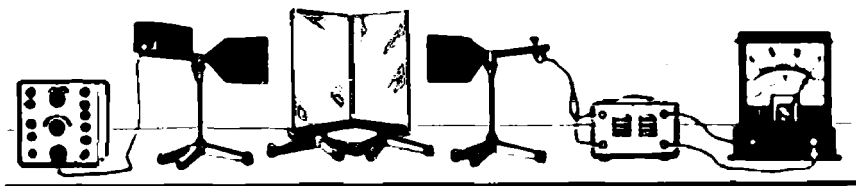
38- rasm.

antennaning o'qiga kichik burchak ostida yo'naladi. Bu burchak shunday tanlanadiki, voltmetr generatordan nurlanayotgan elektromagnit to'lqinlarning bir oz qabul qilinayotganligini ko'rsatsin (37- rasm).

Past tomonga metall list qo'yib, voltmetr strelkasining dastlabki holatdan og'ishi kuzatiladi.

Buning sababi shundaki, generatorning ruporli antenasidan to'g'ridan to'g'ri keluvchi to'lqin metall listdan qaytuvchi to'lqin bilan interferensiyalashadi.

Frenel usuli quyidagi tajribada, ayniqsa, yaqqol namoyon bo'ladi. *G* generatordan nurlanuvchi elektromagnit to'lqinlar yo'liga bir-biri bilan 180° ga yaqin burchak hosil qiluvchi ikkita metall ko'zgu joylashtiriladi (38- rasm). Qaytgan nurlar bir-birining ustiga tushadi va interferensiyalashadi. To'lqinlar ustma-ust tushgan zonada qabul qiluvchi antennani siljitib, voltmetrning ko'rsatishlari bo'yicha interferensiyon manzara borligini ko'rish mumkin: qabul qiluvchi antenaning turgan joyiga bog'liq holda voltmetr strelkasi goh ko'p, goh ozroq og'adi (39- rasm).



39- rasm.

5. To'liqlarning kogerentligi haqida. To'liqlar interferensiyasi bo'yicha o'tkazilgan tajribalarda biz yo ikki garmonik to'liqlar manbayidan foydalandik, yo bitta garmonik to'liqlar dastasini ikkiga ajratdik va ularni har xil yo'llarni o'tishga majbur etib, so'ngra yana birlashtirdik. Bu hollarning hammasida interferensiyalashuvchi to'liqlardagi tebranishlar chastotasi bir xil bo'lgan, garmonik tebranishlarning fazalar ayirmasi esa fazoning har bir nuqtasida vaqt o'tishi bilan o'zgarishsiz qolgan. Bunday to'liqlarning manbalari *moslashgan* yoki *kogerent* manbalar deyiladi.

To'liqlarning kogerentligi tushunchasi to'liqlar haqidagi ta'limotning muhim tushunchalaridan biridir.

Chastotasi bir xil bo'lib, fazalari ayirmasi hamma vaqt o'zgarishsiz qoluvchi to'liqlar kogerent to'liqlar deyiladi.

Faqat kogerent to'liqlargina barqaror interferensiyon manzara hosil qiladi.

6. Gyuygens — Frenel prinsipi. Dastlab Gyuygens prinsipi to'liq frontini topishning geometrik usuli sifatida ilgari surilgan edi. Bu prinsipga ko'ra, $t + \Delta t$ momentdagi to'liq fronti t momentda mavjud bo'lgan to'liq frontining barcha nuqtalaridan chiquvchi ikkilamchi to'liqlarning o'rovchisi sifatida aniqlanadi. Bunday sof geometrik usulda Gyuygens ikkilamchi to'liqlarning interferensiyasini hisobga olmagan edi. Keyinchalik, interferensiya hodisasi o'rganilgandan keyin, Gyuygens prinsipi Frenel tomonidan ikkilamchi to'liqlarning interferensiyasi haqidagi tasavvurlar bilan to'ldirilgan.

Gyuygens — Frenel prinsipining mazmuni quyidagicha ifodalanishi mumkin: to'liq yetib kelgan muhitning har bir nuqtasi ikkilamchi to'liqlarning mustaqil manbasi bo'lib qoladi; yangi to'liq fronti ikkilamchi to'liqlarning interferensiyasi natijasida hosil bo'ladi.

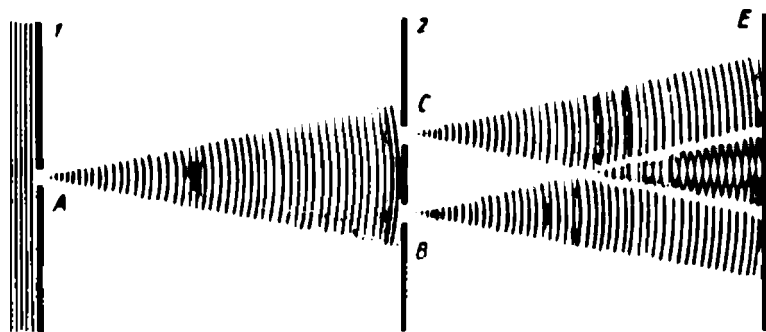
- ?
1. To'lqinlar superpozitsiyasi nimadan iborat?
 2. Suv sirtidagi to'lqinlar interferensiyasini kuzatish bo'yicha o'tkazilgan tajribani gapirib bering.
 3. Tovush to'lqinlarining interferensiyasini qanday kuzatish mumkin?
 4. Interferensiyon tajribalar qo'yishdagi Frenel usuli nimadan iborat?
 5. Bir xil chastotali garmonik to'lqinlar kogerentdir, degan fikr to'g'rimi?

9- §. Yorug'lik interferensiyasi

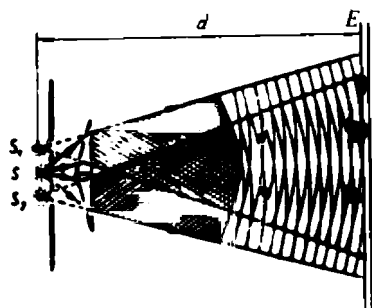
1. Yung tajribasi. Ingliz fizigi T. Yung 1802- yili yorug'lik interferensiyasini tajribada kuzatdi. Tajriba yaxshi qorong'ilatilgan xonada o'tkazildi. Tajribaning sxemasi 40- rasmda keltirilgan. Quyosh yorug'ligi A tirqishli 1 pardaga tushadi. Yoritilgan A tirqishdan yorug'lik ikkita B va C tirqishlari bo'lgan 2 pardaga tushadi. B va C tirqishlar A tirqishga nisbatan simmetrik joylashgani sababli, ularga A tirqishdan yorug'lik bir vaqtda yetib keladi. Ulardan yorug'lik E ekranga tushadi. Ekranda quyidagi manzara kuzatiladi: ekranning chetlari kuchsiz yoritiladi, uning B va C tirqishlardan keluvchi yorug'liklar ustma-ust tushuvchi o'rtasida esa bir nechta yorug'lik (kamalak kabi tovlanuvchi) va qorong'i yo'llar kuzatiladi, bu — yorug'lik interferensiyasi yuz berganligidan dalolat beradi.

2. Nima sababdan ikkita oddiy manbadan keluvchi yorug'liklarning interferensiyasi kuzatilmaydi? Agar Yung tajribasida bitta manba bilan yoritiluvchi ikkita tirqish o'rniga ikkita mustaqil yorug'lik manbasi (masalan, ikkita cho'g'lanma lampa) olinsa, interferensiya hodisasi kuzatilmaydi. Nega?

Masala shundaki, odatdagi manbalardan nurlanuvchi to'lqinlar o'zaro *moslashmagan* (nokogerent) bo'ladi. Ularning



40- rasm.



41- rasm.

boshlang'ich fazalari tartibsiz (xaotik) o'zgaradi. Shuning uchun fazoning har bir nuqtasida natijaviy to'liqin amplitudasi ham tartibsiz va tez o'zgarib turadi. Insonning ko'zi ma'lum inertlikka egaligi sababli, u amplitudalarning o'rtacha qiymatinigina sezadi, shu sababli bu holda interferensiyon manzara kuzatilmaydi.

3. Qanday qilib odatdagi manbalardan foydalangan holda interferensiyani kuzatish mumkin? O. Frenel bitta yorug'lik manbaidan ikkita kogerent yorug'lik to'liqlari olishning ajoyib usulini taklif etdi. Frenel taklif etgan usulning mohiyati shundaki, bunda yorug'lik to'liqini ikkita kogerent to'liqlarga ajratiladi. Bu to'liqlar ustma - ust tushganda Frenel ularning interferensiyasini kuzatgan.

O. Frenel o'z tajribalaridan birida S manbadan keluvchi yorug'lik to'liqini asoslari bir - biriga yelimlab yopishtirilgan ikkita yupqa shisha prizmalar yordamida ikkiga ajratgan (41- rasm). Bunday prizma *Frenel biprizmasi* deb ataladi. Biprizmaning asosi ravshan yoritilgan tirqishga parallel joylashtirilgan. Yung tajribasidagi kabi E ekranda interferensiyon manzara kuzatiladi.

Agar tirqish monoxromatik (bir rangli) yorug'lik bilan yoritilsa, interferensiyon manzaraning barcha yorug' yo'llari ham ana shunday rangda bo'ladi. Agar tirqish oq yorug'lik bilan yoritilsa, interferensiyon manzara kamalak kabi rang - barang bo'ladi. Har bir yorug' yo'lda ranglarning qizildan binafshagacha bir tekis bir-biriga o'tishi kuzatiladi. Yettita asosiy ranglar quyidagi ketma-ketlikda joylashadi: qizil, zarg'aldoq, sariq, yashil, havorang, ko'k, binafsharang.

4. Yupqa pardalardagi interferensiya. Sim halqada sovun pardasi hosil qilib, unga proyeksiyon apparatdan yorug'lik dastasini yo'naltiramiz. Pardada kamalak rangini ko'ramiz. Agar yorug'lik dastasi yo'lga qizil svetofiltr qo'yilsa, kamalak rangli yo'llar o'rniga bir-biridan qorong'i yo'llar bilan ajratilgan bir xil qizil rangli yo'llar ko'rinadi. Manzara Frenel ko'zgulari yordamida olingan interferensiyon yo'llarni eslatadi. Agar qizil yorug'lik filtri yashil rangligi bilan almashtirilsa, yorug' yo'llar ham yashil rangli bo'ladi.

Bu kuzatilayotgan hodisa yorug'lik interferensiyasining natijasi degan fikr tug'iladi.

Bu holda qanday ikkita yorug'lik dastalari interferensiyalanadi? Ravshanki, yorug'lik pardaga tushganda, u pardaning oldingi va ketingi chegaralaridan qaytadi. Bunda pardaning oldingi va ketingi chegaralaridan qaytgan yorug'lik dastalari orasida, parda qalinligi va u tegib turuvchi moddaga bog'liq bo'lgan yo'llar farqi paydo bo'ladi. Agar yo'llar farqi juft sondagi yarim to'lqin uzunligiga teng bo'lsa, qaytgan to'lqinlarning kuchayishi, toq sondagi yarim to'lqin uzunligiga teng bo'lsa, ularning zaiflashuvi yuz beradi.

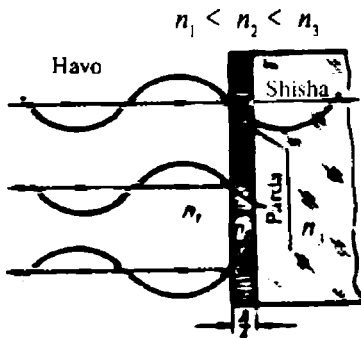
5. Interferensiyadan texnikada foydalanish. Interferensiya hodisasi zamonaviy texnikada keng qo'llaniladi. Bunday qo'llanishlardan biri „yorug'lanish“ optikasining yaratilishidir. Silliqlangan shisha sirti o'ziga tushgan yorug'likning 4 foizini qaytaradi. Zamonaviy optik asboblarda ko'p sonli shishadan yasalgan detallarga ega. Har bir detaldan o'tishda yorug'lik 4 foiz zaiflashadi. Fotoapparat obyektividagi umumiy yo'qotish 25 foizni, prizmalı durbin va mikroskopda esa 50 foizni tashkil etadi.

Yorug'lik yo'qotilishini kamaytirish uchun optik asboblarning yorug'lik o'tuvchi barcha shisha qismlari sindirish ko'rsatkichi shishaning sindirish ko'rsatkichidan kichik bo'lgan parda bilan qoplanadi. Pardaning qalinligi chorak to'lqin uzunligiga teng.

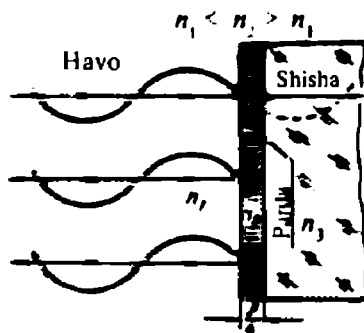
„Yorug'lanish“ optikasining ish prinsipini batafsilroq qarab chiqaylik. Aytaylik, sindirish ko'rsatkichi n_3 bo'lgan moddadan tayyorlangan optik detalda sindirish ko'rsatkichi $n_2 < n_3$ bo'lgan moddadan $\lambda / 4$ qalinlikdagi yupqa parda hosil qilinsin (42- rasm). Detalga yorug'lik sindirish ko'rsatkichi $n_1 < n_2$ bo'lgan havodan tushadi. (Yorug'lik to'lqinining havodagi, pardadagi va shishadagi uzunliklari har xil: $\lambda_1 = v_1 T$, $\lambda_2 = v_2 T$, $\lambda_3 = v_3 T$, ammo 42-rasmda bu hol e'tiborga olinmagan va ko'rgazmalilik uchun tushuvchi va qaytgan to'lqinlar alohida- alohida ko'rsatilgan). $n_1 < n_2$ va $n_2 < n_3$ bo'lgani uchun, pardaning har ikkala chegarasidan qaytish yarim to'lqin yo'qotish bilan yuz beradi. Bu holda

optik yo'llar farqi $d = \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda}{2}$, ya'ni yarim to'lqin uzunligiga teng bo'ladi va pardaning oldingi va ketingi chegaralaridan qaytgan to'lqinlar bir-birini zaiflashtiradi. Bu hol, energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra, yorug'likning shishaga o'tgan qismining kuchayishiga va shishaning „yorug'lanishiga“ sabab bo'ladi.

Interferensiya hodisasining qo'llanishlaridan yana biri — optikaning ko'p sohalari uchun zarur bo'lgan yaxshi qaytaruvchi qoplamalar olishdir. Bu holda n_2 sindirish ko'rsatkichi n_3



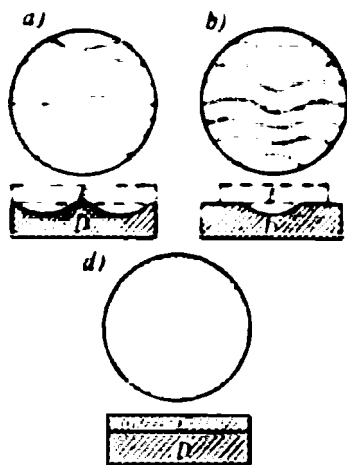
42- rasm.



43- rasm.

shishanikidan katta bo'lgan ($n_2 > n_3$) moddadan tayyorlangan $\lambda/4$ qalindikdagi pardadan foydalaniladi (43- rasm). Bu holda pardaning oldingi chegarasidan qaytish, $n_1 < n_2$ bo'lgani uchun, yarim to'lqin yo'qotish bilan yuz beradi, ketingi chegaradan qaytish esa yarim to'lqin yo'qotishsiz bo'ladi ($n_2 > n_3$). Natijada yo'llar farqi $d = \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{2} = \lambda$ bo'ladi va qaytgan to'lqinlar bir-birini kuchaytiradi.

Interferensiya hodisasidan ishlov beriladigan sirtlarning sifatini tekshirishda ham foydalaniladi. Buning uchun ishlov berilgan sirt ustiga katta aniqlik bilan tayyorlangan yassi etalon juda ehtiyotlik bilan (changlardan tozalanib, temperaturalar tenglashtirilib)



44- rasm.

qo'yiladi. 44- rasmda yassi va silliq sirtga ega bo'lishi kerak bo'lgan D detal ustiga E yassi etalonni qo'yish sxemasi va talab etilgan aniqlik bo'limganda (44- a, b rasmlar) hamda zarur aniqlikka erishilganda (44- d rasm) kuzatiladigan interferension manzaralar keltirilgan.

Zarur aniqlikka erishilganda etalon ostidagi butun sirt bir xil rangga ega bo'ladi. Agar ishlov berilgan sirt da nuqsonlar oz bo'lsa, interferension yo'llar keng bo'ladi, sirtning nuqsonlari ko'p bo'lganda esa interferension yo'llar tor va ularning shaklidan qaysi qism-

larning berilgan shakldan farqlanishi oson ko'rinadi. Tekshirishning bunday usuli berilgan shakldan farqlanishlarni $0,01 \mu\text{m}$ aniqlikkacha ko'rish imkonini beradi.

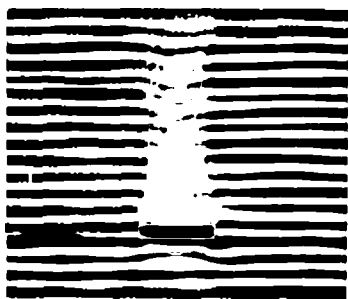
- ?
1. Yung tajribasi sxemasini chizing va tajriba natijalarini tushuntiring.
 2. Frenel tajribasi sxemasini chizing va uning borishi hamda natijalarini tushuntiring.
 3. Sim halqada $\lambda / 4$ qalinlikdagi sovun pardasi olingan. Bu holda qanaqasiga va qanday interferension manzara hosil bo'lishini tushuntiring.
 4. „Yorug'lanish“ optikasining ish prinsipini tushuntiring.
 5. Ikkita ko'zgu yordamida yorug'lik interferensiyasini kuzatish uchun qurilma o'ylab toping.

10- §. To'lqinlar difraksiyasi

Interferensiya hodisasi bilan to'lqinlarning yana bir umumiy xususiyati — to'lqinlarning keskin bir jinsli bo'lmagan muhitda tarqalishida kuzatiladigan *difraksiya* hodisasi ham bog'liq.

1. *Difraksiya* nima? To'lqin vannasidagi suyuqlik sirtida tarqaluvchi yassi to'lqinlar yo'lga chiziqli o'lchami to'lqin uzunligi tartibida ($d = \lambda$) bo'lgan to'siq qo'yamiz (45- rasm). To'siq to'lqinni ikkita dastaga ajratadi, ammo to'siq orqasida biroz masofa o'tgandan so'ng ajratilgan to'lqinlar yana birlikadi va xuddi to'siq bo'lmagandek tarqaladi. To'lqinlar to'siqni aylanib o'tadi.

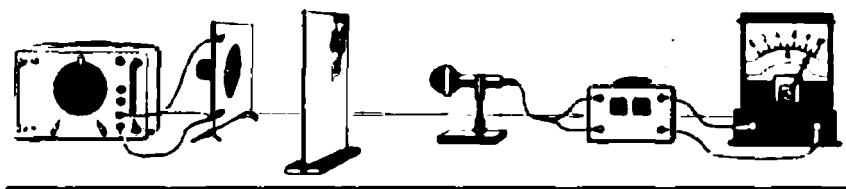
Tajribani biroz o'zgartiramiz. To'lqinlar yo'lga ikkita to'siqni shunday qo'yamizki, ular orasida kengligi to'lqin uzunligidan birmuncha katta bo'lgan tirqish hosil bo'lsin (46- rasm). Ko'ramizki, boshida ensiz bo'lgan to'lqin dastasi tirqish orqasida sekin-asta kengaya boradi va to'siqlarni aylanib o'tib, ularning



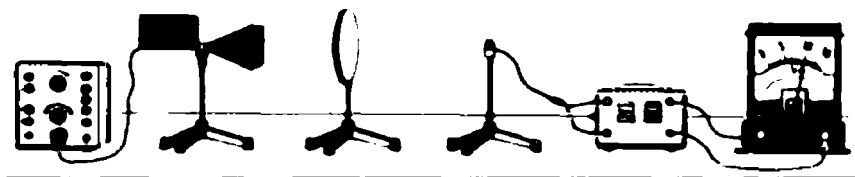
45- rasm.



46- rasm.



47- rasm.



48- rasm.

orqasiga o'tib ketadi. Bundan tashqari, bu dastaning yonlarida xiyol seziladigan yana ikkita dasta ko'rinadi.

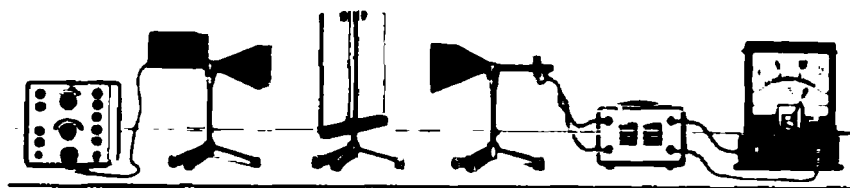
Bu ikkita tajribada kuzatilgan, to'liqlarning to'siqlarni aylanib o'tish hodisasi *to'liqlar difraksiyasi* deb yuritiladi. Difraksiya — har qanday tabiatli to'liqning tegishli bo'lgan umumiy xususiyatdir.

2. Tovush to'liqlari difraksiyasi. Tovush to'liqlarining difraksiyasini kuzatish uchun 47- rasmda tasvirlangan qurilmani yig'amiz.

Radiokarnayni to'siq yaqiniga joylashtiramiz. Tovush generatorini ulab, kuchaytirgichning chiqish klemmlariga ulangan voltmetr strelkasi keskin og'ganligini ko'ramiz. To'siq orqasida mikrofonni harakatlantirib, u yerda ham tebranishlar borligini sezamiz, bu tebranishlar tovush to'liqlari difraksiyasi yuz berganligidan darak beradi.

Tovush to'liqlari difraksiyasi kundalik hayotimizda tez-tez uchrab turadi. Uy orqasidagi odamlarning qattiq gaplashishini eshitamiz, o'rmonda bir-birini chaqirayotgan odamlarning tovushi daraxtlarni aylanib o'tadi va h. k.

3. Elektromagnit to'liqlar difraksiyasi. Elektromagnit to'liqlar difraksiyasini kuzatish uchun o'ta yuqori chastotali generatorning rupuqli antenasiidan 1 metrcha masofaga aluminiy diskni joylashtiramiz (48- rasm). Chiqish klemmlariga voltmetr ulangan kuchaytirgichli qabul qiluvchi dipol antennani disk



49- rasm.

orqasiga qo'yamiz. Voltmetr strelkasi og'adi, bu elektromagnit to'lqinlarning ular uchun shaffof bo'lmagan aluminiy disk orqasiga aylanib o'tganligidan darak beradi. Aluminiy diskni oralarida kengligi 4 — 5 sm bo'lgan tirqish hosil qilib joylashtirilgan ikkita plastinka bilan, qabul qiluvchi dipol antennani esa rupuorli antenna bilan almashtiramiz (49- rasm).

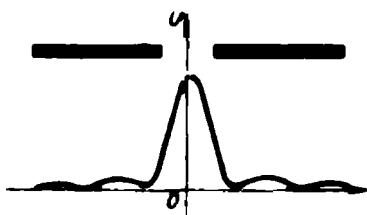
Qabul qiluvchi antennani bu plastinkalar orqasida, tirqish o'qiga perpendikular holda ko'ndalangiga harakatlantirib, shuni ko'ramizki, avval biroz og'gan voltmetr strelkasi qabul qiluvchi antennaning keyingi harakati davomida katta burchakka og'adi, so'ngra nol holatga qaytadi, bundan keyin yana katta bo'lmagan burchakka og'adi. 50- rasmda voltmetr ko'rsatishining qabul qiluvchi antennaning tirqishga nisbatan holatiga bog'liqligi grafik ravishda tasvirlangan.

Tajriba elektromagnit to'lqinlarning tirqishni aylanib o'tganligi va to'lqin vannasida o'tkazilgan tajribalarda yaxshi ko'rinmagan yon dastalarning mavjudligi haqida dalolat beradi.

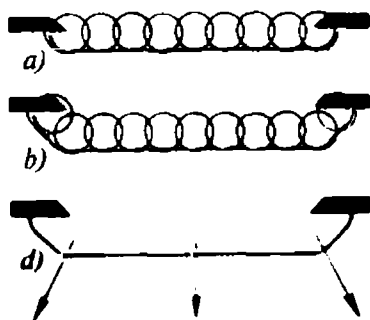
4. Difraksiya qanday va nima sababdan yuz beradi?

To'lqinlar tirqishdan o'tganda hosil bo'ladigan difraksiyon manzarada to'lqinlar bo'lmagan markaziy yo'ldan fazo bilan ajratilgan yon yo'llarning bo'lishi, difraksiya hodisasi to'lqinlar interferensiyasi bilan qandaydir bog'lanishga ega, deb taxmin qilishga imkon beradi. Bu taxminning to'g'riligini tekshirib ko'rish uchun yassi to'lqinlarning tirqishdan o'tishini batafsil qaray chiqamiz.

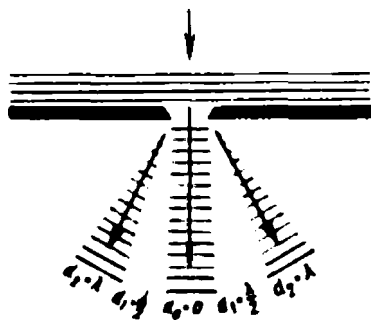
To'lqin tirqishga yetib borishi bilan tirqish qirralari orasidagi muhitning har bir nuqtasi ikkilamchi to'lqinlarning mustaqil manbai bo'lib qoladi. Ikkilamchi to'lqinlarning interferensiyalanishi natijasida yangi to'lqin fronti hosil bo'ladi.



50- rasm.



51- rasm.



52- rasm.

Ikkilamchi to'liqlar tirqishning chetki nuqtalaridan ham nurlangani sababli tirqishdan o'tgan to'liqin fronti uning qirralari yonida egiladi va tirqishni hosil qiluvchi to'siqlar orqasiga o'tadi (51 - a rasm). Tirqishdan o'tgan to'liqin yetib kelgan muhit nuqtalaridan chiquvchi ikkilamchi to'liqlar to'siq qirg'oqlari orqasiga yanada ko'proq o'tadi (51 - b rasm). Shu tariqa to'liqin tirqishdan o'tgandan keyin ham kengayadi, ham deformatsiyalanadi. To'liqin frontiga perpendikular o'tkazilgan nurlar to'liqinning tarqalish yo'nalishini ko'rsatadi (51 - d rasm).

Tirqishga perpendikular ravishda tarqaluvchi ikkilamchi to'liqlar bir xil fazaga ega bo'ladi, ularning yo'l farqlari nolga teng va interferensiya natijasida ular bir - birini kuchaytiradi (52 - rasmda $d = 0$ ga mos keluvchi to'liqin).

Tirqish bilan burchak hosil qilib tarqaluvchi ikkilamchi to'liqlar noldan farqli yo'l farqiga ega. Yo'l farqi yarim to'liqinga teng bo'lgan ikkilamchi to'liqlar bir-birini so'ndiradi va fazoda to'liqlar bo'lmagan tinch soha hosil bo'ladi. Yo'l farqi butun to'liqinga teng bo'lgan ikkilamchi to'liqlar bir - birini kuchaytiradi va fazoning bu sohasida yon to'liqin yo'llari kuzatiladi. Shunday qilib, to'liqin difraksiyasini interferensiyaning o'ziga hos bir holi deb qarash mumkin.

Xulosa qilib aytish mumkinki, to'liqlarning to'siqlarni aylanib o'tishi to'liqlar interferensiya natijasidir.

- ?
1. 48- rasmda tasvirlangan tajribani tushuntiring.
 2. Elektromagnit to'liqlar difraksiyasini qanday qilib kuzatish mumkin?
 3. Qanday va nima sababdan to'liqlar difraksiyasi yuz berishini tushuntiring.
 4. 50- rasmda nima tasvirlanganini tushuntiring.

11- §. Yorug'lik difraksiyasi

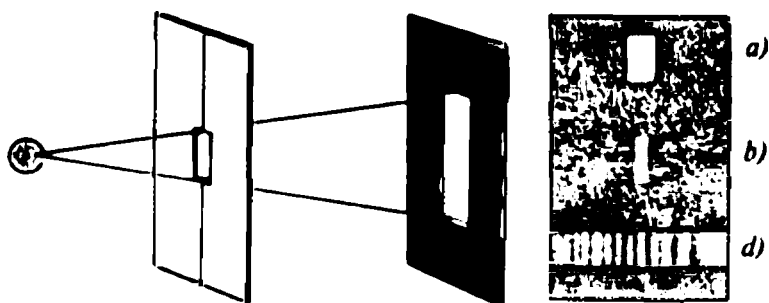
To'lqinlarning umumiy xususiyatlarini o'rganib, biz bildikki, har qanday tabiatga ega bo'lgan to'lqinlar keskin bir jinsli bo'lmagan muhitda tarqalganda, difraksiya hodisasiga uchraydi. Xususan, to'lqinlar o'zlarining yo'lida uchragan to'siqni aylanib o'tadi. Yorug'lik difraksiyasi ham kuzatiladimi, shuni aniqlaymiz.

1. Yorug'lik difraksiyasini qanday sharoitlarda kuzatish mumkin?

To'siqning o'lchamlari to'lqin uzunligi tartibida bo'lganda difraksiyon hodisalarini kuzatish oson bo'ladi. Ammo yorug'lik to'lqinining uzunligi juda kichik, shuning uchun to'siqlarni aylanib o'tishi sezilarsiz bo'ladi va uni maxsus sharoitlardagina kuzatish mumkin.

Yorug'lik difraksiyasini kuzatish uchun yo juda kichik to'siqlar olish, yo yorug'lik to'lqinlarining to'siq chetlaridagi to'g'ri chiziqli yo'nalishdan kichik og'ishlari ko'rinishi uchun uzoq masofalardan turib kuzatishlar olib borish kerak. Bundan tashqari, difraksiyon manzara juda xiraligi sababli, yorug'lik difraksiyasini kuzatish bo'yicha tajribalar o'tkaziladigan xona juda yaxshi qorong'ilatilgan bo'lishi kerak.

2. Tirqishdagi difraksiya. Yaxshi qorong'ilatilgan xonada 10 — 12 mm o'lchamli teshikchasi bo'lgan g'ilof ichiga joylashgan ravshan nuqtaviy yorug'lik manbai qarshisiga kengligi o'zgartiriladigan, to'g'ri burchakli tirqishi bo'lgan noshaffof parda qo'yamiz (53 - rasm). Tirqishning kengligi 1 — 2 mm bo'lganda ekranda chetlari aniq bo'lgan ravshan yorug' yo'l ko'rinadi (53 - a rasm). Tirqishning kengligini kamaytirib borsak, ekrandagi yorug' yo'l chetlarining aniqligi asta-sekin buziladi: bunda yo'l kengroq bo'lib qoladi, uning yoritilganligi pasayadi va qirg'oqlariga



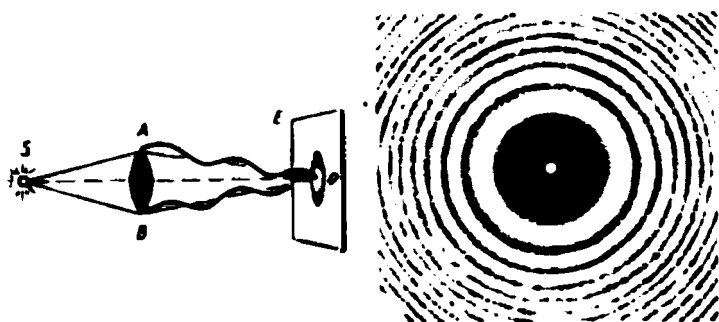
53- rasm.

tomon kamayib boradi. Tirqishning kengligi yana kamaytira borilsa, yoritilgan yoʻlning oʻng va chapida arang koʻrinadigan kamalak rang yoʻllar paydo boʻladi (53- d rasmda ularning qora-oq tasvirlari koʻrsatilgan). Tajriba yorugʻlik difraksiyasi yuz berganligini koʻrsatadi: yorugʻlik tirqishning noshaffof chetlarini aylanib oʻtadi va soya sohasiga kiradi.

Agar yorugʻlik qarshisiga yorugʻlik filtri qoʻyilsa, kamalak rangli yoʻllar bir xil rangli boʻlib qoladi.

Tirqishdagi yorugʻlik difraksiyasi boʻyicha tajribani boshqacha namoyish qilish ham mumkin: yaxshi qorongʻilatilgan uzun binoga (masalan, maktab yoʻlagiga) nuqtaviy yorugʻlik manbayini oʻrnatamiz; manbadan qariyb 15 m masofada 2 — 3 mm kenglikdagi tirqishli yorugʻlik oʻtkazmaydigan parda qoʻyamiz. Agar tirqish orqasidan 10—15 sm masofaga ekran qoʻyilsa, unda ravshan yoritilgan yoʻl koʻrinadi. Ekranni sekin- asta tirqishdan uzoqlashtira borib, yorugʻ yoʻlning aniq koʻrinishi buzila boshlaganini koʻramiz, uning yoritilganligi kamayadi va har xil boʻlib qoladi: yoritilganlik oʻrtasida koʻp, chekkalarida oz boʻladi. Tirqishdan 15—20 m masofada ekranda yoritilgan yoʻlning oʻng va chapida, oldingi holdagi kabi, kamalak rangli xira yoʻllar paydo boʻladi, manba qancha kuchli boʻlsa, ular shuncha yaxshi koʻrinadi. Agar manba qarshisiga yorugʻlik filtri qoʻyilsa, kamalak rangli yoʻllar bir xil boʻlib qoladi.

3. Diskdagi difraksiya. Aytaylik, uncha katta boʻlmagan yassi disk, uning markazidan oʻtkazilgan perpendikular oʻqqa joylashgan nuqtaviy yorugʻlik manbayi¹ bilan yoritilsin (54 - rasm). Manbadan chiqqan yorugʻlik disk qirralariga yetib borishi bilan disk qirrasiga



54- rasm.

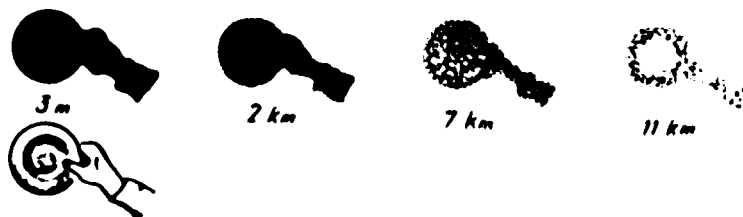
¹ Keltirilgan tajriba sharoitida oʻlchamlari yorugʻlanuvchi sirt oʻlchamlariga nisbatan hisobga olmasa ham boʻladigan yorugʻlik manbayi — nuqtaviy yorugʻlik manbayi deb ataladi.

yaqin joylashgan har bir nuqta, Gyuygens — Frenel prinsipiga ko'ra, tebranishlarning mustaqil manbayiga aylanadi va ikkilamchi to'lqinlar nurlantiradi. Manbadan disk qirralarigacha bo'lgan masofa bir xil bo'lgani sababli, disk qirralari yaqinidan tarqaluvchi barcha ikkilamchi to'lqinlar bir xil fazaga ega bo'ladi.

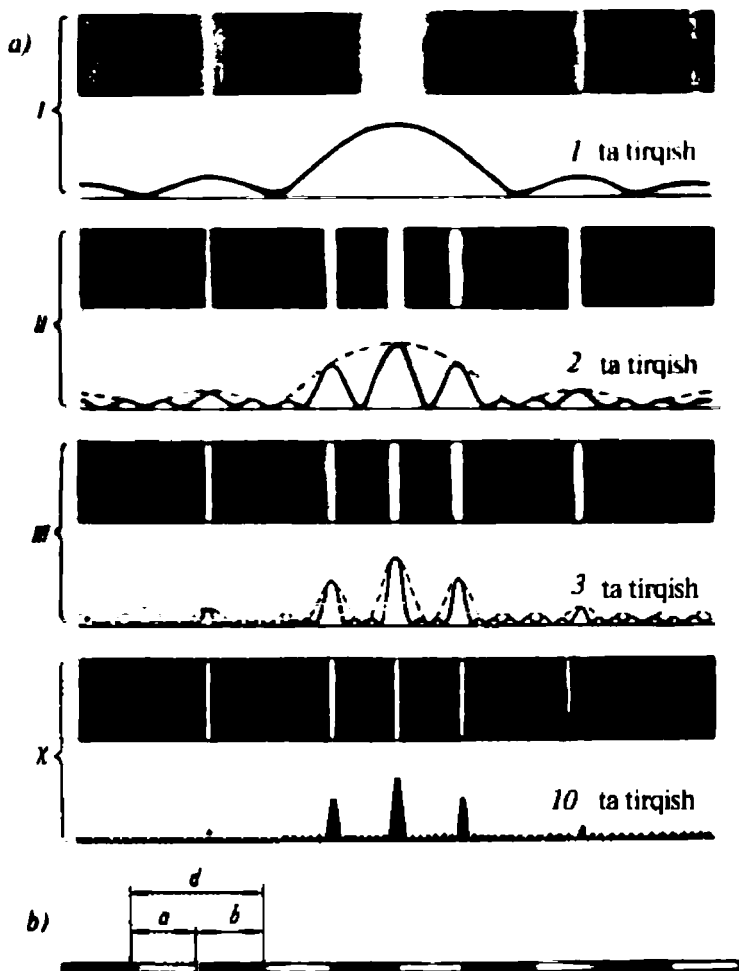
Ikkilamchi to'lqinlarning tushuvchi to'lqinga simmetrik ravishda tarqaluvchi qismi (54- rasmda ular AO va BO nurlar bilan belgilandi) ekranning O nuqtasiga bir xil faza bilan keladi va interferensiyalanib, bir-birini kuchaytiradi. Soyaning O markazida yorug' dog' kuzatilishi kerak. Birinchi bo'lib bunday xulosaga Frenelning Parij Fanlar akademiyasining mukofotiga tavsiya etilgan yorug'lik difraksiyasi haqidagi ishini taqriz qilgan fransuz olimi S. D. P u a s s o n kelgan edi. Tajribani yetarlicha puxta qo'ymagan Puasson soya markazidagi yorug' dog'ni ko'ra olmadi va shu asosda Frenel nazariyasi xato degan xulosaga keldi.

Mukofot qo'mitasining a'zosi bo'lgan D. F. A r a g o Puasson tajribasining natijalarini tekshirib ko'rishga qaror qildi. Tajribani puxtaroq qo'ygan Arago yorug' difraksion dog'ni ko'rishga muvaffaq bo'ldi, bu dog' keyinchalik Puasson nomini oldi.

Moskva Davlat universitetining professori V. K. A r k a d y e v yorug'lik difraksiyasi bo'yicha juda ajoyib tajriba qo'ydi. U likopcha ushlab turgan qo'lning kichiklashtirilgan yassi modelini tayyorladi. Arkadyev modelni nuqtaviy manbadan keluvchi yorug'lik bilan yoritib, likopchanning ekrandagi soyasining fotosuratini oldi. Tajriba yaxshi qorong'ilatilgan xonada o'tkazilgan edi. Model ekrandan uncha uzoq bo'lmaganda ekranda aniq soya ko'rinadi (55- rasm). Modeldan ekrangacha bo'lgan masofa ortishi bilan soyada qo'l va likopchanning shakli borgan sari yomonroq ko'rinadi. Nihoyat, qandaydir masofada likopcha soyasining markazida yorug' dog' paydo bo'ladi.



55- rasm.



56-rasm.

4. Difraksiya panjara. Paragraf boshida bayon etilgan tirqish bilan o'tkazilgan tajribada olingan difraksiya manzara yetarli aniqlik va ravshanlikka ega emas. Bu ikkita sabab bilan tushuntiriladi: birinchidan, bitta tirqishdan oz yorug'lik o'tadi, ikkinchidan esa interferensiya yo'llar keng, shu bois yaxshi yoritilmagan bo'ladi.

Agar bitta tirqish o'rniga bir nechta bir xil tirqishlar olinsa, difraksiya manzara aniq va ravshan bo'ladi. 56 - a rasmda 1, 2, 3 va 10 ta tirqishlarda olingan difraksiya manzaralarning fotosuratlarini keltirilgan. Rasmlardan ko'rinadiki, tirqishlar soni ortishi bilan yorug'

interferensiyalar yo'llarning kengligi kamayadi va ularning ravshanligi ortadi. Bir vaqtda ular orasidagi qorong'i oraliqlarning kengligi ortadi.

Aniq difraksiyon manzaralar olish uchun tartibli joylashgan, ko'p sonli tirgishlari bo'lgan maxsus qurilma yaratilgan. Bunday qurilmalar *difraksiyon panjara* nomini olgan. Yaxshi silliqlangan shisha sirtiga olmos bilan chiziqchalar chizilsa, odatdagi difraksiyon panjara hosil bo'ladi. Yorug'lik chiziqchalardan o'tmasdan, chiziqchalar orasidan o'tadi (56- b rasm).

Bitta tirgish kengligi a va tirgishlar oralig'i kengligi b ning yig'indisi *panjara doimiysi* yoki *uning davri* deyiladi (56- b rasm). Panjara doimiysi, odatda, d harfi bilan belgilanadi:

$$d = a + b.$$

Hozirgi kunda ilmiy maqsadlarda har bir millimetrida 300, 1200, 1800 va hatto 6000 ta chiziqchalari bo'lgan difraksiyon panjaralardan foydalaniladi.

Agar difraksiyon panjara orqali elektr lampaning tolasiga qaralsa, ularning o'ng va chap tomonlarida bir nechta kamalak rangli yo'llar ko'rinadi, har bir yo'lda ranglar lampa ipi tomondan boshlab quyidagi tartibda joylashadi: binafsharang, ko'k, havorang, yashil, sariq, zarg'aldoq, qizil.

5. Eksperimental topshiriq. Shishani dudlab qoraytirib va igna bilan 1—2 sm uzunlikdagi chiziq chizing. Hosil bo'lgan tirgish orqali elektr lampaning tolasiga, tirgishni tolaga parallel tutgan holda qarang. Shishani ko'zingizga yaqinlashtirib va uzoqlashtirib, uning shunday holatini topingki, tirgish orqali difraksiyon manzara ko'rinsin. Qora qog'ozni o'tkir pichoq bilan kesib ham tirgish hosil qilish mumkin, tirgishning kengligi 0,5 mm atrofida bo'lishi kerak.

- ?
1. Difraksiya bo'yicha tajribalar o'tkazishda qanday qiyinchiliklar uchraydi va ularni qanday bartaraf etish mumkin?
 2. Tirgishdagi difraksiyani qanday kuzatish mumkin? Nima sababdan bu holdagi difraksiyon manzara yetarlicha aniq emas?
 3. Professor V. K. Arkadyev tajribasi nimadan iborat edi?
 4. Difraksiyon panjara nima va uning sifati nima bilan aniqlanadi?

12- §. Yorug'lik to'lqinining uzunligini aniqlash (laboratoriya ishi)

Yorug'lik to'lqinlarining uzunligini ko'pgina usullar bilan aniqlash mumkin. Ulardan birini qarab chiqamiz.

1. Difraksiyon panjara yordamida yorug'lik to'liqining uzunligini aniqlash.

Difraksiyon panjara yordamida yorug'lik to'liqining uzunligini aniqlash uchun sxemasi 57- rasmda tasvirlangan qurilmani yig'ish kerak.

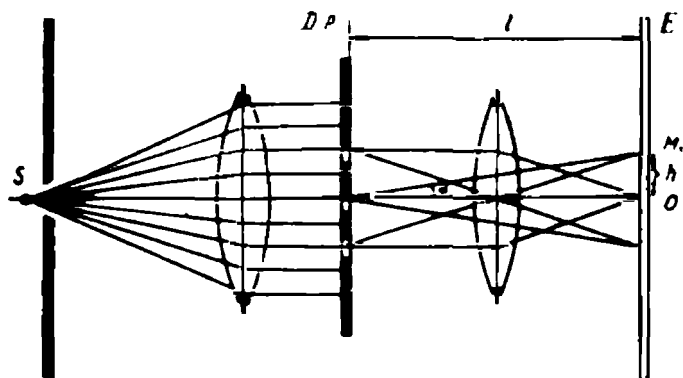
Difraksiyon panjaraga to'liqin uzunligi λ bo'lgan yassi yorug'lik to'liqini (parallel nurlar dastasi) tushadi. To'liqin panjaraga yetib kelganda uning tirqishlarining har bir nuqtasidan Gyuygens — Frenel prinsipiga ko'ra, ikkilamchi to'liqinlar tarqaladi (58 - rasm). Barcha ikkilamchi to'liqinlarning boshlang'ich fazalari bir xil.

Har bir tirqishdan ekranga perpendikular ravishda keluvchi ikkilamchi to'liqinlar bir xil fazaga ega bo'ladi va interferensiya natijasida ularning amplitudalari qo'shiladi. Boshqa barcha yo'nalishlar bo'yicha ekranga keluvchi to'liqinlar yo'l farqiga ega bo'ladi.

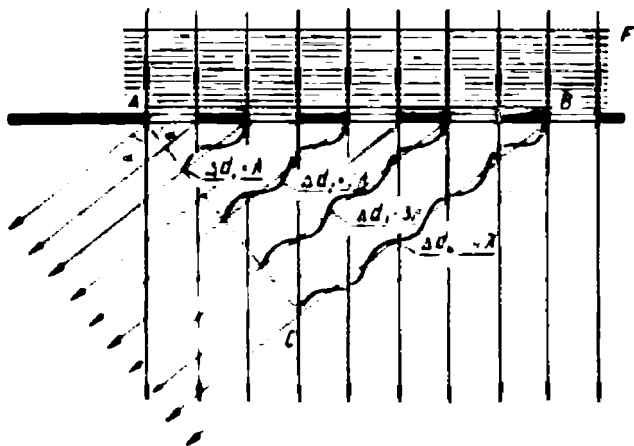
Ekranga o'ngdagi birinchi yon yorug' yo'l yo'nalishida keluvchi to'liqinlar butun sondagi to'liqin uzunligiga teng bo'lgan yo'l farqlariga ega bo'ladi (58- rasmda qarang): birinchi tirqishdan keluvchi to'liqinlar uchun yo'l farqi λ ga, ikkinchi tirqishdan keluvchi to'liqinlar uchun -2λ ga, uchinchi tirqishdan keluvchilar uchun -3λ ga va h. k.ga teng bo'ladi. Oxirgi N - tirqishdan keluvchi to'liqinlar uchun yo'l farqi $N\lambda$ ga teng bo'ladi.

Ravshanki, 58- rasmdagi ABC uchburchakning BC tomoni oxirgi N - tirqishdan keluvchi to'liqinlarning yo'l farqiga, AB tomoni esa difraksiyon panjara kengligiga teng:

$$BC = N\lambda; \quad AB = Nd.$$



57- rasm.



58- rasm.

Ikkinchi tomondan, ana shu ABC uchburchakdan:

$$BC = AB \sin \alpha$$

yoki BC va AB larning qiymatlarini qo'ysak,

$$BC = Nd \sin \alpha \quad \text{yoki} \quad N\lambda = Nd \sin \alpha,$$

demak,

$$\lambda = d \sin \alpha$$

bo'ladi.

Ammo, α burchak kichik bo'lgani sababli $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha$ deb olish mumkin. Qurilmaning sxemasidan (57 - rasimga qarang)

$$\text{tg } \alpha = \frac{h}{l}$$

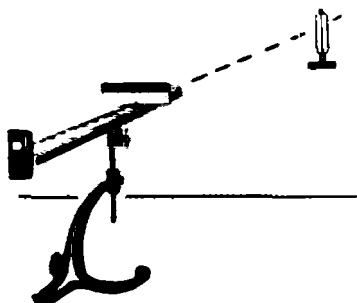
ekani oson topiladi, shuning uchun

$$\lambda = d \frac{h}{l}$$

bo'ladi.

Tajribadagi h va l larni o'lchab va d panjara doimiysini bilib, so'nggi formula yordamida difraksiyon manzaradagi rangli yo'llarga mos keluvchi to'lqinlar uzunligi λ ni hisoblab topish mumkin.

2. Eksperimental topshiriq. 59- rasmda tasvirlangan qurilma yordamida yorug'likning to'lqin uzunligini aniqlang.



59- rasm.

Topshiriqni bajarish tartibi

1. Nishonga olinuvchi tirqishli shkalani difraksion panjaradan mumkin qadar maksimal masofaga suring.

2. Ashob o'qini to'g'ri cho'g'lanish tolasi bo'lgan lampaga yo'naltiring (bunda lampaning cho'g'lanish tolasi to'siqning tor nishonga olinuvchi tirqishidan ko'rinish turishi kerak). Bu holda tirqishning o'ng va chap tomonida

shkala ustidagi qora fonda difraksion manzara (spektr) ko'rinadi.

3. Asbobni qo'zg'atmasdan shkala bo'yicha birinchi tartibli spektrdagi rangli yo'llarning markazlari holatlarini aniqlang. Natijalarni 2- jadvalga yozing. O'lchash natijalari bo'yicha to'lqin uzunligini hisoblang. O'lchash xatoligini baholang.

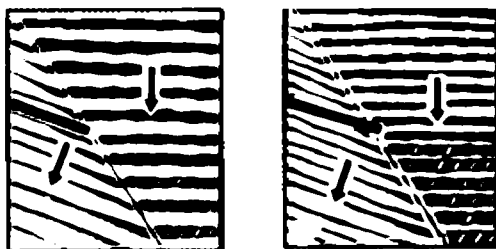
2- jadval.

Yo'llarning rangi	h_{chap}	$h_{\text{o'ng}}$	$h_{\text{o'rtta}}$	l	d	λ
Binafsharang						
Ko'k						
Havorang						
Yashil						
Sariq						
Zarg'aldoq						
Qizil						

13- §. To'lqinlar dispersiyasi

1. Mexanik to'lqinlar dispersiyasi. Sindirish ko'rsatkichining ikki muhit chegarasiga tushuvchi to'lqinning chastotasiga bog'liq yoki bog'liq emasligini aniqlaylik. Buning uchun to'lqin vannasining tubiga shishani shunday qo'yamizki, ikkita har xil qalinlikdagi suyuqlik qatlami bo'lgan sohalar hosil bo'ladi. Vannada yassi to'lqin qo'zg'atib, ekranda ko'ramizki, aytilgan sohalar chegarasida to'lqin sinar ekan (60- a rasm).

Sterjen yordamida singan to'lqin frontini belgilab olamiz, buning uchun sterjenni to'lqin vannasi qirg'og'iga shunday qo'yamizki, sterjen soyasi va to'lqinlarning o'rkachlari o'zaro parallel bo'ladi.



60- rasm.

Agar vibrator chastotasi taxminan ikki marta orttirilsa, singan to'liqlarning o'rkachlari endi sterjenga parallel bo'lmay qoladi (60- rasm). Vibrator tebranishlari chastotasi boshlang'ich qiymatigacha kamaytirilsa, singan to'liqlarning o'rkachlari yana sterjenga parallel bo'lib qoladi.

Tajriba to'liqin tarqaluvchi muhitning sindirish ko'rsatkichi to'liqin manbayining (demak, to'liqinning) tebranishlari chastotasiga bog'liqligini ko'rsatadi:

$$n_{21} = f(v).$$

Ammo $n_{21} = v_1/v_2$ bo'lgani uchun to'liqinlar tarqalishining fazaviy tezligi ham chastotaga bog'liq bo'ladi:

$$v = f(v).$$

To'liqin tarqalishi fazaviy tezligining (muhit sindirish ko'rsatkichining) chastotaga bog'liqligi *dispersiya* deb ataladi.

2. Yorug'lik dispersiyasi. Agar qorong'i xonada qalin shisha plastinka cho'g'lanma lampadan keluvchi yorug'lik dastasi bilan yoritilsa, ko'zimiz qorong'ilikka o'rgangandan so'ng shuni ko'ramizki, shishaning havo bilan chegarasida oq yorug'lik dastasi bir tekis bir - biriga o'tib boruvchi ko'pgina rangli dastalarga ajraladi. Bu hodisa yorug'lik to'liqlarining dispersiyasi yuz berganini ko'rsatadi (lotincha *dispergo* — sochib yubormoq).

Yorug'lik dispersiyasi hodisasini birinchi bo'lib I. Nyuton (1666- y.) o'rgangan. Nyuton derazadagi teshikdan o'tuvchi Quyosh yorug'ligi dastasini qorong'i xonadagi uchwurchakli shisha prizмага yo'naltiradi. Xonaning qarama-qarshi devorida Nyuton ko'p sondagi har xil rangli yo'lchalardan iborat ravshan rangli yo'lni ko'radi, undagi ranglar qizildan zarg'aldoqqa, undan sariqqa va h. k., to binafsharanggacha bir tekis o'tib boradi. Devorda kuzatilgan manzarani Nyuton *spektr* (lotincha *spectrum* — sharpa, arvoh) deb atadi.

Yorug'likning uchburchakli prizmadan o'tishini diqqat bilan kuzatib, shuni ko'rish mumkinki, oq yorug'likning ajralishi yorug'lik havodan shishaga o'tishi bilan oq boshlanadi. Yuqoridagi tajribalarda odatdagi shishadan tayyorlangan plastina va prizmadan foydalanilgan. Shisha o'rniga organik shisha, muz va boshqa shaffof moddalar olinishi ham mumkin edi. Moddaning sindirish ko'rsatkichi qancha katta bo'lsa, yorug'lik dispersiyasi shuncha yaxshi namoyon bo'ladi. Dispersiya hodisasi kuzatiladigan muhit *dispersiyalovchi muhit* deyiladi.

Agar prizmadan chiquvchi har qanday rangli yorug'lik yo'liga yana bitta shisha prizma qo'yilsa, u prizmadan rangini o'zgartirmay, dastalarga ajralmay o'tadi.

3. Dispersiya hodisasi nimani ko'rsatadi? Ma'lumki, oq yorug'lik murakkab tarkibga ega. Ammo bu yangilik emas. Yorug'lik difraksiyasini o'rganishda to'lqinlarning uzunliklari va ularning chastotalari har xil rangli yorug'liklar uchun har xil bo'lishi aniqlangan. Dispersiya hodisasi oq yorug'lik tarkibiga kiruvchi to'lqinlarning shishadagi fazaviy tezliklari har xilligini ko'rsatadi. Haqiqatdan ham, to'g'ridan-to'g'ri tajribadan sindirish ko'rsatkichlari uchun quyidagi tengsizliklarning o'rinli bo'lishi kelib chiqadi:

$$n_q < n_z < n_s < n_{ya} < n_h < n_k < n_b.$$

Ammo sindirish ko'rsatkichi yorug'likning havodagi fazaviy tezligi bilan shishadagi tezligining nisbatiga teng. Shuning uchun har xil rangli yorug'lik dastalarining sindirish ko'rsatkichlarini ularning fazaviy tezliklari orqali ifodalash mumkin:

$$n_q = \frac{c}{v_q}, \quad n_z = \frac{c}{v_z}, \quad n_s = \frac{c}{v_s}, \quad \dots, \quad n_b = \frac{c}{v_b}.$$

Sindirish ko'rsatkichlarining topilgan qiymatlarini oldingi tengsizliklarga qo'yib,

$$\frac{c}{v_q} < \frac{c}{v_z} < \frac{c}{v_s} < \dots < \frac{c}{v_b}$$

yoki

$$v_q < v_z < v_s < \dots < v_b$$

tengsizliklarni topamiz.

Shunday qilib, *dispersiya hodisasidan shu narsa ma'lum bo'ldiki, oq yorug'lik tarkibiga kiruvchi to'lqinlar moddada har xil*

tezlik bilan tarqaladi: eng katta tezlik bilan biz qizil yorug'lik sifatida qabul qiladigan to'liqlar tarqaladi, eng kichik tezlik bilan biz binafsharang yorug'lik sifatida qabul qiladigan to'liqlar tarqaladi. Ammo yorug'likning rangi uning to'liq uzunligiga, demak, chastotasiga ham bog'liq bo'ladi. Binobarin, yorug'lik to'liqlarining fazaviy tezligi ularning chastotasiga bog'liq ekan.

Dispersiya to'g'risida aytilgan fikrlarni birlashtirib, uni quyidagicha ta'riflash mumkin: **to'liqlarning muhitdagi fazaviy tezligining chastotaga bog'liqligi dispersiya deyiladi.**

To'liqlar fazaviy tezligining ular chastotasiga bog'liqligi shu narsaga olib keladiki, dispersiyalovchi muhit chegarasida oq yorug'lik uni tashkil etuvchi to'liqlarga ajraladi.

4. Yorug'likning vakuumdagi tezligi chastotaga bog'liqmi? Aytaylik, vakuumda bizdan juda olis joylashgan kuchli yorug'lik manbai noshaffof parda bilan davriy ravishda ochilsin va yopilsin. Agar barcha yorug'lik to'liqlari, chastotalarining har xil bo'lishiga qaramasdan, vakuumda bir xil tezlik bilan tarqalsa, biz olisdagi yorug'lik manbayining o'chib-yonishini, ammo uning rangi o'zgarishini ko'rishimiz kerak. Agar har xil chastotali to'liqlar vakuumda har xil tezlik bilan tarqalsa, manbaning rangi o'zgarishi kerak.

Buni batafsilroq ko'rib chiqaylik. Aytaylik, vakuumda eng katta tezlik bilan qizil yorug'lik to'liqlari, eng kichik tezlik bilan binafsharang yorug'lik to'liqlari tarqalsin. U holda parda yorug'lik manbayini ochganda bizga eng oldin qizil yorug'lik to'liqlari yetib keladi va biz manbani qizil rangda ko'ramiz. Keyinchalik ko'zimizga boshqa chastotalardagi to'liqlarning yetib kelishiga qarab, manbalarning rangi o'zgaradi va, nihoyat, o'zining haqiqiy rangi qanday bo'lsa, shunday rangda ko'rinadi. Agar parda yorug'lik manbayini to'ssa, bizga eng avval qizil yorug'lik to'liqlari, eng oxirida binafsharang yorug'lik to'liqlari kelmay qo'yadi. Natijada, manbaning rangi haqiqiysidan binafsharanggacha o'zgaradi, bundan keyin esa manba butunlay ko'rinmay qoladi.

To'liqlarning tarqalish tezliklari farqi uncha katta bo'lmaganda, yuqorida bayon etilgan effekt, agar u o'rinli bo'lsa, faqat manba bilan kuzatuvchi orasidagi masofa juda katta bo'lgandagina ko'rinadi. Shuning uchun yuqorida aytilgan tajribani laboratoriya sharoitida amalga oshirib bo'lmaydi, chunki barcha yer masofalari uning uchun kichiklik qiladi. Ammo ko'zlangan maqsad uchun qo'shaloq yulduzlarni astronomik kuzatishdan foydalanish

mumkin. Qo'shaloq yulduz — bu umumiy massalar markazi atrofida aylanuvchi ikkita yulduzdir. Ularning har bini davriy ravishda kuzatuvchidan ikkinchisining yorug'ligini to'sadi, binobarin, yuqorida aytilgan fikrlar to'g'ri bo'lsa, ularning rangi o'zgarishi kerak. Ammo teleskop orqali kuzatilganda bu yulduzlar rangining o'zgarishi sezilmaydi. Agar yorug'likning vakuumdagi tezligi chastotaga bog'liq bo'lganda edi, yulduz tutilishdan chiqqandan keyin uning rangi o'zgarishi kerak edi. Binobarin, *yorug'likning vakuumdagi fazaviy tezligi tebranishlar chastotasiga bog'liq emas.*

- ?
1. Yorug'lik dispersiyasini qanday kuzatish mumkin?
 2. Nyutonning uchburchakli shisha prizma yordamida o'tkazilgan tajribasi nimani ko'rsatadi?
 3. Dispersiyalovchi muhit deb qanday muhitga aytiladi?
 4. Vakuumdan o'tishda dispersiya hodisasi kuzatiladimi?

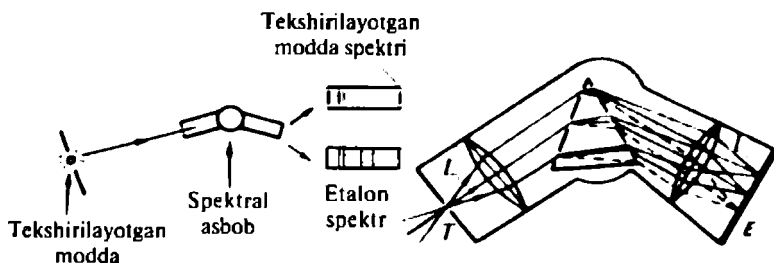
14 - §. Spektral analiz

Dispersiya hodisasidan fan va texnikada moddalarning tarkibini aniqlashda foydalaniladi. Bu usul *spektral analiz* deb nomlangan. Uning asosida moddadan nurlanuvchi yoki unga yutiluvchi yorug'likni o'rganish yotadi.

1. Spektr analizni o'tkazish sxemasi. Spektral analiz quyidagi sxema bo'yicha amalga oshiriladi (61- a rasm):

a) tarkibi aniqlanishi zarur bo'lgan modda yorug'lik chiqaradigan holatga keltiriladi. Buning uchun, odatda, qattiq holatda bo'ladigan modda qattiq qizdirish (masalan, gorelka alangasi yoki elektr yoyida) yo'li bilan gazsimon holatga keltiriladi va undan elektr toki o'tkaziladi;

b) gaz atomlaridan chiquvchi yorug'lik spektral asbob (spektroskop yoki spektrograf) ga yo'naltiriladi;



61- rasm.

d) olingan spektrni etalon bilan solishtirib, tekshiruvchi moddaning tarkibi aniqlanadi.

2. Spektral asbobning tuzilishi:

61 - b rasmda spektroskopning tuzilish sxemasi keltirilgan, unda yorug'likni spektrga ajratish uchun prizmadan foydalaniladi. Bu maqsadda difraksion panjaradan ham foydalanish mumkin.

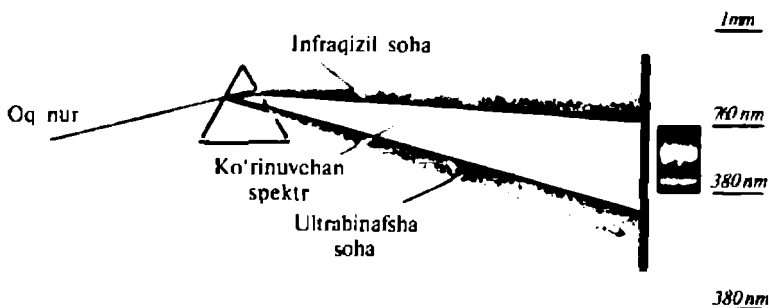
Yorug'lik manbai tomonidan yoritiluvchi T tor tirqish L_1 linza fokusiga joylashgan (61- b rasm). Linzadan o'tgan yorug'lik prizma yoki panjaragacha parallel dasta tarzida tarqaladi. Prizma yoki panjarada yagona yorug'lik dastasi bir nechta parallel rangli dastalarga ajraladi (61- rasmda ana shunday dastalardan faqat uchta ko'rsatilgan). L_2 linza o'zining fokal tekisligida T tirqishning rangli tasvirini (spektrini) hosil qiladi.

Spektral asbobning tipiga qarab, bu tasvirni ekranda ko'rish (spektroskop) yoki fotosuratini olish (spektrograf) mumkin.

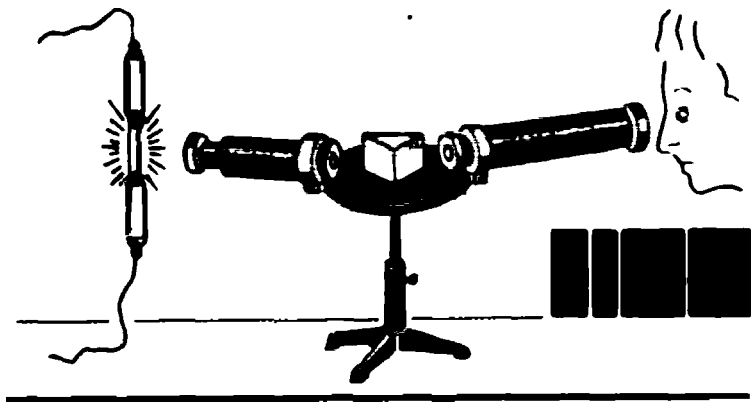
3. Qizdirilgan jismlardan chiquvchi yorug'lik spektri.

Spektroskop tirqishi qarshisiga cho'g'lanma lampani qo'yamiz va undan nurlanuvchi yorug'likni tekshiramiz. Tok kuchi kichik bo'lganda lampa tolasi qizil rangda bo'ladi. Bu momentda undan nurlanuvchi yorug'likning spektri qizil rangli yo'ldan iborat bo'ladi. Tok kuchini asta - sekin orttira borib, shuni ko'ramizki, spektrda avval zarg'aldoq, keyin sariq, yashil, havorang, ko'k va oxiri binafsharangli qismlar paydo bo'ladi.

Maxsus obyektivlar yordamida spektrning fotosurati olinganda fotoplyonkalarda qizil yorug'lik sohasidan oldin va binafsharang yorug'lik sohasidan keyin spektrning, mos holda, *infraqizil* va *ultrabinafsha sohalari* deb nomlangan ko'zga ko'rinmas sohalari namoyon bo'ladi (62 - rasm).



62- rasm.



63- rasm.

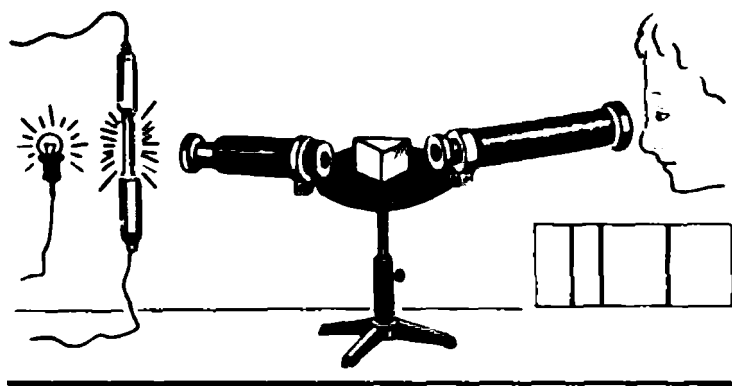
Spektrning ko'zga ko'rinmaydigan bu sohalarini tekshirish shuni ko'rsatadiki, ultrabinafsha sohaga 1 nm dan 380 nm gacha diapazondagi, infraqizil sohaga — 760 nm dan 1 mm gacha diapazondagi to'liq uzunliklari mos keladi.

Spektrning ko'zga ko'rinadigan qismiga 380 dan 760 nm gacha bo'lgan to'liq uzunliklar diapazoni mos kelishini e'tiborga olib, kuchli qizdirilgan jismlardan to'liq uzunliklari 1 nm dan 1 mm gacha bo'lgan yorug'lik nurlanadi, degan xulosaga kelimiz. Muhimi shundaki, bu nurlanishning aytilgan intervaldagi spektri tutash bo'ladi.

Qizdirilgan qattiq jismlardan nurlanuvchi yorug'likning spektral tarkibi faqat jismlar temperaturasiga bog'liq, moddaga esa bog'liq emas.

4. Gazsimon holatdagi moddalarning spektri. Qorong'ilatilgan xonada spektroskop tirqishi qarshisiga past bosimdagi vodorod to'ldirilgan trubkani joylashtiramiz (63- rasm). Trubka yuqori kuchlanish manbayiga ulansa, elektr razryad boshlanadi va u qizil yorug'lik chiqaradi. Bu yorug'likning spektri qorong'i fondagi bir nechta rangli chiziqlardan iborat bo'ladi. Bunday spektr — *chiziqli chiqarish spektri* deb nomlangan.

5. Yutilish spektrlari. Qorong'ilatilmagan xonada spektroskop tirqishi qarshisiga vodorod bilan to'ldirilgan nurlanuvchi trubkani qo'yamiz (64 - rasm), uncha ravshan bo'lmagan uzluksiz chiqarish spektrining qizil qismida bir nechta qorong'i chiziqlar ko'rinadi. Bunday spektrlar *chiziqli yutilish spektrlari* deb yuritiladi, qorong'i chiziqlarning o'zi esa *yutilish chiziqlari* nomini olgan.



64- rasm.

Yorug'lik gazsimon holatdagi moddalardan chiqarilgan yoki ularga yutilganda chiziqli spektrlar hosil bo'ladi. Berilgan temperaturada moddaning yutilish spektridagi qorong'i chiziqlarning holati, ana shu moddaning o'shanday temperaturadagi chiqarish spektrida kuzatilgan ravshan chiziqlarning holatiga aniq mos keladi.

Boshqacha aytganda, gazsimon holatdagi modda berilgan temperaturada qanday chastotali to'lqinlarni chiqarsa, shunday chastotali to'lqinlarni yutadi.

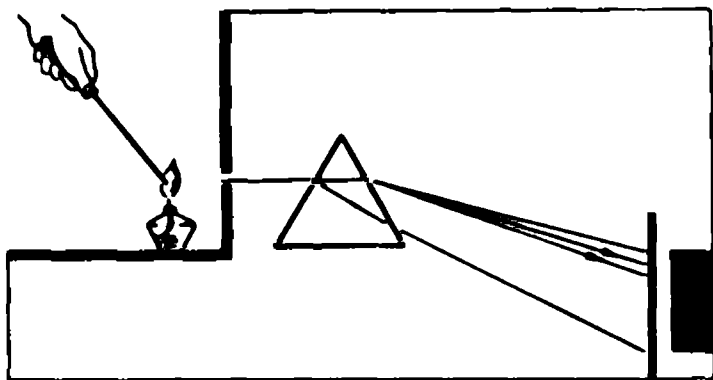
- ?
1. Spektroskopning sxemasini chizing va uning ishlash prinsipini tushuntiring.
 2. Tutash va chiziqli spektrlarni qanday qilib olish mumkin?

15- §. Spektral analizning asosiy usullari va afzalliklari

Spektral analiz moddalarning atom va molekular tarkibini aniqlash imkonini beradi. Uning amalda eng ko'p uchraydigan asosiy usullarini qarab chiqamiz.

1. Emission usul. Agar qorong'ilatilgan xonada spektroskop tirqishi qarshisiga yonuvchi spirtovkani qo'ysak, uncha ravshan bo'lmagan tutash spektrni ko'ramiz. Bu tutash spektrni beruvchi yorug'lik manbai — alangadagi qizigan qattiq zarralar bo'ladi.

Spirt lampasi alangasiga osh tuzi (NaCl) ning kichik bo'lakchasini kiritsak, alanga ravshan sariq rangga bo'yaladi, uning spektrida esa spektrning sariq qismida joylashgan ikkita sariq chiziq



65- rasm.

paydo bo'лади (65 - rasm). Spirt lampa alangasiga osh tuzining o'rniga glauber tuzi (Na_2SO_4), natriy yod (NaJ), natriy sulfid (Na_2S) yoki natriy karbonat (Na_2CO_3) tuzlarining zarralari kiritilganda ham ana shunday narsa kuzatiladi. Natriyning har qanday tuzi spirt lampasi alangasini sariq rangga bo'yaydi va spektrning sariq qismida bir-biriga yaqin joylashgan ikkita sariq chiziq hosil qiladi. Boshqacha aytganda, natriyning o'ziga xos xususiyati shundaki, uning qizdirilgan bug'i spektrining sariq qismida hamma vaqt ikkita yorqin chiziq paydo bo'лади.

Agar shisha trubkadagi natriy bug'idan elektr toki o'tkazilsa, bug' sariq rangda ko'rinadi. Bu nurlanishning spektrida ham ikkita sariq chiziq ishtirok etadi.

Nemis olimlari G. Kirxgof va R. Bunzenlar 1860-yili metallarning spektrini o'rganish jarayonida har bir metall gazsimon holatida o'ziga xos chiziqli spektrga ega bo'lishini aniqlashdi. Gorelka alangasiga biror metallning har qanday tuzining kiritilishi hamma vaqt bir xil chiziqli chiqarish spektri paydo bo'lishiga olib keladi.

Har xil elementlarning spektrlaridagi ayrim chiziqlar tasodifan ustma-ust tushib qolishi mumkin, ammo har bir metallning spektri to'lig'icha uning doimiy va juda aniq individual xarakteristikasi bo'лади.

Shu bilan birga, alangaga har xil metallar tuzlarining aralashmasi kiritilganda spektrda ana shu metallar uchun xarakterli bo'lgan barcha chiziqlar bir vaqtda paydo bo'лади.

Spektral chiziqlarning ravshanligi berilgan moddalar aralashmasidagi elementning konsentratsiyasiga bog'liq: elementning konsentratsiyasi qancha katta bo'lsa, unga tegishli spektral chiziqlarning ravshanligi shuncha yuqori bo'ladi.

Moddalarning kimyoviy tarkibini aniqlashning yangi usuli — spektral analiz ana shunday kashf qilingan edi.

Tekshiriluvchi namunaning spektrida yangi chiziqlarning topilishi namunada noma'lum elementlar aralashmasi borligini bildiradi. Spektral analiz yordamida, avvalo, rubidiy va seziiy, keyinchalik esa talliy, galliy elementlari kashf etilgan. Bu usul bilan hammasi bo'lib 24 ta kimyoviy element topilgan.

2. Absorbsion¹ usul. Fraungofer chiziqlari. Agar yaxshi spektroskop yordamida hosil qilingan quyosh yorug'ligi spektri fotosuratga olinsa, unda yutilish chiziqlari aniq ko'rinadi. Bu chiziqlarni birinchi bo'lib nemis fizigi Y. Fraungofer izohlagan edi, shuning uchun ular *Fraungofer chiziqlari* nomini olgan.

Bu chiziqlarning paydo bo'lishi quyosh yorug'ligining Quyosh atmosferasidan va qisman Yer atmosferasidan o'tishi bilan bog'liq. Shunday qilib, quyosh yorug'ligining spektri — *yutilish spektridir*.

Fraungofer chiziqlarini har xil elementlarning chiqarish chiziqlari bilan solishtirib, Quyosh atmosferasi tarkibiga qanday elementlar kirishini aniqlash mumkin. Xususan, geliy elementi ilk bor ana shu usul bilan Quyosh atmosferasida topilgan edi. Keyinchalik geliy Yerdada ham topilgan.

Yutilish spektrlari bo'yicha spektral analiz moddalarning kimyoviy tarkibini aniqlashda foydalaniladi. Absorbsion (yutilish)spektral analizni o'tkazish uchun tekshiriluvchi modda alangada yoqiladi va undan chiquvchi yorug'lik spektroskop yoki spektrografga yo'naltiriladi. Bir vaqtda alangadan etalon spektral trubkadan chiquvchi yorug'lik ham o'tkaziladi. Agar spektrda yutilish chiziqlari paydo bo'lsa, bu — tekshiriluvchi moddada spektral trubkaga qamalgan elementlarning borligidan dalolat beradi.

3. Spektral analizning afzalliklari. Spektral analiz kimyoviy analizga qaraganda quyidagi ustunliklarga ega: yuqori sezgirlik, tezlik, aniqlashning oddiyligi va analizni o'tkazish uchun zarur bo'lgan modda massasining kichikligi.

Spektral analizning sezgirligi juda yuqori: uning yordamida moddadagi aralashmasi bir foizning milliondan bir ulushini tashkil etuvchi elementni aniqlash mumkin. Qulay sharoitlarda massasi 10^{-6} g bo'lgan namunadagi moddani aniqlash mumkin bo'ladi.

¹ Absorbsiya — yutilish demakdir.

Spektral analizning tezligi kimyoviy analiz tezligidan sezilarli katta. Shuning uchun spektral analiz ekspress-analiz sifatida metallurgiya va kriminalistikada keng qo'llaniladi. Spektral analiz o'tkazish uchun bir necha o'n mikrogramm moddani bo'lishi yetarli. Spektral analizning muhim afzalligi yana shundaki, uni tekshiriluvchi modda bilan bevosita kontaktlashmasdan o'tkazish mumkin: spektral analiz o'tkazish uchun tekshiriluvchi modda tomonidan chiqariluvchi yoki yutiluvchi yorug'likni tahlil qilish yetarli bo'ladi.

4. Eksperimental topshiriq. Cho'g'lanma lampa tolasining temperaturasini o'zgartirib, undan nurlanuvchi yorug'lik spektrini kuzating.

Kerakli asbob-uskunalar: 1) spektroskop; 2) qalpoqchali kichik kuchlanishga mo'ljallangan lampochka, 3) EYK 4V bo'lgan tok manbai; 4) reostat; 5) kalit; 6) ulovchi simlar.

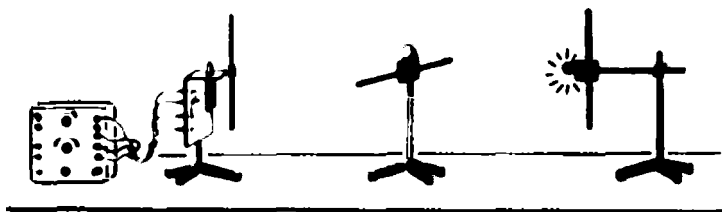
Topshiriqni bajarish tartibi

1. Elektr lampani spektroskop kollimatori tirqishining qarshisiga o'rnatib.
2. Kichik kuchlanishga mo'ljallangan lampochkani reostat orqali tok manbayiga ulang.
3. Reostatni to'liq ulab, kalitni berkiting.
4. Zanjirdagi tok kuchini sekin-asta kuchaytirib, lampochkadan nurlanuvchi yorug'likning spektroskopdagi spektrini kuzating.
5. Daftaringizga kuzatish natijalarini yozib qo'ying.

- ?
1. Spektral analiz o'tkazuvchi qurilmaning sxemasini chizing:
a) emission usul uchun; b) absorbsion usul uchun.
 2. Spektral analizning kimyoviy analizdan asosiy ustunliklarini nomma-nom aytib bering.

16- §. To'lqinlarning qutblanishi

1. To'lqinlarning qutblanish hodisasi. Biz hozirgacha tebranishlar qaysi tekislikda yuz berishi bilan qiziqmadik, vaho-lanki, qator hodisalarda bu muhim rol o'ynaydi. Buni tajriba asosida isbotlaymiz. 66- rasmda tasvirlangan qurilmani yig'amiz. Generatorni ulab, qabul qiluvchi antennaga ulangan lampaning ravshan yoritishini ko'ramiz. Ammo antenna 90° ga burilsa, lampa yoritmay qo'yadi. Nega bunday bo'ladi? Buni tushunish uchun uzatuvchi antennadagi zaryadlarning tebranishlari antenna bo'ylab yuz



66- rasm.

berishini eslaymiz. Shu bois nurlanuvchi elektromagnit to'liqindagi elektr maydon kuchlanganlik vektori antenna tekisligida yotadi, magnit maydon induksiya vektori esa perpendikular tekislikda yotadi.

Elektromagnit kuchlanganlik vektori va uning tarqalish yo'nalishi orqali o'tuvchi tekislik qutblanish tekisligi deyiladi.

Yuqorida bayon etilgan tajribada antennadan nurlanuvchi elektromagnit to'liqlar vertikal tekislikda qutblangan. Agar nurlantiruvchi antenna gorizont qo'yilsa, undan nurlanuvchi to'liqlarning qutblanish tekisligi ham gorizont bo'ladi. Agar uzatuvchi antennani gorizontga α burchak ostida qo'yilsa, undan nurlanuvchi to'liqlar gorizontga α burchak ostida qiyalangan tekislikda qutblanadi.

Tarqalish jarayonida B va E vektorlari fazodagi o'z oriyentatsiyasini saqlaydigan elektromagnit to'liqin *yassi qutblangan to'liqin* deyiladi.

Qabul qiluvchi antennadagi majburiy elektr tebranishlar erkin elektronlarga elektr maydonning ta'siri tufayli yuzaga kelganligi sababli, elektromagnit to'liqlarni qabul qilish uchun qabul qiluvchi antennani uzatuvchi antennaga parallel ravishda o'rnatish zarur. Yuqorida bayon etilgan tajriba ham ana shuni tasdiqlaydi. To'liqlarning xossalarini o'rganar ekanmiz, biz ko'pgina tajribalarni qo'yish uchun to'liqin uzunligi 3 sm bo'lgan yuqori chastotali elektromagnit to'liqlar generatoridan foydalandik. Generatorning ruperli antenasidan nurlanuvchi elektromagnit to'liqlar qaysi tekislikda qutblanganligini aniqlaylik. Buning uchun generatorning ruperli antenasi qarshisiga qo'shimcha qabul qiluvchi antennani shunday qo'yamizki, undagi dipolning o'tkazgichlari vertikal joylashadi (67- rasm). Generator va priyomnikni ulab, kuchaytirgichning chiqish klemmalariga ulangan voltmeter strelkasining og'ishini ko'ramiz.



67- rasm.

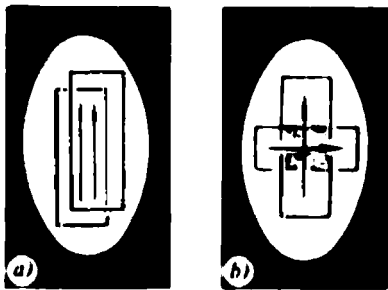
Qabul qiluvchi antennani gorizontaal o'q atrofida sekin aylantirib, voltmetr strelkasining og'ishi tobora kamayib borishini ko'ramiz. Qabul qiluvchi dipolning sterjenlari gorizontaal holatni egallaganda voltmetrning strelkasi shkalaning nolnchi bo'limida bo'ladi. Tajriba generatorning ruporli antennisidan nurlanuvchi to'lqinlar vertikal tekislikda qutblanganligini ko'rsatadi.

Yuqorida aytilganlardan to'lqinlarning qutblanishi haqidagi fikrlar faqat ko'ndalang to'lqinlarga tegishli ekanligi ma'lum bo'ladi. Bo'ylama to'lqinlar qutblangan bo'lishi mumkin emas, chunki ulardagi tebranishlar tekislikda emas, balki to'lqin tarqaluvchi nur bo'ylab yuz beradi. Qutblanishning bor yoki yo'qligiga qarab, to'lqinning ko'ndalang yoki bo'ylama ekanligi haqida hukm chiqariladi.

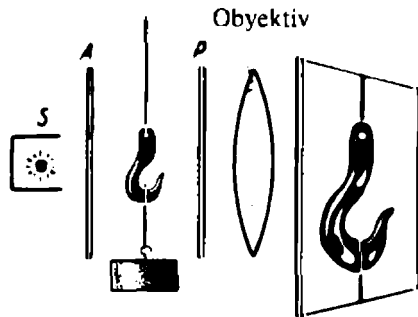
2. Yorug'likning qutblanishini topish. Yorug'lik to'lqinlarining ko'ndalangligi. Turmalin kristalidan ma'lum tarzda kesilgan ikkita plastinkani bir-birining orqasiga qo'yamiz va ularning tasvirini ekranga tushiramiz. Kristallardan birini o'q atrofida aylantirib, ekranning kristallar tasvirlari kesishgan joydagi yoritilganligi o'zgarishini va aylantiriluvchi kristalning aniq bir holatida ekran butunlay qorong'i bo'lib qolishini ko'ramiz (68- rasm).

Bu natijani quyidagicha tushuntirish mumkin. Cho'g'lanma lampadan chiquvchi yorug'lik qutblanmagan. Turmalin kristalining birinchisidan o'tishida u yassi qutblangan bo'lib qoladi. Bu turmalin kristali *polyarizator* (qutblovchi) bo'ladi. Turmalinning ikkinchi kristali *analizator* vazifasini o'taydi: u qutblanish tekisligiga nisbatan aniq bir oriyentatsiyada bo'lganda o'zidan qutblangan yorug'likni deyarli to'liq o'tkazadi (68- a rasm). Agar analizator 90° ga burilsa, u qutblangan yorug'likni amalda o'tkazmay qo'yadi (68- b rasm).

Turmalindan tashqari, kristalldan ma'lum bir tarzda kesib tayyorlangan kvarz plastinkalar ham ana shunday xususiyatlarga ega bo'ladi. Polyarizator va analizator vazifasini bajara oluvchi shaffof pardalar *polyaroidlar* deb nomlangan.



68- rasm.



69- rasm.

Biz bildikki, qutblanish faqat ko'ndalang to'lqinlarga xos xususiyat. Agar to'lqinlar qutblansa, ular ko'ndalang to'lqinlar bo'ladi. Yorug'likning qutblanish hodisasi yorug'lik to'lqinlarining ko'ndalang to'lqinlar ekanligidan dalolat beradi.

3. Qutblangan yorug'likning qo'llanishlari. Qutblangan yorug'lik ilmiy tekshirishlarda va texnikada keng qo'llaniladi. Qutblangan yorug'likning ayrim o'ziga xos qo'llanishlarini qarab chiqamiz.

Ko'p hollarda u yoki bu obyektning yoritilganligini bir tekis o'zgartirishga to'g'ri keladi. Yorug'lik manbai qarshisiga polarizator va analizatorni qo'yib, analizatorni sekin aylantirish bilan obyektning yoritilganligini maksimaldan to'liq qorong'ilikkacha bir tekis o'zgartirish mumkin.

Polyaroidlardan turli rasmlarni, shisha va chinni buyumlarni fotosuratga olishda ulardan qaytgan shu'lalarni so'ndirishda ham foydalaniladi. Qaytgan yorug'lik qisman qutblangan. Keraksiz yorug'lik shu'lalarini yo'qotish uchun fotoobyektivga qutblovchi filtr kiygiziladi.

Qurilish va mashinasozlik texnikasida qutblanish hodisasi inshoot va mashinalarning ayrim uzellarida yuzaga keluvchi kuchlanishlarni o'rganishda foydalaniladi. *Fotoelastik usul* deb nomlangan bu usulning tub mohiyati quyidagicha. Shaffof material (masalan, organik shisha) dan kuchlanishi tekshiriluvchi detalning aniq yassi nusxasi tayyorlanadi. So'ngra bu model *A* analizator bilan *P* polarizator orasiga qo'yiladi, yoritiladi va ekranga tasviri tushiriladi (69- rasm). Organik shishaning deformatsiyalanmagan plastinkasi optik jihatdan bir jinsli bo'lgani sababli, ekranda faqat uning konturlari ko'rinadi. Model deformatsiyalanganda organik shishaning bir jinsliliigi buziladi va ekranda detalning turli qismlarida yuzaga keluvchi kuchlanishlarning rangli rasmi paydo bo'ladi.

Qutblanishdan dekorativ maqsadlarda (masalan, vitrinalar qurishda, teatr sahnalarida va h. k.), geologiyada va fan-texnikaning boshqa qator sohalarida foydalaniladi.

- ?
1. Yorug'likning qutblanishini qanday payqash mumkin?
 2. Yorug'likning qutblanish hodisasi nimadan dalolat beradi?
 3. Yorug'lik qutblanish hodisasining fan va texnikadagi asosiy qo'llanishlarini aytib bering.
 4. Qanday tekislik elektromagnit to'lqinlarning qutblanish tekisligi bo'ladi?
 5. Ikkita bir-biriga yaqin joylashgan shaharlardagi televizion peredatchiklar bir xil chastota bilan ishlaydi. Bu stansiyalarning eshittirishlarini qabul qilishda ularning bir-biriga xalaqit berishidan qanday qilib qutulish mumkin?

1- MASHQ

1. Suv to'lqin uzunligi 700 nm bo'lgan yorug'lik bilan yoritiladi. Bu yorug'likning suvdagi to'lqin uzunligi qanday?
2. Yorug'lik shisha — havo chegarasidan qaytadi. Qaytishda to'lqin fazasi o'zgaradimi?
3. Yorug'lik havodan shishaga o'tadi. Bunda uning chastotasi va to'lqin uzunligi o'zgaradimi?
4. To'lqin uzunligi 440 nm bo'lgan yorug'lik shishadan vakuumga o'tadi. Absolut sindirish ko'rsatkichi 1,5 ga teng. Bunda to'lqin uzunligi o'zgaradimi? Agar o'zgarsa, u qanday o'zgaradi?
5. Suvning sindirish ko'rsatkichi 1,33, undagi yorug'lik tezligini aniqlang.
6. Quvvati P ga teng bo'lgan elektromagnit to'lqinlar generatoriga, uchida P quvvatli lampasi bo'lgan uzun liniya ulangan. Lampaning tolasi ravshan shu' lalanadi. Elektromagnit to'lqinlar liniya oxiridan qaytadimi? Javobingizni asoslang.
7. Ikkita kogerent yorug'lik manbayi o'z'lari yoritayotgan ekranga parallel bo'lgan tekislikka joylashtirilgan. Har ikkala manbadan teng masofada yotuvchi nuqtada yoritilganlik maksimum bo'ladimi yoki minimum?
8. Doimiysi 0,01 mm bo'lgan difraksion panjaradan 3 m masofada yotuvchi ekranda olingan birinchi tartibli spektrning kengligini aniqlang.
9. Doimiysi 10^{-3} sm bo'lgan difraksion panjaraga perpendikular ravishda monoxromatik to'lqin tushadi. Agar markaziy va birinchi yong'i yorug' yo'l orasidagi burchak α ga teng bo'lsa, tushuvchi to'lqin uzunligini hisoblang.

I BOBNING ASOSIY MAZMUNI

1. Barcha to'liqlar (ularning tabiatidan qat'iy nazar) to'siqqa uchraganda, unga bosim beradi va demak, ular impulsiga ega:

$$p = \frac{W}{c},$$

$$p = \frac{W}{v}.$$

2. To'liqin bir muhitdan ikkinchisiga o'tganda ularning chegarasida bir vaqtda to'liqlarning qaytishi va sinishi yuz beradi. Bunda quyidagi qonuniyatlar o'rinli:

a) to'liqinning tushish, qaytish va sinish burchaklari bir tekislikda yotadi;

b) to'liqinning tushish burchagi qaytish burchagiga teng;

d) to'liqinning tushish burchagi sinusining sinish burchagi sinusiga nisbati berilgan ikki muhit uchun doimiy kattalik bo'ladi va ikkinchi muhitning birinчисiga nisbatan sindirish ko'rsatkichi, deb yuritiladi.

3. Ikkinchi muhitning birinчисiga nisbatan sindirish ko'rsatkichi, to'liqinning birinchi muhitdagi fazaviy tezligi bilan ikkinchi muhitdagi fazaviy tezligining nisbatiga teng:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}.$$

4. To'liqinning muhitdagi fazaviy tezligi to'liqlar manbayining tebranishlari chastotasiga bog'liq (dispersiya hodisasi).

5. Muhitning ma'lum bir hajmida bir nechta to'liqlarning tarqalishi superpozitsiya prinsipiga bo'ysunadi.

6. Fazoda bir nechta kogerent to'liqlar tarqalganda interferensiya hodisasi kuzatiladi, bunda fazalar farqiga bog'liq holda tebranishlarning o'zaro kuchayishi yoki o'zaro susayishi yuz beradi. Interferensiya natijasida stasionar interferensiyon manzara hosil bo'ladi, uning uchun tebranish amplitudasi va fazasining vaqt o'tishi bilan o'zgarmasligi xarakterlidir.

7. To'liqin to'siq yaqinidan o'tganda u to'siq qirg'oqlarini aylanib o'tadi. Bu hodisa to'liqlar difraksiyasi deyiladi. Difraksiya — har qanday tabiatli to'liqlarga xos umumiy xususiyatdir. To'siqning o'lchamlari to'liqin uzunligi tartibida yoki undan biroz katta bo'lganda difraksiya yaqqol namoyon bo'ladi.

8. Ko'ndalang to'liqlar qutblangan bo'lishi mumkin. Bo'y-lama to'liqlar qutblanmaydi.

9. Yorug'lik elektromagnit tabiatga ega. U elektromagnit to'liqlarning barcha xususiyatlariga ega: interferensiyalanadi, difraksiyalanadi, qutblanadi, to'siqqa bosim beradi, ikki muhit chegarasida qaytadi va sinadi.

10. Vakuumdagi barcha chastotalardagi yorug'lik to'liqlari bir xil tezlik bilan tarqaladi. To'liqlarning muhitdagi fazaviy tezligi tebranishlar chastotasiga bog'liq (dispersiya hodisasi).

11. Taxminan 1300 K temperaturagacha qizdirilgan jismlar to'liq uzunligi 760 nm dan 1 mm gacha bo'lgan intervalda yotuvchi, tutash spektrga ega bo'lgan yorug'lik nurlantiradi. Jism yanada yuqoriroq temperaturagacha qizdirilganda uning spektrida yanada qisqaroq (1 nm gacha) to'liqlar paydo bo'ladi. Spektrning ko'zga ko'rinadigan qismi 380 nm dan 760 nm gacha bo'lgan intervalda yotadi. Spektrdagi 1 dan 380 nm gacha to'liq uzunlikli qismni ultrabinafsha, 760 nm dan 1 mm gacha to'liq uzunlikli qismni — infraqizil to'liqlar egallaydi.

12. Erkin atomlardan (masalan, gazlardagi elektr razryadida) chiquvchi yorug'lik chiziqli spektrga ega. Har bir kimyoviy element, faqat uning o'ziga xos bo'lgan chiziqli spektrga ega bo'ladi. Har bir elementning chiziqli spektri qat'iy o'zgarmas va bu elementning murakkab modda tarkibiga kirishiga yoki toza holda olinishiga bog'liq emas.

13. Murakkab moddaning spektrida uning tarkibiga kiruvchi elementlar uchun xos bo'lgan chiziqlar, albatta, ishtirok etadi. Spektrdagi spektral chiziqlarning ravshanligi elementning berilgan moddadagi konsentratsiyasiga bog'liq.

II- bob. RADIOALOQANING FIZIK ASOSLARI

To'liq uzunligi millimetrning ulushlaridan boshlab, to bir necha kilometrlargacha bo'lgan elektromagnit to'liqlar zamonaviy fan va texnikada nihoyatda keng qo'llaniladi.

Masalan, millimetr va santimetr diapazonidagi elektromagnit to'liqlar fizikada moddalar tuzilishini o'rganishda qo'llaniladi. Astronomiyada kosmik obyektlardan keluvchi kuchsiz signallarni qabul qilish va qayta ishlash uchun uzunligi millimetrdan detsimetrgacha bo'lgan to'liqlar diapazonida ishlovchi maxsus radioteleskoplar qurilgan. Radioto'liqlardan, ayniqsa, aloqa vositalarida (radioaloqa, televideniye, radioboshqaruv, kos-

mik aloqa va boshqalarda) keng foydalaniladi. Masalan, kosmonavtikada bir necha yuz million kilometr olisdagi kosmik kemalar bilan ishonchli aloqa o'rnatiladi. Radioto'lqinlardan harakatlanuvchi jismlarni ko'rish (payqash) uchun foydalaniladi (radiolokatsiya) va h.k.

Radioto'lqinlardan radioaloqa, televideniye va radiolokatsiyada foydalanishning fizik asoslari bilan tanishamiz.

17- §. Radiouzatishning fizik asoslari

1. Radioaloqa tarixidan. Radioaloqaning ixtiro etilishi tasodif emas. U ko'p sonli tekshirishlar va kashfiyotlar natijasidir. Ingliz fizigi M. Faraday 1831 - yili elektromagnit induksiya hodisasini kashf etdi. Faradey tasavvurlariga asoslangan va ularni rivojlantirgan ingliz fizigi J. K. Maksvell 1865- yili o'zgaruvchan tok oquvchi metall o'tkazgichlar fazoga yorug'lik tezligi bilan tarqaluvchi elektromagnit to'lqinlar nurlantirishi kerak, degan nazariy xulosaga keldi.

Nemis fizigi G. Gers 1888- yili Maksvellning nazariy xulosalari to'g'riligini tajribada tasdiqladi. Ammo fan uchun muhim kashfiyot qilgan Gers, o'zi aniqlagan elektromagnit to'lqinlarning amalda qo'llash mumkinligini rad etadi.

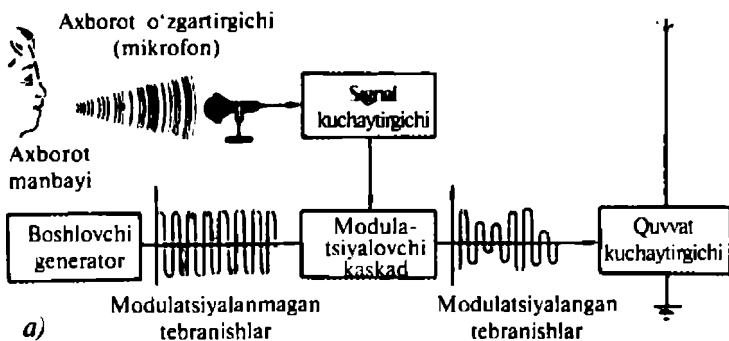
Rus olimi A. S. Popov 1895- yilning aprelida dunyoda birinchi bo'lib radioaloqa qurilmasini yaratdi. A. S. Popovning qurilmasi 1895- yil 7- may kuni ilk bor namoyish etilgan edi, bu kun fan tarixiga radioning tug'ilish kuni sifatida kirdi.

Qabul qilinuvchi ma'lumotlarni yozib olish uchun 1896- yili A. S. Popov o'z radiopriyomnigiga telegraf apparatini birlashtirdi.

Keyinchalik Popov radioaloqa uzoqligini orttirish maqsadida o'z apparatlarini takomillashtirishda davom etdi. U, xususan, aniq bir to'lqin uzunligiga sozlash uchun rezonans hodidasidan foydalandi. 1898- yilning yozida A. S. Popov oralaridagi masofa 5 km bo'lgan ikki kema orasida radioaloqani amalga oshirdi, 1899 - yilning kuzida esa u 35 km masofa oralig'ida ishonchli radioaloqa o'rnatdi.

Kemalar orasidagi radioaloqa bo'yicha tajribalar o'tkazayotgan A. S. Popov 1897- yili radioto'lqinlarning kemalardan qaytishiga qarab, ko'rinish yaxshi bo'lmagan paytlarda ham dushman kemasini payqash mumkinligiga e'tiborni qaratdi. Keyinroq bu hodisa radiolokatsiyaning asosiga qo'yildi.

2. Radiouzatikichning blok-sxemasi. Radiouzatish qurilmasining blok-sxemasi 70- a rasmda keltirilgan. Boshlovchi avto-



70- rasm.

generator doimiy kuchlanish manbai energiyasi hisobiga yuqori chastotali garmonik tebranishlar ishlab chiqaradi. Bu tebranishlar chastotasi *eltuvchi chastota* deyiladi, u qat'iy o'zgaras bo'lishi kerak. Agar eltuvchi chastotali tebranishlarning amplitudasi doimiy bo'lsa, bu tebranishlarda hech qanday ma'lumot bo'lmaydi. Ammo bu tebranishlar ma'lumot tashuvchi sifatida, ya'ni o'ziga xos „transport vositasi“ sifatida foydalanilishi mumkin. Misol uchun, ularni tovush to'lqinlari bilan modulatsiyalash mumkin. Buning uchun tovush tebranishlari mikrofon yordamida elektr tebranishlariga aylantiriladi va kuchaytirilgandan so'ng modulatsiyalovchi kaskadga berilada, bu yerda ular eltuvchi chastotali tebranishlarning parametrlaridan biriga, masalan, tebranishlar amplitudasiga ta'sir etadi. Bu ta'sir tufayli boshlovchi generator ishlab chiqargan tebranishlar amplitudasi bo'yicha modulatsiyalanib qoladi.

So'ngra modulatsiyalangan tebranishlar quvvati bo'yicha kuchaytiriladi va uzatuvchi antennaga beriladi, undan modulatsiyalangan elektromagnit to'lqinlar nurlanadi. Yarim to'lqinli simmetrik vibrator eng oddiy uzatuvchi antenna hisoblanadi. O'rta, qisqa va uzun to'lqinlar bilan ishlashda, odatda, ikkinchi yarmi rolini Yer bajaradigan yarim to'lqinli vibratoridan foydalaniladi (70- rasmga q.).

Detsimetrli va santimetrli to'lqinlar diapazonida ishlaganda parabolik qaytargich qarshisiga o'rnatilgan yarim to'lqinli vibratoridan foydalaniladi (70- b rasm). Parabolik qaytargich nurlanuv-

chi to'liqin energiyasining kerakli yo'nalishdagi yetarlicha tor dastaga to'planishini ta'minlaydi. Ayrim hollarda bu masala ruporli antenalar yordamida hal etiladi.

- ?
1. Birinchi radioeshittirish qachon va kim tomonidan amalga oshirilgan?
 2. 70- rasmdan foydalanib, radiouzatish qurilmasining blok-sxemasini va unda yuz beradigan jarayonlarni tushuntiring.

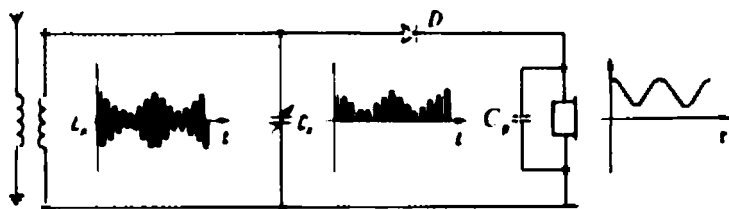
18- §. Radioqabulning fizik asoslari

Radiouzatuvchi stansiyalardan nurlanuvchi elektromagnit to'liqlarni qandaydir yo'l bilan „ushlash“ va ular olib kelgan ma'lumotlarni ajratib olish zarur. Bu maqsadda radiopriyomniklar ishlatiladi. Radiopriyomniklarning turlari juda ko'p bo'lishiga qaramay, ularning ishlash prinsipi bir xildir.

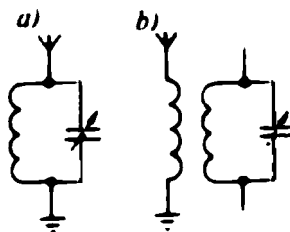
1. Qabul qiluvchi antenna. Signalning radiopriyomnikdagi yurishi elektromagnit to'liqinning qabul qiluvchi antennada „ushlanishidan“ boshlanadi. Bu jarayon shundan iboratki, elektromagnit to'liqinning elektr maydoni antennada majburiy elektr tebranishlarni uyg'otadi. Agar antenna yarim to'liqli vibrato bo'lsa, unda faqat aniq bir chastotali tebranishlarga yuzaga kelishi mumkin. Ular sozlangan antennalar deb yuritiladi. Sozlangan antennalar, xususan, televizion dasturlarni qabul qilish uchun ishlatiladi.

Odatdagi radiopriyomniklar esa turli uzatuvchi radioeshittirish stansiyalaridan keluvchi har xil uzunlikdagi radioto'liqlarni birday yaxshi qabul qilishi kerak. Bunga sozlanmagan antennalardan foydalanish bilan erishiladi. Bu, odatda, Yerdan izolatsiyalangan oddiy o'tkazgich bo'ladi. Bunday antenna bir vaqtda, yomon bo'lsa-da, barcha to'liqlarni qabul qiladi. Ammo radio tinglovchi bir vaqtda bir nechta har xil radioeshittirishlarni qabul qila olmaydi. Shuning uchun antenna qabul qilgan signallardan keraklisi ajratib olinishi kerak. Bu radiopriyomnikning kirish zanjiri — tebranish konturi tomonidan amalga oshiriladi.

2 . Eng oddiy radiopriyomnik. Agar uzatuvchi radiostansiya katta quvvatli elektromagnit to'liqlar nurlantirsa yoki yaqin joylashgan bo'lsa, bu radiostansiyaning signallarini qabul qilish uchun detektorli priyomnikdan foydalanish mumkin (71- rasm). Detektorli priyomnikda antenna tebranish konturi bilan yo bevosita (72- a rasm), yoki induktiv (72- b rasm) bog'lanadi.



71- rasm.

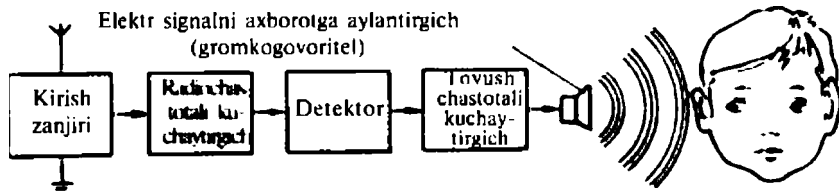


72- rasm.

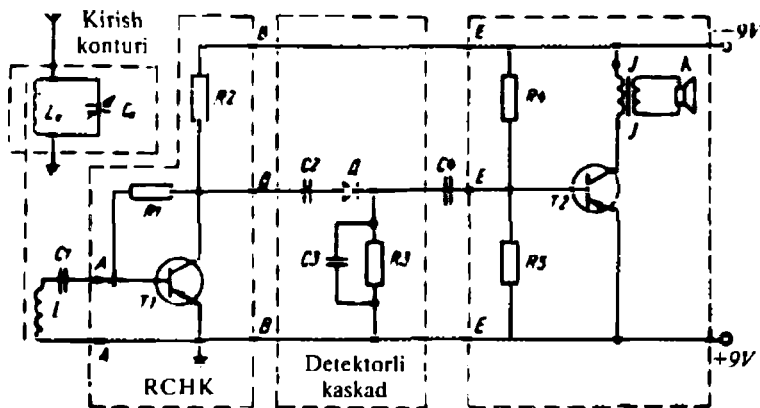
Antenna g'altagida yuz beruvchi har xil chastotali tebranishlar, kontur g'altagida ko'p sondagi har xil chastotali tebranishlarni yuzaga keltiradi. O'zgaruvchi sig'imli kondensator yordamida tebranish konturi antennaga keluvchi to'liqlardan birining chastotasiga sozlanadi. Rezonans hodisasi tufayli konturda

ana shu chastotadagi tebranishlar eng katta amplitudaga ega bo'ladi. Boshqa chastotadagi tebranishlar ahamiyatsiz. Konturda ajratib olingan tebranishlar energiyasi — bu qabul qilingan elektromagnit to'liqlar energiyasidir, u juda kichik. Qabul qilingan yuqori chastotali modulatsiyalangan tebranishlar detektor kaskadiga yuboriladi, eng oddiy holda u detektor (lotincha detecto — „sezuvchi“ yoki „ochuvchi“) deb nomlangan D yarimo'tkazgich dioddan iborat bo'ladi.

Diodning bir tomonlama o'tkazuvchanligi tufayli undan yuqori chastotali pulsatsiyalovchi (tepuvchi) tok o'tadi. Bu tokdagi impulslarning kattaligi vaqt o'tishi bilan modulatsiyalovchi signalga mos holda o'zgaradi. Telefonga parallel ulangan kondensator bu pulsatsiyalarni tekislaydi (undan yuqori chastotali toklar o'tib ketadi) va telefon orqali mikrofondan uzatuvchi stansiyaga berilgan tok shaklidagi past chastotali tok oqadi. Shuning uchun telefon o'xshash tovushlarni qaytadan tiklaydi.



73- rasm.



74- rasm.

Detektorli priyomnikda telefon membranasining tebranishlari priyomnik qabul qilgan elektromagnit to'liqin energiyasi hisobiga yuz beradi, shuning uchun bunday priyomnikning ovozi past bo'ladi: uni faqat bir kishi eshitishi mumkin.

3*. To'g'ri kuchaytirish priyomnigi. Qabul qilingan signalni ko'pchilik eshitishi zarur bo'lgan holda yanada takomillashgan priyomnik kerak bo'ladi. Ulardan biri — blok-sxemasi 73- rasmda keltirilgan to'g'ri kuchaytirish priyomnidir.

Bu priyomnikda qabul qiluvchi konturda ajratib olingan tebranishlar avvalo kuchaytirgichga beriladi, so'ngra (kuchaytirilgandan keyin) detektorlanadi. Detektor kaskadida ajratib olingan past chastotali tebranishlar tovush chastotalari kuchaytirgichi yordamida kuchaytiriladi va radiokarnayga beriladi.

4*. Eksperimental topshiriq. 74- rasmda to'g'ri kuchaytirish priyomnigining prinsipial sxemasi berilgan. Konturning kirish zanjiri, yuqori va past chastotali kuchaytirgichlarning tayyor bloklaridan foydalanib, to'g'ri kuchaytirish priyomnigini yig'ing.

Bu priyomnikda qabul qiluvchi C_k konturda ajratib olingan signal, L_k kontur g'altagi bilan bir o'zakka o'ralgan L aloqa g'altagi va C_1 kondensator orqali T_1 tranzistorning bazasiga beriladi. Emitter — baza $p - n - o'$ tishiga ta'minot batareyasidan so'ndiruvchi R_1 qarshilik orqali manfiy siljish beriladi.

Qabul qilingan signal kuchaytirilgandan so'ng C_1 kondensator orqali D detektorga uzatiladi. Detektorning nagruzkasi R_1 rezistor bo'ladi. C_2 kondensator yuqori chastotali pulsatsiyalarni tekislaydi va R_1 rezistorda past (tovush) chastotali signal ajraladi.

Ajratilgan past chastotali signal C_4 kondensator orqali T_2 tranzistorning bazasiga beriladi va kuchaytirilgandan so'ng radiokarnayga uzatiladi. Emitter — baza $p - n - o'$ tishiga ta'minot batareyasidan $R_4 - R_5$ kuchlanish taqsimlagich orqali manfiy siljish beriladi.

- ?
1. Detektorli priyomnikning sxemasini chizing.
 2. To'g'ri kuchaytirish priyomnigining blok-sxemasi bo'yicha unda yuz beruvchi jarayonlarni tushuntiring.
 3. To'g'ri kuchaytirish priyomnigining sxemasi bo'yicha uning ishlashini tushuntiring.
 4. To'g'ri kuchaytirish priyomnigining sxemasidagi R_1 qarshilik va $R_4 - R_5$ kuchlanish taqsimlagich qanday vazifani bajaradi?

19- §. Televideniyeining fizik asoslari

1. Televideniyeining ixtiro qilinishi tarixidan. Zamonaviy televizorlarning birinchi namunasi Toshkentda ixtiro qilingan. 1928-yilda toshkentlik ixtirochilar B. Grabovskiy va I. Belyanskiylar elektron-nur yordamida harakat qilayotgan tasvirni bir joydan ikkinchi joyga uzatadigan va qabul qiladigan asbobni, ya'ni „radiotelefon“ni yaratishdi. 1928-yil 4 - avgustda bu oddiy televizorni jamoatchilikka ishlatib ko'rsatilgan, lekin bu ixtiroga o'z vaqtida e'tibor berilmagan.

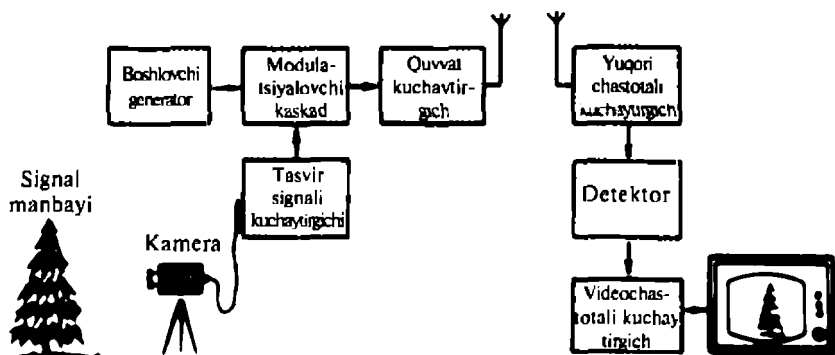
Tasvirlarni televizion uzatish asosida uchta fizik jarayon yotadi:

- 1) optik tasvirlarni elektr signallarga aylantirish;
- 2) aloqa kanallari orqali elektr signallarni uzatish;
- 3) uzatilgan elektr signallarni optik tasvirlarga aylantirish.

Optik tasvirlarni elektr signallarga aylantirishda A. G. Stoletoy tomonidan o'rganilgan fotoeffekt hodisasidan foydalaniladi. Tasvirlarni luminession ekranda qayta tiklash g'oyasi B. L. Rozingga tegishli. Rus injener-ixtirochisi V. K. Zvorikin 30-yillarda birinchi uzatuvchi televizion trubka — ikonoskopni ishlab chiqdi. Tasvirlarni elementlar bo'yicha ketma-ket uzatish g'oyasi bir vaqtda portugaliyalik olim De Payva va rus olimi P. I. Baxmetyevlar tomonidan taklif etilgan.

O'zbekistonda televizion ko'rsatuvlar rasman 1956-yil 5- noyabrdan boshlangan. Ayni paytda eng zamonaviy jihozlar bilan jihozlangan O'zbekiston televideniyesi ko'pgina dasturlar asosida ishlab turibdi.

2. Televizion uzatkichning blok-sxemasi. Tasvirlarni uzoq masofalarga uzatish jarayoni asosiy jihatdan radiotelefoniyaga o'xshaydi. U optik tasvirni elektr signallarga aylantirishdan boshlanadi.



75- rasm.

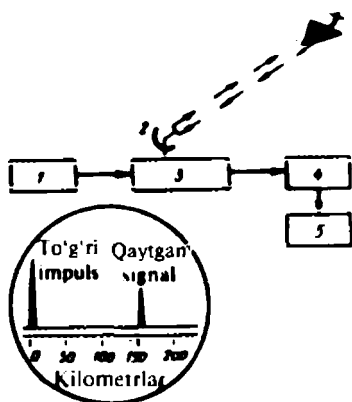
Bu uzatuvchi televidion kamerada amalga oshiriladi (75- rasm). Olingan elektr signal kuchaytirilgandan so'ng eltuvchi yuqori chastotali tebranishlarni modulatsiyalaydi. Modulatsiyalangan tebranishlar kuchaytiriladi va uzatuvchi antennaga beriladi. Antenna atrofida fazoda elektromagnit to'lqin ko'rinishida tarqaladigan o'zgaruvchi elektromagnit maydon hosil qilinadi. Qator sabablarga ko'ra televidion signallarni uzatish uchun faqat metr va detsimetr diapazonidagi juda qisqa elektromagnit to'lqinlargina yaroqli bo'ladi.

Televidion priyomnikda qabul qilib olingan elektromagnit tebranishlar kuchaytiriladi, detektorlanadi, yana kuchaytiriladi va qabul qiluvchi televidion trubkaning boshqaruvchi elektrodiga beriladi, trubka elektr signalni ko'rinadigan tasvirga aylantiradi.

- ?
1. Zamonaviy televizorlarning birinchi namunasi qayerda va qachon ixtiro qilingan? Ixtirochilar kimlar bo'lgan?
 2. Televidion uzatkichning blok-sxemasini chizing va uning ishlashini tushuntiring.
 3. Eng oddiy televidion priyomnikning blok-sxemasini chizing va uning ishlashini tushuntiring.
 4. O'zbekistonda televidion ko'rsatuvlar rasman qachon boshlangan?

20- §. Radiolokatsiya haqida tushuncha

Radioto'lqinlar yordamida turli obyektlarni axtarib topish va ularning o'rini aniqlash *radiolokatsiya* deb yuritiladi. Radiolokatsiya nurlantirilgan obyektlardan radioto'lqinlarning qaytish hodisasiga asoslangan. Obyektning chiziqli o'lchamlari radiolokator ishlaydigan to'lqin uzunligidan katta bo'lgan hollarda radioto'lqinlarning qaytishi kuchli bo'ladi. Shuning uchun radiolokatsion stansiyalar detsimetr, santimetr va hatto millimetrlil to'lqinlar diapazonida ishlaydi.



76- rasm.

Radiolokatsiya flot, aviatsiya va kosmonavtikada keng qo'llaniladi. Radiolokatsion qurilmalar kemalar harakatining, har qanday ob-havo sharoitida va sutkaning har qanday vaqtida, hatto ko'rinish butunlay bo'lmaganda ham, xavfsiz bo'lishini ta'minlaydi. Radiolokatsiya yordamida kemalarning bir-biri bilan va boshqa harakatlanuvchi va qo'zg'almas obyektlar bilan to'qnashuvining oldi olinadi. Radiolokatsion qurilmalarning aerodromlarda qo'llanishi har qanday sharoitda ham samolyotning xavfsiz

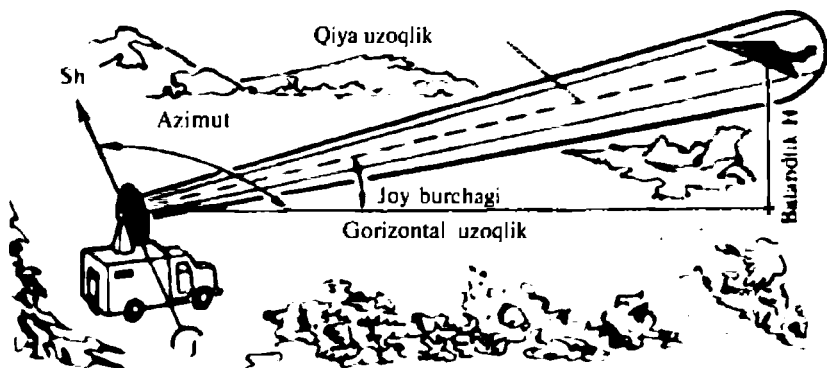
uchishini va qo'nishini ta'minlaydi. Radiolokatsiyaning harbiy ishdagi ahamiyati beqiyosdir. Havo hujumiga qarshi mudofaa qo'shinlari samolyot yoki raketalarni o'z vaqtida topa oladigan uzoqdan ko'rish radiolokatsion stansiyalariga ega. Radiolokatsion stansiyalar havodagi holatni uzoqdan turib kuzata oladigan doiraviy ko'rish imkoniyatiga ega.

Radiolokatsiya astronomik tekshirishlarda ham muvaffaqiyat bilan qo'llanilmoqda. Radiolokatsion usul bilan 1946- yildayoq Oygacha bo'lgan masofa o'lchangan edi. Keyinchalik Venera, Mars, Merkuriy va Yupiter planetalarigacha bo'lgan masofalar ham o'lchangan. Kosmik uchishlarda ham radiolokatsiya juda muhim ahamiyat kasb etadi.

Zamonaviy radiolokatsion stansiya murakkab radiotexnik qurilmadan iborat. Radiolokatsion stansiya ishlashining eng umumiy jihatlari 76- rasmda tasvirlangan blok-sxema asosida tushuntirilishi mumkin.

Sxemadagi 1 uzatkichda o'ta yuqori chastotali tebranishlar hosil qilinadi, ular qisqa impulslar ko'rinishida yo'nalish bo'yicha ta'sir etuvchi 2 antennaga keladi. Antenna uzluksiz ravishda aylanib, obyektни axtaradi. Obyekt topilgandan keyin u uzluksiz ravishda kuzatib boriladi. Agar obyekt fazoda ko'chsa, uning ketidan radiolokatsion stansiyaning nuri ham ko'chadi. Bunga antennaning avtomatik ravishda burilishi bilan erishiladi.

Radioimpulslar obyektgacha borib, undan qaytadi. Qaytgan radioimpulslar har xil yo'nalishlar bo'yicha tarqaladi. Ularning bir qismi radiolokatsion stansiyaning antennasiga qaytib keladi,



77- rasm.

stansiya avtomatik ishlovchi 3 antenna perekluchateli yordamida uzatuvchi qurilmadan radioimpulslar nurlatilgandan keyin darhol 4 priyomnikka ulanadi. Kuchsiz qaytgan impulslar priyomnikda kuchaytiriladi va 5 indikatorga beriladi.

Yuqorida bayon etilgan jarayon davriy ravishda qat'iy ketma-ketlik bilan qaytarilib turadi. Stansiyaning barcha elementlarining ishlashi o'zaro moslashtirilgan. Indikator qurilmasi eng oddiy holda masofa shkalasiga ega bo'lgan elektron-nur trubkasidan iborat bo'ladi.

Qaytgan signal indikatorga to'g'ri impulsqa qaraganda keyinroq kirganligi sababli, uning ekrandagi tasviri to'g'ri impulsning tasviridan o'ngroqda hosil bo'ladi. Obyektgacha bo'lgan masofa qancha katta bo'lsa, qaytgan signal shuncha kechroq yetib keladi va indikator ekranidagi to'g'ri va qaytgan impulslar orasidagi masofa ham shuncha katta bo'ladi. Obyektgacha bo'lgan masofa bevosita indikator ekranidagi shkala bo'yicha kilometrlarda o'lchanadi.

Kuzatilayotgan obyektning holatini to'liq aniqlash uchun masofadan tashqari yana gorizonttal tekislikda obyektga tomon yo'nalish bilan shimolga tomon yo'nalish orasidagi burchakni (77-rasm) va gorizonttal tekislikdan yuqoriga obyekt tomon yo'nalishigacha bo'lgan burchakni bilish kerak.



1. Nima sababdan radiolokatsiyada to'liq uzunligi juda kichik bo'lgan elektromagnit to'liqlardan foydalaniladi?
2. Radiolokatsion stansiyaning ishlash prinsipini 77- rasmga qarab tushuntiring.
3. Radiolokatsiya obyektigacha bo'lgan masofa va uning turgan joyi qanday aniqlanadi?
4. Nega radiolokatsion stansiyaning antennasi aylanib turadi?

21- §. Radioaloqa va televideniyaning rivojlanishi

Zamonaviy jamiyat hayotini, ishlab chiqarish va madaniyatning rivojlanishini uzluksiz axborot almashinishlarisiz tasavvur qilish qiyin. Bunday almashinish, asosan, aloqa vositalari yordamida amalga oshiriladi, ular orasida eng muhim va istiqbolligi radio va televideniya.

1. Kosmik retranslatorlar. Televizion signallarni uzatish metrli va detsimetrli to'liq diapazonlarida amalga oshiriladi. Bu diapazonlardagi elektromagnit to'liqlar to'g'ri chiziq bo'ylab tarqaladi va amalda har qanday to'siq bilan ushlab qolinadi. Shuning uchun televizion markazlarning antennalari maxsus minoralar yoki machtalarning uchiga o'rnatiladi.

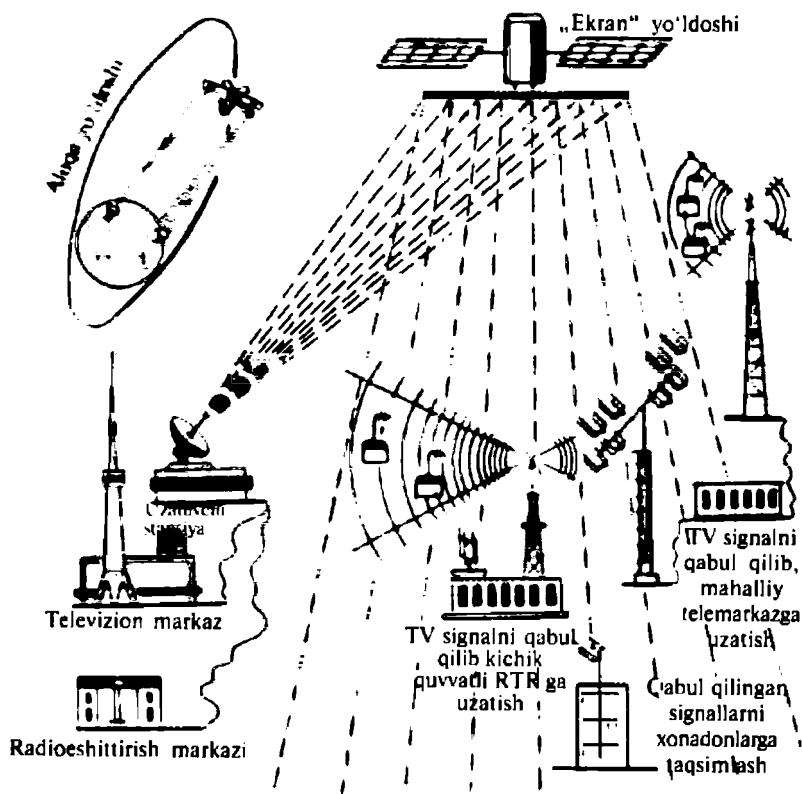
1985- yilda qurib bitirilgan, balandligi 375 m bo'lgan Toshkentdagi teleminora teleko'rsatuvlarni 100 km gacha uzatadi.

Minora qancha baland bo'lsa, undan shuncha uzoq masofada televizion eshittirishlarni qabul qilish mumkin bo'ladi. Moskvadagi „Ostankino“ teleminorasining balandligi 540 m bo'lganligi sababli teleko'rsatuvlar 130 km masofagacha ishonchli qabul qilinadi. 1965- yili birinchi aloqa yo'ldoshi „Molniya- 1“ uchirilgan edi. Bu yo'ldoshning orbitasi cho'zilgan ellips shakliga ega (78- a rasm), aylanish davri — 12 soat. „Molniya“ yo'ldoshi „Orbita“ aloqa tarmog'ining Yerdan tashqaridagi retranslatori hisoblanadi. Aloqa yo'ldoshidan tashqari „Orbita“ tarmog'iga Yerdagi uzatuvchi stansiya va mamlakatning turli mintaqalariga joylashgan qabul qiluvchi stansiyalar tizimi kiradi.

„Orbita“ tarmog'i quyidagicha ishlaydi. Yerdagi uzatuvchi stansiya bir necha kilovatt quvvatli radioperedatchik yordamida o'tkir yo'nalishli antenna orqali „Molniya“ aloqa yo'ldoshiga signal nurlantiradi. Qabul qilingan signal kuchaytiriladi va maxsus uzatuvchi yordamida Yerga qayta uzatiladi. Yo'ldosh antenasi yo'nalganlik diagrammasining kengligi shundayki, antennadan nurlantirilgan elektromagnit to'liqlar dastasi yo'ldoshdan „ko'rinadigan“ Yer sathini to'lig'icha egallaydi (78- b rasm).

„Molniya“ yo'ldoshiga o'rnatilgan radioperedatchik maxsus kronshteynlarda yo'ldoshdan tashqariga chiqarilgan quyosh fotoelementlari batareyasidan zaryadlanib turuvchi akkumulatorlar batareyasidan ta'minlanadi.

Quyosh batareyalaridan mumkin bo'lgan maksimal energiyani olish uchun yo'ldosh butun uchish davomida avtomatik ravishda



78- rasm.

Quyoshga qaratib turiladi. Shu bilan bir vaqtda yoʻldosh antenalaridan biri avtomatik ravishda Yerga qaratib turiladi.

„Molniya“ yoʻldoshlaridan tashqari, televizion eshittirishlarni olib koʻrsatish uchun „Raduga“ seriyasidagi yoʻldoshlardan ham foydalaniladi. Bu yoʻldoshlar 36 000 km balandlikdagi orbitaga chiqariladi, aylanish davri Yerning oʻz oʻqi atrofida aylanish davriga teng, shuning uchun ularning Yer sirtiga nisbatan holati vaqt oʻtishi bilan oʻzgarmaydi. „Molniya“ va „Raduga“ aloqa yoʻldoshlariga oʻrnatilgan retranslatorlardan uzoq masofalarda telefon va telegraf aloqasi oʻrnatishda ham foydalaniladi.

2. Kosmosdagi televideniye. Televideniye — bu faqat telekoʻrsatuv emas. Televideniye kosmosni oʻzlashtirishda ham ishtirok etadi. 1959 - yili insoniyat tarixida birinchi marta kosmik stansiyadan Yerga Oy teskari tomonining tasviri yuborilgan.

„Vostok - 2“ kosmik kemasiga kichik telekamera oʻrnatilgan va uning yordamida Yerdagi komanda punktidan turib kemadagi kosmonavt G. Titovning salomatligi kuzatib borilgan edi.

1962- yili „Vostok-3“ va „Vostok - 4“ kemalari bortidan ilk bor telekoʻrsatuv olib borildi va teletomoshabinlar kosmonavtlar A. Nikolayev va P. Popovichlarni vaznsizlik holatida kuzatishdi.

1965- yili koʻpgina mamlakatlarning millionlab teletomoshabinlari insonning kema kabinasidan ochiq kosmosga chiqishini ilk bor kuzatishdi. Kosmik fazodagi bu birinchi qadamni kosmonavt A. Leonov amalga oshirgan edi.

1966- yilning fevralida „Luna - 9“ avtomatik stansiyasi Oydan uning sirti rasmini Yerga uzatdi, 1966- yilning dekabrda esa „Luna-13“ avtomatik stansiyasi Oy sirti boshqa qismining panoramasini Yerga uzatdi.

Meteorologik yoʻldoshlar kosmosdan Yerga uning tasvirini uzatadi. Meteorologlar olingan tasvirlar yordamida uzoq muddatli ob-havo maʼlumotini ishlab chiqishadi.

1979- yili telekoʻrsatuvlar birinchi bor Yerdan kosmik kemaga uzatildi. „Mars“, „Venera“, „Fobos“ sunʼiy yoʻldoshlariga oʻrnatilgan televizion stansiyalar Yerga Mars, Venera va Foboslar sirtining tasvirlarini uzatishgan.

3. Sanoat va transportda televideniye. Televideniye xalq xoʻjaligida borgan sari kengroq qoʻllanilmoqda. Masalan, dispetcher oʻzining ish joyidan turib televizion kameralar yordamida oʻziga kerak boʻlgan sex uchastkasini, dengiz portini, temiryoʻl uzelin kuzatishi mumkin.

Televizion qurilmalar yerosti omborlari va quduqlarning holatini kuzatuvchi yagona vosita hisoblanadi. Suvosti televizion qurilmalar suv ostida yashiringan gidrotexnik inshootlarning qismlari va kemalarning holatini nazorat qilish imkonini beradi. Televideniye ilmiy tekshirishlarda ham keng qoʻllaniladi. Astronomiyada u kosmik obyektlarning katta tasvirlarini olish imkonini beradi. Atom texnikasida kuchli radiatsiya tufayli inson kirishi mumkin boʻlmagan zonalar televideniye yordamida kuzatiladi. Televideniye boshqa juda koʻp sohalarda ham keng qoʻllaniladi.

Oʻzbekistonda aloqa vositalarining rivojlanishi. Toshkentda birinchi 200 raqamli telefon stansiyasi 1904- yilda ishga tushirilgan. 1992- yildan boshlab Yaponiyaning „NEK“ firmasi yetkazib bergan asbob-uskunalar yordamida 150 kanalli raqamli kosmik telefon stansiyasi foydalanishga topshirildi.

Hozirgi vaqtda telefon soʻzlashuvlarining 80%i sunʼiy aloqa yoʻldoshlari orqali amalga oshirilmoqda. Oʻzbekistonda 1991 - yildan boshlab uyali telefondan foydalanishyapti. 1997 - yildan boshlab beshta uyali aloqa vositalari vujudga keldi: „DAEWOO Unitel“, „Coscom“, „Uzmacom“, „Uzdunrobita“ kabilar shular jumlasidandir. Oʻzbekistonda bunday aloqa vositasidan foydalaniladiganlar soni 100 000 kishidan oshib ketdi.

Hozirgi zamonda juda koʻp maʼlumotlar, hujjatlar kompyuterlar orqali modemlar yordamida uzatilib qabul qilinadi. Internet esa oʻz navbatida butun jahonga maʼlumot tarqatish hamda odamlarning kompyuterlar yordamida aloqa oʻrnatish vositasi boʻlib xizmat qilmoqda. Oliy oʻquv yurtlari, akademik litseylar va kasb-hunar kollejlarning Internet tarmogʻiga ulanishi juda quvonchlidir.

Telefon bilan televideniye qoʻshilishidan yangi aloqa vositasi — videotelefon yuzaga kelgan.

- ?
1. Nima sababdan televideniy antenalarini joylashtirish uchun baland minoralar quriladi?
 2. Radioaloqa vositalarining rivojlanishini xarakterlovchi dalillar keltiring.
 3. „Orbita“ sistemasining ishlash prinsipini tushuntiring.
 4. Televideniye xalq xoʻjaligida qoʻllanishlariga misollar keltiring.
 5. Oʻzbekistonda dastlabki telefon stansiyasi qachon va qayerda qurilgan?
 6. Hozir nechta korxonalar uyali aloqa xizmatini koʻrsatadi?
 7. Internet tarmogʻining qulayliklari haqida soʻzlab bering.

2- MASHQ

1. Samolyotlarni radiolokatsiya qilish uchun $3 \cdot 10^4$ Hz chastotali elektromagnit toʻlqinlardan foydalanish mumkinmi?

2. Uzunligi 20 sm boʻlgan toʻlqinlarni qabul qilish uchun televizor dipol antenasining uzunligi taxminan qancha boʻlishi kerak?

3. Dipol antenna har bir „moʻylovining“ uzunligi 1380 mm. Bu antenna qanday chastotaga sozlangan?

4. 12 televideniy kanalning chastotasi 223,25 MHz. Bu kanalni qabul qilish uchun qanday uzunlikdagi dipol antenna kerak boʻladi?

II BOBNING ASOSIY MAZMUNI

1. Elektromagnit toʻlqinlar zamonaviy texnikada keng qoʻllanishlarga ega (radioaloqa, radioeshittirish, televideniye, radiolokatsiya, radioboshqaruv, radioteleometriya, radioastronomiya va boshq.).

2. Elektromagnit to'liqlardan foydalanish — ko'p sonli olimlar va injenerlar mehnatining natijasidir. Ayniqsa, M. Faradey, J. Maksvell, G. Gers va A. S. Popovlarning bu boradagi xizmatlari kattadir.

3. Radioaloqa uchun chastotasi 100 kHz dan 30 000 MHz gacha bo'lgan radioto'liqlardan foydalaniladi. Bunday yuqori chastotalar tanlanishining sababi — elektromagnit to'liqlar nurlanishining quvvati elektromagnit tebranishlar chastotasining to'rtinchi darajasiga proporsionalligidir.

4. Radioaloqa quyidagi jarayonlardan foydalanishga asoslangan:
— yuqori (yoki o'ta yuqori) elektromagnit tebranishlar hosil qilish;

— yuqori chastotali elektromagnit tebranishlarni kerakli informatsiyani eltuvchi past chastotali signal bilan modulatsiyalash;

— modulatsiyalangan elektromagnit to'liqlarni uzatuvchi antenna tomonidan nurlantirish;

— modulatsiyalangan elektromagnit to'liqlarni radiopriyomnik antennasi tomonidan qabul qilish;

— kerakli chastotadagi tebranishlarni kirish konturida ajratib olish;

— qabul qilingan yuqori chastotali tebranishlarni kuchaytirish;

— yuqori chastotali tebranishlarni detektorlash va uzatilgan informatsiyani eltuvchi past chastotali signalni ajratib olish;

— past chastotali signalni kuchaytirish va uni almashtirish.

5. Tasvirlarni televizion uzatish asosida ham radiotelefon aloqasidagi kabi jarayonlar yotadi. Ammo bu holda optik tasvirdagi ma'lumot maxsus uzatuvchi televizion elektron-nur trubkalarida elektr signaliga (videosignalga) aylantiriladi.

Televizion priyomnikda esa qabul qiluvchi elektron-nur trubkasi — kineskop yordamida videosignal tasvirga aylantiriladi.

6. Radioto'liqlar yordamida turli obyektlarni axtarib topish va ularning o'rnashgan joyini aniqlash *radiolokatsiya* deyiladi.

Radiolokatsiya radioto'liqlarning nurlantiruvchi obyektlardan qaytish hodisasiga asoslangan.

III bob. INFRAQIZIL, ULTRABINAFSHA VA RENTGEN DIAPAZONIDAGI ELEKTROMAGNIT TO‘LQINLARNING O‘ZIGA XOS XOSSALARI VA ULARNING QO‘LLANILISHI

Hozirgacha o‘rnatilgan elektromagnit to‘lqinlar diapazoni nihoyatda keng (10^{-15} m dan 10^6 m gacha), ularning hammasi biz oldingi boblarda tanishgan umumiy xossalarga ega. Ammo har xil uzunlikli to‘lqinlarda bu xossalarning namoyon bo‘lishida o‘ziga xoslik ham bor.

Misol uchun, radiodiapazondagi to‘lqinlar qor qatlamidan deyarli to‘lig‘icha qaytadi, infraqizil diapazondagi to‘lqinlar esa uning qalinligidan bemalol o‘tib ketadi. Infraqizil diapazondagi to‘lqinlar inson tanasi sirtiga tushib, uni qizdiradi, ultrabinafsha diapazondagi to‘lqinlar terini qizartiradi, rentgen diapazonidagi to‘lqinlar esa tana to‘qimalaridan o‘tib ketadi. Deraza oynasi infraqizil va ko‘zga ko‘rinadigan diapazondagi to‘lqinlar uchun shaffof, ultrabinafsha diapazondagi to‘lqinlar uchun esa shaffof emas. Bunday misollarni juda ko‘plab keltirish mumkin.

Yuqorida aytilganlar har xil diapazondagi to‘lqinlarning o‘ziga xos xususyatlarini o‘rganish zaruriyatini tug‘diradi.

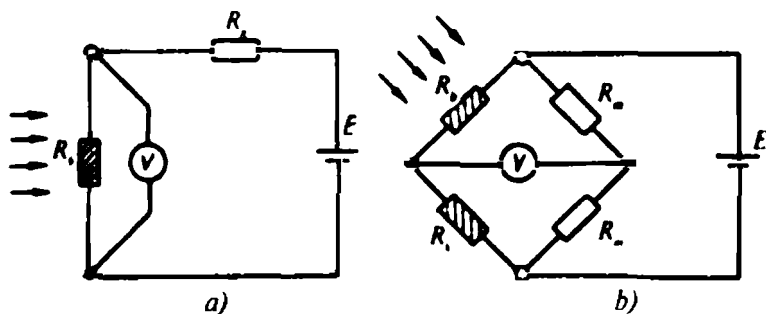
Misol tariqasida infraqizil, ultrabinafsha va rentgen diapazonidagi to‘lqinlarning o‘ziga xos xususiyatlarini o‘rganamiz.

22- §. Infraqizil nurlanish

Infraqizil nurlanish elektromagnit to‘lqinlar shkalasida ko‘zga ko‘rinadigan nurlanish spektrining qizil rangi oxiri ($\lambda = 760$ nm) bilan qisqa to‘lqinlar radiodiapazonidagi millimetrli to‘lqinlar spektrining boshlanishi ($\lambda = 1 - 2$ mm) orasidagi sohani egallaydi.

1. Manbalar. Quyosh, Yer, yulduzlar, planetalar infraqizil nurlanishning tabiiy manbalaridir. Misol uchun, Quyosh nurlanishi energiyasining 50 foizi Yer sirtiga infraqizil nurlanish ko‘rinishida yetib keladi.

Temperaturasi atrof-muhit temperaturasidan yuqori bo‘lgan har qanday jism — gulxan, yonuvchi sham, ishlayotgan ichki yonuv dvigateli, raketa, ulangan elektr lampa va boshqalar infraqizil nurlanishning sun‘iy manbayi bo‘ladi. Esda tutmoq joizki, cho‘g‘lanma elektr lampada unga berilgan elektr energiyasining 3—4 foizigina yorug‘likka aylanadi, 95 foizi esa infraqizil nurlanish bo‘ladi.



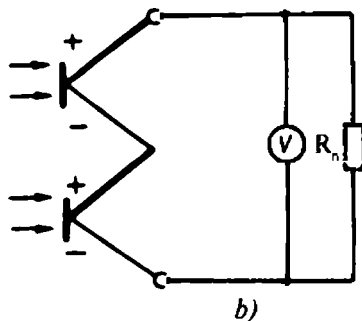
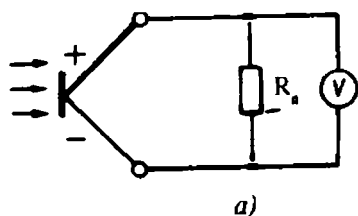
79- rasm.

2. Qabul qiluvchi (priyomnik)lar. Infraqizil nurlanishning eng ko'p tarqalgan qabul qiluvchilari bolometrlar, termoelementlar va fotorezistorlar hisoblanadi. Bolometrlarning (grekcha *bolo* — nur, *metreo* — o'lchayman) ishlashi metall yoki yarim o'tkazgichdan tayyorlangan rezistorlar elektr qarshiligining infraqizil nurlanish ta'siridagi o'zgarishiga asoslanadi. 79- rasmda ikkita termosezgir rezistorning zanjirga ulanish sxemasi keltirilgan: *a* — nagruzka qarshilikli, *b* — ko'prikchali. Ko'prikchali sxemada infraqizil nurlanishga bir xil sezgirlikka ega bo'lgan ikkita rezistor ulanadi. R_1 rezistor atrof havodagi o'zgarishlar ta'sirida datchik qarshiligining o'zgarishini kompensatsiyalaydi.

Qarshilikning tushuvchi nurlanishning yutilishida yuzaga keluvchi o'zgarishi sezgir elementdagi kuchlanish o'zgarishiga aylantiriladi. Odatda, bunday o'zgarishlar uncha katta bo'lmaydi ($10^{-7} \div 10^{-9}V$). Shuning uchun olingan kuchlanish o'zgarishlarini kuchaytirish zaruriyati tug'iladi.

Termoelementda infraqizil nurlanish ta'sirida sezgir galvonometr bilan o'lchash mumkin bo'lgan termo-EYK paydo bo'ladi (80- rasm), ammo, odatda, u oldindan kuchaytiriladi va kamroq sezgirlikka ega bo'lgan asbob bilan o'lchanadi. Infraqizil nurlanishni ko'rish va o'lchash uchun fotorezistorlar zanjirga xuddi termorezistorlar kabi ulanadi (80- rasmga q.).

3. Infraqizil nurlanishning o'ziga xos xususiyatlari. Infraqizil nurlanishning o'ziga xos xususiyatlari ular modda bilan o'zaro ta'sirlashganda namoyon bo'ladi. Misol uchun, ko'zga ko'rinadigan diapazondagi elektromagnit to'lqinlar uchun shaffof bo'lmagan ko'pgina moddalar (qoraytirilgan shisha, qora qog'oz, ebonit) infraqizil nurlanish uchun shaffof bo'ladi. Aksincha, ko'zga ko'rinadigan nurlanish uchun shaffof bo'lgan qator moddalar



80- rasm.

(suv, suv bug'ı) infraqizil nurlanish uchun shaffof bo'lmaydi. Infraqizil nurlanish Yer atmosferasidan o'tishida undagi suv bug'lari tomonidan kuchli yutiladi.

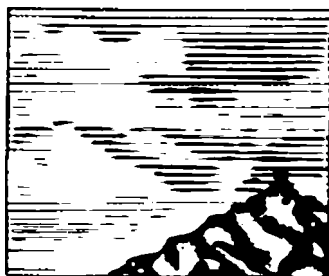
Ko'pgina metallarning infraqizil nurlanish uchun qaytarish qobiliyati yorug'lik to'lqinlari uchun qaytarish qobiliyatidan ancha katta. Masalan, aluminiy, mis, kumush o'zlariga tushgan infraqizil nurlanishni 98 foiz qaytaradi.

4. Qo'llanishlari. Infraqizil nurlanish sanoatda, ilmiy tekshirishlarda, medisinada, harbiy texnikada keng qo'llaniladi. Misol tariqasida infraqizil nurlanishning o'ziga xos xususiyatlaridan foydalaniladigan bir nechta qurilmalarni ko'rib chiqamiz.

Sanoatda infraqizil nurlanish bo'yalgan sirtlarni quritish va materiallarni isitish uchun foydalaniladi. Bu maqsadda ko'p sondagi har xil isitkichlar, shu jumladan, maxsus elektr lampalari yaratilgan.

Infraqizil va ko'rinadigan nurlanishlarning moddalar bilan o'zaro ta'siridagi har xillik maxsus fotografiyada (geodeziya, kriminalistika), meditsina va boshqalarda foydalaniladi. Infraqizil diapazondagi fotografiya spektrning ko'zga ko'rinadigan qismidagi fotografiyaga qaraganda qator afzalliklarga ega. Bu afzalliklardan biri tutun yoki kichik tumandan o'tishda sochilishning kichik bo'lishi bilan bog'liq, ushbu hol uzoqlashtirilgan (gohida 500 km gacha) predmetlarning aniqroq tasvirlarini olish imkonini beradi. 81-rasmda bitta manzaraning ikkita fotosurati keltirilgan: biri (chapdagi) spektrning ko'rinadigan qismida, ikkinchisi (o'ngdagi) — infraqizil qismida. Ikkinchi rasmda birinchiga qaraganda ko'proq detallar ko'rinmoqda.

Infraqizil nurlanishning o'ziga xos xususiyatlari harbiy texnikada keng qo'llaniladi. Bu qo'llanishlar, asosan, dushman obyektlarini ularning issiqlik nurlanishi bo'yicha topish uchun,



a)



b)

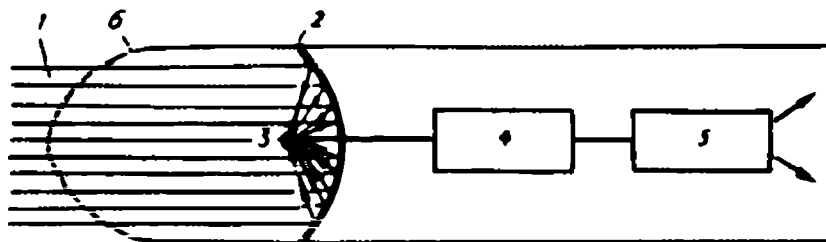
81- rasm.

tunda ko'rish uchun ishlatiladigan asboblardan va nihoyat, infraqizil nurlanish priyomniklari bilan ta'minlangan o'zi-o'zini nishonga to'g'rilovchi snaryadlar bilan bog'liq.

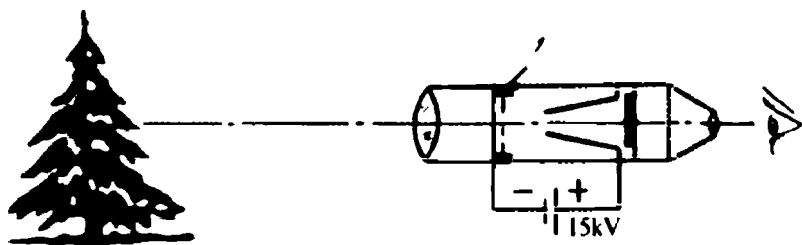
Issiqlik lokatorlari radiolokatsiyadan farqli o'laroq, o'zlari, elektromagnit to'lqinlarni nurlantirmaydi, faqat dushman obyektlarining nurlanishini qayd qiladi, shuning uchun ularning ishlayotganini ko'rib bo'lmaydi.

Reaktiv dvigatel ishlaganda yuqori temperaturali gaz o'tilib chiqqanligi sababli o'zi o'zini mo'ljalga to'g'rilovchi raketalarda datchik sifatida infraqizil priyomniklardan foydalanish yaxshiroq bo'ladi.

82- rasmda raketaning o'zi o'zini nishonga to'g'rilash prinsipini oydinlashtiruvchi sxema keltirilgan. Dushman raketasidan keluvchi 1 infraqizil nurlanish 2 qabul qiluvchi sferik ko'zga tomonidan ushlab olinadi va 3 infraqizil priyomnikda qayd qilinadi, priyomnik nurlanish energiyasini elektr signalga aylantiradi. Olingan signallar 4 kuchaytirgich bilan avtomatlarning ishlashi uchun zarur bo'lgan kattalikkacha kuchaytiriladi. Hisoblash-hal qilish qurilmasi (5) raketa o'qi bilan nishonga tomon yo'nalish



82- rasm.



83- rasm.

orasidagi burchakni aniqlaydi. Avtomatika sistemasi raketani nishonga tomon buruvchi rullarni ulaydi, bu bilan nishonga urish ta'minlanadi. Agar nishon uchish yo'nalishini o'zgartirsa, raketa ham o'z yo'nalishini o'zgartiradi. O'zi-o'zini to'g'rilash sistemasi raketaning tumshuq qismiga joylashadi va infraqizil nurlanishni yaxshi o'tkazuvchi metallardan qilingan 6 g'ilof bilan berkitilgan bo'ladi. Infraqizil to'g'rilash sistemalarining ta'sir etish uzoqligi yuzlab kilometrni tashkil qiladi. O'zi-o'zini to'g'rilashning infraqizil sistemalari yuqori aniqlikka ega bo'lishi bilan birga turli xalaqitlarga ham yaxshi chidash beradi.

Tunda kuzatish olib borish uchun harbiy ishda tungi ko'rish asboblardan keng foydalaniladi. Bunday asboblarning asosiy qismi elektron-optik o'zgartirgichlar (EOO) hisoblanadi. Elektron-optik o'zgartirgichning ishlash prinsipi 83- rasmda ko'rsatilgan. Infraqizil nurlanish ta'sirida / fotokatoddan elektronlar urib chiqariladi. EOO' balloni ichida yuqori vakuum, fotokatod va luminessiyalanuvchi ekran orasida esa elektr maydon hosil qilingani sababli, ekranda kuzatiluvchi obyektning ko'zga ko'rinadigan tasviri hosil bo'ladi, kuzatuvchi uni optik sistema orqali ko'radi. Fotokatod va ekran orasidagi kuchlanishni sozlab, tasvirning ravshanligi keng doirada o'zgartirilishi mumkin.

- ?
1. Infraqizil nurlanishning asosiy manbalarini nomma-nom ayting.
 2. Infraqizil nurlanishning o'ziga xos xususiyatlarini sanab bering.
 3. Fotorezistorli bolometrning elektr sxemasini chizing va uning ishlashini tushuntiring.
 4. Infraqizil nurlanishning asosiy qo'llanishlarini sanab bering.
 5. Elektron-optik o'zgartirgich qanday ishlaydi?

23- §. Ultrabinafsha nurlanish

Elektromagnit to'liqlar spektrida ultrabinafsha nurlanish ko'rinadigan nurlanishning binafsharang sohasi (400 nm) bilan rentgen nurlanishi (10 nm) orasidagi sohani egallaydi.

1. Manbalari. Quyosh, yulduzlar, tumanliklar ultrabinafsha nurlanishning tabiiy manbalaridir. Misol uchun, Quyoshning butun nurlanish energiyasining 10 foizi ultrabinafsha nurlanish bilan olib o'tiladi. Ultrabinafsha nurlanishning sun'iy manbalari bo'lib, 3000 K va undan yuqori temperaturagacha qizdirilgan qattiq jismlar, yuqori temperaturali plazma hisoblanadi. Amaliy qo'llanishlar uchun kvars shishasidan tayyorlangan ballonli simob va ksenon lampalaridan foydalaniladi.

2. Qabul qiluvchi (priyomnik)lar. Ultrabinafsha nurlanishni topish va qayd qilish uchun oddiy fotomateriallardan foydalaniladi. Nurlanish quvvatini o'lchash uchun ultrabinafsha nurlanishga sezgir bo'lgan bolometrlardan, termoelement va fotodiodlardan foydalaniladi.

3. O'ziga xos xossalari. Ultrabinafsha nurlanishning o'ziga xos xususiyatlari ham uning modda bilan o'zaro ta'sirida namoyon bo'ladi. Ultrabinafsha nurlanish Yer atmosferasida kuchli yutiladi. Misol uchun, Quyosh nurlanishining faqat uzun to'liqinli ($\lambda \approx 290$ nm) qismigina Yer sirtiga yetib keladi. Qisqa to'liqinli qismini atmosferaning yuqori qatlamlariga ($h = 25$ km) joylashgan ozon qatlami yutib qoladi. Ultrabinafsha nurlanish kuchli biologik ta'sir etadi. Kichik dozalarining inson organizmiga ta'siri foydalidir — D gramma vitaminlari hosil bo'lishiga yordam beradi, immunobiologik xususiyatlarni yaxshilaydi. Katta dozalari ko'zni shikastlantirishi, terini kuydirishi va hatto xavfli o'smalar paydo bo'lishiga olib kelishi mumkin.

Modda bilan o'zaro ta'sirlashganda uning atomlarining ionlashuvi va fotoeffekt yuz berishi mumkin. Moddalarning ultrabinafsha nurlar uchun optik xususiyatlari ko'zga ko'rinadigan nurlar uchun ana shunday xususiyatlaridan farqlanadi. Darhaqiqat, oddiy shisha va qor ultrabinafsha nurlanish uchun shaffof emas, ammo kvars shishasi — shaffof. Ultrabinafsha nurlanish ta'sirida ko'pgina plastik materiallarda kimyoviy o'zgarishlar yuz beradi, ular xiralashadi va mo'rt bo'lib qoladi. Ultrabinafsha nurlanish qator materiallarning luminessensiyalashuviga sabab bo'ladi.

4. Qo'llanishlari. Gaz razryadi plazmasining ultrabinafsha nurlanishi gaz razryadli lampalarda foydalaniladi. Bu lampalarda u

lampa kolbasining ich tomonini qoplovchi moddalarning luminessensiyasi yordamida yuqori FIK li (30 foizgacha) ko'zga ko'rinadigan nurlanishga o'zgartiriladi.

Ultrabinafsha nurlanishdagi fotografiya kvars optikasi bilan o'tkaziladi, kriminalistika va san'atshunoslikda foydalaniladi. Ultrabinafsha nurlanishning kuchli biologik ta'siridan bakteritsid lampalarida kasalxonalarining operatsiya xonalaridagi, oziq-ovqat va farmatsevtika sanoatining ishlab chiqarish xonalaridagi havoni tozalash uchun foydalaniladi. Tovuq fabrikalari va mol fermalarida jo'ja va yosh chorva mollarini nurlantirish uchun ultrabinafsha nurlanishdan tobora kengroq foydalanilmoqda.

Moddalarning ultrabinafsha nurlanishni yutish qobiliyatidan atmosferadagi zararli aralashmalarni aniqlashda foydalaniladi.

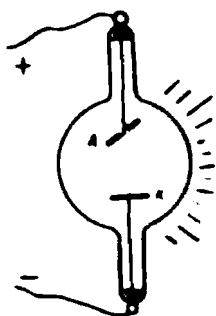
Kimyo korxonalarida ultrabinafsha nurlanish plastmassalarning polimerlanishini tezlatish uchun qo'llaniladi.

- ?
1. Ultrabinafsha nurlanishning asosiy manbalarini nomma-nom aytib bering.
 2. Nima sababdan ultrabinafsha nurlanish hosil qilishga mo'ljallangan gaz razryadli lampalarning ballonlari kvardan, kunduzgi yorug'lik beruvchi luminession lampalarning ballonlari esa shishadan yasaladi.
 3. Ultrabinafsha nurlanishning asosiy o'ziga xos xususiyatlarini sanang va ularning qo'llanishlariga misollar keltiring.

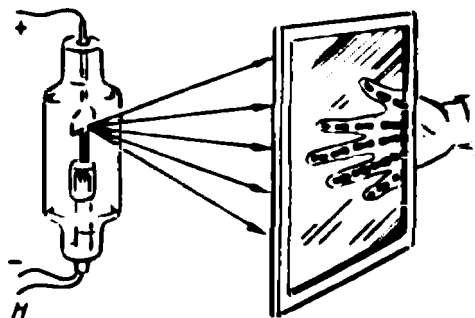
24- §. Rentgen nurlanishi

1. Rentgen kashfiyoti. V. R e n t g e n 1895- yili anod tekisligi katod tekisligiga parallel bo'lmagan ikki elektrodli vakuum trubkalarida (84- rasm) tajribalar o'tkazayotib, elektrodarga yuqori kuchlanish berilganda, trubkaning katodi ro'parasida qandaydir yangi (o'sha davr uchun) nurlanishning ta'siri bilangina tushuntirish mumkin bo'lgan qator hodisalar — shishaning nurlanishi, kumush xlor eritmasining qorayishi, havoning ionlanishi va boshqalar yuz berishini aniqladi. Bu nurlanishni Rentgen X nurlar deb atadi. Keyinchalik u *rentgen nurlanishi* nomini oldi. Rentgen nurlanishining manbayi ikki elektrodli vakuum trubkaning anodi bo'lib chiqdi.

Rentgen nurlanishining o'tuvchanlik qobiliyati darhol e'tiborni o'ziga qaratdi. Rentgen nurlanishi ta'sirida yuqorida aytilgan hodisalar, hatto trubka qoraqog'oz, karton va boshqa materiallar



84- rasm.



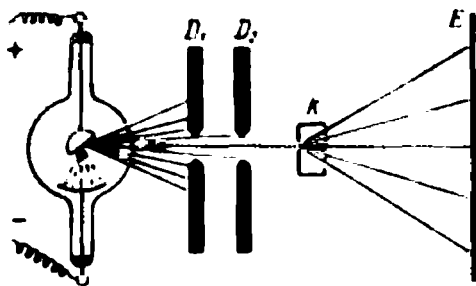
85- rasm.

bilan to'silganda ham yuz beraverdi. Rentgen nurlanishining modda tomonidan yutilishi uning zichligiga bog'liq bo'lib chiqdi. Moddaning zichligi qancha katta bo'lsa, u rentgen nurlarini shuncha kuchliroq yutadi. Xususan, inson tanasining yumshoq to'qimalari rentgen nurlarini suyaklarga qaraganda kamroq yutadi. Bu Rentgenga o'zi kashf etgan noma'lum nurlar bilan qo'l panjalarining birinchi rasmini olish imkonini berdi.

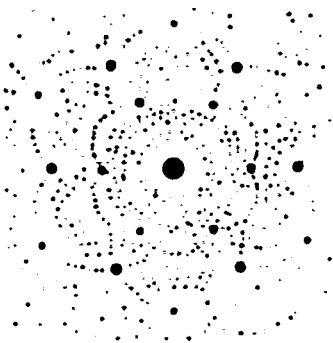
54- rasmda zamonaviy rentgen trubkasining tuzilish sxemasi keltirilgan. Vakuum trubkaga elektrodlar — qizdiriluvchi katod va anod joylashgan. Anod tekisligi qiyshaytirilgan: katod tekisligiga parallel emas. Katod yuqori kuchlanish manbayining manfiy qutbiga, anod esa musbat qutbga ulanadi. Shunda anod sirtidan rentgen nurlari dastasi sochiladi. Nurlanishning yo'nalishi anod sirtiga perpendikular bo'ladi.

2. Rentgen nurlanishining tabiati. Rentgen nurlanishining tabiati 1906- yilgacha, uning qutblanishi kashf etilmaguncha aniqlanmasdan qolaverdi. Uzil-kesil rentgen nurlarining tabiati 1912- yili aniqlandi, bunda nemis fizigi M. L a u e g'oyasi asosida ularning difraksiyasi bo'yicha tajriba qo'yishga muvaffaq bo'lindi. Bu tajribaning sxemasi 86- rasmda keltirilgan. D_1 va D_2 diafragmalar bilan ajratib olingan rentgen nuri dastasi K monokristalldan o'tib, E ekranga tushadi. Ekranda 87- rasmda tasvirlangan, *lauegramma* deb nomlangan manzara kuzatiladi. *Lauegramma* yorug'likning ikkita kesishgan (bir-biriga parallel, ammo tirqishlari o'zaro perpendikular bo'lgan) difraksion panjaradan o'tishida kuzatiladigan difraksion manzarani eslatadi.

*Lauegramma*ning hosil bo'lishini quyidagicha tushuntirish mumkin. Monokristall rentgen nurlari uchun o'ziga xos difraksion



86- rasm.



87- rasm.

panjara bo'ladi. Kristall panjaraning tugunlari to'siq xizmatini o'taydi, tugunlar oralig'i esa shaffof bo'ladi. Rentgen nurlanishi panjarada difraksiyalanadi va difraksiyon maksimum va minimumlar hosil qiladi. Shunday qilib, rentgen nurlarining to'liq tabiatiga ega ekanligi aniqlangan edi. Rentgen nurlanishi qutblanishining kashf etilishi, u ko'ndalang to'liqlar ekanini ko'rsatar edi. Nurlanishning boshqa xossalari o'rganish ham uning elektromagnit tabiatiga ega ekanini tasdiqladi.

Difraksiyon manzaralarni o'rganish rentgen nurlarining to'liq uzunligini aniqlash imkonini berdi. U 10^{-14} dan 10^{-7} m gacha bo'lgan intervalda yotadi.

Tekshirishlarning ko'rsatishicha, rentgen nurlanishi katodan chiqarilgan va elektr maydon bilan tezlashtirilgan tez harakatlanuvchi elektronlarning anod moddasida tormozlanishi tufayli hosil bo'ladi. Elektronlar tormozlanishida ularning kinetik energiyasi nurlanish energiyasiga aylanadi. Bunday nurlanish *tormozlanish rentgen nurlanishi* deb yuritiladi.

3. Qo'llanishlari. Rentgen nurlanishining qo'llanishlari haddan tashqari keng. Rentgen nurlanishining klassik manbalarini aniqlash maqsadida insonning turli a'zolari rasmini olish uchun foydalanilishi (rentgenodiagnostika) hammaga ma'lum. Rentgen nurlari xavfli o'smalarni davolashda ham (rentgenoterapiya) qo'llaniladi. Texnikada mashina detallari, ularda bo'lishi ehtimol tutilgan defekt (kamchilik)larni aniqlash maqsadida rentgen nurlari bilan yoritib ko'riladi.

Ayniqsa, kristallar tuzilishini o'rganishda rentgen nurlanishining ahamiyati beqiyos. Chunonchi, rentgen nurlari kristallardan o'tganda hosil bo'ladigan difraksiyon manzara, ularning tuzili-

shi haqidagi eng to'liq ma'lumotni o'zida saqlaydi. Difraksion manzara bo'yicha kristall panjaralarning doimiylari aniqlangan.

1971- yili rentgen diapazonidagi elektromagnit nurlanishni beruvchi yulduz topildi. Hozirgi vaqtda Koinotdagi 500 dan ortiq rentgen nurlanishi manbalari aniqlangan. Bundan tashqari, Yerga osmonning barcha qismlaridan keluvchi fon — rentgen nurlanishi deb yuritiluvchi nurlanish ham aniqlangan. Kosmosdan keluvchi rentgen nurlari unda yuz beruvchi jarayonlar haqidagi yangi va qiziqarli ma'lumotlarni olib keladi. Astronomiyaning yangi bo'limi — rentgen astronomiyasi paydo bo'ldi.

- ?
1. Rentgen trubkasining sxemasini chizing va rentgen nurlarining manbasi nima ekanligini tushuntiring.
 2. Rentgen nurlanishining tabiati qanday?
 3. Rentgen nurlanishining asosiy xossalari sanang va ularning amaliy qo'llanishlarini aytib bering.

III BOBNING ASOSIY MAZMUNI

1. Elektromagnit to'lqinlar umumiy xossalari bilan bir qatorda, ularning to'lqin uzunligiga bog'liq bo'lgan o'ziga xos xususiyatlarga ham ega.

2. Turli diapazonidagi elektromagnit to'lqinlarning o'ziga xos xususiyatlari texnikada keng qo'llaniladi.

XULOSA

To'lqin tushunchasi — fizikaning asosiy xususiyatlaridan biridir. To'lqinlar bizni hamma joyda o'rab olgan: suv havzasi qirg'og'ida turib, biz suv betidagi to'lqinlarni ko'ramiz, bug'doyzor va o'rilmagan o'tloqda biz shamol hosil qilgan to'lqinlarni ko'ramiz. Musiqa asboblari torlarining va bizning tovush pardalarimizning tebranishlari tovush to'lqinlarini yuzaga keltiradi. Elektromagnit to'lqinlar, seysmik to'lqinlar, yorug'lik to'lqinlari—biz kundalik hayotimizda duch keladigan to'lqinlarning to'liq bo'lmagan ro'yxati ana shunday.

To'lqinlarni o'rganish bilan odamlar qadimdan shug'ullanishadi. O'n beshinchi asrdayoq Leonardo da Vinci yozgan edi: „...To'lqin yuguradi... va suv o'z o'mida qoladi,— ekinzorlarda

shamol hosil qilgan to'ldinga o'xshab: to'ldinlar dala bo'ylab yuguradi, o'simliklar esa o'z o'rinlaridan ketmaydi". *To'ldin—bu tebranishlarning tarqalish jarayonidir.*

Barcha to'ldinlarning asosiy xususiyati, ularning tabiatidan qat'iy nazar, to'ldinlar manbayidan atrof fazoga (moddalarni ko'chirmay) energiya olib o'tishdir.

Real sharoitlarda to'ldinlarning tarqalishi ular energiyasining kamayishi bilan birga yuz beradi: ishqalanish (qarshilik) tufayli energiyaning bir qismi issiqlikka aylanadi va to'ldinlar sekin-asta so'nadi.

To'ldinlarning xususiyatlarini o'rganishni osonlashtirish va ularning so'nishini e'tiborga olmaslik uchun, fizikada energiyasi o'zgarmas bo'lgan *ideal to'ldin* tushunchasi kiritiladi. Ideal to'ldin cheksiz-chegarasizdir. Ideal to'ldin hosil qiluvchi vibrator

$$a = A_m \sin \omega t$$

garmonik qonun bo'yicha tebranadi, shuning uchun ideal to'ldin *garmonik to'ldin* deb ham yuritiladi.

To'ldinni ifodalash uchun to'ldin fronti, fazaviy tezlik, to'ldin uzunligi kabi tushuncha va kattaliklar kiritiladi.

To'ldin fronti deb shunday sirtga aytiladiki, uning barcha nuqtalarida berilgan vaqt momentida to'ldin bir xil fazaga ega bo'ladi. To'ldin sirtining shakliga qarab, to'ldinlar *yassi, sferik va doiraviy* to'ldinlarga ajratiladi.

To'ldin fazasining aniq yo'nalish bo'yicha tarqalish tezligi *fazaviy tezlik* deyiladi. Garmonik to'ldinlar holida fazaviy tezlik to'ldin frontining, unga perpendikular yo'nalish bo'yicha ko'chish tezligiga teng. To'ldinlarning fazaviy tezligi har qanday muhitda, vakuumdan tashqari, chastotaga bog'liq (dispersiya hodisasi).

Bir davr ichida to'ldin tarqalgan masofa yoki to'ldinning tebranishlari fazasi 2π ga farqlanuvchi ikkita eng yaqin nuqtalari orasidagi masofa *to'ldin uzunligi* deyiladi.

Agar ko'lmak ustiga ikkita tosh tashlansa, ko'rish mumkinki, ular tushgan joydan tarqaluvchi to'ldinlar bir-biriga bog'lanmasdan harakatlanadi.

Tajribalar asosida aniqlanganki, kichik amplitudali bir necha to'ldinlar ustma-ust tushganda natijaviy to'ldinning siljishi qo'shiluvchi to'ldinlarning siljishlari yig'indisiga teng bo'ladi (superpozitsiya prinsipi):

$$x = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n.$$

Fazoning biror sohasida bir vaqtda ikkita kogerent to'liqlar sistemasi tarqalsa, ular *interferensiyalanadi*: to'liqlar bir xil faza bilan kelgan nuqtalarda, to'liqlarning kuchayishi, qarama-qarshi faza bilan kelgan nuqtalarda susayishi yuz beradi. Kogerent to'liqlar holida interferensiyon manzara qo'zg'almas bo'ladi, nokogerent to'liqlar holida esa to'xtovsiz o'zgarib turadi.

Vaqt o'tishi bilan fazalari farqi o'zgarishsiz qoladigan to'liqlar *kogerent to'liqlar* deyiladi.

To'liqlar to'siqlar bilan uchrashganda ularning to'siqlarni aylanib o'tish hodisasi kuzatiladi. Bu hodisa *difraksiya* deyiladi. Difraksiya ikkilamchi to'liqlarning interferensiyasi bilan tushuntiriladi.

Ko'ndalang to'liqlarni to'liq ifodalash uchun amplituda, chastota, faza va tezlikdan tashqari *qutblanish tekisligi* ham ko'rsatilishi kerak.

Mexanik to'liqlarning qutblanish tekisligi deb, siljish tebranishlari yo'nalishi bilan to'liq tarqalishi yo'nalishi orqali o'tuvchi tekislikka aytiladi.

Elektromagnit to'liqlarning qutblanish tekisligi deb, \vec{E} elektr maydon kuchlanganlik vektori tebranishlari yo'nalishi bilan to'liq tarqalish yo'nalishi orqali o'tuvchi tekislikka aytiladi.

Tabiati har qanday bo'lgan to'liqlar ikki muhit chegarasidan o'tishda bir vaqtda qaytadi va sinadi. Bunda qaytish burchagi β tushish burchagi α ga teng bo'ladi, α tushish burchagi sinusining i sinish burchagi sinusiga nisbati esa to'liqning birinchi muhitdagi fazaviy tezligining ikkinchi muhitdagi tezligiga nisbati bilan aniqlanadi:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin i} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}.$$

Bu yerdagi n_{21} kattalik *ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan sindirish ko'rsatkichi* deb nomlangan. Elektromagnit to'liq vakuumdan har qanday boshqa muhitga o'tganda

$$\frac{\sin \alpha}{\sin i} = \frac{c}{v_2} = n_2$$

bo'ladi, n_2 kattalik ikkinchi muhitning *absolut sindirish ko'rsatkichi* deyiladi.

To'lqinlar to'siq bilan o'zaro ta'sirlashganda, ular to'siqqa bosim beradi, bosimning kattaligi to'lqin energiyasiga to'g'ri va tezligiga teskari proporsional bo'ladi:

$$p = \frac{W}{v}.$$

Yorug'lik—uzunligi $380 \div 760$ nm diapazonda yotuvchi elektromagnit to'lqinlardan iborat.

Yorug'lik bosimining ($p = 10^{-6}$ N/m²) Moskva Davlat universitetining professori P. N. Lebedev tomonidan o'lchanishi (1899- y.) J. Maksveel tomonidan yaratilgan yorug'likning elektromagnit nazariyasi to'g'riligining fundamental isbotlaridan biri bo'lib xizmat qildi.

Ingliz fizigi U. Tomson (Kelvin) rus olimi K. A. Timiryazev bilan suhbatlashganda aytgan edi: „Bilasizmi, men har doim Maksvell bilan, uning yorug'lik bosimini tan olmasdan, kurashib kelgan edim... Lebedev meni uning tajribalari oldida taslim bo'lishga majbur etdi“.

Yuqorida sanab o'tilgan umumiy xossalardan tashqari, to'lqinlar o'zlarining tabiati va chastotasiga bog'liq bo'lgan, o'ziga xos xususiyatlarga ham ega. To'lqinlarning bu o'ziga xos xususiyatlari ular moddalar bilan o'zaro ta'sirlashganda namoyon bo'ladi.



XX ASR FIZIKASI

Hozirgacha biz klassik fizika asoslarini o'rgandik. XX asr boshlanishigacha energiyaning saqlanish va aylanish, butun olam tortishish qonunlari, dinamika, elektrodinamika qonunlari, gaz qonunlari aniqlandi; elektroliz, termoelektron emissiya, fotoeffekt, radioaktivlik, o'ta o'tkazuvchanlik, elektromagnit induksiya hodisalari kashf qilindi; elektromagnit maydon o'rganildi va kundalik ilmiy taomilga kiritildi; induksion generator, doimiy va o'zgaruvchan tok elektr dvigatellari, radiouzatkich, radiopriyomnik va boshqalar ixtiro qilindi. Klassik fizikaning yutuqlari shu qadar katta ediki, go'yo fizika fanining binosi qurib bo'lingandek, uni batamom bitirish uchun ozgina qolgandek tuyular edi. Bu „ozgina“—atomning tuzilishini, radioaktivlikni va nurlanishning tabiatini tushuntirish bilan bog'liq muammolar edi. Bundan tashqari, Nyuton mexanikasi bilan Maksvell elektrodinamikasi orasida qandaydir ziddiyat borligi ma'lum bo'ldi.

XX asrning boshlarigacha yaratilgan klassik fizika bu „ozgina“ bilan bog'liq muammolarni hal eta olmadi.

IV bob. KVANT FIZIKASI ELEMENTLARI

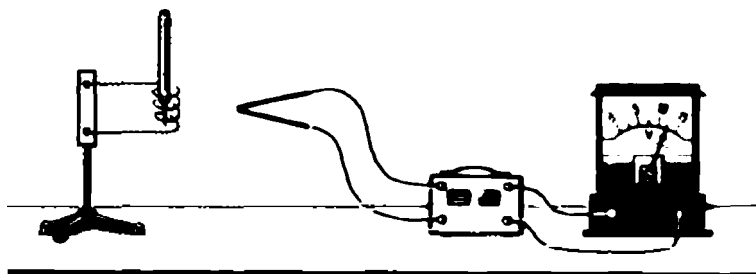
25- §. Kvant fizikasining paydo bo'lish tarixidan

Kvant fizikasining paydo bo'lishi nemis fizigi M. Plank (1858—1947) nomi bilan bog'liq. Uning ilmiy tekshirishlari istalgan jismni o'rganishga bag'ishlangan. Bu tekshirishlarning eng muhim natijalari M. Plank tomonidan 1900- yili chop etilgan edi. Binobarin, kvant fizikasi XIX va XX asrlar chegarasida paydo bo'lgan.

1. Isitilgan jismning nurlanishi. Metall spiralni rostlovchi kuchlanish manbayiga ulaymiz. Spiralning temperaturasini o'lchash uchun termometr qo'yamiz. Spiral ozgina isiydi va yorug'lik sochmaydi.

Agar spiral yaqiniga sezgir galvanometrqa ulangan termopara qo'yilsa (88- rasm), asbob ko'zga ko'rinmaydigan nurlanish borligini qayd qiladi.

Spiralga qo'yilgan kuchlanishni oshirib borib, shuni payqash mumkinki, spiralning temperaturasi ortishi bilan uning nurlanishi



88- rasm.

ham ortadi. Temperatura 500°C ga yetganda spiral qizg'ish rangli yorug'lik chiqara boshlaydi.

Spiral temperaturasining keyingi ortishida nurlanish intensivligi yana ortadi, nurlanuvchi yorug'lik rangi esa avval zarg'aldoq, keyin sariq va nihoyat, odatdagi oq yorug'lik bo'ladi.

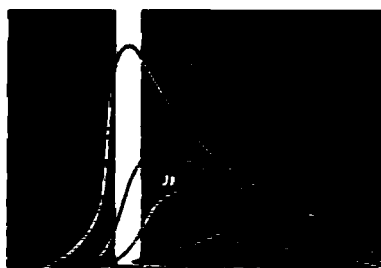
Agar yuqorida bayon etilgan tajribada spiraldan chiquvchi yorug'lik spektroskop yordamida kuzatilsa, boshida faqat spektrning qizil chekkasi ko'rinadi. Ammo keyin unga birin-ketin zarg'aldoq, sariq, yashil, ko'k va nihoyat, binafsharangli sohalar ham qo'shiladi. Shunday qilib, temperatura ortishi bilan issiqlik nurlanishining intensivligi ortadi va unda tobora yuqori chastotali nurlanish paydo bo'ladi.

Bir necha ming gradus temperaturagacha qizdirilgan jism, ko'zga ko'rinmaydigan infraqizil nurlanishdan ko'zga ko'rinmaydigan ultrabinafsha nurlanishgacha bo'lgan sohani egallovchi tutash nurlanish spektriga ega bo'ladi.

89- rasmda ko'mir spiralning har xil temperaturadagi nurlanish spektrida E energiya taqsimotining tajribada topilgan grafiklari keltirilgan. Ordinata o'qi bo'yicha berilgan to'lqin uzunligiga to'g'ri keluvchi energiya, abssissa o'qi bo'yicha—to'lqin uzunligi qo'yilgan.

2. Plank gipotezasi.

Eksperimental topilgan nurlanish spektridagi energiya taqsimoti nazariy talqinga muhtoj edi. Ravshan ediki, barcha jismlar



Ultrabinafsha
soha

Ko'rinuvchi
soha

Infraqizil soha

89- rasm.

atomlardan iboratligi sababli, issiqlik, koʻzga koʻrinadigan va ultra-binafsha nurlanishlar atomlar tomonidan chiqariladi. Ammo qanday? Maksvellning klassik elektrodinamikasida, tajribaga toʻliq mos holda, tebranuvchi zaryad elektromagnit toʻlqinlar nurlantiradi va oʻz energiyasini uzluksiz ravishda yoʻqotadi, deb hisoblanadi. Koʻpchilik yirik fiziklarning nurlanish mexanizmini klassik fizika pozitsiyasida turib tushuntirishga urinishlari behuda boʻlib chiqdi. Oʻz tekshirishlarining dastlabki bosqichlarida Plank ham muvaffaqiyatsizlikdan qochib qutulolmadi. U oʻzining muvaffaqiyatsizligi sababini tahlil qilar ekan, Maksvellning elektromagnetizm nazariyasiga asoslangan, klassik fizikaning elektromagnit toʻlqinlar nurlanish qonunlari atomlar uchun yaroqsiz, degan xulosaga keldi.

Plank, *atomlarning nurlanishi uzluksiz emas, balki uzlukli* yaʼni, *energiyasi tebranishlar chastotasiga proporsional boʻlgan porsiyalar—kvantlar tarzida boʻladi*, degan taxminni ilgari surdi va har bir kvant energiyasi uchun

$$E = h\nu$$

ifodani taklif etdi, bu yerda E — kvant energiyasi, h —doimiy kattalik boʻlib, keyinchalik Plank doimiysi deb nomlangan:

$$h = 6,6260755 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

Isitilgan jism nurlanishining uzlukli xarakteri haqidagi Plank gipotezasi tajribada topilgan nurlanishning temperaturaga bogʻliqligini tasdiqladi. Ammo bu bogʻlanish klassik fizikaga zid edi. Plankning zamondoshlari, boshida Plankning oʻzi ham nurlanishning uzlukli xarakteri haqidagi gipotezani faqat issiqlik nurlanishi qonuniyatlarini tushuntirishga imkon beruvchi ajoyib usul deb qabul qilishdi. Ammo Plank gipotezasining ahamiyati beqiyos katta boʻlib chiqdi: u yangi fizika —mikrodunyo fizikasining yaratilishidan darak berar edi.

- ?
1. Isitilgan jismning nurlanish grafigini diqqat bilan oʻrganing (89-rasm) va quyidagi savollarga javob bering: a). Issiqlik nurlanishining E/λ spektral zichligi temperaturaga qanday bogʻlangan? b). Energiyaning toʻlqin uzunliklari boʻyicha taqsimot egri chizigʻining maksimumi temperaturaga qanday bogʻlangan?
 2. Plank gipotezasi nimadan iborat? Kvant nazariyasining klassik nazariyadan asosiy farqi nimada?
 3. Kvantlar gipotezasini qaysi hodisalar tasdiqlaydi?
 4. Eng qisqa infraqizil toʻlqinlarga mos keluvchi kvant energiyasini hisoblang.

26- §. Fotoelektrik effekt. Fotonlar

Plank gipotezasining teranligi va fizikaning keyingi taraqqiyotidagi ahamiyati 1900- yili hatto yirik olimlar uchun ham ma'lum emas edi. Ammo 1905- yili A. Eynshteyn quyidagi gipotezani ilgari surdi: *elektromagnit nurlanish nafaqat porsiyalar (kvantlar) tarzida chiqariladi, balki elektromagnit maydonning $E = hv$ energiyaga ega bo'lgan alohida zarralari—fotonlar ko'rinishida tarqaladi va yutiladi.*

Agar Plank, kvantlar gipotezasini ilgari surganda, kvant faqat yordamchi tushuncha sifatida zarur deb hisoblagan bo'lsa, Eynshteyn yanada olg'a ketdi: u kvantni elektromagnit maydonning real mavjud bo'lgan zarrachasi deb bildi va uni *foton* deb atadi.

1. Foton. Fotonning asosiy xossalari bilan tanishamiz. Foton elektromagnit maydon zarrachasi bo'lib, yorug'lik tezligi bilan harakatlanadi. U faqat harakat holatidagina mavjud bo'la oladi. Fotonni to'xtatish mumkin emas, u yo yorug'lik tezligi bilan harakatlanadi, yo mavjud bo'lmaydi. Foton $E = hv$ energiyaga ega bo'lgani sababli, massa va energiyaning proporsionallik qonuniga ko'ra massaga ham ega bo'lishi kerak:

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{hv}{c^2}.$$

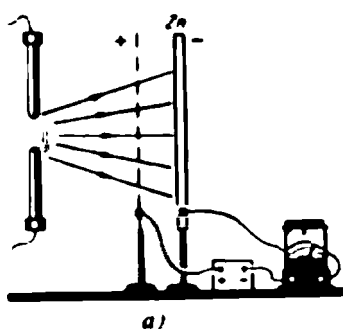
- *Foton faqat yorug'lik tezligidagi harakatda mavjud bo'lganligi sababli, uning tinchlikdagi massasi yo'q.* Fotonning oddiy modda zarrachalaridan farqi ham ana shunda. Foton harakatlangani sababli, u impulsiga ham ega:

$$p = mc = \frac{hv}{c}.$$

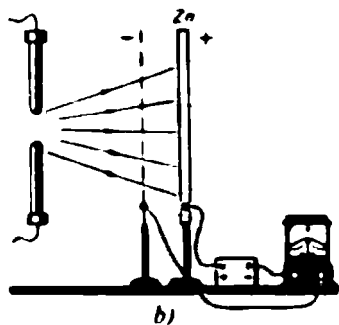
Fotonning impulsi borligi yorug'lik bosimining mavjudligi bilan tasdiqlanadi.

2. Fotoeffekt. Biz X sinf fizikasidan bilamizki, yorug'lik ta'sirida metallardan elektronlar emissiyasi (uchib chiqishi) yuz beradi. Bu hodisa *fotoelektron emissiya yoki fotoeffekt* nomini olgan. Fotoeffekt 1879- yili G. Gers tomonidan kashf etilgan.

Gersning kashfiyoti haqida xabar topgan Moskva universitetining professori A. G. Stoletov 1888- yili bu hodisani o'rganishga kirishdi. 90- rasmda A. G. Stoletov fotoeffekt hodisasini o'rgangan qurilmaning sxemasi keltirilgan. Yaxshilab tozalangan rux plastinka oldiga metall to'r joylashtiriladi, u orqali rux plastin-



90- rasm.



ka elektr yoyi bilan yoritiladi. Agar rux plastinka tok manbayining manfiy qutbiga ulangan bo'lsa, zanjirda tok hosil bo'ladi (90-a rasm), u galvanometr bilan o'lchanadi. Rux plastinka manbaning musbat qutbiga ulanganda esa zanjirda tok hosil bo'lmaydi (90-b rasm). Demak, fotoeffekt vaqtida elektronlar katodni tashlab chiqadi.

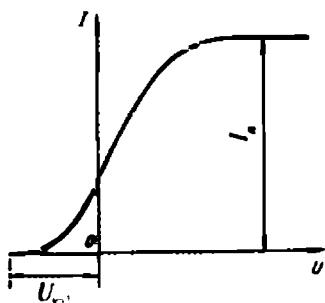
Zanjirda hosil bo'luvchi tok keyinchalik *fototok* nomini oldi, manbaning manfiy qutbiga ulangan rux (yoki boshqa) plastinka esa *fotokatod* deb nomlandi. A. G. Stoletov fototok fotokatodning yoritilishi bilan deyarli bir vaqtda paydo bo'lishini aniqladi.

Fototokning qo'yilgan kuchlanishga bog'liqligini tekshirgan A. G. Stoletov u Om qonuniga bo'ysunmasligini aniqladi. 91- rasmda plastinkaning yoritilishi o'zgarmagan holda fototokning elektrodlar orasidagi kuchlanishga bog'liqlik grafigi keltirilgan. Grafikdan ko'rinadiki, avval fototok ortadi, keyin nisbatan uncha katta bo'lmagan kuchlanishda ortishdan to'xtaydi.

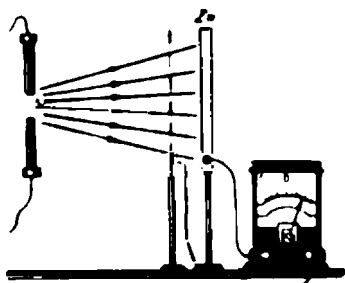
Fototokning maksimal qiymati *to'yinish fototoki* nomini olgan. Stoletov *to'yinish fototoki* (demak, *yorug'lik bilan urib chiqariluvchi fotoelektronlar soni*) rux plastinkaga tushuvchi yorug'lik intensivligiga to'g'ri proporsional ekanini aniqladi.

A. G. Stoletov rux plastinka faqat to'liq uzunligi qandaydir chegaraviy to'liq uzunligidan kichik bo'lgan yorug'lik bilan yoritilgandagina fotoeffekt kuzatilishini aniqladi. Bu fotoeffekt kuzatiladigan chegaraviy maksimal to'liq uzunlik keyinchalik *fotoeffektning qizil chegarasi* nomini oldi.

Zanjirda manba bo'lmaganda ham fototok mavjud bo'ladi (92-rasm). Bu quyidagicha tushuntirilishi mumkin: elektronlar fotokatodni noldan katta tezlik bilan tashlab chiqishadi, ularning bir qismi elektrodlar orasida kuchlanish bo'lmaganda ham anodga yetib keladi. Fototok nolga teng bo'lishi uchun elektrodlar orasiga



91- rasm.



92- rasm.

qandaydir ushlab qoluvchi— U_{ush} manfiy kuchlanish qo'yish kerak (91- rasmga q.). Bu kuchlanish shunday bo'lishi kerakki, hatto katoddan uchib chiqishda eng katta v tezlikka ega bo'lgan elektronlar ham ushlab qoluvchi maydon qarshiligini yengib anodga kela olmasin. Yorug'lik ta'sirida katoddan uchib chiquvchi elektronlarning v_m maksimal boshlang'ich tezligi bilan U_{ush} ushlab qoluvchi kuchlanish orasida quyidagi bog'lanish mavjud:

$$\frac{1}{2} m_e v_m^2 = e U_{ush} .$$

bu yerda m_e — elektron massasi. Shunday qilib, U_{ush} ushlab qoluvchi kuchlanishni tajribada o'lchab, fotoelektronning maksimal tezligini aniqlash mumkin:

$$v_m = \sqrt{\frac{2eU_{ush}}{m_e}} .$$

Tekshirishlarning ko'rsatishicha, fotoelektronlarning maksimal tezligi faqat fotokatod yoritilayotgan yorug'lik chastotasiga bog'liq.

Shunday qilib, tajribada fotoeffektning quyidagi qonuniyatlari aniqlanadi:

1. Har bir modda uchun shunday chegaraviy to'lqin uzunligi mavjudki, bunda fotoeffekt bo'lishi davom etadi, ammo bundan katta uzunlikdagi to'lqinlar bilan yoritilganda fotoeffekt bo'lmaydi (fotoeffektning qizil chegarasi).

2. Vaqt birligi ichida fotokatoddan urib chiqariluvchi fotoelektronlar soni katodga tushuvchi yorug'lik intensivligiga to'g'ri proporsional.

3. Fotoelektronlarning maksimal boshlang'ich tezligi nurlanish chastotasi bilan aniqlanadi va fotokatodga tushuvchi yorug'lik intensivligiga bog'liq emas.

4. Fotoeffekt deyarli inersiyasiz.

Klassik fizika fotoeffektning yuqorida sanab o'tilgan qonuniyatlarini tushuntira olmadi. Ularni faqat kvant fizikasigina tushuntirdi.

3. Fotoeffektning tushuntirilishi. A. Eynshteyn 1905- yili, agar yorug'lik qanday porsiyalar (kvantlar) tarzida chiqarilsa va tarqalsa, shunday porsiyalar tarzida yutiladi ham deb faraz qilinsa, fotoeffektning barcha qonuniyatlarini osongina tushuntirish mumkinligini ko'rsatdi. Yorug'likni metall yutganda foton o'z energiyasini to'lig'icha bitta elektronga beradi. Bu energiyaning bir qismi elektronning metallan chiqishi uchun, ya'ni A chiqish ishi bajarilishi uchun sarflanadi. Agar elektron metall sirtidan emas, balki biroz ichkaridan chiqarilsa, energiyaning E' qismi elektronning modda ichidagi tasodifiy to'qnashuvlari tufayli yo'qoladi va moddani isitishga ketadi. Qolgan energiya moddadan chiqqan elektronning E_k kinetik energiyasini hosil qiladi. Agar elektron metall sirtidan urib chiqarilsa, uning energiyasi maksimal bo'ladi. Bu holda $E' = 0$ va

$$h\nu = A + \frac{m_e v^2}{2}.$$

Bu — fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasidir. Undan ko'rinadiki, fotoelektronning maksimal kinetik energiyasi, binobarin, uning maksimal boshlang'ich tezligi ham v yorug'lik chastotasiga va A chiqish ishiga bog'liq, ammo yorug'lik oqimi quvvatiga bog'liq emas:

$$v_m = \sqrt{\frac{2}{m_e}(h\nu - A)}.$$

Eynshteyn tenglamasidan yana shu narsa ko'rinadiki, fotoeffekt foton energiyasi chiqish ishidan katta bo'lgandagina bo'lishi mumkin. Foton energiyasi eng kamida metallan elektronni urib chiqarish uchun yetarli bo'lishi kerak:

$$h\nu \geq A.$$

Fotoeffekt yuz berishi uchun yetarli bo'lgan eng kichik yorug'lik chastotasini (fotoeffektning qizil chegarasini) ν_0 bilan belgilab, uning uchun

$$\nu_0 = \frac{A}{h}$$

munosabatni olamiz. Fotoeffektning qizil chegarasi faqat elektronning chiqish ishiga (h — doimiy), ya'ni metallning kimyoviy tabiatiga bog'liq.

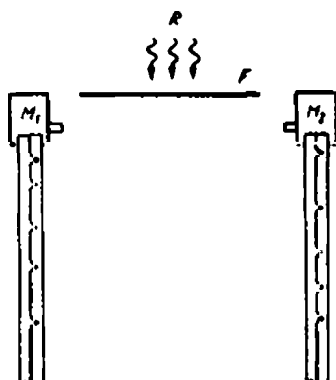
Eynshteyn tomonidan topilgan

$$h\nu = A + \frac{m_e v_m^2}{2}$$

tenglama juda ko'p tajribalarda tasdiqlangan.

4*. Bote tajribasi. Plank issiqlik nurlanishi qonunlarini tushuntirish uchun yorug'lik porsiyalar tarzida *chiqariladi* deb hisobladi. Fotoeffekt hodisasini tushuntirish uchun yorug'lik kvantlar tarzida *yutiladi* deb faraz qilish yetarli edi. Ammo Eynshteyn bu bilan chegaralanmadi: u yorug'lik *porsiyalar* tarzida, elektromagnit maydoning o'ziga xos zarralari—*fotonlar* ko'rinishida tarqaladi ham, deb hisobladi.

Plankning o'quvchisi Bote tomonidan qo'yilgan tajriba Eynshteyn gipotezasining eksperimental tasdig'i bo'ldi. 93- rasmda Bote eksperimental qurilmasining sxemasi keltirilgan. Yupqa metall F folga ikkita Geyger gaz razryadi sanagichlaridan bir xil masofaga joylashtiriladi. Folga R kuchsiz rentgen nurlari manbayi bilan yoritiladi va o'zi ham ularning yanada kuchsizroq manbayi bo'lib qoladi. Agar rentgen nurlanishi sferik to'lqinlar ko'rinishida tarqalganda edi, to'lqin har ikkala sanagichga bir vaqtda yetib kelar edi, ularga ulangan M_1 va M_2 mexanizmlar harakatlanuvchi lentaga bir vaqtda belgi qo'yar va ular bir- birining qarshisiga joylashar edi. Ammo tajriba qog'ozdagi belgilar mos tushmaganligini va tartibsiz joylanligini ko'rsatdi. Bu metall folga rentgen nurlanishini porsiyalar tarzida goh bu, goh boshqa yo'nalishda chiqarganligidan va ular o'ziga xos zarralar ko'rinishida harakatlanishidan dalolat berar edi.



93- rasm.

- ?
1. Foton qanday xossalarga ega? Fotonni to'xtatish mumkinmi?
 2. Fotoeffektning asosiy qonuniyatlarini sanang va ularni kvant tasavvurlar asosida tushuntirib bering.
 3. Fotoelektron seziydan 2 eV kinetik energiya bilan urib chiqariladi. Bu elektronni „urib chiqarishi“ mumkin bo'lgan yorug'likning maksimal to'lqin uzunligi qanday bo'ladi?

4. Rux uchun chiqish ishi 4,3 eV. Rux plastinka to'liqin uzunligi 100 nm bo'lgan yorug'lik bilan nurlantiriladi. Ruxdan „urib chiqarilgan“ elektronlarning kinetik energiyasi qanday?
5. Bote tajribasining g'oyasini, borishini va natijasini tushuntiring.

27- §. Plank doimiysini aniqlash

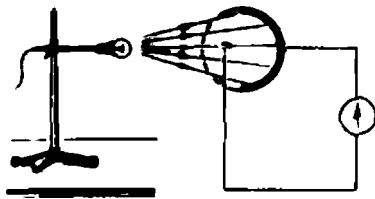
(Laboratoriya ishi)

Plank doimiysi h g'oyat muhim ahamiyatga ega. Bu shu bilan bog'likki, u orqali foton energiyasi aniqlanadi ($E = h\nu$) va binobarin, usiz nurlanishning uzlukligidan iborat mikroduyoning o'ziga xos xususiyatini tushuntirib bo'lmaydi. Plank doimiysi kvant fizikasining ko'pchilik munosabatlariga bevosita yoki bilvosita kiradi. Bu kattalikning fundamental xarakteri, uning kvant nazariyasidagi o'rni uni eksperimental aniqlash zaruriyatini tug'dirdi. Bu masala nihoyatda qiyin bo'lib chiqdi, chunki juda ko'p eksperimental qiyinchiliklarni yengishga to'g'ri keldi. Buni birinchi bo'lib R. A. Milliken (1916 - y.), so'ngra P. I. Lukirskiy va S. S. Prilejavevlar (1928 - y.) amalga oshirishdi. Hozirgi kunda Plank doimiysining taqribiy qiymati maktablarning fizika kabinetlarida zamonaviy o'lchov texnikasi yordamida aniqlanishi mumkin.

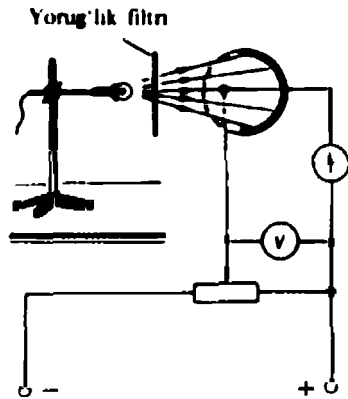
1. Plank doimiysini o'lchash prinsipi. Plank doimiysini o'lchashning bir nechta usullari mavjud. Fotoeffekt hodisasidan foydalanishga asoslangan usul eng sodda va qulaydir: agar fotoelement va sezgir galvanometr dan iborat zanjir tuzilsa (94- rasm) va fotoelement katodi ν_1 chastotali yorug'lik bilan yoritilsa, zanjirda fototok hosil bo'ladi. Bu, fotokatod yoritilganda undan ν_1 tezlikli va $m_e v_1^2/2$ kinetik energiyali elektron urib chiqarilishini ko'rsatadi. Bu elektronlar anodgacha uchib boradi va zanjirda tok hosil qiladi.

Fotokatod va anod orasiga tormozlovchi kuchlanish qo'yib (95- rasm) va uni asta-sekin orttira borib, kuchlanishning shunday U_1 qiymatini topish mumkinki, bunda zanjirdagi fototok to'xtaydi. Bu fotoelektronlar anodga yetib bormaganligini anglatadi, chunki ularning kinetik energiyasi tormozlovchi elektr maydonning anod — katod qismida bajargan ishiga teng (yoki biroz kichik) bo'ladi:

$$\frac{1}{2} m_e v_1^2 = eU_1.$$



94- rasm.



95- rasm.

Bu hol uchun Eynshteyn tenglamasi

$$h\nu_1 = A + \frac{m_e v_1^2}{2} \quad \text{yoki} \quad h\nu_1 = A + eU_1 \quad (1)$$

ko'rinishda yoziladi.

Fotokatodni ν_2 chastotali yorug'lik bilan yoritib, tajriba takrorlanadi. Bu holda tormozlovchi kuchlanish U_2 bo'lganda fototok to'xtaydi va Eynshteyn tenglamasi

$$h\nu_2 = A + \frac{m_e v_2^2}{2} \quad \text{yoki} \quad h\nu_2 = A + eU_2 \quad (2)$$

ko'rinishga ega bo'ladi. Biz h va A noma'lumlari bo'lgan ikki tenglama sistemasini oldik, (2) dan (1) ni ayirib, hosil bo'lgan ifodadan h ni topamiz:

$$h = e \frac{U_2 - U_1}{\nu_2 - \nu_1}$$

e , ν_1 , ν_2 larni bilgan holda, U_1 va U_2 kuchlanishlarni tajribada o'lchab, h Plank doimiysini topish mumkin.

2. Eksperimental ish. Maktablar uchun „Kvant-1“ maxsus asboblarni komplekti chiqarilgan, uning tarkibiga quyidagi asboblarni kiradi: maxsus g'ilofga joylashtirilgan F-26 fotoelementi; lampali yoritgich (6V, 21 W); o'lchash chegaralari $0 \div 1,5$ V bo'lgan voltmetr; sezgirligi 10^{-8} A/bo'l. bo'lgan galvanometr, yorug'lik filtrlari: zarg'aldoqrangli OS-1, yashil ZS-1, ko'k SS-1; qarshiligi

100 Ω bo'lgan potensiometr; ulovchi simlar. „Kvant-1“ komplek-tiga kiruvchi bu asboblardan tashqari lampani ta'minlovchi tok manbai—galvanik element ham zarur bo'ladi.

Ishni bajarish tartibi

1. 94- rasm bo'yicha qurilmani yig'ing va zanjirda manba bo'lmagan holda fototok borligiga ishonch hosil qiling.

2. 95- rasm bo'yicha zanjirni yig'ing va fotokatodni OS-1 zarg'aldoqrangli yorug'lik filtridan o'tuvchi yorug'lik bilan yoriting.

3. Tormozlovchi kuchlanishni bir tekis orttirib, fototokning yo'qolish momentini aniq toping va fototok to'xtagan momentda-gi U_1 kuchlanishni o'lchang.

4. Fotokatodni yashil va ko'k yorug'lik filtrlaridan o'tuvchi yorug'lik bilan yoritib, tormozlovchi kuchlanishni o'lchang.

5. Yorug'lik filtrlarining pasportlari bo'yicha ulardan o'tuvchi to'lqinlarning o'rtacha chastotasini aniqlang.

6. O'lchash natijalari bo'yicha Plank doimiysining uchta qiy-matini hisoblang va o'rtacha qiymatini toping.

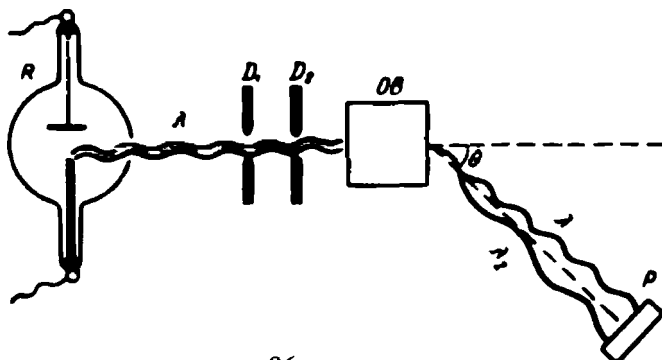
3*. Qiziq tarixiy dalil. Ilmiy olam tomonidan yorug'lik kvanti (foton) ning tan olinishi naqadar qiyin bo'lganligiga quyidagi tarixiy dalil guvohlik beradi.

1911-yili o'sha davrning eng yirik fiziklari, ular ichida M. Plank ham bor edi, 34 yoshli A. Eynshteynni Prussiya akademiasining haqiqiy a'zozligiga saylash uchun tavsiya etishdi. Tavsiyanoma mat-nida, jumladan, quyidagilar ham yozilgan edi: „Umuman, ay-tish mumkinki, zamonaviy fizikaning A. Eynshteyn salmoqli hissa qo'shmagan birorta ham muammosi yo'q. Agar ayrim izlanishlar, masalan, uning yorug'lik kvanti haqidagi gipotezasi maqsadga olib kelmagan bo'lsa, buni uning aybi deb bilmaslik kerak, chun-ki yangi g'oyalar ilgari surilganda, ayniqsa, aniq fanlar bo'yicha tavakkal qilmaslik mumkin emas“.

28- §. Fotonning impulsi

Fotonning massasi bo'lishi, u impulsiga ham ega, degan fikrga olib keladi. Fotonning impulsiga ega ekanligi yorug'lik bosimi bilan va amerikalik fizik A. Kompton qo'yan maxsus tajriba bilan tas-diqlanadi.

1. Yorug'lik bosimi. Biz yorug'lik bosimini yorug'likning to'lqin tabiati nuqtayi nazaridan qarab chiqqan edik (3- §). Ammo uni kvant tasavvurlar asosida ham tushuntirish mumkin.



96- rasm.

Aytaylik, yorug'likni yutuvchi sirtga har sekundda chastotasi ν bo'lgan N ta foton tushsin. Har bir foton sirtga

$$p_1 = \frac{h\nu}{c}$$

impuls beradi (26- § ga q.). N ta foton tomonidan berilgan yig'indi impuls

$$p = \frac{Nh\nu}{c}$$

bo'ladi. Ammo $h\nu$ —bu bitta foton energiyasi. U holda barcha N ta foton tomonidan sirtga berilgan energiya

$$\Delta W = Nh\nu$$

ga teng, shuning uchun

$$p = \frac{\Delta W}{c}$$

kelib chiqadi.

2*. Kompton effekti. 96- rasmda Kompton rentgen nurlarining modda bilan o'zaro ta'sirini tekshirgan qurilmaning sxemasi keltirilgan. Qurilmada R rentgen nurlari manbayidan D diafragma orqali OB modda namunasiga (parafin) λ uzunlikli to'liqlar keladi. Sochilgan to'liqlar P priyomnikda hisobga olinadi, unda to'liqlar uzunligi aniqlanadi. Tajribalarda quyidagilar ma'lum bo'ldi:

a) sochilgan nurlanish tarkibida boshlang'ich λ uzunlikdagi to'liqlar bilan bir qatorda kattaroq λ_2 uzunlikli to'liqlar ham bo'ladi ($\lambda_2 > \lambda$);

b) to'liqin uzunliklari farqi $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda$ tushuvchi to'liqin uzunligiga va sochuvchi modda tabiatiga bog'liq emas, balki faqat θ sochilish burchagining qiymati bilan aniqlanadi. Tajribada quyidagi munosabat topilgan:

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda = kR\sin^2 \frac{\theta}{2},$$

bu yerda k — doimiy kattalik.

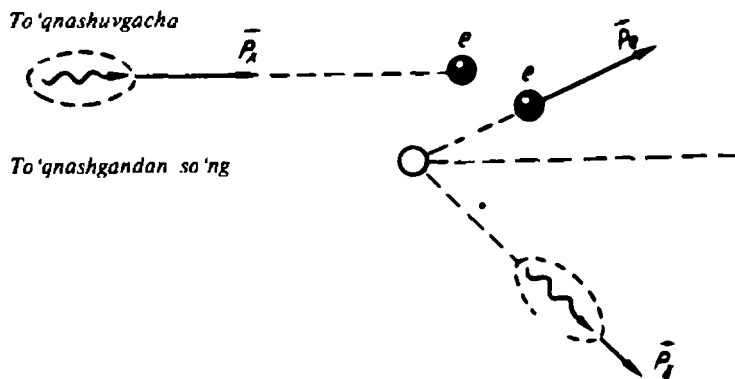
Kuzatilgan hodisani to'liqin tasavvurlari asosida tushuntirib bo'lmaydi. Gap shundaki, to'liqin nazariya nuqtayi nazaridan sochilgan to'liqinlar — bu birlamchi to'liqinlarning elektromagnit maydonida tebranuvchi elektronlar tomonidan uyg'otilgan ikkilamchi to'liqinlardir.

Elektronlarning majburiy tebranishlari chastotasi tushuvchi (majbur etuvchi) nurlanish chastotasiga tengligi sababli, sochilgan nurlanish uzunligi tushuvchi to'liqinlar uzunligiga teng bo'lishi kerak, undan katta bo'la olmaydi, bu esa tajribaga to'liq mos kelmaydi.

Ammo kuzatilgan effekt kvant tasavvurlar asosida osongina tushuntiriladi. Elektromagnit to'liqin fotonini uning energiyasiga bog'liq holda sochuvchi modda bilan ikki xil ta'sirlashadi.

Agar foton energiyasi elektronni atomdan bo'shatish uchun zarur bo'lgan energiyadan kichik bo'lsa, bu holda u butun atom bilan ta'sirlashadi. Atom massasi foton massasidan ancha kattaligi sababli, bu o'zaro ta'sir gaz molekularining idish devori bilan o'zaro ta'sirini eslatadi: foton atomdan qaytadi, uning chastotasi, demak, to'liqin uzunligi ham o'zgarishsiz qoladi.

Agar foton energiyasi elektronni atomdan bo'shatish uchun yetarli bo'lsa, foton elektron bilan o'zaro ta'sirlashadi, unga



97- rasm.

energiya va impuls beradi, ular oxir-oqibatda ikkilamchi foton (nurlanish) va elektron orasida qayta taqsimlanadi (97- rasm).

Bu holda ikkilamchi foton energiyasi birlamchinikidan kichik, to'liq uzunligi esa katta bo'ladi, tajribada ham xuddi shunday holat kuzatiladi.

Nazariy hisoblashlarning natijasi tajriba ma'lumotlarini ishlash natijasiga mos keladi, bu fotonning impulsiga ega ekanligi haqidagi fikrni tasdiqlaydi.



1. Foton impulsiga ega ekanligining qanday eksperimental isbotlarini bilasiz?
2. Kompton tajribasining g'oyasini, eksperimental qurilmasi sxemasini va natijalarini tushuntiring.
3. Nega Kompton tajribasining natijasini to'liq tasavvurlari asosida tushuntirib bo'lmaydi?
4. Ko'zgudek silliqilgan sirtga sekundiga ν chastotali N ta foton tushadi. Nurlanishning sirtga beradigan bosimini aniqlang.

29- §. Elektromagnit nurlanishning ikki yoqlamalik tabiati

1. Nurlanishning tabiati haqida. Bu bobda biz elektromagnit nurlanish (shu jumladan, yorug'lik ham) elektromagnit maydon zarralari—fotonlar ko'rinishida nurlanishi, tarqalishi va yutilishini ko'rsatuvchi qator hodisalarni qarab chiqdik. Ammo difraksiya, interferensiya, dispersiya, qutblanish hodisalarini o'rganishda biz nurlanishning to'liq xarakterga ega ekanligiga ishonch hosil qilgan edik.

Qator hollarda (bosim, qaytish, sinish) elektromagnit nurlanishning xususiyatlari ham to'liq, ham kvant tasavvurlar asosida bir xilda yaxshi tushunilishi va tushuntirilishi mumkin. Beixtiyor savol tug'iladi: nurlanish o'zi nima? Uning haqiqiy tabiati qanday? Bu — fotonlar oqimimi yoki to'liqlarmi?

Savolning bunday qo'yilishi asosli, ammo noto'g'ridir. Gap shundaki, elektromagnit nurlanish bir vaqtda ham kvant, ham to'liq xususiyatlarga ega. Nurlanishning to'liq va kvant xususiyatlarining birligi kvant nazariyasining asosiy formulalarida ham o'z aksini topgan:

$$E = h\nu, p = \frac{h\nu}{c}$$

Bu formulalardagi E energiya, p impuls va h Plank doimiysi yorug'likni fotonlar oqimi sifatida xarakterlaydi, ν chastota esa

- yorug'likni to'liqin sifatida talqin etadi. Bundan, *har bir alohida foton bir vaqtda ham kvant, ham to'liqin xususiyatlariga ega ekanligi*
- *kelib chiqadi.* Yorug'likning kvant va to'liqin xususiyatlari bir-birini inkor etmaydi, balki bir-birini to'ldiradi.

2. **Miqdoriy o'zgarishlarning sifat o'zgarishlarga o'tishi.** Elektromagnit nurlanishning, bir qarashda ziddiyatlilik tuyulgan ikki yoqlamalik xususiyatining namoyon bo'lishida nihoyatda qiziq va muhim qonuniyat bor: to'liqin uzunligi qancha qisqa bo'lsa, kvant qonuniyatlar shuncha yaxshi bajariladi va aksincha, to'liqin uzunroq bo'lgan sari nurlanishning to'liqin xususiyatlari shuncha yaxshiroq namoyon bo'ladi.

Tabiatning eng umumiy qonuni—miqdor o'zgarishlarining sifat o'zgarishlariga o'tish qonuni ana shunda namoyon bo'ladi. Quyida keltirilgan jadval yuqorida aytilgan fikrlarni juda yaxshi aks ettiradi.

3- jadval

Nurlanishning nomi	Chastota, Hz	Xususiyatlarning ustunligi
O'zgaruvchan tok	$5 \cdot 10^1$	to'liqin
Yuqori chastotali toklar	$5 \cdot 10^1 - 2 \cdot 10^4$	—«—
Uzun radioto'liqinlar	$2 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^5$	—«—
O'rtacha —«—	$3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^6$	—«—
Qisqa—«—	$3 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^7$	—«—
Metrlı —«—	$3 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^8$	—«—
Detsimetrli —«—	$3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^9$	—«—
Santimetrli —«—	$3 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{10}$	—«—
Millimetrli —«—	$3 \cdot 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$	—«—
Infraqizil nurlanish	$3 \cdot 10^{11} - 4 \cdot 10^{14}$	to'liqin va kvant
Ko'rinadigan —«—	$4 \cdot 10^{14} - 8 \cdot 10^{14}$	—«—
Ultrabinafsha—«—	$8 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{16}$	—«—
Rentgen nurlanishi —«—	$3 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{20}$	—«—
Gamma-nurlanish	$3 \cdot 10^{20}$ va undan katta	kvant

3- MASHQ

1. Rentgen nurlanishi fotonining energiyasi, massasi va impulsini toping.
2. Agar fototok 1,0 V ushlab qoluvchi kuchlanishda to'xtasa, fotoelektronlar tezligi qancha bo'ladi?
3. Qizil ($\lambda_a = 760$ nm) va binafsharang ($\lambda_b = 380$ nm) yorug'lik fotonlari energiyalarining nisbatini toping.
4. Agar biror nurlanish fotonining energiyasi 3,0 eV bo'lsa, bu nurlanish to'lqin uzunligi qanday bo'ladi?
5. Radiostansiya 3 m li to'lqinda ishlaydi, nurlanish quvvati 1W. Bu nurlanish fotonining energiyasini va 1 s da chiquvchi fotonlar sonini toping.
6. To'lqin uzunligi $1,6 \cdot 10^{-8}$ m bo'lgan nurlanish fotonining impulsini toping.
7. Kvant tasavvurlardan kelib chiqib, 70 foiz fotonni yutuvchi va 30 foiz fotonni qaytaruvchi sirtga bo'lgan bosimni hisoblang. Tushuvchi fotonlar oqimining energiyasi $E = hv$ ga teng.

IV BOBNING ASOSIY MAZMUNI

1. Elektromagnit nurlanish manbayi atomlar hisoblanadi. Elektromagnit nurlanish elektromagnit maydon zarralari—fotonlar ko'rinishida chiqariladi, tarqaladi va yutiladi.

2. Nurlanishning kvant xarakteri birinchi marta M. Plank tomonidan 1900- yili isitilgan jismlarning issiqlik nurlanishini tushuntirishda aniqlangan edi.

Keyinroq, 1905- yili A. Eynshteyn yorug'lik, bu — $h\nu$ energiyali fotonlar oqimi, yorug'lik $E = h\nu$ energiyali kvantlar ko'rinishida tarqaladi va yutiladi, degan g'oyani ilgari surdi. Yorug'likning kvantlar ko'rinishida tarqalishini Bote tajribasi, yutilishning kvant xarakterini esa fotoeffekt hodisasi tasdiqladi.

3. Foton energiyaga, massaga va impulsiga ega. Fotonning energiyaga ega ekanligi uning boshqa energiya turlariga (fotoeffekt, fotosintez, boshqa fotokimyoviy reaksiyalar) aylanishi bilan tasdiqlanadi. Fotonning impulsi borligini yorug'lik bosimi va Kompton effekti tasdiqlaydi. Fotonning massaga egaligi energiya va massaning o'zaro bog'liqlik qonunidan kelib chiqadi. Ammo fotonning massasi zarra va jismlar massasidan prinsipial ravishda farqlanadi. Bu—tinchlikdagi massa emas. Foton tinchlikdagi massaga ega emas.

4. Barcha elektromagnit hodisalar to'plami elektromagnit nurlanish bir vaqtda kvant va to'lqin xossalari ega ekanligiga guvohlik beradi. Elektromagnit nurlanishning kvant va to'lqin xossalari—bu uning ikkita har xil tomonlari. Ular bir-birini inkor etmaydi, balki to'ldiradi. Elektromagnit nurlanishning to'lqin xossalari kichik chastotalarda juda aniq namoyon bo'ladi, katta chastotalarda esa uncha aniq bo'lmaydi. Aksincha, kvant xossalari katta chastotalarda juda aniq namoyon bo'ladi, kichik chastotalarda esa uncha aniq bo'lmaydi.

V bob. NISBIYLIK NAZARIYASI ELEMENTLARI

A. Eynshteyn tomonidan XX asr boshlarida yaratilgan nisbiylik nazariyasi fizika tarixida alohida o'rin tutadi. Bir tomondan u XIX asr klassik fizikasini tugalladi, ikkinchi tomondan, zamonaviy fizikani boshlab berdi va uning asoslaridan biri bo'lib qoldi.

30- §. Nisbiylik nazariyasining hoshlanishi va asoslari

1. Nisbiylik nazariyasining boshlanishi. G. Galiley tomonidan aniqlangan klassik mexanikaning nisbiylik prinsipi quyidagicha: mexanikada barcha inersial sanoq sistemalari teng huquqli yoki mexanika qonunlari barcha inersial sanoq sistemalarida bir xil shaklga ega. Shuning uchun sanoq sistemasining to'g'ri chiziqli tekis harakati bu sistemada yuz beruvchi mexanik jarayonlarga hech qanday ta'sir etmaydi.

Uzoq vaqt (deyarli XX asr boshigacha) fiziklar bu prinsip mexanikada o'rinli, elektrodinamikada esa o'rinli emas deb hisoblashgan. Nisbiylik prinsipining bunday talqin qilinishi elektromagnit hodisalarni noto'g'ri tushunish bilan bog'liq edi. Elektromagnit to'lqinlar (shu jumladan, yorug'lik ham) — bu butun fazoni egallovchi maxsus muhit—efirda tarqaluvchi to'lqinlardir, deb hisoblanar edi. Shuning uchun elektromagnit hodisalar efirga nisbatan qo'zg'almas bo'lgan sanoq sistemasida, unga nisbatan to'g'ri chiziqli tekis harakat qiluvchi sistemadagiga qaraganda boshqacharoq yuz berishi kerak.

Ammo efirning mavjudligini tasdiqlovchi hodisalarni topish yo'lidagi barcha urinishlar muvaffaqiyatsiz tugadi.

Elektromagnit to'lqinlarga efirning mavjudligini inkor etuvchi yangicha, zamonaviy qarash 1905 - yili A. Eynshteyn tomonidan ilgari surildi.

2. Eynshteynning nisbiylik prinsipi. Eynshteyn o'zining „Harakatlanuvchi jismlar elektrodinamikasiga oid“ nomli birinchi va asos qilib olinuvchi ishida postulat* tarzida Galileyning nisbiylik prinsipi faqat mexanikadagina emas, balki elektrodinamikada ham o'rinaldir, degan fikrni aytgan edi. Keyinchalik bu postulat *Eynshteynning nisbiylik prinsipi* nomini oldi. Uni quyidagicha ta'riflash mumkin: **fizika qonunlari barcha inersial sanoq sistemalarida bir xil shaklga ega bo'ladi. Yoki har qanday fizik hodisalar bir xil boshlang'ich shartlarda barcha inersial sanoq sistemalarida bir xilda yuz beradi.**

Eynshteynning nisbiylik prinsipi — zamonaviy fizikaning fundamental qonunlaridan biri, Olamni tushunishning zamonaviy asosidir.

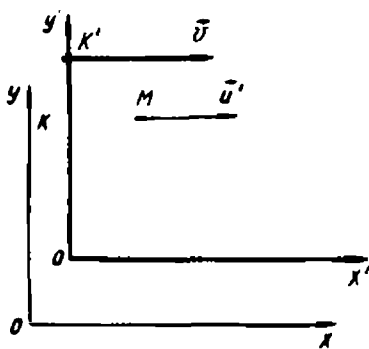
3. Yorug'likning vakuumdagi tezligi haqidagi postulat. A. Eynshteyn nisbiylik prinsipini quyidagi postulat bilan to'ldirdi: yorug'likning vakuumdagi tezligi chegaraviydir, ya'ni tabiatda uchraydigan tezliklarning eng kattasidir va manbaning harakat tezligiga ham, kuzatuvchining harakat tezligiga ham bog'liq emas. Odatda, bu postulat quyidagicha ta'riflanadi: **barcha inersial sanoq sistemalarida yorug'likning vakuumdagi tezligi chegaraviy tezlik bo'ladi, manba va kuzatuvchining harakat tezligiga bog'liq emas.**

4. Tezliklarni qo'shishning relyativistik qonuni. Nisbiylik nazariyasining yorug'lik tezligining chegaraviy xarakteri haqidagi prinsipi tezliklarni qo'shish qonunini qayta ko'rib chiqishni talab etadi. Aytaylik, M moddiy nuqta K' inersial sanoq sistemasiga nisbatan X' o'q yo'nalishida u' tezlik bilan bir tekis harakatlansin, K' sistema o'z navbatida K qo'zg'almas sistemaga nisbatan \bar{v} doimiy tezlik bilan harakatlansin (98- rasm).

Klassik mexanikada moddiy nuqtaning K sanoq sistemasiga natijaviy tezligining moduli

$$u = u' + v$$

formula bilan aniqlanadi.



98- rasm.

* Postulat — bu boshlang'ich qoida sifatida isbotsiz qabul qilingan da'vodir.

Nisbiylik nazariyasida esa ko'rilayotgan hol uchun tezliklarni qo'shish qonuni

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}}$$

formula bilan ifodalanadi.

Bu formulaning to'g'riligi undan kelib chiqadigan barcha natijalarning tajribaga mos kelishi bilan tasdiqlanadi.

Harakat tezliklari yorug'lik tezligidan ancha kichik ($u' \ll c, v \ll c$) bo'lganda, $u'v/c^2 \approx 0 \ll 1$ bo'ladi va relyativistik formula bo'yicha hisoblangan natijaviy tezlik, amalda, klassik fizikaning tezliklarni qo'shish formulasi bo'yicha hisoblangan tezlik bilan bir xil bo'ladi. Ammo katta tezliklar qo'shilganda natija boshqacha bo'ladi.

Aytaylik, ikki jism bir-biriga qarab $u' = 200\,000$ km/s va $v = 200\,000$ km/s tezlik bilan harakatlansin. Tezliklarni qo'shishning klassik formulasiga ko'ra ularning nisbiy tezligi $u = 200\,000$ km/s + $200\,000$ km/s = $400\,000$ km/s bo'ladi.

Bundan ko'rinadiki, Nyuton mexanikasi qonunlariga ko'ra yorug'lik tezligidan katta tezlikdagi harakatlar ham bo'lishi mumkin. Ammo tezliklarni qo'shishning relyativistik qonuni bunga yo'li qo'ymaydi:

$$u = \frac{2 \cdot 10^5 \text{ km/s} + 2 \cdot 10^5 \text{ km/s}}{1 + \frac{2 \cdot 10^5 \text{ km/s} \cdot 2 \cdot 10^5 \text{ km/s}}{(3 \cdot 10^5 \text{ km/s})^2}} = 277 \cdot 10^3 \text{ km/s.}$$

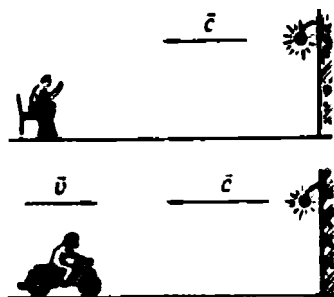
Harakatlanuvchi K' sistemaga mahkamlangan manbadan yorug'lik X' o'q yo'nalishida (vakuumda) c tezlik bilan tarqalsin. Manba K' sistema bilan birga nur yo'nalishida K sistemaga nisbatan v tezlik bilan harakatlanadi. Yorug'likning K sistemaga nisbatan (nisbiy) tezligi klassik formulaga ko'ra:

$$u = c + v$$

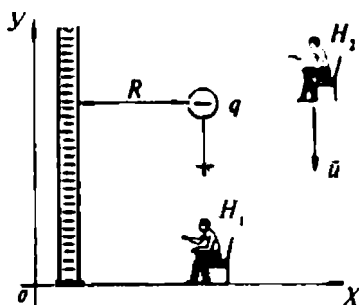
ga, relyativistik formulaga ko'ra

$$u = \frac{c+v}{1 + \frac{cv}{c^2}} = \frac{c+v}{1 + \frac{v}{c}} = \frac{c+v}{c} = c$$

ga teng bo'ladi.



99- rasm.



100- rasm.

- Ko'ramizki, yorug'likning vakuumdagi tezligi c manba tezligiga bog'liq emas va bir vaqtda ham doimiy, ham chegaraviy kattalikka ega bo'ladi: hech narsa yorug'likning vakuumdagi tezligidan tezroq harakatlana olmaydi (99- rasm).

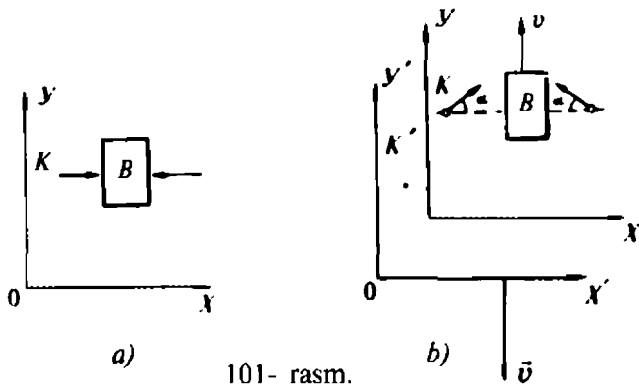
1. Zaryadlangan uzun o'tkazgichdan R masofada— q zaryad joylashgan. Zaryad va o'tkazgichning o'zaro ta'sirini „o'tkazgich—zaryad“ sistemasida tinch holatda turuvchi H_1 kuzatuvchi va o'tkazgich va zaryadga nisbatan u tezlik bilan harakatlanuvchi H_2 kuzatuvchi o'rganadi. Kuzatuvchilar nimani ko'rishini tasvirlab bering(100-rasm).
2. Nisbiylik nazariyasining prinsiplarini ta'riflang.
3. Eynshteynning nisbiylik prinsipi Galileyning nisbiylik prinsipidan nima bilan farqlanadi?
4. Tezliklarni qo'shishning relyativistik qonuni klassik mexanikadagi tezliklarni qo'shish qonunidan nima bilan farqlanadi?

31- §. Massa va energiyaning o'zaro bog'liqlik qonuni

Klassik fizikada tanlab olingan sanoq sistemasida tinch holatda turuvchi jismning massasi va energiyasi o'zaro bog'lanmagan. Nisbiylik nazariyasida bu kattaliklarning o'zaro bog'langanligi aniqlangan. Quyida A. Eynshteyn tomonidan taklif etilgan massa bilan energiya orasidagi bog'lanishni keltirib chiqarish usullaridan biri keltiriladi.

Aytaylik, B jism K sanoq sistemasiga nisbatan tinch holatda bo'lsin (101- a rasm). Jismga o'ng va chap tomondan bir xil qisqa muddatli yorug'lik impulslari tushsin. Har bir impuls energiyasini

$\frac{\Delta E}{2}$ bilan belgilasak, ikkala impulsning to'liq energiyasi ΔE ga teng bo'ladi. B jism har ikkala impuls energiyasini to'liq yutadi, deylik.



101- rasm.

Yorug'lik jismga o'ng va chap tomondan bir xil sharoitda ta'sir etgani sababli, *B* jism *K* sistemaga nisbatan tinch holatda qoladi.

Ana shu hodisaning o'zini *K* sistemaga nisbatan vertikal ravishda pastga tomon *v* tezlik bilan harakatlanuvchi *K'* sistemada qarab chiqamiz. Bu sistemada *B* jism vertikal ravishda yuqoriga *v* tezlik bilan harakatlanadi (101- *b* rasm).

Aytaylik, jismning yorug'likni yutgungacha bo'lgan massasi *m* bo'lsin. U holda jismning *K'* sistemadagi yorug'lik yutgungacha bo'lgan impulsi *mv* ga teng bo'ladi. Jismga yutilgan bitta yorug'lik impulsini uning energiyasi orqali

$$\Delta p_1 = \frac{\Delta E}{2c}$$

ko'rinishda, uning *Y* o'q bo'yicha proyeksiyasini $\Delta p_{1y} = \frac{\Delta E}{2c} \sin \alpha$

shaklda yozish mumkin. 101- *b* rasmdan ko'rinadiki, $\sin \alpha = \frac{v}{c}$ ga teng. U holda har ikkala tomondan tushgan yorug'likning jismga bergan to'liq impulsining *Y* o'qdagi proyeksiyasi

$$\Delta p_y = 2\Delta p_{1y} = 2 \frac{\Delta E}{2c} \cdot \sin \alpha = 2 \frac{\Delta E}{2c} \frac{v}{c} = \frac{\Delta E v}{c^2}$$

ga teng bo'ladi. Jism va ikkita yorug'lik impulsidan iborat sistemaning yorug'lik yutilgungacha bo'lgan yig'indi impulsining *Y* o'qqa

proyeksiyasi $p_y = mv' + \frac{\Delta E v}{c^2}$ ga teng.

Aytaylik, *B* jism har ikkala yorug'lik impulsini to'liq yutgan bo'lsin. Buning natijasida uning massasi ortadi va *m'* bo'lib qoladi. Sistemaning *B* jism yorug'lik impulsini yutgandan keyingi impulsi (uning *Y* o'qdagi proyeksiyasi)

$$p'_y = m'v$$

formula bilan aniqlanadi. Impulsning saqlanish qonuniga ko'ra $p'_y = p_y$,

yoki $m'v = mv + \frac{\Delta E v}{c^2}$ bo'ladi, bundan $m' - m = \frac{\Delta E}{c^2}$ topiladi.

Bu munosabat massa va energiyaning o'zaro bog'liqlik qonunini ifodalaydi.

Jism energiyaning ΔE ga ko'payishi uning massasining $m' - m = \Delta m$ ga ko'payishi bilan bog'liq, bunda

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}.$$

Olingan formula massa va energiyaning o'zaro bog'liqligini ko'rsatadi. Bu—*massa va energiyaning o'zaro bog'liqlik qonunidir*.

Massa va energiyaning o'zaro bog'liqlik qonuni—fizikaning fundamental qonunlaridan biri. U ilgari bir-biriga bog'liq emasdek tuyulgan ikkita fizik kattalikni o'zaro bog'laydi. Bu qonundan ko'rinadiki, tinch holatdagi har qanday m massali jism, bu massaga proporsional bo'lgan E energiyaga ega bo'ladi va aksincha, E energiyaga ega bo'lgan har qanday jism bu energiyaga proporsional bo'lgan m massaga ega bo'ladi: $E = mc^2$.

Qonunning ma'nosi shundan iboratki, *energiya va massa—*

- *bu har qanday fizik obyektning ikkita, bir-biriga bog'liq bo'lgan xarakteristikalaridir.*

- ?
1. Massa va energiyaning o'zaro bog'liqlik qonunini ta'riflab bering.
 2. Yorug'likning modda bilan o'zaro ta'sirida massa va energiyaning o'zaro bog'liqlik qonuni o'rinli bo'lishini ko'rsating.

4- MASHQ

1. Tezlatgichda bir-birining ro'parasidan keluvchi dastalardagi protonlar qurilmaga nisbatan $0,99000 c$ tezlik bilan harakatlanadi. Bir protonning ikkinchisiga nisbatan nisbiy tezligi qanday?

2. Yorug'likning qo'zg'almas moddadagi tezligi $v = \frac{c}{n}$ ga teng (c —yorug'likning vakuumdagi tezligi, n — moddaning sindirish ko'rsatkichi). Yorug'likning manbaga nisbatan bir tekis harakatlanuvchi moddadagi tezligini toping.

3. Elektron kuchlanganligi $3 \cdot 10^3$ V/m bo'lgan elektr maydonda tezlashtiriladi. Elektronning 1 ns dan keyingi tezligini toping.

V BOBNING ASOSIY MAZMUNI

1. Nisbiylik nazariyasi—bu katta tezliklardagi jismlar va elementlar zarrachalar harakatini o'rganuvchi fizik nazariyadir. Nisbiylik nazariyasining asoslari 1905- yili A. Eynshteyn tomonidan ta'riflab berilgan.

Nisbiylik nazariyasi tajribalarda tasdiqlangan ikkita prinsipga tayanadi:

a) barcha inersial sanoq sistemalarida hamma fizik hodisalar (mexanik va elektromagnit) bir xilda yuz beradi;

b) yorug'likning vakuumdagi tezligi chegaraviy tezlik hisoblanadi va manbaning harakat tezligiga bog'liq emas.

2. Tezligi yorug'likning vakuumdagi tezligiga yaqin bo'lgan harakatlarga o'tishda yorug'lik tezligidan ancha kichik tezlikdagi harakatlar uchun aniqlangan klassik mexanika qonunlari va munosabatlariga o'zgarishlar kiritish zarur. Chunonchi, tezliklarni qo'shishning $u = u' + v$ klassik qonuni nisbiylik nazariyasida

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}}$$

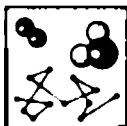
shaklga ega bo'ladi.

3. Klassik mexanikada tanlab olingan sanoq sistemasida tinch turuvchi jism massasi bilan energiyasi orasida o'zaro bog'lanish yo'q. Nisbiylik nazariyasida bu kattaliklar o'zaro bog'langan.

Massa va energiyaning o'zaro bog'liqlik qonuni zamonaviy fizikaning asosiy qonunlaridan biri bo'lib qoldi:

$$E = mc^2.$$

4. Nyuton mexanikasining tatbiq etilish sohasi—kichik tezliklar (yorug'lik tezligiga nisbatan) sohasidir, nisbiylik nazariyasining tatbiq etilish sohasi esa yorug'lik tezligiga yaqin bo'lgan tezliklargacha kengayadi. Nisbiylik nazariyasining to'g'riligi ko'p sonli tajribalar va kichik tezliklarda uning asosiy qonun va munosabatlari Nyuton mexanikasining mos qonun va munosabatlariga o'tishi bilan tasdiqlanadi.



MOLEKULAR FIZIKA VA TERMODINAMIKA ASOSLARI

Molekular fizika va termodinamika to'g'risida. Tevarak-atrofdagi jismlar qator xossalarga, masalan, mustahkamlik, elastiklik, erish temperaturasi, qaynash temperaturasi, issiqlik o'tkazuvchanlik va shunga o'xshash xossalarga ega, bularni bilish ulardan amaliy foydalanishda muhim ahamiyatga ega.

Molekular fizika—fizikaning moddalarning tuzilishi va xossalarini ular tashkil topgan molekularning uzluksiz betartib harakatlari asosida o'rganuvchi bo'limidir.

Bu xossalarni o'rganish bilan molekular fizika va termodinamika shug'ullanadi. Molekular fizika xossalarning moddalar ichki tuzilishiga bog'liqligini o'rganib, bunda u mazkur xossalarni molekular to'plamining o'zaro ta'siri va harakatining natijasi deb ko'rsatishga intiladi. Bunda molekular fizikani alohida molekularning xatti-harakati qiziqitmaydi. Bundan uning boshqa nomi — *statistik fizika* kelib chiqadi.

Molekular fizikadan farqli o'laroq, termodinamikada moddalarning xossalari ularning tuzilishini qaramagan holda o'rganiladi. *Termodinamika — fizikaning termodinamik muvozanat holatida bo'lgan makroskopik sistemalarning umumiy xossalari va bu holatlar o'rtasidagi o'tish jarayonlarini o'rganadigan bo'limidir.*

Termodinamika asosida eksperimental ravishda aniqlangan ikkita qonun yotadi: energiyaning saqlanish qonuni va issiqlik jarayonlarining yo'nalganlik qonuni (bu qonunga ko'ra issiqlik jarayonlarida modda holatini xarakterlovchi bosim, zichlik, temperatura va boshqa kattaliklarning tekislanishi ro'y beradi). Bu qonunlar yordamida termodinamika metodlaridan foydalanib, o'rganilayotgan jismlarning ichki tuzilishi to'g'risida hech qanday taxminlar qilmagan holda, ularning turli sharoitlardagi xossalari to'g'risida ko'pgina ma'lumotlar olish mumkin.

Statistika va termodinamika metodlari orasida chuqur bog'lanishlar mavjud; ular bir-birini to'ldirib amalda bir butunni hosil qiladi.

VI bob. MODDALARNING TUZILISHI HAQIDA UMUMIY MA'LUMOTLAR

Moddaning uzlukli (diskret) tuzilishi to'g'risidagi tasavvur uzoq o'tmishdayoq paydo bo'lgan edi. Ikki mingdan ortiq yil ilgari qadimgi yunon olimlari olamdagi hamma narsa bo'linmaydigan juda ham mayda zarralar—atomlardan tashkil topgan, deb faraz qilgan edilar. Bu fikrni yunon olimi *Demokrit* (eramizdan oldingi 460—370 yillar) izchillik bilan bayon qilib, bunday deb yozgan: „hamma narsa atomlardan tashkil topgan . . . Buyumlar bir-biridan atomlari bilan, ularning tartibi va holati bilan farq qiladi . . .“. Atomchilarning qarashlari keng tarqaldi. Ammo o'sha vaqtda moddalarning diskret (uzlukli) tuzilishi to'g'risidagi tasavvurlar buyuk mutafakkirlarning taxminlari edi, xolos.

„Atom“ so'zi yunoncha „bo'linmas“ degan ma'noni anglatadi. *Demokritning* bu ta'limotini O'rta Osiyolik mutafakkirlardan Ar-Roziy, Abu Rayhon Beruniy va Ibn Sino asarlarida ham uchratish mumkin.

Moddalar xossalarini tabiiy sabablar bilan tushuntirgan yunon atomchilarining ta'limoti har narsaga qodir xudoga bo'lgan ishonchni yo'qotardi. Shuning uchun o'rta asrda atomistik ta'limot tarafdorlari ta'qib qilina boshlandi. 1026 - yilda Fransiya qirolligining oliy sudi maxsus dekret bilan Fransiyada atomistik ta'limot tarqatishni o'lim jazosi bilan man etib qo'ydi. Shuning uchun modda tuzilishining atomistik gipoteziyasi tezda unutilib yuborildi. U uch yuz yil keyin fransiyalik olim P. Gassendi tomonidan qayta tiklandi, lekin endi taxmin emas, balki ilmiy gipoteza sifatida tiklandi.

P. Gassendi birinchi bo'lib zarralarni atom va molekularlarga ajratdi. „Molekula“ lotincha „moles“ so'zidan olingan bo'lib „massa“ degan ma'noni anglatadi.

Fanda atom tasavvurlar XVIII asrda rus olimi M. V. Lomonosov (1711—1756) tomonidan izchillik bilan ta'riflab berilgan edi. U hamma jismlar mayda material zarralar — „elementlar“dan iborat, ular bilan birga yirikroq zarralar — korpuskulalar mavjud, deb hisoblagan.

M. V. Lomonosov tomonidan hozirgi zamon molekular-kinetik nazariyasiga asos solingan. U molekular-kinetik nazariya yordamida o'sha vaqtda ma'lum bo'lgan fizik va kimyoviy hossalarni o'rganib chiqqan.

Ingliz olimi J. Dalton tabiat hodisalarining ko'pgina qonuniyatlarini atom va molekular haqidagi tasavvurlardan foydalanib tushuntirish mumkinligini ko'rsatdi. Moddalarning molekular tuzilishini ilmiy asoslab berdi.

XIX asrning ikkinchi yarmidagina atomistika ilmiy nazariyaga aylandi. Nemis fizigi R. Klauzius ingliz fizigi J. Maksvell va avstraliyalik fizik L. Bolsman molekular-kinetik nazariyaga asos soldilar.

XX asrda atom-molekular nazariyaning tajribada tasdiqlanishida A. Eynshteyn, J. Perren, O. Shtern kabi mashhur fiziklar ish olib bordilar va molekularning o'zaro ta'sirlashishi va harakatining qat'iy nazariyasi — molekular-kinetik nazariya yaratildi.

O'zbekistonda issiqlik fizikasini o'rganish, asosan, Fanlar Akademiyasining issiqlik fizikasi bo'limida olib boriladi. Unda suyuqlik molekularining xususiy tebranish chastotalari, ularning o'lchamlari va hokazolar o'rganiladi.

32- §. Molekular-kinetik nazariyaning asosiy qoidalari

1. *Hamma moddalar juda mayda zarralardan — molekularlardan iborat.* Molekularning real mavjudligi ko'pgina eksperimental izlanishlar bilan tasdiqlanadi. Ularning ba'zilarini ko'rib chiqamiz.

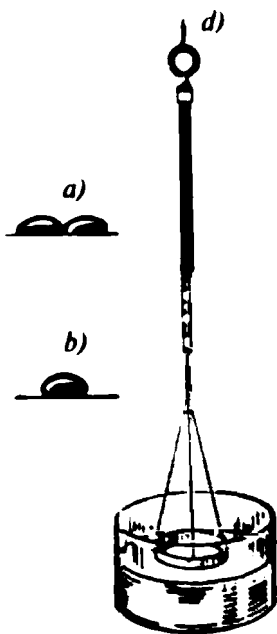
Eng avval shuni ko'rsatib o'tish kerakki, hozirgi zamon tadqiqotlari yordamida eng yirik molekular, masalan, geksametilbenzol molekulasining „fotosuratini“ olishga muvaffaq bo'lindi (102- rasm).

Qattiq va suyuq jismlarning eruvchanligi, shuningdek, gazlarning siqiluvchanligi moddalar molekularidan tashkil topganligiga bevosita ishonchli dalil bo'ladi. Bir oz keyin boshqa dalillar ham keltiriladi.

2. *Molekular — moddaning eng kichik zarrasi bo'lib, uning barcha xossalari saqlaydi.* Molekular bir yoki bir nechta atomdan tashkil topgan bo'lishi mumkin. Oddiy moddalarning molekulari bir xil atomlardan, murakkab moddalarning molekulari esa har xil atomlardan iborat. Bir xil



102- rasm.



103- rasm.

turdagi atomlar to'plami kimyoviy element deyiladi. Hozir 109 ta element ma'lum bo'lib, ularning bazilari tabiiy holda tabiatda uchramagan-ku, ammo sun'iy ravishda yaratilgan.

3. *Molekulalar orasida bir vaqtda o'zaro tortishish va itarishish kuchlari ta'sir qiladi.* Masalan, qattiq jismga ma'lum bir kuch qo'ymay turib, uni ikkiga bo'lish mumkin emas, bir-biriga juda yaqin qilib tomizilgan ikki tomchi suyuqlik esa o'zaro qo'shilib ketadi (103- a, b rasm). Suyuqlik molekulalarining qattiq jismlarga tortilishini qattiq jismning suyuqliklarda ho'llanishi tasdiqlaydi (103- d rasm).

Molekulalar orasida itarishish kuchining borligini gazlarni siqish qiyinligi, suyuqlik va ayniqsa, qattiq jismlarni deyarli siqib bo'lmasligi ko'rsatadi.

Tortishish va itarishish kuchlarining masofaga qanday bog'liq ekanligini tushuntirishga urinib ko'ramiz. Qattiq jismlar va suyuqliklar mavjudligining o'zi masofa ortishi bilan tortishish kuchiga qaraganda itarishish kuchlari tezroq kamayishini ko'rsatadi.

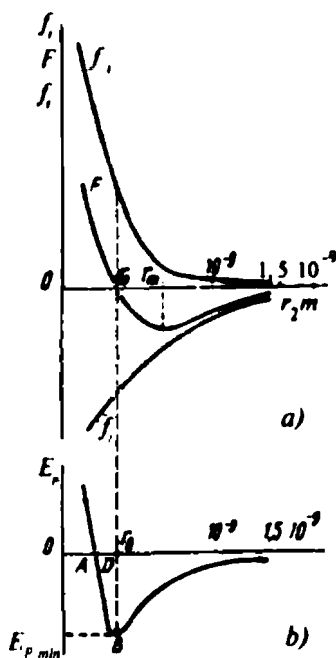
Agar tortishish kuchlari itarishish kuchlariga qaraganda tezroq kamayganda edi, u holda ravshanki, ko'p molekulalardan iborat to'plamlarning turg'un holatlari bo'lmas edi: molekulalar itarishish kuchlari ta'siri ostida har tomonga uchib ketardi.

Itarishish va tortishish kuchlari molekulalar orasidagi masofaning n - darajasiga teskari proporsional ekanligi isbotlangan: $f \sim 1/r^n$ (tortishish kuchlari uchun daraja ko'rsatkichi 7 ga teng, itarishish kuchlari uchun 9 dan 15 gacha bo'lgan qiymatni oladi).

104- rasmda tortishish va itarishish kuchlarining masofaga bog'liqligi ko'rsatilgan. Tortishish kuchlarini musbat, itarishish kuchlarini manfiy deb hisoblaymiz. r_0 masofada tortishish kuchlari itarishish kuchlariga teng, kichik masofalarda itarishish kuchlari kattaroq, masofa katta bo'lganda esa tortishish kuchlari kattaroq bo'ladi [ancha katta masofalarda ($r > 10^9$ m) molekulalararo kuchlar deyarli bo'lmaydi].

Molekulalararo o'zaro ta'sir kuchlari asosan elektr tabiatiga ega, chunki molekular elektr jihatdan zaryadlangan zarralardan tashkil topgan.

Umuman olganda, molekula elektr jihatdan neytraldir. Ammo molekulada zaryadlar simmetrik joylashmagan. Shu tufayli ularning turli ishorada zaryadlangan „qutblari“ orasida tortishish kuchlari paydo bo'ladi, bu kuchlar bir xil ishorada zaryadlangan „qutblar“ning itarishish kuchlaridan ustunlik qiladi. Agar molekular bir-biriga juda ham yaqin kelsa, unda ularning o'zaro ta'sirida hal qiluvchi rolni bu molekulalarni tashkil qilgan atomlarning yaqinlashgan elektron qobiqlari orasida itarishish kuchlari o'ynaydi.



104- rasm.

- ?
1. Molekular fizika nimani o'rganadi?
 2. Termodinamika nimani o'rganadi?
 3. Molekular-kinetik nazariya asosida yotuvchi qoidalarni ta'riflang.
 4. Qanday ilmiy izlanishlar molekulalarning real mavjudligini tasdiqlaydi?
 5. Molekular-kinetik nazariyaning ikkinchi qoidasini tushuntiruvchi dalillarni aytib bering.
 6. Qanday izlanishlar yordamida molekular-kinetik nazariyaning uchinchi qoidasi yaratilgan?

33- §. Diffuziya. Broun harakati

1- tajriba. Idish tubiga bir tomchi brom tomizamiz. Bug'lanish natijasida uning tubida qora-qo'ng'ir rangda brom bug'i qatlami hosil bo'ladi (105- a rasm). Silindrni qopqoq bilan yopib qo'yamiz. Brom bug'i 10—15 minutdan keyin 5—8 sm ko'tarilganini, 1 soatdan keyin 30—35 sm ko'tarilganini ko'ramiz (105- b rasm).

Brom bug'i havoga qaraganda deyarli 4 marta og'ir bo'lgani uchun ularning aralashib ketishi havo molekulalari orasidagi fazoga kirib ketuvchi brom molekulalarining harakatlanishidan dalolat



105- rasm.

beradi. Ayni vaqtda havo molekulari ham harakatlanishi natijasida brom molekulari orasidagi fazoga kiradi.

Bir modda molekularining boshqa modda molekulararo oralig'iga kirish hodisasi *diffuziya* deyiladi. Diffuziya hodisasi suyuqliklarda va qattiq jismlarda ham bo'ladi.

2- tajriba. Agar mis kuporosi solingan silindrga suv quyilsa, unda suyuqliklar orasida keskin chegara hosil bo'ladi (106- *a* rasm), bu chegara bir necha kundan keyin buziladi (106- *b* rasm).

Qattiq jismlarda diffuziya juda sekin ro'y beradi.

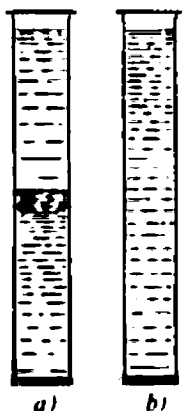
Ammo uni ham kuzatish mumkin.

3- tajriba. Agar qo'rg'oshin sterjen uchiga oltin eritib yopishtirilsa (107- *a* rasm) va shundan so'ng uni kesib ko'rilsa, u holda mikroskop ostida shuni payqash mumkinki, yopishtirish jarayonida oltin qo'rg'oshinga bir oz kirgan bo'ladi (107- *b* rasm). Agar qo'rg'oshin sterjeni pechga qo'yib yuqori temperaturada tutib turilsa (taxminan 300 °C da), bir sutkadan keyin qilingan mikroskopik analiz oltinning qo'rg'oshinga taxminan 1 sm kirganini ko'rsatadi.

Molekulalarning harakati xaotik bo'ladi. Bu haqda quyidagi tajribaga ko'ra fikr yuritish mumkin.

4- tajriba. Xonaga kuchli hid tarqatuvchi biror modda qo'yamiz. Biror vaqtdan keyin xonaning istalgan nuqtasida bu moddaning hidini sezish mumkin.

1827- yilda ingliz botanigi Broun juda kattalashtirib ko'rsata-

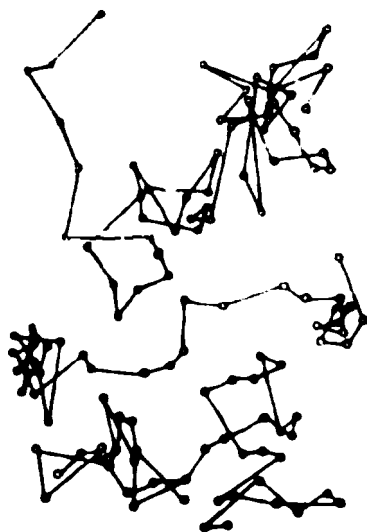


106- rasm.



107- rasm

digan lupada gul changini suvda kuzatib, suvga botirilgan gul changining uzluksiz va xotik harakatlanishini payqadi (108- rasm). Dastlab Broun zarralar tirik bo'lgani uchun harakatlanayotibdi, deb o'ylaydi. Keyinroq, u yaxshilab qaynatilgan zarralar, shu bilan birga har qanday moddadan tayyorlangan zarralar ham harakatlanishini payqadi. Ammo u ochilgan bu hodisani tushuntirib bera olmadi.



108- rasm.

1874- yilda belgiyalik olim I. Karbonell birinchi bo'lib broun harakatini o'rganib, u harakat zarrani o'rab turgan suyuqlik molekullari ta'sirida yuzaga keladi, degan taxminiy xulosaga kelgan. Shundan so'ng, 1905- yilda A. Eynshteyn zarralar tartibsiz harakatining ilmiy faraziga tayanib, broun harakatining miqdoriy nazariyasini ishlab chiqdi.

Eynshteyn nazariyasini o'rganishni 1906- yilda boshlagan fransuz olimi J. Perren bir necha yil davom etgan izlanishlardan so'ng 1912- yilda 108- rasmda tasvirlangan broun harakatining to'g'riligini tajribada isbotladi. Shuning uchun J. Perren 1912- yilda broun harakatini o'rgangani uchun Nobel mukofoti bilan taqdirlangan.

Broun harakatini juda ko'p olimlar o'rganishdi. Bu harakatning quyidagi ajoyib qonuniyatlari aniqlandi.

1. *Harakat hech qanday o'zgarishlarsiz cheksiz uzoq vaqt ro'yi beradi.*

2. *Harakatning intensivligi zarralarning o'lchamiga bog'liq bo'lib, zarra materialiga bog'liq emas. O'lchami 1 nm dan katta bo'lgan zarra bu harakatda ishtirok qilmaydi.*

3. *Suyuqlik temperaturasining ko'tarilishiga qarab broun harakatining intensivligi ortadi.*

4. *Broun harakatining intensivligi qovushoq suyuqliklarda uncha qovushoq bo'lmagan suyuqliklardagiga qaraganda kichikroq bo'ladi.*

Bu hodisani uzoq vaqt o'rganish broun zarralari molekullarning urilishi natijasida harakatlanadi, deb xulosa chiqarishga

imkon berdi. Molekulalar zarralarga har tomondan zarb bersada, ba'zan zarraga biror tomondan kuchliroq zarb bo'lgani uchun u ma'lum yo'nalishda harakatlana boshlaydi. Zarraning tartibsiz harakati — buning natijasidir.

Shunday qilib, broun harakati molekulalar va molekular harakat to'g'risidagi asosiy tasavvurlarning to'g'riligini isbotlovchi salmoqli tasdiqlardan biri bo'ldi.

- ?
1. Diffuziya deb nimaga aytiladi?
 2. Diffuziya temperaturaga bog'liqmi?
 3. Broun harakati nimani ko'rsatadi?
 4. Broun harakatining vujudga kelish sabablarini tushuntirib bering.
 5. A. Eynshteyn va J. Perrenning broun harakatini o'rganishdagi ilmiy izlanishlarining ahamiyatini tushuntirib bering.

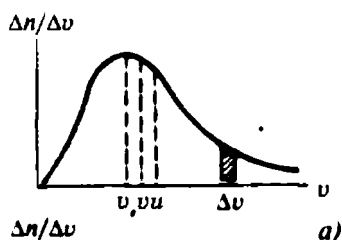
34- §. Gaz molekulalarining harakatlanish tezligi

Kuzatishlar va maxsus qo'yilgan tajribalar gaz molekulalarining harakatlanishini tasdiqlaydi. Molekulalar qanday tezlik bilan harakatlanadi?

Molekulalarning harakatlanish tezligini birinchi bo'lib eksperimental tarzda nemis fizigi Shtern 1920 - yilda aniqladi. Siz ushbu tajriba bilan IX sinf fizika kursining 2- § ida to'liq tanishgansiz. Sizga ma'lumki, Shtern tajribasida olingan kumush polosaning ko'ndalang kesimi molekulalar (atomlar) ning tezliklar bo'yicha taqsimotini xarakterlaydi.

Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimotini ingliz fizigi Maksvell birinchi bo'lib nazariy aniqladi. Bu taqsimotni xarakterlovchi egri chiziq 109- a rasmda keltirilgan. Shuni payqash qiyin emaski, Shtern tajribasida olingan polosaning qalinligi va shakli Maksvellning taqsimot egri chizig'iga mos keladi.

Shtern tajribasi turlicha variantlarda ko'p marta qo'yib ko'rildi. Bunda gazning temperaturasi qanchalik yuqori bo'lsa, polosaning maksimal qalinlikdagi sohasi bosh



109- rasm. b)

tomonga shunchalik yaqinroq siljishi qayd qilingan. Bu esa temperatura ortishi bilan molekullarning harakatlanish tezliklari ham ortadi, degan so'zdir.

Ilgarilanma harakat tezliklarini aniqlashga doir eksperimentlardan va Maksvellning bu masalani nazariy qarashlaridan muhim uchta xulosa chiqarish mumkin (bu xulosalar kelgusida juda kerak bo'ladi).

1. Molekullarning harakati xaotik xarakterda bo'lishiga qaramay, *ularning ilgarilanma harakat tezliklari tasodifiy emas, balki muayyan tarzda taqsimlanadi.* Bu taqsimotni xarakterlovchi egri chiziq *Maksvell egri chizig'i* deb nom oldi.

2. Gaz molekullari orasida juda ham tez, shuningdek, juda ham sekin molekullar bor, *ammo qandaydir o'rtacha tezlikli molekullar ko'proq bo'ladi.*

3. Molekullarning tezliklarga qarab taqsimlanishi gazning temperaturasiga bog'liq. Temperatura ortishi bilan molekullarning tezliklari ortadi va egri chiziq katta tezliklar tomonga siljiydi (109-b rasm).

1860- yilda ingliz fizigi J. Maksvell molekullarning tezliklar bo'yicha taqsimotini $\frac{\Delta n}{\Delta v} = f(v)$ funksiyani yaratish yo'li bilan to'g'riladi. Maksvell taqsimot funksiyasining grafik ravishdagi ko'rinishi 109- a rasmda ko'rsatilgan.

Molekullar harakatining o'rtacha, o'rtacha kvadratik va eng ehtimolli tezliklari. Fizikada molekullar harakatini xarakterlash uchun o'rtacha, o'rtacha kvadratik va eng ehtimolli tezliklar tushunchalaridan foydalaniladi.

Molekullar ilgarilanma harakatining o'rtacha tezligi deganda o'rtacha arifmetik tezlik, ya'ni barcha molekullar tezliklari yig'indisining ularning umumiy soniga nisbati tushuniladi:

$$\bar{u} = \frac{u_1 + u_2 + u_3 + \dots + u_n}{n}$$

O'rtacha kvadratik tezlik ham shunga o'xshash aniqlanadi:

$$\bar{u} = \sqrt{\bar{u}^2} = \sqrt{\frac{\bar{u}_1^2 + \bar{u}_2^2 + \bar{u}_3^2 + \dots + \bar{u}_n^2}{n}}$$

Eng ko'p molekullar erishgan tezlikka yaqin bo'lgan tezlik *eng ehtimolli tezlik deyiladi.* Ravshanki, bunday tezlikda taqsimot egri chizig'i maksimum orqali o'tadi.

Hisoblashlar (hisoblashlarni bu yerda keltirganimiz yo'q) bu uch xil tezlik orasidagi farq uncha katta emasligini ko'rsatdi: o'rtacha kvadratik tezlik o'rtacha arifmetik tezlikdan 9% va eng ehtimolli tezlikdan 22% ko'p. Ushbu uchala tezlik ham gazning temperaturasiga va molekularning massasiga bog'liq, bu o'rtacha kvadratik tezlik uchun yozilgan formuladan ko'rinib turibdi.

Taqsimot egri chizig'i nosimmetrik bo'lgani uchun tezligi eng ehtimolli tezlikdan katta bo'lgan molekular soni tezligi eng ehtimolli tezlikdan kichikroq bo'lgan molekular sonidan bir oz ko'proq bo'ladi.

Molekulalarning o'lchamlari. Molekulaning o'lchami biror shartli kattalikdan iborat. Haqiqatan ham, molekula muayyan shaklga ega, ammo u murakkab elektromagnit maydon bilan qurshalgan bo'lib, bu maydon umuman olganda, cheksiz cho'zilib ketgan. Lekin bu maydon masofa ortishi bilan tez kamayadi va muayyan masofada juda ham kuchsiz bo'lib qoladi. Bu masofa *molekulaning radiusi* deb ataladi, molekulani esa shar shaklida deb olinadi.

Hozirgi vaqtda juda ko'p usullar mavjudki, bu usullar yordamida molekularning o'lchamlarini va massasini juda aniq topish mumkin. Odatda, bu usullar juda murakkab va ular hozircha biz uchun mushkullik qiladi.

Ammo bu kattaliklarning tartibini juda oddiy tajribalar yordamida osongina aniqlash mumkin. Bunday usullardan biri quyida bayon qilinadi.

Tajriba. To'g'nag'ichni neft solingan idishga botirib olamiz. To'g'nag'ichga yopishgan neft tomchi hosil qilib oqib tushadi. Tomchining hajmini va uning massasini aniqlaymiz. Buning uchun menzurkaga 100 tomchi neft tomizamiz, u taxminan $0,1 \text{ sm}^3 (10^{-7} \text{ m}^3)$ hajmi egallaydi, bu tomchilarning yig'indi massasi 100 mg bo'ladi. Demak, bitta tomchining hajmi $1 \text{ mm}^3 (10^{-9} \text{ m}^3)$ va massasi 1 mg (10^{-6} kg) bo'ladi.

Bir tomchi neftni hovuzga tomizamiz. Suv betida dog' paydo bo'ladi. Bunda dog' yoyilgandan keyin uning yuzi o'zgarmasdan doimiylicha qolishini, bu yuz taxminan 3 m^2 ga tengligini aytib o'tish lozim.

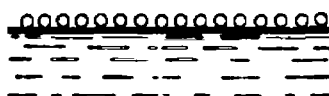
Nima uchun neft parda yoyilishda davom etmaydi? Bunga javob faqat bitta bo'lishi mumkin: neft shunday yoyildiki, uning molekulari bir qator bo'lib „yotadi“ (110- rasm.) Bu holda neft pardaning hajmi

$$V = DS,$$

bunda: D — molekulaning diametri, S — qatlamning yuzi.

Binobarin, molekulaning diametri $D = V/S$:

$$D = \frac{10^{-9} \text{ m}^3}{3 \text{ m}^2} = 3 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0,3 \text{ nm}.$$



110- rasm.

Albatta, bu molekulaning o'lchamlarini aniqlashning ancha taxminiy yo'lidir, ammo u kattalikning tartibini to'g'ri aniqlab beradi. Masalan, geliy molekulasi o'lchami 0,2 nm; vodorod molekulasi — 0,25 nm; kislorod molekulasi — 0,3 nm; suv molekulasi o'lchami 0,32 nm.

Sharning hajmi $V = \frac{4}{3} \pi R^3$ bo'lgani uchun molekulaning hajmi taxminan 10^{-31} m^3 bo'ladi.

Molekularning massasi. Neft tomchisining suv betida tarqalishiga doir tajribadan molekulaning massasini aniqlash mumkin. Haqiqatan ham, tomchining massasi $M = 10^{-6} \text{ kg}$. Bitta tomchida taxminan

$$N = \frac{V}{V_1} = \frac{10^{-9} \text{ m}^3}{10^{-31} \text{ m}^3} = 10^{22}$$

ta molekula bor!

Bundan bitta molekulaning massasi

$$m = \frac{M}{N} = \frac{10^{-6} \text{ kg}}{10^{22}} = 10^{-28} \text{ kg}.$$

Yana bir bor ta'kidlab o'tamizki, bu hisoblar juda ham taxminiy bo'lib, kattalikning qiymatini emas, balki uning tartibini tasavvur qilishgagina imkon beradi.

Ancha aniq o'lchashlar ba'zi moddalar molekulalarining massasi uchun quyidagi qiymatlarni berdi: vodorod molekulasi massasi $3,34 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, kislorod molekulasi — $5,3 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$, uglerod molekulasi — $7,3 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$.

- ?)
1. Shtern tajribasining mohiyatini tushuntirib bering.
 2. Maksvell nazariy qarashlarining xulosalari haqida nimalarni bilasiz?
 3. Molekulalar harakatining o'rtacha, o'rtacha kvadratik tezliklari formulalarini yozing.

4. Eng ehtimolli tezlik deb nimaga aytiladi?
5. Molekulalarning o'lchamlari qanday aniqlanadi?
6. Molekulalarning massasini aniqlash formulasini yozing.

VI BOBNING ASOSIY MAZMUNI

1. Molekular-kinetik nazariyaga ko'ra har qanday jism — qattiq, so'yuq yoki gazsimon jism — juda ham ko'p sonli zarralardan, ya'ni molekulalardan tashkil topgan bo'lib, bu molekulalar uzluksiz xaotik harakatda bo'ladi. Molekular-kinetik nazariyaning to'g'riligi juda ham ko'p kuzatishlar va maxsus qo'yilgan eksperimentlar bilan tasdiqlanadi.

2. Molekulalar quyidagi kattaliklar bilan xarakterlanadi (ularning tartibi berilgan): diametri -10^{-10}m , hajmi -10^{-30} m^3 ; massasi -10^{-27} kg ; tezligi (gaz holatda) $-300 - 400\text{ m/s}$.

VII bob. IDEAL GAZNING MOLEKULAR-KINETIK NAZARIYASI ASOSLARI

Modda uch holatda bo'lishi mumkin. Bu holatlardan o'rganish uchun eng qulayi gazsimon holatdir. Shuning uchun ham moddalarning xossalari o'rganishni gazlarning xossalari o'rganishdan boshlaymiz.

35-§. Ideal gazlar molekular-kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi

Gazning molekular modeli. Biz gazlar quyidagi xarakterli xossalarga ega bo'lishini bilamiz:

1. Gazlar o'ziga berib qo'yilgan har qanday hajmni egallaydi.
2. Gazlar juda harakatchan bo'lib, bir-biriga oson kiradi (diffuziya).
3. Gazlar oson siqiladi.
4. Gazlarning zichligi suyuqlik va qattiq jismlarning zichligiga qaraganda ancha kichik.

Agar gazlar quyidagi molekular tuzilishga ega, deb faraz qilinsa, unda gazlarning yuqoridagi xarakterli xususiyatlarini hech qanday tortishuvlarsiz, osongina tushuntirish mumkin.

1. Gaz molekulalari bir-biridan ancha masofada turadi. Gaz molekulalari orasidagi masofalar to'g'risidagi bu taxmin gazlar

oson siqiluvchanligidan va gazlarda diffuziya hodisasi oson ro'y berishidan kelib chiqadi.

2. Gaz molekullari orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari ancha kichik. Bu taxmin gaz o'ziga berilgan har qanday hajmni egallashidan kelib chiqadi. O'zaro ta'sir kuchlari katta bo'lganda edi gaz hajmni bunday egallamagan bo'lardi. Bundan tashqari, o'zaro ta'sir kuchlari masofaning n - darajasiga teskari proporsional ekanini bilamiz:

$$f \sim 1/r^n,$$

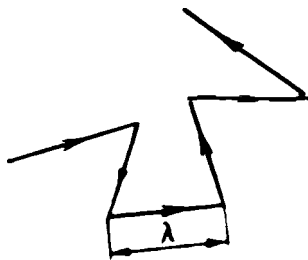
bunda: $n = 7$ — tortishish kuchlari uchun, $9 < n < 15$ — itarishish kuchlari uchun.

3. Gaz molekullari xaotik harakatlanadi. Bu taxmin diffuziya hodisidan kelib chiqadi. O'lchashlar gaz molekullarining xaotik harakat tezligi tovush tezligiga yaqin ekanini (Shtern tajribasi) ko'rsatdi.

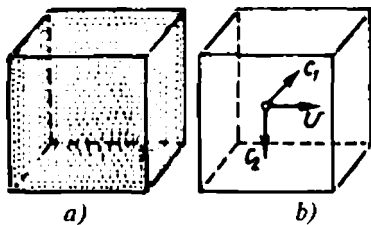
Molekulalarning xaotik harakati to'qnashishlarga olib keladi, bu gazlarda ro'y beradigan hamma jarayonlarda ham muhim rol o'ynaydi. Masalan, molekulalarning to'qnashishlarini hisobga olmay turib, xonaning bir boshida to'kilgan atir hidini xonaning oxirida o'sha zahotiyog emas (xona temperaturasida gaz molekullari harakatining o'rtacha tezligi sekundiga bir necha 100 metr tartibida bo'ladi, xonaning o'lchamlari esa atigi bir necha metr), balki bir necha sekunddan keyin sezishimizni tushuntirish mumkin emas.

Molekulalar to'qnashganda ularning harakatlanish yo'nalishi o'zgaradi. Shuning uchun har qaysi molekulaning yo'li siniq chiziqdan iborat (III- rasm). Trayektoriyaning har bir singan joyi bir molekulaning boshqa molekula bilan to'qnashgan joyini bildiradi. *Molekulaning ikkita to'qnashish orasida o'tadigan masofasi λ erkin yugurish yo'li uzunligi deyiladi.* Shu narsa mutlaqo ravshanki, erkin yugurish yo'li uzunligi — xaotik o'zgarib turuvchi o'zgaruvchan kattalikdir.

Shuning uchun bundan keyin erkin yugurish yo'li uzunligi deganda uning o'rtacha qiymatini tushunamiz. Xuddi shuningdek, molekulalarning vaqt birligi ichidagi to'qnashishlar soni har bir molekula uchun turlicha bo'ladi. Shu sababli, vaqt birligi ichidagi to'qnashishlar soni Z deganda ham biz bu kattalikning o'rtacha qiymatini tushunamiz.



III- rasm.



112- rasm.

O'rtacha erkin yugurish yo'li uzunligi $\bar{\lambda}$ va vaqt birligidagi o'rtacha to'qnashishlar soni \bar{Z} gaz molekulari to'qnashishlarining asosiy xarakteristikalarini bo'ladi.

Gazning holati uning hajmi, bosimi va temperaturasi bilan xarakterlanadi. Gazning bu makroskopik xarakteristikalarini uning molekular tuzilishi bilan bog'laymiz.

Gazning bosimi. Gaz molekulari tartibsiz harakatlanayotib, goh-gohida idish devorlari bilan ham to'qnashib qo'yadi va ularga bosim beradi. Shu bosimni hisoblaymiz.

Shunday idishga ega bo'laylikki (112- a rasm), uning har bir kub metr fazosida gazning n ta molekulasini bo'lsin. Har qaysi molekula massasini m bilan belgilaymiz.

Aytaylik, molekulalardan biri idishda c tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsin. Bu tezlikni uchta tashkil etuvchiga ajratish mumkin: ulardan biri idish devoriga perpendikular bo'lib, uni v bilan belgilaymiz, boshqa ikkita esa unga parallel, ularni c_1 va c_2 bilan belgilaymiz.

Molekula devorga urilganda (buni elastik urilish deb hisoblaymiz) v tashkil etuvchi yo'nalishini teskarisiga o'zgartiradi. Devorga molekula bergan impuls

$$mv - (-mv) = 2mv.$$

Ammo devorga vaqtning har bir momentida bitta emas, N ta molekula uchib keladi va ularning har biri o'z tezligiga ega. Oldimizda turgan masalani yengillashtirish uchun hamma molekula ham devor tomonga yo'nalgan bir xil v tezlikka ega, deb faraz qilamiz. Bunda devorga N ta molekula bergan impuls $2mvN$ ga teng bo'ladi. Endi Δt vaqt ichida devorga kelib urilgan molekular sonini topamiz. Ravshanki, shu vaqt ichida devorga undan $v\Delta t$ masofada bo'lgan barcha molekularning $1/6$ qismigina kelib uriladi (112- b rasm). Boshqa molekularning tezliklari idishning boshqa devorlari tomon yo'nalgan. Binobarin,

$$N = nV/6,$$

bunda V — yuzi S va qalinligi $\bar{v}\Delta t$ bo'lgan qatlamning hajmi.

$V = S\bar{v}\Delta t$ bo'lgani uchun $N = \frac{1}{6}nS\bar{v}\Delta t$. Molekulalarning devorga bergan impulsi

$$2m\bar{v}N = 2m\bar{v} \cdot \frac{1}{6}nS\bar{v}\Delta t = \frac{1}{3}m\bar{v}^2 nS\Delta t.$$

Devorga bo'lgan gazning bosim kuchini topamiz (buning uchun impulsni Δt vaqtga bo'lamiz):

$$F = m\bar{v}^2 nS/3,$$

gazning bosimi:

$$p = m\bar{v}^2 n/3$$

yoki

$$p = \frac{2}{3}n \frac{m\bar{v}^2}{2},$$

bunda $\frac{m\bar{v}^2}{2}$ — bitta molekulaning o'rtacha kinetik energiyasi.

Binobarin, *gaz bosimi molekulalar ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasiga va birlik hajmdagi gaz molekulalari soniga to'g'ri proporsional.*

Bu tenglamani *gaz molekular-kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi* deb ataladi. Bu tenglama molekular kattaliklar (massa va tezlik) bilan gazni bir butun deb xarakterlovchi hamda bevosita tajribada o'lchanuvchi kattalik — bosim orasida bog'lanish o'rnatadi.

Diqqatni shu narsaga qaratish muhimki, *gazning bosimi — bitta molekula bilan emas, balki ko'p molekulalar bilan aniqlanadigan kattalikdir.* Shuning uchun bitta yoki bir nechta molekula hosil qiladigan bosim to'g'risida gapirish yaramaydi.

Juda ko'p zarralardan iborat bo'lgan sistemalar uchungina ma'noga ega bo'lgan kattaliklar to'g'risida gapirganda ular statistik xarakterga ega deyiladi.

Ideal gaz. Molekular fizikada hisoblashlarni soddalashtirish uchun ideallashtirilgan model — *ideal gaz* tushunchasidan foydalaniladi.

Ideal gaz deb, quyidagi shartlarni bajaradigan gazga aytiladi:

a) gaz molekulalari bir-biri bilan o'zaro ta'sirlashmaydi;

b) gaz molekulalarining xususiy hajmi gaz egallab turgan idishning hajmiga nisbatan e'tiborga olmasa ham bo'ladigan darajada kichik deb faraz qilinadi.

Bunday ideallashtirilgan xossalarga ega bo'lgan gaz *ideal gaz* deb nom oldi. Ideal gaz tushunchasi 1897- yilda nemis fizigi R. Klauzius tomonidan kiritilgan.

- ?
1. Gazlar uchun xarakterli bo'lgan xossalarni aytib bering.
 2. Gaz molekulari xaotik harakatlanishini tushuntirib bering.
 3. Gazning bosimi qanday formula bilan aniqlanadi?
 4. Molekular-kinetik nazariya asosiy tenglamasining ma'nosini tushuntiring.
 5. Gazning bosimga bog'liq bo'lishini birinchi bo'lib kim eksperimental ravishda tekshingan?
 6. Gazning qanday parametrlarini bilasiz?
 7. Ideal gaz qanday gaz?
 8. Ideal gaz qonunlaridan real gaz qonunlarini hosil qilish mumkinmi?

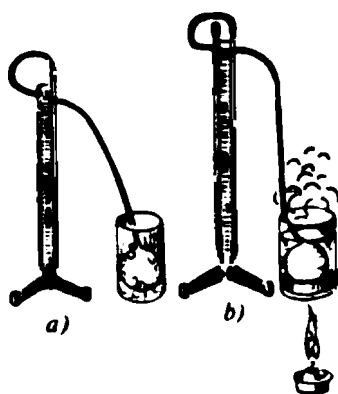
36- §. Temperatura

Molekular-kinetik nazariya nuqtayi nazaridan temperatura. Temperatura tushunchasi bilan hamma tanish. Yozda qishga qaraganda temperatura yuqori bo'lishini hamma biladi; qaynoq suvning temperaturasi muzning temperaturasiga qaraganda yuqori bo'lishini ham hamma biladi. Temperatura maxsus asbob — termometr bilan o'lchanadi; temperatura birligi qilib *gradus* qabul qilingan. Temperatura bosim singari gazning makroskopik xarakteristikasi ekanligini bilamiz.

Temperatura tushunchasini molekulaning xatti-harakatini xarakterlovchi kattaliklar bilan bog'laymiz.

Tajriba. Qurilma yig'amiz (113- a rasm), ballonda biror gaz, U-simon idishda esa yomon bug'lanuvchi suyuqlik (masalan, simob) bor deylik. 0°C da U-simon idishdagi suyuqlik ustuni farqi h bo'lsin. Balonni qaynayotgan suvga tushiramiz. Ustunchalar balandliklarining farqi ortadi (113- b rasm).

Qanday hodisa ro'y berdi? Temperatura ortishi bilan bosim ham ortdi. Agar temperatura pasaysa, bosim ham pasayadi. Agar temperatura asta-sekin o'zgartirilsa, bosim



113- rasm.

ham asta-sekin o'zgaradi, bunda bosim temperaturaga proporsional bo'ladi:

$$p - T \text{ yoki } p = cT,$$

bunda c — proporsionallik koeffitsiyenti.

Ikkinchi tomondan, molekular - kinetik nazariyaga tayanib bosimni hisoblash mumkin. Bu nazariyaning asosiy tenglamasiga ko'ra

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m\bar{v}^2}{2}.$$

Tenglamalarning o'ng qismini gaz bosimi uchun tenglashtiramiz:

$$cT = \frac{2}{3} n \frac{m\bar{v}^2}{2},$$

bundan

$$T = \frac{n}{c} \cdot \frac{2}{3} \frac{m\bar{v}^2}{2}.$$

$2n/3c$ kasr o'zgarmas kattalik bo'lgani uchun bu olingan formula *ideal gazning temperaturasi uning molekulari ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasiga proporsionalligidan dalolat beradi*: gaz molekularining o'rtacha kinetik energiyasi qanchalik katta bo'lsa, uning temperaturasi ham shunchalik yuqori bo'ladi va aksincha. Binobarin, bosim singari temperatura ham statistik kattalikdir. Shunig uchun bosimdagi kabi bu holda ham *bitta yoki bir nechta molekulaning temperaturasi to'g'risida gapirish mumkin emas*.

Agar temperatura formulasida $n/c = 1$ desak (shunday deyish mumkin), unda temperaturani quyidagi formuladan hisoblash mumkin:

$$T = \frac{2}{3} \frac{m\bar{v}^2}{2}.$$

Shuni nazarda tutish kerakki, bu holda temperatura, odatda, ancha noqulay bo'lgan energiya birliklarida o'lchanishi lozim.

Temperaturalar shkalasi. Temperaturani gaz molekulari ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasi orqali aniqlab, biz nolinchii temperaturani aniqlay olamiz. Gaz molekulari ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasi nolga teng bo'lganda temperatura nolga teng bo'lishi ravshan. Bu temperatura *absolut nol* deb ataladi.

Birliklarning Xalqaro sistemasida Kelvin temperaturasi termodinamik shkalasi qabul qilingan. Bu shkalada nol uchun absolut nol temperatura qabul qilingan, suv bir vaqtning o'zida uch holatda (qattiq, suyuq va gazsimon holatda) bo'ladigan temperatura esa 273,16 K deb belgilangan.

Shkalaning ikkinchi nuqtasining bunday tanlanishi quyidagicha tushuntiriladi: suvning uchlangan nuqtasi muzning erish temperaturasi yoki suvning qaynash temperaturasi qaraganda ancha aniqroq aniqlanishi mumkin ($\Delta T = \pm 0,0001^\circ\text{C}$).

- Termodinamik shkala bo'yicha gradus ingliz fizigi Kelvin sharafiga *kelvin* (K) deb atalgan. Amalda temperaturaning yuz gradusli shkalasi (Selsiy shkalasi) keng qo'llaniladi. Selsiy gradusi dastlab qaynayotgan suv bug'iga, so'ngra eriyotgan muzga solingan termometr ko'rsatishlaridagi farqning yuzdan bir ulushi sifatida aniqlangan (113- rasm). Selsiy shkalasi bo'yicha suvning uchlangan nuqtasi $0,01^\circ\text{C}$ ga teng. Selsiy gradusi kelvinga teng ($1^\circ\text{C} = 1\text{ K}$).

Bolsman doimiysi. Temperatura formulasi

$$T = \frac{2}{3} \frac{n}{c} \frac{m\bar{v}^2}{2}$$

da n/c nisbatni $1/k$ bilan belgilaymiz, u holda

$$T = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{m\bar{v}^2}{2},$$

bunda k — *Bolsman doimiysi* (molekular-kinetik nazariyaning rivojlantirilishiga katta hissa qo'shgan avstraliyalik fizik L. Bolsman sharafiga shunday deb atalgan).

Bolsman doimiysining fizik mazmunini tushuntiramiz. Temperaturalar formulasidan

$$k = \frac{2}{3} \cdot \frac{m\bar{v}^2}{T}, \quad \frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} kT$$

ekanligi ko'rinib turibdi. *Bolsman doimiysi ideal gaz molekularlari o'rtacha kinetik energiyasi uchdan ikki qismining uning temperaturasi nisbatiga teng ekanini ko'ramiz.*

Bolsman doimiysi faqat eksperimental ravishda aniqlanishi mumkin. Bu doimiylikning juda ham muhimligini nazarda tutib, u dunyodagi eng yaxshi ilmiy laboratoriyalarda ko'p marta o'Ichandi.

Uning hozirgi qiymati

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/grad.}$$

Ideal gaz molekular-kinetik nazariyasi asosiy tenglamasining yangi shakli. Ideal gaz molekular-kinetik nazariyasining asosiy tenglamasiga temperaturani kiritamiz. Buning uchun quyidagi ikki tenglamani hadma-had bo'lamiz:

$$\left. \begin{aligned} p &= \frac{2}{3} n \frac{m \bar{v}^2}{2} \\ T &= \frac{2}{3} \frac{1}{k} \frac{m \bar{v}^2}{2} \end{aligned} \right\} \frac{p}{T} = nk.$$

Bundan

$$p = nkT.$$

- ? 1. Temperatura qanday asbob bilan o'lchanadi?
2. Temperatura tushunchasi nima maqsadda kiritilgan?
3. Temperaturani o'Ichaydigan qanday shkalalarni bilasiz?
4. Ideal gaz molekular-kinetik nazariyasi asosiy tenglamasining yangi shakli qanday ko'rinishda yoziladi?

37-§. Ideal gazning holat tenglamasi

Ideal gazni real gazning modeli sifatida qaraganimizda, uning holati, binobarin, real gazlarning holati ham p bosim, T temperatura va muayyan gaz egallagan V hajm bilan aniqlanishini ko'rgan edik. Bu uchta kattalik *holat parametrlari* deyiladi. Barcha uchta parametr — bosim, hajm va temperaturani bog'lovchi tenglama *holat tenglamasi* deyiladi.

Peterburg temiryo'llari institutida ishlagan fransuz fizigi B. Klapeyron 1834 - yilda ideal gazning holat tenglamasini topdi. Bu tenglamaga muvofiq berilgan gaz massasi uchun gaz bosimi va hajmi ko'paytmasining temperaturaga nisbati o'zgarmas kattalikdir:

$$\frac{pV}{T} = Nk = B = \text{const},$$

B — turli gazlar uchun turlicha bo'lgan gaz doimiysi.

Mendeleyev — Klapeyron tenglamasi. Klapeyron tenglamasiga kirgan B kattalik massalari turlicha bo'lgan bir xil gazlar uchun, shuningdek, massalari bir xil bo'lgan turli gazlar uchun turlicha bo'ladi. Klapeyron qonunini rus olimi D. I. Mendeleyev bir mol gaz uchun qo'llab, bu noqulaylikni yo'qotdi. Bu holda

$$\frac{pV_M}{T} = N_A k.$$

Normal sharoitda bir kilomol har qanday gazning hajmi $22,41383 \text{ m}^3$ ga teng. Avogadro doimiysining Bolsman doimiysiga ko'paytmasi har qanday gaz uchun o'zgarmas bo'ladi, shuning uchun bu kattalikni *universal gaz doimiysi* deb ataldi va R harfi bilan belgilandi: $R = Nk$. Shunday qilib,

$$\frac{pV_M}{T} = R.$$

Molar gaz doimiysining qiymatini hisoblaymiz:

$$\begin{aligned} R &= 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} = \\ &= 8,31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) = 8,31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}). \end{aligned}$$

Gazning hajmi 1 mol hajmga teng bo'lgandagina $pV_M/T = R$ tenglama o'rinli bo'ladi. Ammo uni istalgan hajmdagi gaz uchun o'zgartirish oson. Buning uchun bir xil bosimda va bir xil temperaturada gazning massasi uning hajmiga proporsionalligini eslash lozim: $m/M = V/V_M$, bundan

$$V_M = \frac{V \cdot M}{m},$$

bunda M va V_M — bir mol gazning massasi va hajmi; m — gazning ixtiyoriy massasi; V — massasi m bo'lgan gazning p bosim va T temperaturadagi hajmi.

Bir mol gaz hajmining topilgan qiymatini $pV_M/T = R$ tenglamaga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$\boxed{\frac{pV}{T} = R \frac{m}{M}}$$

Bu ifoda *Mendeleyev — Klapeyron tenglamasi* deyiladi. Bu tenglama har qanday massali gaz uchun o'rinlidir.

- ?
1. Holat tenglamasi deb qanday tenglamaga aytiladi?
 2. Klapeyron tenglamasini yozib, mohiyatini tushuntirib bering.
 3. 1 mol gaz uchun Mendeleyev — Klapeyron tenglamasining ta'rifini ayting va formulasini yozib bering.
 4. Istalgan miqdordagi gaz uchun Mendeleyev — Klapeyron tenglamasining formulasini yozing.

5- MASHQ

1. Hajmi 1000 sm³ bo'lgan idishda 290 K temperaturali 1,78 g vodorod bor. Gazning bosimini toping (2,4 MPa).

2. Havoning 373 K temperaturadagi zichligi $3,8 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$, uning shu temperaturadagi bosimi qancha bo'ladi? (4, 03 · 10⁵Pa).

3. 64 g kislorod hajmi 40 l bo'lgan ballonda 2, 13 · 10⁵Pa bosim ostida saqlanadi. Agar kislorodning molar massasi $32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$ deb olinsa, uning temperaturasi qanday bo'ladi? (513 K).

4. Gaz holatdagi biror moddaning 10° C temperatura va normal atmosfera bosimi sharoitidagi zichligi $2,5 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$. Bu moddaning molar massasini toping.

5*. Berilgan temperaturada va atmosfera bosimida xonadagi havoning massasini aniqlang. (Zarur bo'lgan asboblarni o'zingiz tanlab oling).

Havoning molar massasi $\mu = 29 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^3 \text{ kg}}{\text{mol}}$.

38- §. Gazlardagi izojarayonlar

Gazlarning xossalari molekular-kinetik nazariya yaratilgunga qadar uzoq vaqt davomida eksperimental tarzda o'rganib kelindi. Bu izlanishlar jarayonida gazlar bo'ysunadigan qonunlar ochildi.

Jarayon davomida gaz parametrlaridan birortasi o'zgarishsiz qolsa, unga *izojarayon* deyiladi.

Agar o'zgarmas parametr temperatura bo'lsa, *izotermik* (yunoncha „izos“ — o'zgarmas va „termos“ — issiq) jarayon, agar hajm va massa o'zgarmas bo'lsa, *izoxorik* (yunoncha „xora“ — egallangan hajm) jarayon, massa va bosim o'zgarmas saqlanganda *izobarik* (yunoncha „baros“ — og'irlik) jarayon bo'ladi.

1. Izotermik jarayon ($T = \text{const}$)

Gazlardagi izotermik jarayon ingliz olimi R. Boyl va fransuz

olimi E. Mariott tomonidan o'rganilgan. Shu sababli, Angliyada bu qonunni *Boyl qonuni*, Fransiyada esa *Mariott qonuni* deb, bizda esa *Boyl — Mariott qonuni* deb ataladi.

Bu qonun pV ko'paytma o'zgarmas degan ilmiy faraz asosida 1661- yilda fizikaga qiziquvchi ingliz fizigi R. Tounli tomonidan eksperimental yo'l bilan ta'riflangan. 1662- yilda Boyl, 1667- yilda Mariott tajribalar yordamida yuqoridagi ilmiy farazni, ya'ni gaz hajmining bosimga bog'liq bo'lishini ($pV = \text{const}$) isbotlagan.

Shunday ekan, biror gaz massasida bo'layotgan jarayonning boshlanishidagi parametrlarning son qiymatlarini p_1, V_1 va T_1 orqali, ularning jarayon oxiridagi qiymatlarini esa p_2, V_2 va T_2 bilan belgilab, quyidagi ifodani olamiz, ya'ni

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (1)$$

Boyl va Mariott tajribasida hosil qilingan (1) bog'lanish formulasidan, T ga qisqartirib ($T_1 = T_2 = T$), quyidagi ifoda hosil qilinadi:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \text{ yoki } \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad (2)$$

(2) Ifoda Boyl — Mariott qonunining matematik ifodasi hisoblanadi. Demak, *gaz massasi o'zgarmaganda va doimiy temperaturada gaz bosimi uning hajmiga teskari proporsionaldir*. Binobarin, *temperatura o'zgarmas bo'lganda berilgan gaz massasi uchun gaz hajmining unga mos kelgan bosimga ko'paytmasi o'zgarmas kattaligidir*:

$$pV = \text{const} \quad (3)$$

O'zgarmas temperaturada gaz hajmining bosimga bog'lanish grafigi — *izoterma* chiziqlari 114- a rasmda berilgan.

(p, T) va (V, T) koordinatalarda izoterma to'g'ri chiziqni tashkil etib, temperatura o'qiga perpendikularidir (114- b, d = rasm).

2. Izoxorik jarayon ($V = \text{const}$)

Izoxorik jarayonda hajm V doimiy bo'lgani uchun (1) formuladan V ni qisqartirib

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \text{ va } \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (4)$$

ifodani hosil qilamiz.

XVIII asr oxirida fransuz olimlari J. Sharl va undan bexabar holda Gey-Lyussak: gaz massasi va hajmi o'zgaras bo'lganda gaz bosimi-ning absolut temperaturaga nisbati o'zgaras bo'lishini aniqlaganlar:

$$\frac{p}{T} = \text{const.} \quad (5)$$

(5) formulani quyidagi ko'rinishda ham yozish mumkin:

$$p = \text{const} \cdot T, \quad (6)$$

ya'ni ideal gazning o'zgaras hajmdagi bosimi absolut temperaturaga to'g'ri proporsional bo'ladi.

115- a, b, d rasmda gazning VT , pV va pT koordinatalarda gaz parametrlari orasidagi bog'lanish grafigi — izoxora chiziqlari keltirilgan.

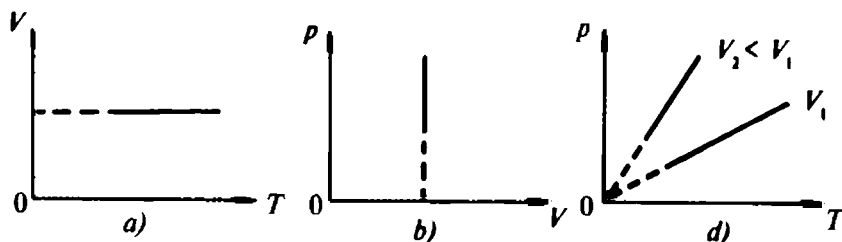
3. Izobarik jarayon ($p = \text{const}$).

1802- yilda fransuz olimi Gey-Lyussak temperatura o'zgaranda gazning tabiatini o'rganayotib, bosim o'zgaras bo'lganda ideal gaz hajmining absolut temperaturaga nisbati o'zgaras bo'lishini isbotladi:

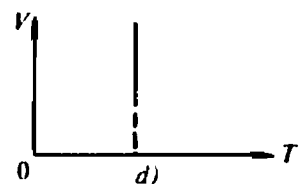
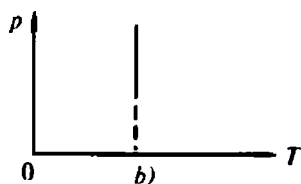
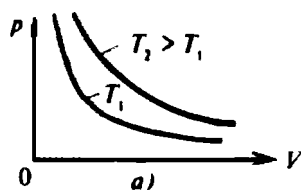
$$\frac{V}{T} = \text{const.} \quad (7)$$

Binobarin, izobarik jarayonda p o'zgaras ekan, (1) formula p ga qisqartirilgandan so'ng quyidagi ko'rinishni oladi:

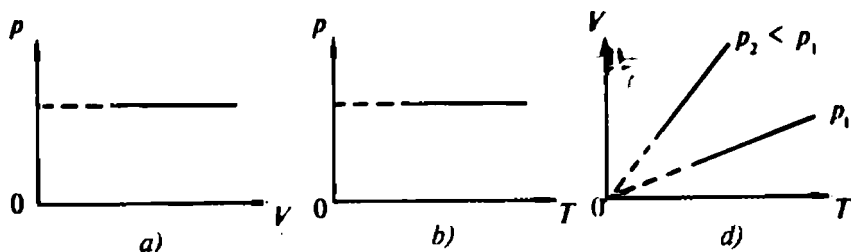
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \text{yoki} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}. \quad (8)$$



115- rasm.



114- rasm.



116- rasm.

Ushbu ifoda Gey-Lyussak qonunining matematik ko'rishini ifodalaydi: *ideal gaz massasi va bosim o'zgarmas bo'lganda gazning hajmi uning absolut temperaturasi ga to'g'ri proporsionaldir.*

116- a, b, d rasmda Gey-Lyussak tajribasining grafik tasviri berilgan.

Gazning massasi va bosimi o'zgarmas bo'lganda uning parametrlari orasidagi bog'lanish chizig'i *izobara* deb ataladi.

- ?
1. Qanday jarayonlar izotermik jarayon deb ataladi?
 2. Izotermik jarayon formulasi matematik ko'rinishda qanday yoziladi?
 3. Qanday jarayonlar izoxorik jarayon deyiladi? Izoxorik jarayonni kim kashf qilgan?
 4. Izobarik jarayon deb nimaga aytiladi? Izobarik jarayonning matematik ifodasini yozing.
 5. Izobarik jarayonni kim kashf qilgan?

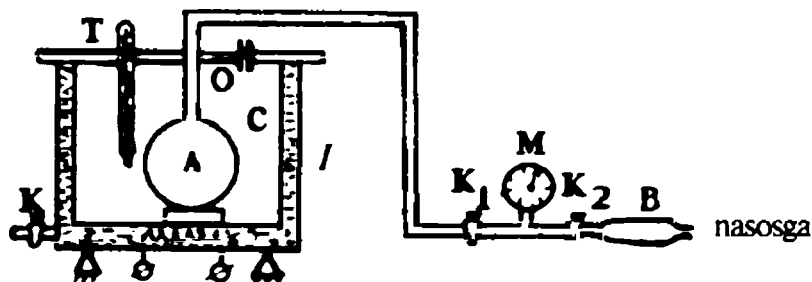
39- §. Sharl qonunini o'rganish (Laboratoriya ishi)

Kerakli asboblari: Kamovskiy nasosi, tok manbai, shisha naycha solingan namlikni yutuvchi modda, rezina nay, barometr, suvli idish, voronka.

Ishni bajarish tartibi

1. Laboratoriya ishini bajarish uchun zarur bo'ladigan asbob - uskunalarni tayyorlang.
2. Idishga solingan suvni tekshiring. Idishga suv quyilmagan bo'lsa, voronka yordamida *O* tirqishdan kerakli miqdorda suv quyung (bunda suv solingan idishdagi spiral suvga botgan bo'lishi zarur).
3. Qopqoqdagi maxsus teshikchaga termometr o'rming. Termometr ko'rsatishi barqarorlashgandan so'ng uning ko'rsatishini yozib oling.
4. Kamovskiy nasosi yordamida ballonga 100 — 150 mm simob

ustuni (taxminan $(0.1 - 0.2 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2})$) ga teng bo'lgan qo'shimcha p_1 bosim hosil qilinadi va *K* jo'mrak burab berkitiladi.



117- rasm.

5. Idishdagi suvni qaynatish uchun asbob tok manbayiga ulanadi. Suv isib borishi bilan ballondagi bosim ham ortib boradi.

6. Suv qaynagandan keyin ballondagi bosimning ortishi to'xtashini kutib, monometr shkalasidan p_1 bosimni yozib oling.

7. Barometr ko'rsatishidan p atmosfera bosimini aniqlang va ballondagi havoning isitilgandan keyingi T_2 temperaturasi termometr ko'rsatishidan yozib oling.

8. $H_1 = p_2 = p$ va $P_2 = p_2 = p$ bosimlar hisoblanadi.

9. $\alpha = \frac{p_2 - p}{p t}$ formula yordamida bosimni termik koeffitsiyentini hisoblab toping.

10. Ishni bajarib bo'lgandan so'ng idishdagi issiq suvni K_2 jo'mrakni ochib to'king.

Eslatma. Tajriba har safar takrorlanganida idishdagi suvning temperaturasi xona temperaturasida bo'lishini ta'minlang.

VII BOBNING ASOSIY MAZMUNI

1. Modda bo'lishi mumkin bo'lgan uchta holatdan o'rganish uchun eng soddasi — gazsimon holatdir, chunki bu holatda molekular orasida ta'sir qiluvchi kuchlar, shuningdek, molekular hajmi juda kichik bo'lib, ularni hisobga olmasa bo'ladi. Molekulararo o'zaro ta'sir kuchlari va molekular hajmi hisobga olinmaydigan gaz modelini ideal gaz modeli yoki to'g'ridan to'g'ri ideal gaz deyiladi.

2. Ideal gaz modeli molekular kattaliklar (massa va tezlik) bilan gazni bir butun deb xarakterlovchi va bevosita o'lchanadigan (bosim va temperatura) kattaliklarni o'zaro bog'lashga imkon beradi. Bu kattaliklarni bog'lovchi tenglama molekular-kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi deyiladi:

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m \bar{v}^2}{2}$$

3. Molekular-kinetik nazariyada temperatura ideal gaz molekulasi-ning o'rtacha kinetik energiyasi bilan aniqlanadi:

$$\bar{T} = \frac{2}{3} \frac{m \bar{v}^2}{2}$$

4. Temperaturani energiya birliklarida va graduslarda o'lchash mumkin. Energiya birliklaridagi temperaturaning graduslarda ifodalangan temperaturaga nisbati Bolsman doimiysi deyiladi: $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$.

5. Muayyan gaz massasining holati temperatura, bosim va hajm kabi holat parametrlari bilan aniqlanadi. Hajm, bosim va temperatura mustaqil kattaliklar emas. Bu kattaliklarning har biri boshqa ikkitasining funksiyasidir. Gaz parametrlarini o'zaro bog'lovchi quyidagi qonunlar eksperimental aniqlangan:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \text{ yoki } \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1};$$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \text{ yoki } \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}; \frac{p}{T} = \text{const};$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \text{ yoki } \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}; \frac{V}{T} = \text{const}.$$

6. Muayyan gaz holatini xarakterlovchi barcha uchta kattalikni o'zaro bog'lovchi tenglama gazning holat tenglamasi deyiladi:

$$\frac{pV}{T} = B \text{ — Klapeyron qonuni};$$

$$\frac{pV}{T} = R \frac{m}{M} \text{ — Mendeleev — Klapeyron tenglamasi}.$$

7. Holat tenglamasi va Boyle — Mariott hamda Gey-Lyussak qonunlari eksperimental aniqlangan bo'lib, ular uncha katta bo'lmagan bosimlar va uncha past bo'lmagan temperaturalar uchun o'rinli. Bu qonunlar gazning molekulyar-kinetik nazariyasining asosiy tenglamasidan ham keltirib chiqariladi. Bu hol asosiy tenglama to'g'riligining eksperimental tasdig'i bo'lib xizmat qiladi.

8. Ideal gazlar molekular-kinetik nazariyasining asosiy tenglamasiga gaz molekullari ilgari tanima harakatining o'rtacha

kvadratik tezligi kiradi. O'rtacha kvadratik tezlikning fizik mazmuni shundan iboratki, gazning bosimi molekular-kinetik nazariyaning asosiy tenglamasiga ko'ra qanday bo'lishi kerak bo'lsa, xuddi shunday bo'lishi uchun hamma molekula shu tezlikka ega bo'lishi lozim:

$$\bar{v} = \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{3p/(nm)}.$$

9. Tajribalar ko'rsatadiki (masalan, Shtern tajribasi) molekularlarning ilgariharakat tezliklari bir xil bo'lmay, o'rtacha kvadratik tezlikdan farq qiladi. Harakat xotik bo'lgani tufayli gaz molekularining tezligi turlicha bo'ladi. Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot tasodifiy bo'lmay, balki mutlaqo aniqdir. U bir qiymatli va yagona. Bunday taqsimot xarakterini Maksvell nazariy jihatdan aniqladi, shuning uchun ham uni Maksvell taqsimoti deb ataladi.

10. Molekulalarning xotik harakatlanishi ularning to'qnashishiga olib keladi. Molekulalar to'qnashganda ularning harakatlanish tezliklarining yo'nalishi o'zgaradi. Molekulaning bir to'qnashuvdan ikkinchi to'qnashuvgacha o'tgan masofasi erkin yugurish yo'li uzunligi deyiladi. Molekulalarning to'qnashishi butunlay tartibsiz bo'lganidan, erkin yugurish yo'li uzunligi turli qiymatlar olishi mumkin. Shuning uchun o'rtacha erkin yugurish yo'li uzunligi va o'rtacha to'qnashishlar soni to'g'risidagi tushuncha kiritiladi.

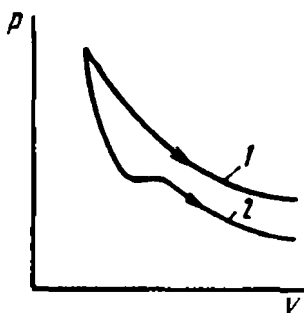
VIII bob. REAL GAZLAR VA BUG'LARNING XOSSALARI

Oldingi boblarda biz mavjud bo'lgan real gazlar o'rniga ularning modeli — ideal gazning xossalari o'rgandik. Bunda ideal gaz xatti-harakatining qonunlari ochilgan edi. Bu qonunlardan eng muhimi Mendeleyev — Klapeyron qonuni (tenglamasi)dir.

Shunday amaliy muhim muammo paydo bo'ladi: real gazlarning xatti-harakatlari ideal gazlar uchun aniqlangan qonunlarga qay darajada mos kelishini aniqlash zarur. Yoki ideal gaz qonunlarini real gazlarga qay darajada tatbiq qilish mumkinligini aniqlash lozim.

40- §. Real gaz xossalari ideal gaz xossalari bilan chetlashishi

Mendeleyev — Klapeyron tenglamasi. Gaz hajmining unga mos kelgan bosimga ko'paytmasining absolut temperaturaga nisbati muayyan ideal gaz massasi uchun, Mendeleyev — Klapeyron tenglamasiga ko'ra, doimiy kattalikdir:



118- rasm.

$$\frac{pV}{T} = R \frac{m}{M} = \text{const.}$$

Bu qonunni real gazlarda eksperimental ravishda tekshirish shuni ko'rsatdiki, u:

1) uncha katta bo'lmagan bosimda va yuqori temperaturada real gazlarning xatti-harakatini yetarlicha aniq tavsiflaydi;

2) bosim ortishi va temperatura pasayishi bilan bu qonundan ancha chekinish kuzatiladi. Masalan, azotning bosimi 1000 atm bo'lganda gaz hajmining bosimga ko'paytmasi nazariy hisoblab topilganidan taxminan 2 marta katta bo'ladi. Boshqacha qilib aytganda, *tashqi kuchlar ta'sirida real gazlar Mendeleev — Klapeyron tenglamasidan kelib chiqadigan natijaga qaraganda kamroq siqiladi.*

118- rasmda ideal (1 egri chiziq) va real (2 egri chiziq) gazlarga mos kelgan izotermalar ko'rsatilgan. Bu izotermalarni bir-biriga taqqoslash ideal va real gazlarning xatti-harakatida muhim farq borligini ko'rsatadi.

Real va ideal gazlarning xossalardagi farq bizni hayratga solmasligi lozim. Hamma gap, ideal gazlarga nisbatan aytilgan xossalarda. Aslida biz ideal gazni bir-biri bilan o'zaro ta'sirlashmaydigan va molekulasi hajmga ega bo'lmagan gaz deb ta'riflagan edik. Bu farazlar ideal gaz nazariyasi real gazlar uchun qo'llanilganda taqribiy bo'lib chiqishiga olib keldi. U gaz molekulari orasidagi o'zaro ta'sir kichik bo'lib, ularning xususiy hajmlarini hisobga olmasa bo'ladigan sharoitlardagina real gazlarning xatti-harakatini yetarlicha aniq tavsiflaydi.

Real gazning ichki energiyasi. Ideal gazning xossalarini o'rganayotganimizda uning molekulari bir-biri bilan o'zaro ta'sirlashmaydi, deb hisoblagan edik. Shuning uchun bir atomli ideal gazning ichki energiyasi molekular ilgarilanma harakati o'rtacha kinetik energiyasining yig'indisi kabi aniqlangan edi:

$$U = E_{k_1} + E_{k_2} + E_{k_3} + \dots + E_{k_N} = \sum_0^N E_{k_N}.$$

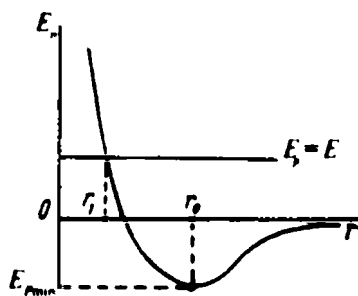
Har qaysi molekulaning o'rtacha kinetik energiyasi $E_k = \frac{3}{2} kT$ bo'lgani uchun N ta molekuladan iborat ideal gazning energiyasi

$$U = \frac{3}{2} NkT,$$

bundan ideal gazning ichki energiyasi uning temperaturasi bilan aniqlanishi ko'rinib turibdi.

Real gazlarda molekularlar bir-biri bilan o'zaro ta'sirlashadi, binobarin, ular kinetik energiyadan tashqari potensial energiyaga ham ega:

$$U = \sum_0^N E_{kN} + \sum_0^N E_{pN}.$$



119- rasm.

Ideal gazlarning kinetik energiyasi kabi real gazlarning kinetik

energiyasi ham temperaturaga bog'liq. Potensial energiya esa molekularlar orasidagi o'rtacha masofaga bog'liq bo'ladi. Molekularlar orasidagi o'rtacha masofa o'z navbatida gaz egallagan hajmga bog'liq; berilgan gaz massasining hajmi qanchalik katta bo'lsa, uning molekularlari orasidagi o'rtacha masofa ham shunchalik katta bo'ladi.

- Shunday qilib, *real gazning ichki energiyasi uning ikkita parametri: temperatura va hajmining funksiyasi bo'ladi.*

119- rasmda ikkita molekula potensial energiyasining ular orasidagi masofaga bog'liq ravishda o'zgarish grafigi keltirilgan. Bu grafikda bir-biridan cheksiz katta masofada turgan ikkita molekulaning potensial energiyasi nolga teng deb qabul qilingan (bular o'zaro ta'sirlashmaydigan molekularlar).

Molekularlar bir-biriga yaqinlashganda ularning o'zaro potensial energiyasi kamayadi va molekularlarning tortishish kuchlari ularning itarishish kuchlariga teng bo'ladigan r_0 masofada minimumga erishadi.

Molekulalarni bundan keyingi yaqinlashtirish itarishish kuchiga qarshi ish bajarish bilan olib boriladi. Binobarin, $r < r_0$ masofalarda potensial energiyaning ortishi ularning kinetik energiyasining kamayishi bilan bog'liq.

Masofa ortishi bilan ($r > r_0$ sohada) molekularlarning potensial energiyasi ortgani uchun, hajm ortishi bilan real gazning ichki energiyasi ham ortadi.

- Shunday qilib, *real gazning temperaturasi va hajmi ortishi bilan uning ichki energiyasi ham ortadi.*

Gazlarni suyultirish. Kritik temperatura. Ideal gazning xarakterli xususiyatlaridan biri uning doim gaz holatda bo'lish xususiyatidir: ideal gazni qanchalik siqmaylik, doim gazligicha qoladi. Ideal gazdan farqli o'laroq, real gazni suyuqlikka aylantirish mumkin. Quyidagi tajribada bunga ishonish mumkin.

Tajriba. Mayda ichki vint rezbasi bo'lgan shaffof idishga ballondan karbonat kislota gazini kiritib, so'ngra porshenni burab kiritamiz va silindrni sovituvchi aralashmali idishga joylashtiramiz (siqish vaqtida gaz isigani uchun), porshen ostidagi gazni siqamiz. Ma'lum bir bosimda silindr devorlarida va tubida suyuqlik — suyuq karbonat kislota hosil bo'lganini payqaymiz.

Efir bilan ham shunga o'xshash tajriba o'tkazib ko'rish mumkin. Boshqa gazlarni shunga o'xshash usul bilan suyuqlikka aylantirib bo'lmaydi. Gap shundaki, har qanday modda uchun qat'iy aniq temperatura mavjud bo'lib, undan yuqori temperaturada modda faqat gazsimon holatda bo'lishi mumkin va bosimni har qanday oshirish bilan gazni suyuqlikka aylantirib bo'lmaydi. Bu temperaturani *kritik temperatura* deyiladi.

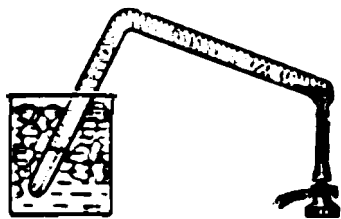
Ba'zi moddalarning kritik temperaturasi, K

Geliy	— 286	Metan	— 82
Vodorod	— 240	Karbonat kislota	31
Neon	— 229	Kislorod	119
Azot	— 147	Ammiak	132
Argon	— 122	Suv	374

Shunday qilib, real gazlarni suyultirish uchun: a) gazni siqish; b) temperaturasini kritik temperaturasidan pastroq temperatura-gacha pasaytirish zarur.

M. Faradey (1791 — 1867) birinchi bo'lib ba'zi gazlarni suyuqlikka aylantirishga muvaffaq bo'ldi. Xlorini suyultirishga doir Faradey qurilmasi bir uchida quruq xlogidrat bo'lgan, ikkinchi uchi esa muz va osh tuzidan iborat sovituvchi aralashmaga tushirilgan qalin devorli bukilgan naychadan iborat edi (120-rasm). Xlogidrat qizdirilganda undan xlor ajraladi. Xlorning bosimi shunchalik oshib ketadiki, naychanning sovitilgan uchida suyuq xlor hosil bo'ladi.

Faradey shunga o'xshash metoddan foydalanib, ko'pgina gazlarni suyuqlikka aylantirdi. Ammo u vodorod, kislorod, azot, azot va uglerod oksidlari hamda metanni suyuqlikka aylantira olmadi. Bu gazlar *abadiy gazlar* deb ataldi. Keyinroq bu gazlarning kritik temperaturasi Faradey foydalangan sovituvchi aralashma temperaturasidan ancha pastligi aniqlandi.



120- rasm.

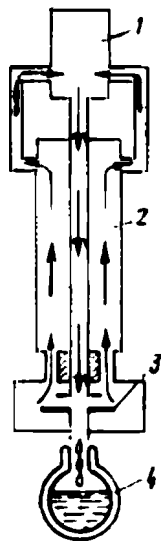
Hozir gazlarni suyultirish uchun turli-tuman qurilmalar ishlab chiqilgan. Ammo bu usullarning hammasining g'oyasi bitta: *gazni siqish va uni kritik temperaturasidan pastroq temperaturagacha sovitishdir.*

Akademik *P. L. Kapitsa* gazlarni suyultirish uchun *turbodetander** deb ataluvchi juda unumdor qurilma ishlab chiqdi (121- rasm).

Gaz 1 kompressor bilan siqiladi. Gazni siqqanda uning ichki energiyasi ortgani, temperaturasi ko'tarilgani uchun kompressor maxsus qurilma bilan sovitiladi. Siqilgan gaz 2 issiqlik almashtirgichning ichki trubasida harakatlanadi, u yerda gazning temperaturasi pasayadi. Sovigan gaz issiqlik almashtirgich orqali o'tib kengayadi va 3 turbinaning kurakchalariga urilib, turbina g'ildiragini aylanishga majbur qiladi. Gaz ish bajaradi va termodinamikaning birinchi qonuniga mos ravishda uning ichki energiyasi kamayadi.

Bunda gazning temperaturasi shunchalik pasayib ketadiki, gazning bir qismi suyuqlanadi va issiqlikdan yaxshi izolatsiyalangan 4 maxsus idish (Dyuar idishi)ga oqib tushadi.

Sovigan, ammo suyuqlikka aylanib ulgurmagaz gaz issiqlik almashtirgichga tushadi va u yerda siqilgan gazni sovitadi. Sovigan gaz bundan keyin kompressorda siqiladi.



121- rasm.

- ?
1. Real gaz qanday gaz? U ideal gazdan nimasi bilan farq qiladi?
 2. Real gazning ichki energiyasi qanday aniqlanadi?
 3. Kritik temperatura deb nimaga aytiladi?
 4. Gazlarni birinchi bo'lib kim suyuqlikka aylantirgan?
 5. Gazlarni suyultirish bilan yana kimlar shug'ullanishgan?

41- § To'yingan va to'yinmagan bug'lar

Solishtirma bug' hosil bo'lish issiqligi. Gazning suyuqlikka aylanish jarayonida gaz qiziydi. Bu jarayon gazning suyuqlanishi sodir bo'layotgan idishdan issiqlik uzluksiz ajralib turgandagina ro'y berishi mumkin.

* Fransuzcha „detendre“ so'zidan olingan bo'lib, bosimni kamaytirishni anglatadi.

- *Muayyan temperaturada 1 kg bug'ning suyuqlikka kondensatsiyalanishida ajraladigan issiqlik miqdori shu temperaturadagi solishtirma kondensatsiyalanish issiqligi deyiladi.*

Teskari jarayon ham ma'lum. Bunda suyuqlik bug'ga aylana-yotganida *bug'lanish* bo'ladi.

Bug'lanishni quyidagicha tasavvur qilish mumkin. Eng tez molekularlar (yoki atomlar) molekular tortishish kuchini yengib, suyuqlik sirtidan uziladi. Bu molekularning kinetik energiyasi bug'lanish energiyasi U_0 dan katta yoki, juda bo'lmaganda, unga teng bo'lishi lozim:

$$\frac{mv^2}{2} \geq U_0.$$

Suyuqlikdan eng tez molekularning chiqib ketishi suyuqlik temperaturasining pasayishiga olib keladi, chunki unda o'rtacha kinetik energiyasi kichik bo'lgan molekular qoladi.

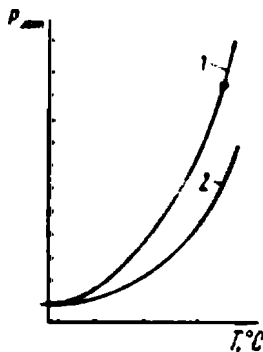
Suyuqlik temperaturasini doimiy saqlash uchun uni isitib turish lozim. Shunday qilib, suyuqlikning bug'lanish jarayoni issiqlik yutilishi bilan bog'liq.

- *Muayyan temperaturada 1 kg suyuqlikni bug'ga aylantirish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdori shu temperaturadagi solishtirma bug' hosil bo'lish issiqligi deyiladi.* Ravshanki, solishtirma bug' hosil bo'lish issiqligi shu temperaturadagi solishtirma kondensatsiyalanish issiqligiga teng bo'lishi lozim. U molekular orasidagi bug'lanish kuchini xarakterlaydi: bu kuch qanchalik katta bo'lsa, solishtirma bug' hosil bo'lish issiqligi ham shunchalik katta bo'ladi.

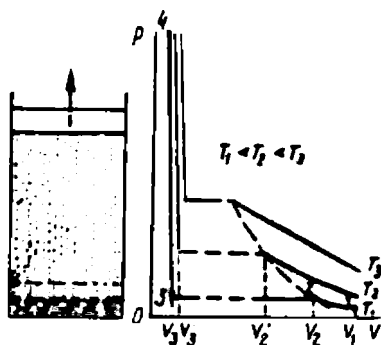
To'yingan bug'lar. Agar idishga suyuqlik quyib, uni yopib qo'ysak, uning bir qismi bug'lanib ketadi. Suyuqlik sirti ustida shu suyuqlikning bug'i hosil bo'ladi. Uni *to'yingan bug'* deyiladi.

To'yingan bug' bilan suyuqlik orasida *dinamik muvozanat* qaror topadi: eng tez molekularning bir qismi suyuqlik sirtini tashlab chiqib ketadi, bug'ning xuddi shunday qism molekulari esa qayta suyuqlikka aylanadi.

Ravshanki, suyuqlik temperaturasi qanchalik yuqori bo'lsa, bug' va suyuqlikning ajralish chegarasi orqali suyuqlikning shuncha ko'p molekulari o'tadi va to'yingan bug'ning bosimi ham shunchalik yuqori bo'ladi. 122- rasmda to'yingan suv bug'i bosimining temperaturaga bog'liqligi 1 ko'rsatilgan. Taqqoslash uchun shu



122- rasm.



123- rasm.

rasmning o'zida ideal gaz bosimining temperaturaga bog'liqligi 2 ko'rsatilgan.

Shuni qayd qilib o'tish kerakki, muayyan suyuqlik uchun berilgan temperaturada to'yingan bug' bosimi o'zgarmas kattalik bo'ladi.

Porshenli silindr tubiga suyuqlik quyilgan deylik. Porshenni pastga tushiramiz. To'yingan bug'ning bosimi ortmaydi (agar bug'ning temperaturasi o'zgarmas bo'lsa). Bug'ning kengayishida ham shunga o'xshash jarayon bo'ladi: agar temperatura o'zgarmas bo'lsa, uning bosimi o'zgarmaydi.

To'yinmagan bug'. Porshenli silindr tubiga biroz suyuqlik quyilgan, deylik. Porshen ostida shu suyuqlikning to'yingan bug'i hosil bo'ladi (123- rasm). Porshenni asta-sekin ko'taramiz. Bunda suyuqlik hamma vaqt bug'lanib boradi va biror V_1 hajmda butunlay bug'lanadi.

Tabiiyki, suyuqlik bug'lanib ketgunga qadar, to'yingan bug'ning bosimi butunlay o'zgarmas edi (2—3 soha). Agar porshenni yuqoriga ko'tarishda davom etsak, uning bosimi kamaya boshlaydi.

O'zgarmas temperaturada bosimi hajmga bog'liq bo'lgan bug' *to'yinmagan bug'* yoki *o'ta qizigan bug'* deyiladi.

O'zgarmas temperaturada to'yinmagan bug'ning bosimga bog'liqligi bug' to'yinishdan qanchalik uzoqroqda bo'lsa, Boyl—Mariott qonuniga shunchalik aniqroq itoat qiladi.

Endi teskari jarayon o'tkazamiz — to'yinmagan bug'ni siqa boshlaymiz. Uning bosimi orta boradi va V_2 da yana to'yingan bug'ning bosimiga teng bo'lib qoladi. Hajmning bundan keyingi kamayishida bug'ning bir qismi kondensatsiyalanadi, bosim esa

to'yingan bug' bosimiga tengligicha o'zgarmay qoladi. Nihoyat, $V_3 < V_2$ hajmda bug'ning hammasi kondensatsiyalanadi va porshen suyuqlik sirtiga tekkuncha suriladi. 123- rasmda 1—2 soha to'yinmagan bug'ga va 3—4 soha suyuqlikka to'g'ri keladi. Butun egri chiziq bug'ning *izotermasi* deyiladi.

Bug'ni kengaytirish va siqish jarayonini juda sekin o'tkazish lozim: suyuqlik bug'langanda u soviydi, bug' kondensatsiyalanganida esa suyuqlik isiydi. Qurilmaning atrof-muhit bilan issiqlik almashinishi tufayli temperatura o'zgarmasdan turadi. Issiqlik almashinish juda ham sekin borganligi uchun porshenni sekin surish lozim.

Agar bug'ni ancha yuqori $T_2 > T_1$ temperaturada siqilsa, unda to'yingan bug' holati boshqa yangi $V'_2 < V_2$ hajmda hosil bo'ladi (123- rasm). Buni tushuntirish oson: temperatura ortishi bilan to'yingan bug' bosimi ham tez ortadi, to'yinmagan bug'ning bosimi uning bosimi bilan tenglashishi uchun bug'ning hajmini ancha kamaytirish lozim.

Ayni vaqtda to'yingan bug'ning to'liq kondensatsiyalanishi va porshenning suyuqlik sirtiga tegishi $V'_3 < V_3$ hajmda ro'y beradi. Buning sababi suyuqlikning issiqlikdan kengayishidir, suyuqlik yuqori temperaturada kattaroq hajm egallaydi.

- Shunday qilib, *to'yingan bug'ning xossalari ideal gaz*
- *xossalari keskin farq qiladi, to'yinmagan bug'ning xossalari bug' to'yinishdan qanchalik uzoqda bo'lsa, shunchalik ideal gazning xossalari yaqin bo'ladi.*

- ?
1. Bug'lanish deb nimaga aytiladi?
 2. Qattiq jismlarning bug'lanishi nima deyiladi?
 3. Qachon suyuqlik molekulasiga bug' molekulasiga aylanadi?
 4. Bug'lanish natijasida suyuqlikning temperaturasi o'zgaradimi?
 5. Solishtirma bug' hosil bo'lish issiqligi deb nimaga aytiladi?
 6. To'yingan bug'lar qanday hosil bo'ladi? To'yingan bug' deb nimaga aytiladi?
 7. To'yinmagan yoki o'ta qizigan bug' nima?

42- §. Havoning namligi

Havoda doim suv bug'lari mavjud. Havodagi suv bug'ining miqdoriga ob-havo, odamning ahvoli, uning ko'pgina a'zolarining ishlashi, o'simliklar va hayvonlar hayoti, shuningdek, ko'pgina

texnika vositalarining saqlanishi bog'liq. Bularning hammasi oldimizga atmosferadagi suv bug'i miqdorini aniqlash kabi muhim muammoni qo'yadi.

Havoning namligini aniqlash uchun maxsus kattaliklar kiritilgan.

Absolut namlik. 1 m^3 havoda bo'lgan va grammlarda ifodalangan suv bug'i massasi *absolut namlik* deyiladi.

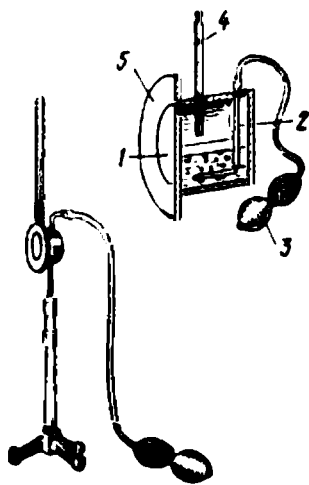
Havoning absolut namligi shudring nuqtasiga qarab aniqlanadi. Bu metodning mohiyati shundaki, maxsus asbob (gigrometr) yordamida atmosferadagi bug' to'yingan bo'lib qoladigan temperatura aniqlanadi. Bu temperatura *shudring temperaturasi (nuqtasi)* deyiladi.

Muayyan temperaturada 1 m^3 havodagi to'yingan suv bug'i massasini maxsus jadvallardan topish mumkin.

Lambrext gigrometri eng oddiy gigrometrdir (124- rasm). U bir asosi yaltiroq qilib tayyorlangan, gorizontal joylashgan 7 silindrdan iborat. Silindr ichiga bir uchi kavsharlangan 2 naycha kiritilgan bo'lib, uning quyi qismida juda ko'p teshiklar qilingan. Naychaning ikkinchi uchiga havo haydagich, masalan, sartaroshlikda ishlatiladigan 3 rezinka nok kiydiriladi. Silindr ichiga efir quyiladi. Naycha 2 orqali havoni haydab, efirning tez bug'lanib ketishi uchun sharoit yaratiladi. Efir bug'lanib soviydi, u silindrni ham sovitadi. Silindrning temperaturasi shudring nuqtasiga teng bo'lganda, u „terlaydi“. Temperaturani o'lchash uchun silindr ichiga 4 termometr qo'yiladi. Shudring tushish momenti sezilarli bo'lishi uchun silindr 5 yaltiroq halqaga qo'yilgan bo'lib, undan issiqlikdan izolatsiyalovchi qistirma bilan yaxshilab izolatsiyalangan.

Havodagi bug' qanday temperaturada (shudring temperaturasi) to'yinishini aniqlab, maxsus jadvaldan havoning absolut namligi aniqlanadi.

Nisbiy namlik. Havoning absolut namligini bilgan bilan havo qanchalik quruq yoki nam ekanligini aniqlab bo'lmaydi. Bunda havoning temperaturasini ham hisobga olish zarur. Agar temperatura past bo'lsa, unda havodagi



124- rasm.

bug' to'yinishga juda yaqin bo'lishi mumkin. Yuqoriroq temperaturada esa o'sha suv bug'ining o'zi to'yinishdan ancha uzoq bo'ladi.

Havodagi suv bug'ining to'yinish holatiga yaqin yoki uzoqligiga qarab havoning namlik darajasi to'g'risida fikr yuritiladi. Shuning uchun ham nisbiy namlik tushunchasi kiritiladi.

Nisbiy namlik deb, birlik hajmdagi havoda bo'lgan suv bug'i haqiqiy massasining, o'sha temperaturada birlik hajmdagi to'yingan bug' massasiga bo'lgan nisbatiga aytiladi.

Shunday qilib, nisbiy namlikni aniqlash uchun absolut namlikni muayyan temperaturada 1 m³ havoni to'yintirish uchun zarur bo'lgan bug' massasiga bo'lish kerak.

Agar d_0 — havoni to'yintirish uchun kerak bo'ladigan bug' massasi, d — havodagi haqiqiy bug' massasi bo'lsa, muayyan temperaturadagi nisbiy namlik:

$$t = \frac{d}{d_0}.$$

d_0 ning kattaligi muayyan temperaturada eng katta bo'lgani uchun nisbiy namlik doim to'g'ri kasrdan iborat bo'ladi. Ko'pincha nisbiy namlik protsentlarda ifodalanadi:

$$t = \frac{d}{d_0} \cdot 100\%.$$

Ko'pgina hollarda, ro'y berayotgan effekt absolut namlikka emas, balki nisbiy namlikka bog'liq bo'lgani uchun, nisbiy namlik tushunchasi juda muhimdir. Masalan, biz temperatura 25 yoki 30°C va nisbiy namlik 25% bo'lganda o'zimizni yaxshi his qilamiz. Nisbiy namlik 80 yoki 90% bo'lganda o'sha 25 yoki 30°C temperaturada biz o'zimizni horg'in sezamiz, ob-havo juda isib ketganga o'xshaydi. Yoki yana bir misol: agar havoning temperaturasi 18°C, nisbiy namligi 25% bo'lsa, bizga havo sovuq bo'lib tuyuladi, agar o'sha temperaturaning o'zida nisbiy namlik 60% bo'lsa, kayfiyatimiz yaxshi bo'ladi.

Bir xil temperaturada kayfiyatimizning nisbiy namlikka bog'liqligi quyidagicha tushuntiriladi: nafas olish vaqtida, bug'lanish natijasida jism qisman soviydi va bug'lanish jadalligi ortishi bilan sovish jadalligi ortadi. Boshqacha qilib gapirganda, agar nisbiy namlik kichik bo'lsa, unda bug'lanish, shu tufayli sovish ham tez ro'y beradi va aksincha.

Ko'p marta o'tkazilgan eksperimentlar natijasida shu narsa aniqlanganki, kayfiyatimiz va sog'lig'imiz yaxshi bo'lishi uchun nisbiy namlik 40 dan 60% gacha bo'lishi kerak. Ammo yashab turgan uylarimizda va maktablarda qishki vaqtlarda nisbiy namlik ko'pincha 10 yoki 20% dan oshmaydi. Bunday sharoitlarda bug'lanish juda tez bo'ladi va burun, tomoq hamda o'pkaning shilliq pardasi qurib qoladi, bu esa nafas olish a'zolarining shamollashiga va boshqa kasalliklarga olib keladi.

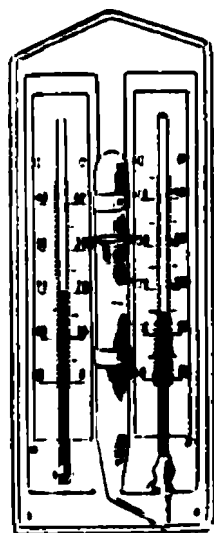
Shuning uchun qishda maxsus moslamalar yordamida xonalardagi havoni namlantirib turish lozim. (Masalan, isitish elementlariga mahkamlangan g'ovak namlatkichlar yordamida namlantirib turish mumkin.)

Gigrometr yordamida shudring nuqtasini o'lchab va havo temperaturasini bilgan holda jadvaldan nisbiy namlikni aniqlash mumkin. Masalan, shudring nuqtasi 8°C, havoning temperaturasi 19°C ga teng bo'lsa, namlik quyidagiga teng bo'ladi:

$$B = \frac{8,3}{16,3} = \frac{8,05}{16,48} = 50\%.$$

Ammo, odatda, nisbiy namlik boshqa asboblarda aniqlanadi. Ular— *sochli, pardali* yoki *yarim o'tkazgichli gigrometrlar*, shuningdek, *psixrometrlardir*.

Psixrometr ikkita termometrdan iborat, bu termometrlardan birining sharchasi batist bilan o'ralgan bo'lib, uning uchi distillangan suv quyilgan idishga tushirib qo'yilgan (125- rasm). Quruq termometr bilan havoning temperaturasi, nam termometr bilan esa bug'lanayotgan suvning temperaturasi o'lchanadi. Suyuqlik bug'langanda uning temperaturasi pasayishi to'g'risida gapirgan edik. Ravshanki, havo qanchalik quruq bo'lsa, ya'ni uning nisbiy namligi kam bo'lsa, suvning nam batistdan bug'lanish jarayoni ham shunchalik jadal bo'ladi va batist bilan o'ralgan termometr ham shunchalik ko'proq soviydi. Aksincha havoda bug' ko'p bo'lsa va uning nisbiy namligi yuqori bo'lsa, unda batistdan



125- rasm.

suvning bug'lanishi sekin bo'ladi va u kamroq soviydi. Shunday qilib, quruq va nam termometrlar ko'rsatishlaridagi farq (psixrometrik farq) havoning nisbiy namligiga bog'liq. Maxsus jadvallar yordamida psixrometrik farqqa qarab havoning namligini osongina topish mumkin.

- ?
1. Namlik tushunchasi nima maqsadda kiritiladi?
 2. Absolut namlik deb nimaga aytiladi?
 3. Nisbiy namlik deb nimaga aytiladi?
 4. Gigrometr nima maqsadda ishlatiladi?
 5. Psixrometrdan nima maqsadda foydalaniladi?
 6. Psixrometrning ishlash prinsipi qanday?

VIII BOBNING ASOSIY MAZMUNI

1. Bosim uncha katta bo'lmaganda (bir necha o'n atmosferada) va temperatura yuqori bo'lganda real gazning xossalari ideal gaz xossalriga ancha yaxshi mos keladi; bosim yuqori bo'lganda va temperatura past bo'lganda — farq qiladi.

2. Mendeleyev — Klapeyron qonuni real gazlarga taqriban tatbiq qilinadi. Bu qonun temperatura yuqori va bosim past bo'lganda (bir necha o'n atmosferada) gaz parametrlari orasidagi o'zaro bog'lanishni yetarlicha aniq xarakterlaydi, temperatura past va bosim yuqori bo'lganda (100 atm dan yuqori bo'lganda) kamroq aniqlik bilan xarakterlaydi.

3. Bir atomli ideal gazning ichki energiyasi molekularlar ilgarilanma harakati o'rtacha kinetik energiyasining yig'indisiga teng:

$$U = \sum_0^N E_{kN} = \frac{2}{3} NkT$$

va uning temperaturasi bilan aniqlanadi.

Real gazning ichki energiyasi molekularlar o'rtacha kinetik va potensial energiyalarining yig'indisiga teng:

$$U = \sum_0^N E_{kN} + \sum_0^N N p_N$$

va uning ikkita parametri: temperaturasi va hajmining funksiyasidan iborat.

4. Real gazning temperaturasi ko'tarilganda va hajmi ortganda uning ichki energiyasi ortadi.

5. Real gazni ideal gazdan farqli o'laroq, suyuqlikka aylantirish mumkin. Buning uchun gazning temperaturasini kritik temperaturadan pasaytirish, bosimini esa kritik bosimdan yuqoriroq oshirish lozim.

6. Suyuqlik va qattiq jismlar bug'langanda bug' hosil bo'ladi. Muayyan temperaturada suyuqlik bilan dinamik muvozanatda bo'lgan bug'ni to'yingan bug' deb ataladi. To'yingan bug' gaz qonunlariga bo'ysunmaydi.

7. Muayyan temperaturada to'yingan bug'ning bosimi o'zgarmas kattalikdir.

8. Havodagi suv bug'lari ob-havoga, o'simliklar hayotiga, insonning ahvoliga, texnik inshootlar va san'at asarlarining uzoq saqlanishiga muhim ta'sir ko'rsatadi. Havoning namligini xarakterlash uchun nisbiy namlik va absolut namlik tushunchalari kiritilgan.

IX bob. QATTIQ JISMLARNING XOSSALARI

Kundalik kuzatishlar shundan dalolat beradiki, bizni qurshab olgan suyuqliklarning juda ko'pchiligi ma'lum sharoitlarda qattiq holatga o'tadi. Suvning muzga aylanishi bunday o'tishga yaqqol misol bo'la oladi. Hozirgi vaqtda ma'lum bo'lgan ko'pgina moddalar eksperimental yo'l bilan qattiq holatga aylantirilgan. Masalan, suyuq kislorod temperaturasida (-183°C) biz kundalik hayotimizda duch keladigan deyarli hamma suyuqliklar qattiq holatga o'tadi.

Maxsus o'tkazilgan nazariy hisoblashlar yetarlicha past temperaturalarda va yuqori bosimlarda hamma moddalar qattiq holatga o'tishi kerakligini ko'rsatadi.

Qattiq jismlarning suyuqliklardan va gazlardan xarakterli farqi shundaki, qattiq jismlar o'z shaklini saqlaydi. Qattiq jismlarning bu xossasi ularning molekular tuzilishi bilan belgilanadi.

Suyuqlik va gazning holati kabi, qattiq jismning holati ham hajm, bosim va temperatura bilan aniqlanadi. Ideal gazlar uchun bu parametrlarning o'zaro bog'lanishi holat tenglamasi ko'rinishida aniqlangan edi. Molekulalarning o'zaro ta'sirini hisobga olish juda murakkab bo'lganligi uchun, real gazlar va suyuqliklar uchun aniq holat tenglamasi aniqlanmagan. Qattiq jism uchun bu undan ham murakkab masala bo'lib, qattiq jismning ham aniq holat tenglamasi hali olinmagan.

Biz qattiq jismning xossasini o'rganayotganimizda quyidagi yo'ldan boramiz. Eng avval qattiq jism tushunchasining o'zi nima ekanligini aniqlab olamiz, so'ngra qattiq jismlar xossalarini analiz qilish asosida va mikroskopik tadqiqotlar ma'lumotlari asosida

ularning tuzilishini tasavvur qilishga, ya'ni qattiq jism modelini yaratishga urinib ko'ramiz. Yaratgan modelimizga tayanib, qattiq jismlarning asosiy mexanik va issiqlik xossalarini o'rganamiz. So'ngra qattiq jismning suyuq holatga o'tish jarayonini qarab chiqamiz va nihoyat, qattiq jismlarning ba'zi xossalari kuzatiladigan suyuqliklar bilan tanishib chiqamiz.

43- §. Kristall va amorf jismlar

Amorf va kristall jismlar to'g'risida tushuncha

1- tajriba. Uzoq vaqt davomida kuzatish uchun tokchaga o'lchamlari bir xil bo'lgan ikkita sterjen qo'yamiz. Sterjenlarning biri mumdan, ikkinchisi giposulfitdan tayyorlangan. Bir necha haftadan keyin biz shuni payqaymizki, mumdan tayyorlangan sterjen o'z shaklini o'zgartirgan bo'ladi, giposulfitdan tayyorlangan sterjenning shakli esa o'zgarmay qoladi.

2- tajriba. Biri kristall oltingugurtdan, ikkinchisi plastik oltingugurtdan tayyorlangan ikkita bir xil sterjenni issiqlikdan izolatsiyalangan tagliklarga o'rnatilgan suvli shisha idishga joylashtiramiz. Idishni qizdiringimizda plastik oltingugurtdan tayyorlangan sterjen o'z shaklini o'zgartirganini, kristall oltingugurtdan tayyorlangan sterjenning shakli esa avvalgicha qolganini ko'ramiz.

O'tkazilgan kuzatishlar hamma qattiq jismlar ham o'z shaklini bir me'yorda saqlayvermasligidan dalolat beradi. O'z shaklini doim saqlaydigan qattiq jismlar (ular suyuq fazaga o'tmaguniga qadar) *kristall jismlar*, o'z shaklini asta-sekin o'zgartiradigan jismlar *amorf jismlar* deyiladi. Mum, plastik oltingugurtdan tashqari, surg'uch, smola va shishalar ham amorf moddalardir.

Amorf jismlar oquvchanlikka ega. Agar voronkani mum bo'laklari bilan to'ldirsak, biroz vaqt o'tgach mum bo'laklari asta-sekin „eriy boshlaydi“ (turli xil temperaturada turlicha). Mum voronka shaklini oladi va undan sterjen ko'rinishida „oqib chiqib boshlaydi“. Hatto shishada ham oquvchanlik xossasi payqalgan. Juda eski imoratlarning derazalaridagi oynaning qalinligini o'lchash shuni ko'rsatadiki, bir necha asrlar davomida oyna yuqoridan pastga „oqib ulgurgan“, chunki uning pastki qismi yuqori qismiga qaraganda qalinroq bo'lib chiqdi.

Shuning uchun qat'iy aytish mumkinki, o'z shaklini saqlaydigan kristall jismlargina qattiq jism bo'la oladi. Amorf jismlar esa ba'zi xossalarga ko'ra suyuqliklarga ancha yaqin.

Kristall va amorf jismlarning tuzilishini o'rganish shuni ko'rsatdiki, amorf jismlarda molekulalarining joylashishida faqat yaqin tartib mavjud bo'lib, kristall jismlarda esa molekulalarning joylashishida uzoq tartib ham mavjud ekan. Tuzilishiga ko'ra, amorf jismlarni „haqiqiy“ qattiq jismlar — kristallar deb bo'lmaydi, ularni qovushoqligi juda yuqori bo'lgan suyuqliklar deb atash mumkin.

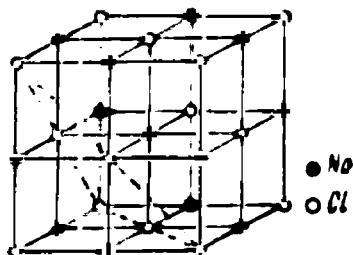
Amorf jismlar o'z-o'zidan kristall holatga o'ta oladi. Masalan, plastik oltingugurt o'z-o'zidan kristallga aylanadi. Juda eski qal'alardagi oyna ko'pincha o'z tiniqligini yo'qotadi. Ularni tekshirishlar bu oynalar ichida mayda kristallar paydo bo'lib, ularning chegarasida yorug'lik qaytishi ro'y berishini va buning natijasida oyna o'z tiniqligini yo'qotganligini ko'rsatadi.

Ba'zan amorf jismlarning o'z-o'zidan kristall holatga o'tishidan qattiq jismning kristall shakli amorf shakliga qaraganda ancha barqaror ekanligi kelib chiqadi. Shuning uchun amorf holatni *metastabil holat* (uncha barqaror bo'lmagan holat) deyiladi.

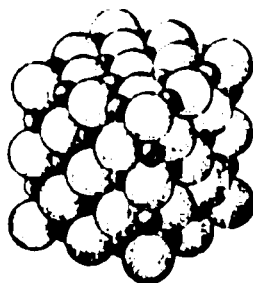
Kristall panjara. Odatda, „kristall“ tushunchasi bizning ongi-mizda geometrik jihatdan to'g'ri shaklga ega bo'lgan mineral bilan assotsiatsiyalanadi, bu to'g'ri shakl mazkur minerallarning katta va mayda bo'laklari uchun ham bir xil bo'ladi.

Kub shakliga ega bo'lgan katta toshtuz olamiz va uni bolg'a bilan urib mayda bo'laklarga bo'lamiz. Bu bo'laklarni o'rganib, ular o'z o'lchamlarining qanday bo'lishidan qat'iy nazar, kub shakliga (yoki yopishgan bir nechta kub shakliga) ega bo'lishini ko'ramiz.

Agar kristallni fikran bo'lishda davom etsak, u holda kristallning atomlardan (molekulalar yoki ionlardan) iborat elementar yacheykasiga kelamiz. Kristallarni hozirgi zamon o'rganish usullari zarralar (atomlar, molekulalar, ionlar) kristallning elementar



126- rasm



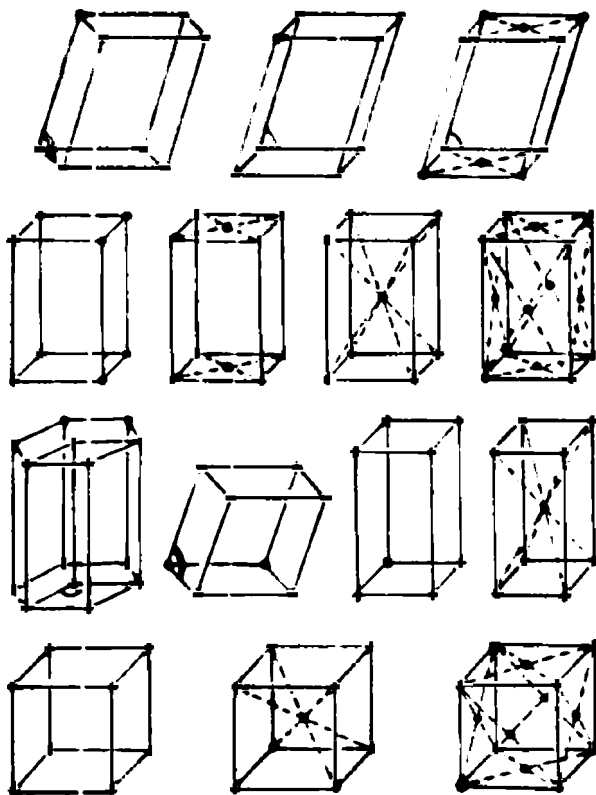
127- rasm

yacheykasi ichida qanday joylashganligini bilishga imkon beradi. 126- va 127- rasmlarda toshtuz kristali elementar yacheykasi ichida natriy va xlor ionlarining joylashish modellari keltirilgan bo'lib, ularni odatda *kristall panjara* deb ataladi.

Birinchi modelda atom (ion)ning o'Ichamlari bilan ular orasidagi masofalar o'rtasidagi munosabat qo'pol ravishda buzilgan, ikkinchi modelda esa bu munosabatlar haqiqatga ancha yaqin.

Modda zarralarini kristall jismlar uchun xarakterli bo'lgan tartibli joylashishiga olib keluvchi sabab — ularning o'zaro ta'sirlashishidir.

Kristall hosil bo'lishi o'z-o'zidan ro'y bergani uchun zarralar ularning o'zaro potensial energiyasi minimal bo'ladigan holda joylashadi, deb faraz qilish tabiiydir. Aks holda, zarralar sistemasi ortiqcha potensial energiyaga ega bo'ladi, buning oqibatida sistema turg'un bo'lmaydi.



128- rasm.

Bizning bu farazimiz quyidagi ikki dalil bilan tasdiqlanadi:
a) qattiq jismlarning absolut ko'pchiligi kristall tuzilishga ega;
b) amorf jismlar o'z-o'zidan kristall holatga o'tadi.

Binobarin, *kristall holat amorf holatga qaraganda energetik jihatdan foydaliroq.*

Ravshanki, moddalar molekularining shakli turlicha bo'lgani uchun molekularning minimal potensial energiyasiga muvofiq kristallda o'zaro joylashishlari ham turlicha bo'ladi. Binobarin, kristallarning shakli ham turlicha bo'ladi. Rus olimi Ye. S. F y o d o r o v kristall ichida zarralar faqat 230 usulda joylashishini aniqlagan. 128- rasmda zarralar joylashish usullarining ba'zilari ko'rsatilgan.

- ?
1. Qattiq jismlarning xususiyatlarini sanab bering.
 2. Qattiq jismlarning necha xil turi mavjud?
 3. Amorf jismlar deb nimaga aytiladi?
 4. Metostabil holat deganda nimani tushunasiz?
 5. Kristall panjara deb nimaga aytiladi?
 6. Kristall jismlarning turlari haqida gapiring va misollar keltiring.

44- § Monokristall va polikristall jismlar

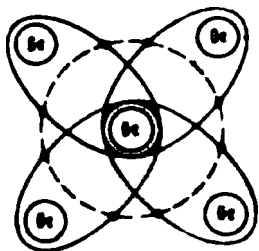
1. Kristallarning turlari

Kristall panjara tugunlarida turgan zarralarga va o'zaro ta'sir kuchiga bog'liq ravishda kristallar to'rt turga ajraladi: *ionli kristallar, atomli kristallar, metalli kristallar va molekular kristallar.*

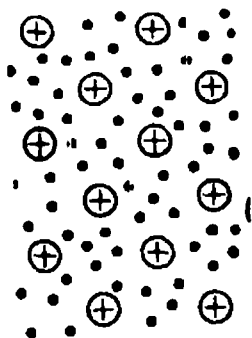
Ionli kristall panjara tugunlarida qarama - qarshi ishorali ionlar turadi. Ionlar shunday joylashadiki, bunda qarama - qarshi zaryadli ionlar orasidagi tortishish kuchi bir xil ishorali ionlar orasidagi itarishish kuchidan katta bo'ladi. Shuning uchun kristall panjara konfiguratsiyasi turg'un va cheksiz uzoq muddat saqlanishi mumkin.

Elektrostatik kuchlar barcha yo'nalishlarda bir xil bo'lgani uchun ionlarni qarama-qarshi elektrlangan sharlar deb qarash mumkin. Bunda har bir musbat ion oltita manfiy va har bir manfiy ion — oltita musbat ionlar bilan o'ralgan. Binobarin, kristall ichida molekularni ajratib olish mumkin emas. Kristall butunlayin bitta katta molekuladan iborat bo'ladi. Bog'lanishning bunday ko'rinishi *ionli bog'lanish* deb ataldi.

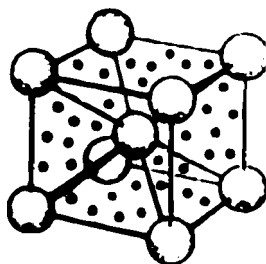
Atomli kristallning kristall panjara tugunlarida neytral atomlar bo'ladi. Bu atomlar orasidagi bog'lanishni qisqacha quyidagi tarzda tushuntirish mumkin. Atomlar yaqinlashganda



129- rasm.



a)



b)

130- rasm.

ularning valent elektronlari yaqinidagi qo'shni atomlar uchun umumiy bo'ladi. Masalan, germaniy atomlari yaqinlashganda har bir atomning to'rt valentli elektronlari yaqinidagi to'rtta atom uchun umumiy bo'lib qoladi (129- rasm) va ular bilan o'zaro ta'sirlashishini ta'minlaydi. Biroq bu model atomli kristalda atomlar o'zaro ta'sirlashishining faqat eng muhim xususiyatini aks ettiruvchi qo'polroq model hisoblanadi. Kristalda atomlarning bunday bog'lanishi *kovalent bog'lanish* deb ataldi.

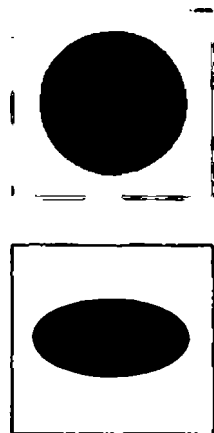
Metalli kristallarning panjara tugunlarida metallarning musbat ionlari joylashadi, ular orasida esa gaz molekulariga o'xshash, atomlar bilan bog'lanishi uzilgan erkin elektronlar harakatlanadi. Bu „umumlashgan“ elektronlar musbat ionlarni biriktiruvchi o'ziga xos „sement“rolini bajaradi. Shu bilan birga musbat ionlar ham kristall panjara ichida elektronlarni ushlab turadi va shuning uchun ular oddiy sharoitlarda kristallni tashlab keta olmaydi. 130- rasmda natriyning metalli kristalidagi ionlar va erkin elektronlarning yassi (a) va hajmiy (b) sxematik tasviri keltirilgan. Atomlarning bunday bog'lanishini *metalli bog'lanish* deyiladi.

Nihoyat, molekular kristallar bilan tanishamiz. Ularning tugunlarida molekular tortishish kuchlari bilan tutib tutiladigan neytral molekular joylashgan bo'ladi. Bu kuchlar uncha katta emas. Shuning uchun molekular panjarali qattiq moddalar oson buziladi. Masalan, vodorod, azot, suv, karbonat kislotalar qattiq holatda molekular kristall panjaraga ega bo'ladi.

2. Mono - va polikristallar.

Biz kristallarning elementar yacheykasi tuzilishi bilan juda qisqa tarzda tanishdik. Real kristallar juda ko'p sonli shunday

yacheykalardan tashkil topgan bo'ladi. Ta'kidlab o'tish kerakki, bunda kristallarning hosil bo'lishiga hech narsa xalaqit bermaydi, ularning shakli elementar yacheyka shaklini takrorlaydi. Bunday kristallar *monokristallar* deb ataladi. Tabiatda minerallarning, ba'zan esa metallarning juda katta monokristallari uchraydi. Laboratoriyalarda juda ko'p moddalarning sun'iy monokristallari olinadi. Biroq, ko'proq polikristallar bilan ishlashga to'g'ri keladi. Bular shunday kristall jismlarki, bunda tartibsiz joylashgan juda ko'p mayda kristalchalar bir-birlari orasiga o'sib kirib, chirmashib ketadi. Hamma metallar shunday polikristallar hisoblanadi. Bunda ba'zan, metallarni



131- rasm.

tashkil qilgan kristallarni ko'z bilan ko'rish ham mumkin bo'ladi. Masalan, rux kristallari yaxshi ko'rinib turadi. Monokristallar o'z xossalriga ko'ra polikristallardan farq qiladi. Ko'pchilik monokristallar uchun *anizotropiya* xarakterlidir, ya'ni turli yo'nalishlari bo'yicha turli xossalarga ega bo'ladi. Polikristallarda anizotropiya faqat har bir kristalcha ichida mavjud bo'ladi, lekin butun jism chegarasida anizotropiya kuzatilmaydi. Shunday qilib, agar grafitning monokristalini va polikristalining yupqa plastinasini mum bilan qoplab, keyin esa har bir plastinaning o'rtasiga cho'g'langan sharcha qo'yilsa, u holda monokristallda erigan mum chegarasi ellips shakliga, polikristallda esa aylana shakliga ega bo'ladi (131- rasm). Tajriba monokristallda issiqlik o'tkazuvchanlik anizotrop xarakterda bo'lishini, polikristallda esa anizotropik bo'lmasligini ko'rsatadi.

Monokristallarda mexanik mustahkamlikning anizotropligini ko'rsatuvchi yaqqol misol sluda kristallaridir: ular bir yo'nalish bo'yicha juda yupqa varaqlarga tilim-tilim bo'lib ajraladi, boshqa yo'nalish bo'yicha juda katta kuch ta'sirida ham ajralmaydi.

Kristallarning anizotropiyasi ularning tuzilishi bilan tushuntiriladi.

- ?
1. Kristallarning asosiy turlarini aytib bering.
 2. Atomli kristallda atomlar orasida bog'lanish borligini tushuntirib bering (Kimyo kursidan kovalent bog'lanish haqida nimani bilishingizni eslang).
 3. Qanday kristallar metalli kristallar deb ataladi?
 4. Monokristallar polikristallardan nimasi bilan farq qiladi?

1. Guk qonuni

Qattiq jismning farqli belgilaridan biri uning o'z shaklini saqlash xossasidir. Biroq qattiq jism tashqi kuchlar ta'siri ostida o'z shaklini va o'lchamlarini o'zgartirishi — deformatsiyalanishi mumkin.

Ko'ndalang kesim yuzi S va uzunligi l bo'lgan mis sim olamiz.

Simning yuqori uchini mahkamlab, uning pastki uchiga yuklar osish mumkin bo'lgan po'lat halqa o'rnatamiz (132- rasm).

Halqaga yuk osamiz. Sim og'irlik kuchi ta'siri ostida *absolut uzayish* deb ataluvchi Δl ga uzayadi. F kuch simning deformatsiyalanishiga sabab bo'lgani uchun *deformatsiyalovchi kuch* deb ataladi.

Deformatsiyalovchi kuchni o'zgartirib, unga nisbatan simning absolut uzayishi proporsional ravishda o'zgarishini sezamiz:

$$\Delta l \sim F.$$

Tajribani uzunligi $2l$, $3l$, $4l$ bo'lgan simlar bilan takrorlab, aynan bir xil deformatsiyalovchi kuchda absolut uzayish, mos ravishda, l uzunlikdagi sim bilan o'tkazilgan holatga qaraganda 2, 3 va 4 marta katta bo'lishini ko'ramiz. Binobarin, absolut uzayish simning dastlabki uzunligiga proporsional bo'ladi:

$$\Delta l \sim l.$$

Ko'ndalang kesimining yuzi 2 va 3 marta ortishiga teng kuchli bo'lgan, 2 va 3 marta bukilgan sim bilan tajribani takrorlab, biz ayni shu uzunlikdagi va o'zgarmas deformatsiyalovchi kuch ostidagi absolut uzayish, mos ravishda, 2 va 3 marta kichik bo'lishini ko'ramiz.

Shunday qilib, simning absolut uzayishi uning ko'ndalang kesim yuziga teskari proporsional bo'ladi:

$$\Delta l \sim \frac{1}{S}.$$

Mis simni aynan shunday uzunlikdagi va aynan shunday ko'ndalang kesim yuziga ega bo'lgan po'lat sim bilan almashtirib, deformatsiyalovchi kuchning qiymati avvalgidek bo'lganda po'lat simning



132- rasm.

absolut uzayishi mis simnikiga qaraganda juda kichik bo'lishini ko'ramiz. Boshqacha aytganda, simlarning uzayishi sharoit bir xil bo'lganda ularning materialiga bog'liq ekan:

$$\Delta l \sim \frac{l}{E}$$

Bunda E harfi bilan materialning elastiklik xossasini xarakterlovchi kattalikni belgiladik. Bu kattalik *Yung moduli* deyiladi.

Yuqorida o'tkazilgan tajribalarning natijalarini birlashtirib, quyidagini yozishimiz mumkin:

$$\Delta l = \frac{Fl}{SE}$$

Proporsionallik belgisidan tenglik belgisiga o'tish uchun proporsionallik koeffitsiyentini kiritish kerak. Biroq formuladagi hamma kattaliklarning birligini bir sistemada ifodalasak, u holda bu koeffitsiyent birga teng bo'ladi va biz quyidagini yozishimiz mumkin:

$$\Delta l = \frac{Fl}{ES}$$

Bu bog'lanish formulasini 1660- yilda ingliz fizigi R. Guk aniqlagan va shuning uchun u *Guk qonuni* deb ataladi.

Guk qonuniga bo'ysunuvchi deformatsiyalar *elastik deformatsiyalar* deb ataladi. Elastik deformatsiyalar shu bilan xarakterlanadiki, jismdan yuklanish olingandan so'ng biror vaqtdan keyin u o'zining dastlabki shakli va o'lchamlarini tiklaydi.

Shunday qilib, *elastik deformatsiyalarda sterjenning absolut uzayishi deformatsiyalovchi kuchning sterjen uzunligiga ko'paytmasiga to'g'ri proporsional va uning ko'ndalang kesim yuziga teskari proporsional.*

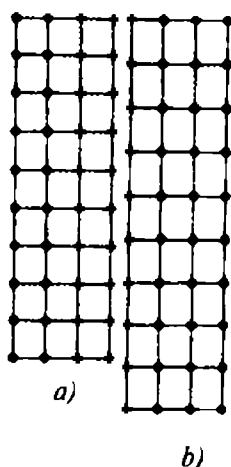
Berilgan jism uchun l , S va E kattaliklar o'zgarmas bo'lsa, u holda $\frac{l}{ES}$ kasr ham o'zgarmasdir. Uni $\frac{1}{k}$ orqali belgilab, quyidagini olamiz:

$$\Delta l = \frac{1}{k} F,$$

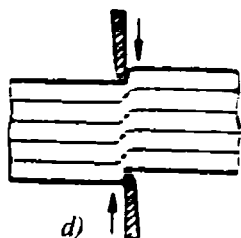
ya'ni elastik deformatsiyalarda sterjenning absolut uzayishi deformatsiyalovchi kuchga to'g'ri proporsional.

Shuni nazarda tutish kerakki, elastik deformatsiyada jismning dastlabki shakli kuchlanish olingandan so'ng bir onda tiklanmaydi, balki biror vaqtdan keyin, ba'zi hollarda bir necha sutkadan so'ng o'z holiga qaytadi. Bu hodisa *elastik so'ngta'sir* deb ataladi.

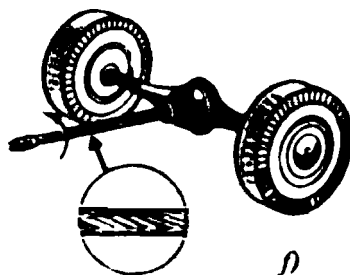
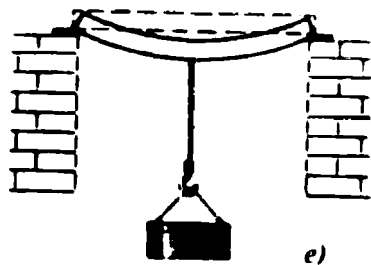
Kristall jismning tuzilish xususiyatlaridan kelib chiqqan holda, qattiq jism elastik va noelastik deformatsiyasining mohiyatini quyidagi tarzda tushuntirish mumkin.



Elastik deformatsiya holida kristallning elementar yacheykasi shakli biroz o'zgaradi (133- *a* rasmda cho'zilmagan sterjenning kristall panjarasi, 133- *b* rasmda esa cho'zilgan sterjenning kristall panjarasi ko'rsatilgan). Bunda kristall tugunlari orasidagi masofalar kristalldagi zarralarning o'zaro ta'sir kuchlari muvozanati buzilmaydigan darajada o'zgaradi. Panjaraning har bir zarrasi o'zining oldingi „qo'shnilari“ bilan qoladi. Zarralar orasidagi masofalarning o'zgarishi, yuklanish olingandan so'ng, jismning dastlabki o'lchamlari va shaklini tiklovchi elastiklik kuchlarining yuzaga kelishiga olib keladi.



Noelastik (plastik) deformatsiyada elementar yacheykalarining sezilarli buzilishi sodir bo'ladi, ba'zi yacheykalar (polikristalllarda va alohida monokristalllarda) boshqalariga nisbatan sirpanadi. Zarralar orasidagi bog'lantirish buziladi.



133- rasm.

2. Qattiq jismlar deformatsiyalarining turlari

Shu vaqtgacha qattiq jismlar deformatsiyalari haqida gapirib, biz hamma vaqt cho'zilishni nazarda tutib keldik. Biroq cho'zilish — qattiq jismlar deformatsiyasining bir turigina xolos. Qattiq jism tashqi kuchlar ta'siri ostida deformatsiyalanib siljishi (133- *d* rasm), egilishi (133- *e* rasm), buralishi (133- *f* rasm) mumkin. Bu deformatsiyalarning hamma turlari elastik va noelastik bo'lishi mumkin. Agar deformatsiya elastik bo'lsa, bunday deformatsiya uchun Guk qonuni o'rinli bo'ladi.

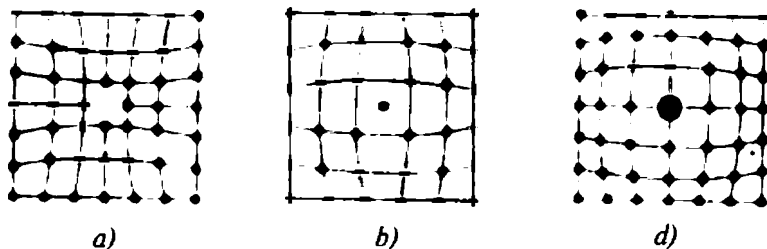


134- rasm.

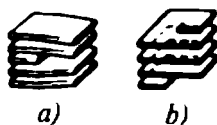
3. Kristall panjara nuqsonlari

Hozirgi vaqtda metallarning mustahkamligini nazariy hisoblash usullari mavjud. Biroq tajribada kuzatilayotgan oddiy kristallarning mustahkamligi qiymati nazariy hisoblashlardan olingan mustahkamlik qiymatidan yuz, ba'zan esa ming marta kichik ekani aniqlangan. Biz „oddiy kristallar“ degan iborani shuning uchun ishlatdikki, oxirgi vaqtlarda laboratoriyalarda (134- rasmda ko'rsatilgan) diametrlari 0,05 dan 50 mm gacha bo'lgan ip ko'rinishdagi kristallarni o'stirish o'rganildi, ularning mustahkamligi nazariy hisoblab topilgan mustahkamlikka yaqin. Oddiy monokristallarning mustahkamligi kichikligining sababi istalgan real kristallda nomukammallik — nuqsonlar borligidir. Kristalldagi nuqsonlar uning o'sish jarayonida yuzaga kelishi va *nuqtaviy*, *chiziqli* hamda *hajmiy* bo'lishi mumkin.

Nuqtaviy nuqsonlarga kristall panjaralarning tugunlaridan birida zarraning yo'q bo'lishi (135- *a* rasm), tugunlar orasidagi fazoda ortiqcha zarra paydo bo'lishi (135- *b* rasm), panjaraga

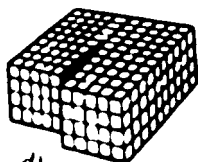


135- rasm.



a)

b)



d)

136- rasm.

„begona“ (135- d rasm) zarralarning kiritilishi misol bo‘la oladi. Chiziqli nuqsonlarga kristall ichidagi bir qatlam tugallanmagan (136- a rasm) yoki kristall tekisligi burama chiziqdan iborat bo‘lganda (136- b rasm) kuzatiladigan siljish (dislokatsiya) misol bo‘la oladi. Hajmiy nuqsonga ikki qo‘shni yacheyka orasidagi tugallanmagan chegara, shuningdek, kristall sirti (136- d rasm) misol bo‘ladi. Nuqsonlar kristallar xossalariining o‘zgari-shiga sabab bo‘ladi.

- ?
1. Guk qonunini ta’riflang.
 2. Qanday deformatsiyalar elastik deformatsiyalar deyiladi?
 3. Yung moduli nima?
 4. Elastiklik chegarasi deb nimaga aytiladi?
 5. Diametri 2 mm va uzunligi 1 m bo‘lgan po‘lat simga 200 kg massali yuk osilgan. Agar po‘lat uchun Yung moduli $2,2 \cdot 10^{11}$ Pa ga teng bo‘lsa, ip qanchaga cho‘ziladi? Ipnning nisbiy uzayishi qanday?

Yung modulini aniqlash

(Laboratoriya ishi)

1. Yung moduli

Yung moduli materialning elastiklik xossasini ifodalaydi. Bu kattalik faqat materialga, uning fizik holatiga bog‘liq bo‘lgan o‘z-garmas kattalikdir. Yung moduli faqat elastik deformatsiyalar uchun o‘rinli bo‘lgan Guk qonuniga kiradi, shuning uchun Yung moduli elastik deformatsiyalarda moddaning xossasini ifodalaydi.

Yung modulini Guk qonunidan foydalanib hisoblash mumkin:

$$\Delta l = \frac{Fl}{ES}, \quad \text{bunda} \quad E = \frac{Fl}{S\Delta l}.$$

2. Yung modulini tajribada aniqlash

Turli materiallardan tayyorlangan sterjenlarni deformatsiyalash uchun nisbatan katta kuchlanish zarur, shu sababli mazkur laboratoriya ishida rezinaning Yung modulini aniqlash kerak.

Kerakli asboblari: bir uchi sirtmoq va ikkinchi uchi tugun qilingan rezina lenta, dinamometr (yoki ikkita laboratoriya yuklar to‘plami), shtativ, millimetr bo‘limli chizg‘ich, shtangensirkul.

Ishni bajarish tartibi

1. Lentaning kengligi va uzunligini shtangensirkul yordamida aniqlang hamda uning ko'ndalang kesim yuzini hisoblang.
2. Lentaning tugunli uchini shtativ panjasiga qistiring va uning sirtmoqli uchiga dinamometr (yoki yuk) ilgagini ilib, dinamometr (yoki yuk) dan ushlab shunday tortingki, lenta 1 — 2 sm ga cho'zilsin.
3. Nagruzka (yuk)ni oling va uning dastlabki (mahkamlangan nuqtadan sirtmoqqacha bo'lgan) uzunligini o'lchang.
4. Lentani 2 — 3 sm ga cho'zing va deformatsiyalovchi kuchni o'lchang.
5. Tajribani lenta 4 va 6 sm ga uzayish hollari uchun takrorlang.
6. Tajribalarning har birining natijasi bo'yicha Yung modulini hisoblang.
7. Uch marta o'lchash natijasi bo'yicha Yung modulining o'rtacha qiymatini toping.
8. O'tkazilgan o'lchashlarning aniqligini baholang.
9. 2- bandda aytilgan ishlar nima maqsadda qilinishini tushuntiring.

IX BOBNING ASOSIY MAZMUNI

1. Barcha qattiq jismlarni kristall va amorf qattiq jismlarga ajratish mumkin. Ba'zi moddalar ham amorf, ham kristall holatda bo'lishi mumkin. Modda amorf holatdan vaqt o'tishi bilan o'z - o'zidan kristall holatga o'tadi, chunki moddaning kristall holati amorf holatiga qaraganda energetik turg'unroqdir.

2. Kristall jismlar monokristallarga va polikristallarga bo'linadi. Monokristallarning fizik xossalari anizotropdir, polikristallarda esa (amorf jismlar singari) fizik xossalari anizotrop emas. Moddaning kristall holatida molekular eng kichik potensial energiyaga ega.

3. Kristall jismlarning xossalari faqat harakatga emas, balki molekularining o'zaro ta'sirlariga ham bog'liqdir.

4. Moddaning kristallanish jarayonida molekular tortishish kuchi ta'siri ostida kristall panjara hosil qilib ma'lum tartibda joylashadi. Kristall panjara tugunlarida turgan zarralar turiga bog'liq holda, kristallar to'rt turga bo'linadi: ionli, atomli, metalli va molekular.

5. Qattiq jism molekularining kinetik energiyasi ularning potensial energiyasidan juda kichik.

6. Qattiq jismning absolut deformatsiyasi elastiklik chegarasida deformatsiyalovchi kuchga to'g'ri proporsional bo'ladi (Guk qonuni).

6- MASHQ

1. Shakar bilan qand tuzilishi orasida qanday farq bor?

2. Kristallarning anizotropiyasi qanday tushuntiriladi?

3. 35 000 N nagruzkada cho'zuvchi kuchlanish $7 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ ga teng bo'lishi uchun qanday diametrli po'lat sterjen olish kerak? Agar sterjenning dastlabki uzunligi 3 m bo'lsa, uning absolut uzayishi qanday? (1mm).

4. 100 N kuch ta'sirida uzunligi 5 m va kesim yuzi $2,5 \text{ mm}^2$ bo'lgan sim 1mm uzayadi. Simda qanday kuchlanish hosil bo'lishini va Yung modulini aniqlang. ($4 \cdot 10^6 \text{ Pa}$.)

5. Uzunligi 1 m va ko'ndalang kesimining yuzi 10 mm^2 bo'lgan mis sterjenga 100 kg massali yuk osilgan. Sterjenning absolut uzayishini aniqlang. Mis uchun Yung moduli $1,2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$. (0,83 mm.)

X h o b . TERMODINAMIKA ASOSLARI

46- §. Termodinamika predmeti, metodi va asosiy tushunchalari

Termodinamika fan sifatida XIX asrda shakllandi. Uning paydo bo'lishi va taraqqiyoti issiqlik dvigatellari yaratilishi bilan bog'liq. Ilgari termodinamika fizikaning bir bo'limi bo'lib, unda bug' va yonilg'i energiyasining mexanik energiyaga aylanishi bilan bog'liq bo'lgan muammolar o'rganilar edi. Hozirgi vaqtda termodinamika — mustaqil fan, uning metodlari nafaqat fizikada, balki kimyoda, biologiyada, gidrodinamikada va boshqa tabiiy fanlarda ham keng qo'llaniladi.

Fizikada termodinamika amalda molekular fizika o'rganadigan hodisalarni o'rganadi-ku, ammo biroz boshqacharoq pozitsiyada va boshqacharoq metodlar bilan o'rganadi. Termodinamikada barcha hodisalar ularning mexanizmi nuqtayi nazaridan emas, balki asosan, bu hodisalarda ro'y berayotgan energetik o'zgarishlar nuqtayi nazaridan qaraladi.

Termodinamikada maxsus terminologiya ishlatilib, uning asosini „termodinamik sistema“, „termodinamik muvozanat“, „termodinamik sistemaning holati“ va shunga o'xshash terminlar tashkil qiladi.

Bu tushunchalardan ba'zilarini qarab chiqamiz.

Termodinamik sistema. Issiqlikning boshqa turdagi energiyalarga va aksincha aylanishi bilan bog'liq bo'lgan jarayonlar ro'yi beradigan jismlar yoki zarralar va maydonlar sistemasi *termodinamik sistema* deyiladi. Termodinamik sistemalarning xarakterli belgisi ularning ko'p sonli zarralardan iborat bo'lishidir. Suyuqlik, gaz, qattiq jism, elektr zanjir, odam tanasi va h. k. termodinamik sistemaga misol bo'la oladi.

Tashqi muhit bilan hech qanday energiya almashmaydigan sistema *izolatsiyalangan (yopiq) termodinamik sistema* deyiladi. Qat'iy qilib aytganda, izolatsiyalangan sistema tushunchasi ideallashtirilgan tushunchadir. Barcha real sistemalar atrof-muhit bilan u yoki bu darajada energiya almashinadi. Ammo izolatsiyalangan sistemaning kiritilishi ko'pgina hodisalarni qarashni yengillashtiradi.

Termodinamik muvozanat. *Termodinamik muvozanat* deb, termodinamik sistemaning shunday holatiga aytiladiki, bu holatga izolatsiyalangan sistema yetarlicha ko'p vaqt o'tgandan keyin keladi. Izolatsiyalangan idishda bir xil temperatura va bosimda turgan ikki xil gaz o'zaro tutashtirildi deylik. Gazlar diffuziyalana boshlaydi. Yetarlicha ko'p vaqt o'tgandan keyin gazlar aralashib ketadi, diffuziya to'xtaydi va sistema termodinamik muvozanat holatiga o'tadi. Bu holat uchun shu narsa xarakterliki, uni xarakterlovchi makroskopik kattaliklar (bu misolda hajm, zichlik, bosim va temperatura) o'zgarmasdan qoladi.

Sistemaning parametrlari. Termodinamik muvozanatda sistemaning holati maxsus parametrlar yordamida tavsiflanadi. Ideal gazlar uchun bunday parametrlar hajm, bosim va temperaturadir.

Termodinamik sistema holatini harakterlovchi parametrlar *holat tenglamasi* deb ataluvchi tenglama bilan bog'langan.

Mendeleyev — Klapeyron tenglamasi ideal gaz uchun holat tenglamasi bo'ladi. Qattiq jismlar uchun holat tenglamasi aniqlanmagan.

Termodinamik jarayon. Termodinamik sistemaning bir holatdan boshqa holatga o'tishi *termodinamik jarayon* deyiladi. Termodinamik jarayonlarni o'rganish va taqqoslash uchun ularni grafik tarzda tasvirlash qulay. Ideal gaz holatini harakterlovchi uchta parametr o'zaro bog'langanligidan, ideal gaz uchun grafiklarni ikki o'lchovli (yassi) koordinatalar sistemasida yasash mumkin. pV o'qlardagi grafiklar eng ko'p tarqalgan. pT o'qlardagi grafiklardan ham foydalanib turiladi. 137- rasmda ideal gazning ikki

holati (1 va 2 nuqtalar) ko'rsatilgan. 1 — 2 egri chiziq sistemaning 1 holatdan 2 holatga o'tish jarayonini ko'rsatadi.

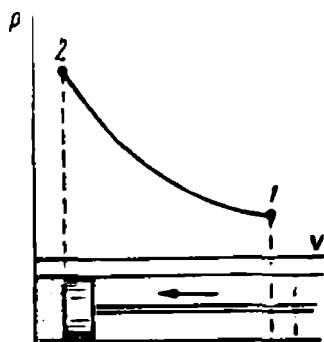
Shuni ta'kidlab o'tish muhimki, faqat muvozanatli jarayonlarnigina grafik tarzda tasvirlash mumkin, muvozanatsiz jarayonlar holida esa butun sistemaning bosimi va temperaturasi to'g'risida gapirish noo'rin bo'ladi, chunki ular sistemaning turli qismida turlicha bo'ladi.

Ammo, ba'zida jarayonning muvozanatsizligi ataylab hisobga olinmaydi va real muvozanatsiz jarayonlar ham grafik tarzda tasvirlanadi. Gazning bosimi va hajmi orasidagi bog'lanishni grafik tarzda ifodalayotganda biz ham shunday qilgan edik: gazni siqayotgan porshen asta-sekin harakatlanayotganda, porshen ostidagi gazning, sezilarsiz darajadagi isishini hisobga olmaslik mumkin. Bunda gazning temperaturasi o'zgarishsiz qoladi, deb hisoblash mumkin.

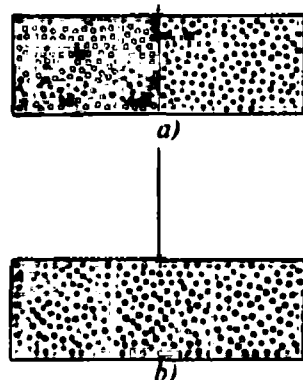
Qaytar va qaytmas jarayonlar. Termodinamik sistemani biror yo'l bilan muvozanat holatidan chiqarib, shundan keyin o'z holiga qo'yib qo'yiladi (ya'ni sistemaga tashqaridan boshqa ta'sir bo'lmaydi), deylik. Tajriba ko'rsatadiki, biror vaqtdan keyin sistema albatta, termodinamik muvozanat holatiga keladi.

Masalan, ikki xil gazni qo'shsak (138- a rasm), diffuziya tufayli biror vaqtdan keyin gazlar aralashib ketadi va ikkala gaz molekularining konsentratsiyasi butun hajm bo'yicha bir xil bo'ladi (138- b rasm). Bir-biriga tekkizilgunga qadar turlicha temperaturaga ega bo'lgan ikki jism bir - biriga tekkizilganda ham shunday hodisa ro'y beradi.

Ammo, termodinamik muvozanat holatiga kelgan izolat-siyalangan sistema o'z - o'zicha bu holatdan chiqqa olmaydi. Masalan,



137- rasm.



138- rasm.

diffuziya natijasida termodinamik muvozanatda turgan ikki xil gaz aralashmasi tashqaridan ta'sir bo'lmay turib idishning turli joylarini egallab turadigan ikki gazga o'z-o'zidan ajralmaydi.

Bir-biriga tegib turgan ikki jismning temperaturalari baravarlashgandan keyin o'z-o'zidan ularning biri isib, boshqasi soviy olmaydi. Bu gapirilganlarning hammasi *termodinamik sistemada sodir bo'ladigan jarayonlar muhim xossaga ega ekanligini, ya'ni ular qaytmas (yo'nalgan) jarayon ekanligini bildiradi.*

Termodinamikada masalalarni soddalashtirish uchun qaytar termodinamik jarayon tushunchasi kiritiladi. Barcha real termodinamik jarayonlar qaytmas ekanligini yana bir bor ta'kidlab o'tamiz. Qaytar jarayon tushunchasi — bu ideallashtirishdir, xolos. Quyidagi shartlarni qanoatlantiruvchi jarayonni *qaytar termodinamik jarayon* deb ataymiz: 1) jarayon to'g'ri va teskari yo'nalishlarda bo'lishi mumkin; 2) sistema va uni qurshab olgan jismlar to'g'ri va teskari o'tishlarda faqat bir xil holatlardan o'tadi; 3) to'g'ri va teskari jarayonlarni o'tgandan keyin sistema va uni qurshab olgan jismlar yana o'zining dastlabki holatiga qaytadi.

Qaytar jarayon tushunchasini kiritish real jarayonlarni o'rganishni osonlashtiradi, chunki ko'pgina hollarda real jarayonlarni yuqori aniqlik bilan qaytar jarayonlar deb qarash mumkin.

- ?
1. Termodinamikaning jadal rivojlanishiga nima sabab bo'lgan?
 - 2. Termodinamika o'ziga xos qanday xususiyatlarga ega?
 3. Termodinamik sistema deb, nimaga aytiladi?
 4. Termodinamik parametrlar deb, qanday kattaliklarga aytiladi?
 5. Termodinamik jarayon deb, nimaga aytiladi?
 6. Qaytar jarayon deb, qanday jarayonga aytiladi?
 7. Qaytmas jarayon deb, qanday jarayonga aytiladi?

47- §. Ideal gazning ichki energiyasi

Ideal gaz termodinamik sistemadir. Bu sistemaning *ichki energiya* deb ataluvchi energiyasini hisoblab chiqamiz.

Ideal gaz molekullari orasida o'zaro ta'sir bo'lmagani tufayli (ta'rifga ko'ra), ideal gazning ichki energiyasi molekullar ilgari- lanma harakati kinetik energiyalarining yig'indisiga teng bo'ladi:

$$U = E_{k_1} + E_{k_2} + E_{k_3} + \dots + E_{k_n}.$$

Shuni nazarda tutish kerakki, bu aytilganlarning hammasi ideal gaz bir atomli bo'lgandagina o'rinli bo'ladi. Agar gaz ko'p atomli bo'lsa, unda molekulalar ilgarilanma harakatdan tashqari, yana aylanma va tebranma harakat qilishi mumkin.

Ideal gaz molekulasining o'rtacha kinetik energiyasi molekular-kinetik nazariyaning asosiy tenglamasidan quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2} kT.$$

Agar gazda N ta molekula bo'lsa, u holda ularning umumiy energiyasi

$$U = N \cdot \frac{3}{2} kT$$

ga teng bo'ladi.

- Bu formuladan ko'rinishicha, ideal gazning to'la ichki energiyasi faqat temperaturaga va molekulalar sonigagina bog'liq bo'lib, hajmga va bosimga bog'liq emas. Bu degan so'z, ideal gaz ichki energiyasining o'zgarishi faqat uning temperaturasi o'zgarishi bilan aniqlanib, gazning bir holatdan boshqa holatga o'tish jarayonining xarakteriga bog'liq emas:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} kN (T_2 - T_1).$$

Boshqacha qilib aytganda, *ichki energiya sistema holatining funksiyasidir*. Bu degan so'z, sistema har gal muayyan holatda bo'lganda uning ichki energiyasi faqat shu holatga tegishli bo'lgan qiymatni oladi, bunda sistema bu holatga qaysi holatdan, qanday qilib o'tgani hech qanday ahamiyatga ega emas.

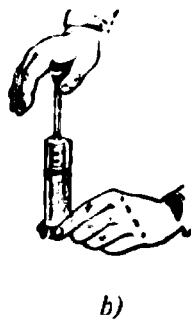
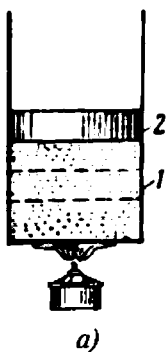
Gazning ichki energiyasini ikki usul bilan o'zgartirish mumkin:

a) gazni issiqroq yoki sovuqroq jismga tekkizib isitish yoki sovitish (139- a rasm);

b) gazni siqish yoki kengaytirish. Siqish vaqtida tashqi kuch bajarayotgan ish hisobiga gazning ichki energiyasi ortadi, kengaytirish vaqtida esa ichki energiya kamayadi.

Aytilganlarning to'g'riligiga quyidagi sodda tajribalardan ishonch hosil qilish mumkin.

1- tajriba. Tiniq silindr idish tubiga paxta qo'yamiz va porshen shtokiga keskin uramiz (139- b rasm). Siqish vaqtida porshen ostidagi havo shunchalik kuchli qiziydiki, natijada silindrdagi paxta alanga olib yonib ketadi.



139- rasm.

2- **tajriba.** Karbonat kislotali ballonga dokadan qilingan qopcha kiydiramiz va ballon ventilini ochamiz. Karbonat kislotaning tez kengayishi uning juda ham sovib ketishiga olib keladiki, bunda karbonat kislotaning bir qismi muzlab qoladi va qattiq holatga o'tadi (139- d rasm).

- ?
1. Ideal gazning ichki energiyasi deganda nima tushuniladi?
 2. Sistemaning ichki energiyasi qachon nolga teng bo'ladi?
 3. Gazning ichki energiyasini qanday usullar bilan o'zgartirish mumkin?
 4. Gaz siqilganda uning ichki energiyasi qanday o'zgaradi?

48- §. Termodinamikaning birinchi qonuni. Energiyaning saqlanish va aylanish qonuni

Tajriba. Ichida porshen zich yuradigan silindr olamiz. Silindrda porshen ostida gaz bo'lsin. Silindr tubi qizdirilganda gaz qiziydi va kengayadi, u yangi hajmni egallaydi (139- a rasm).

Gazni qizdirish jarayonida biz unga biror Q issiqlik miqdori berdik. Buning natijasida:

a) gazning temperaturasi ko'tarildi va uning ichki energiyasi ortdi;

b) porshen biror Δh balandlikka ko'tarilganda ish bajarildi.

Energiyaning saqlanish va aylanish qonuniga ko'ra quyidagini yoza olamiz:

$$Q = \Delta U + A,$$

bunda Q — sistemaga issiqlik ko‘rinishida berilgan energiya miqdori; ΔU — sistemaning ichki energiyasi o‘zgarishi; A — sistema bajarilgan ish.

Termodinamikada energiyaning saqlanish va aylanish qonunini ifodalovchi $Q = \Delta U + A$ tenglama **birinchi qonun** yoki **termodinamikaning birinchi qonuni** deyiladi. Termodinamikaning birinchi qonunini quyidagicha ta’riflash mumkin: *sistemaga berilgan issiqlik miqdori sistemaning ichki energiyasining o‘zgarishiga va sistemaning tashqi jismlar ustida ish bajarishiga ketadi:*

$$Q = \Delta U + A.$$

Energiya. Issiqlik miqdori. Ish. Shu vaqtgacha fizika kursidan ma’lum bo‘lgan „energiya“, „issiqlik miqdori“, „ish“ tushunchalaridan foydalanib keldik. Ammo, issiqlik jarayonlari fizikasini chuqurroq tushunish uchun bu tushunchalarning termodinamik mazmunini bilib olish lozim.

Ma’lum bo‘ldiki, dastlab, mexanik harakatni xarakterlash uchun kiritilgan „energiya“ tushunchasini molekular harakatni xarakterlashda ham qo‘llash mumkin ekan. *Energiya deb, turli ko‘rinishdagi harakatni xarakterlovchi skalar fizik kattalikka aytiladi. Turli ko‘rinishdagi harakatlarning o‘zaro aylanishida energiya o‘zgarimasdan qoladi.*

Fizikada „ish“ termini *bir turdagi energiyaning boshqa turdagi energiyaga aylanish me‘yorini xarakterlaydi.* Masalan, jism H balandlikdan h gacha tushishida uning potensial energiyasining bir qismi kinetik energiyaga aylanadi. Kinetik energiyaga aylangan energiya miqdori og‘irlik kuchi bajarilgan ishga teng:

$$A = E_{p_1} - E_{p_2} = mg(H - h).$$

Ammo, „ish“ terminidan ba’zida energiyaning aylanish jarayonining shaklini belgilashda ham foydalaniladi. Bu ba’zida odamni chalg‘itadi. Shuning uchun ehtimol ikkita tushunchani farqlash, ya’ni „ish“ terminini energiyaning bir turdan boshqa turga aylanish shaklini belgilash uchun va „ish miqdori“ terminini bu aylanish me‘yorini belgilash uchun ishlatish lozimdir.

„Issiqlik“ va „issiqlik miqdori“ termini ham xuddi shunga o‘xshash. Molekulalarning xaotik harakatida bir jismdan ikkinchi jismga energiya uzatish jarayonini (masalan, issiq va sovuq jismlar bir-biriga tekkizilganda) ko‘rsatish lozim bo‘lganda „issiqlik“

terminini ishlatish mumkin. „Issiqlik miqdori“ terminini esa issiqlik almashinish jarayonida uzatilgan energiya miqdorini xarakterlashda ishlatish mumkin. Shuni qayd qilib o'tish kerakki, *ish va issiqlik sistema ichki energiyasining yagona mumkin bo'lgan aylanish shakllari, ish miqdori va issiqlik miqdori esa bu aylanishning me'yori hisoblanadi*

1. Termodinamikaning birinchi qonuni deb nimaga aytiladi?
2. Gazni qizdirish jarayonida unga Q issiqlik miqdori berilsa, qanday o'zgarishlar sodir bo'ladi?
3. Energiyaning saqlanish va aylanish qonunini tushuntiring.

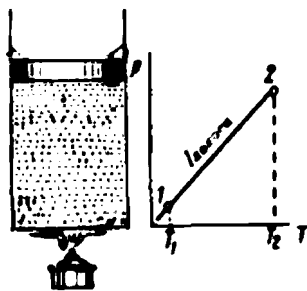
49- §. Termodinamika birinchi qonunining ideal gazlardagi ba'zi jarayonlarga tatbiqi

Izoxorik jarayon. Silindrda qo'zg'almas porshen ostiga ideal gaz qamalgan deylik (140- rasm). Silindrni qizdiramiz va gazga biror Q_V issiqlik miqdori beramiz. Hajm o'zgarmas bo'lganda qizdirish jarayoni *izoxorik jarayon* deyiladi. Porshen qo'zg'almas qilib mahkamlab qo'yilgani uchun gaz tashqi kuchlar ustida ish bajara olmaydi. Shuning uchun birinchi qonunga ko'ra, gazga berilgan hamma energiya (issiqlik shaklida) ichki energiyaga aylanadi va gazning temperaturasi ko'tariladi: $Q_V = \Delta U$ (V indeks issiqlik miqdori o'zgarmas hajmda turgan gazga berilganini bildiradi). Shunday qilib, *izoxorik jarayonda sistemaga berilgan issiqlik miqdorining hammasi sistema ichki energiyasining ortishiga ketadi.*

Izobarik jarayon. Bosim o'zgarmas bo'lganda gazning bir holatdan boshqa holatga o'tish jarayoni *izobarik jarayon* deyiladi. Izobarik jarayonni amalga oshirish uchun porshenli silindrga gaz qamaymiz. Porshen silindr ichida erkin harakatlanadi (141- a rasm).

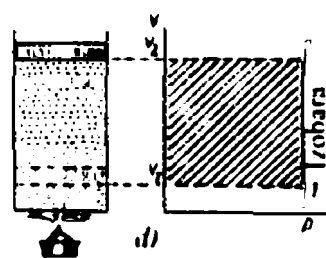
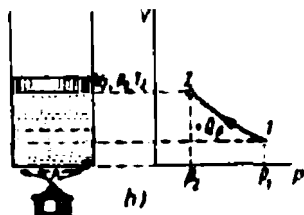
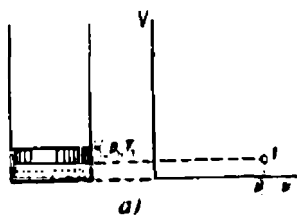
Gaz qizdirilganda unga issiqlik ko'rinishida Q_p energiya uzatiladi. Termodinamikaning birinchi qonuniga ko'ra, bu energiya qisman sistemaning ichki energiyasiga o'tadi, qisman esa porshenni Δh balandlikka ko'tarishga sarflanadi:

$$Q_p = \Delta U + A_p.$$



140- rasm.

Shunday qilib, *izobarik jarayonda gazga beriladigan issiqlik miqdorining*



141- rasm.

bir qismi gaz ichki energiyasining ortishiga, bir qismi gazning ish bajarishiga ketadi.

Izobarik jarayonda gaz bajaradigan ishni topamiz. Gazning bosimi o'zgarmas bo'lgani tufayli, porshenga bosim kuchi ham o'zgarmas bo'ladi: $F = pS$. Binobarin, $A_p = p \cdot S\Delta h$. Formuladagi $S\Delta h$ ko'paytma gaz hajmining o'zgarishiga teng. Shuning uchun

$$A_p = p\Delta V = p(V_2 - V_1).$$

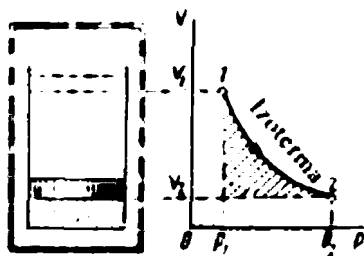
Jarayon grafigida bu ish izobara va izoxoraning boshlang'ich va oxirgi nuqtalaridan hosil bo'lgan to'g'ri to'rtburchakning yuzi bilan tasvirlanadi (141 - d rasm).

Izotermik jarayon. Temperatura o'zgarmas bo'lganda gazning bir holatdan boshqa holatga o'tish jarayoni *izotermik jarayon* deyiladi. Izotermik jarayonni amalga oshirish uchun yengil

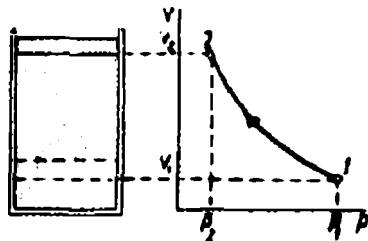
harakatlanuvchi porshenli silindrda turgan gazni termostatga joylashtiramiz. Termostat shunday qurilmaki, unda tashqi energiya hisobiga temperatura o'zgarmas saqlanadi (142 - rasm).

Gazni asta-sekin siqamiz. Bunda biz — A_T ish bajaramiz. Termodinamikaning birinchi qonuniga ko'ra bu ish termostatga gaz beradigan issiqlik miqdoriga teng bo'ladi:

$$Q_T = -A_T.$$



142- rasm



143- rasm.

Agar gaz bu sharoitda kengaysa, $u + A_7$ ish bajaradi, temperaturasi pasaymasligi uchun u termostatdan bajarilgan ishga teng bo'lgan — Q issiqlik miqdori oladi.

Shunday qilib, *izotermik jarayonda gazga berilayotgan issiqlik miqdori butunlay gazning kengayish ishiga aylanadi.*

Izotermik kengayishda gaz bajargan ish pV diagrammada izoterma bilan chegaralangan shtrixlangan shaklning yuzi bilan tasvirlanadi (142- rasm).

Adiabatik jarayon. Adiabatik jarayon deb, shunday jarayonga aytiladiki, bunda sistema issiqlik ko'rinishida energiya olmaydi ham, energiya bermaydi ham. Boshqacha qilib aytganda, adiabatik jarayonda $Q = 0$.

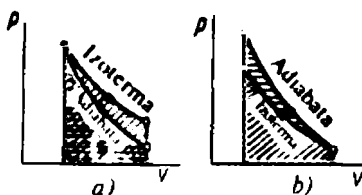
Bunday jarayonni amalga oshirish uchun gazni adiabatik idishga, ya'ni o'zi orqali issiqlik oqimi o'tkazmaydigan idishga kiritish lozim. Termodinamikaning birinchi qonuniga ko'ra adiabatik jarayonda:

$$\Delta U = -A_Q.$$

Adiabatik silindrga kiritilgan gaz kengayadi, deb faraz qilaylik (143- rasm). Bunda gaz sistemaning ichki energiyasi hisobiga ish bajaradi. Binobarin, bu holda gazning temperaturasi pasayadi. Buni molekular-kinetik nazariya nuqtayi nazaridan tushuntirish oson.

Porshen idish devorlariga nisbatan yuqoriga v tezlik bilan harakatlanadi, deylik. Porshen ortidan devorlarga nisbatan c tezlik bilan k molekula harakatlanadi ($c > v$). Porshenga nisbatan bu molekulaning tezligi $c - v$. Molekula porshenni „quvib yetib“, elastik urilish ro'y bergandan keyin uning tezligi $c - v$ bo'ladi (vaholanki, bunda molekula pastga harakatlana boshlaydi va uning idish devorlariga nisbatan tezligi $c - 2v$ bo'ladi). Shunday qilib, porshen bilan to'qnashgan hamma molekularlarning tezligi kamayadi. Bu esa molekular harakati o'rtacha kvadratik tezligining kamayishiga, binobarin, temperaturaning pasayishiga olib keladi.

144- a rasmda gazning izotermik va adiabatik jarayonlarda kengayish grafigi keltirilgan. Adiabatadan izotermadan pastroqda o'tadi. Bu adiabatik jarayonda gaz bosimining



144- rasm.

uning kengayishi va sovishi hisobiga pasayishi bilan tushuntiriladi. Binobarin, adiabatik kengayishda gaz izotermik kengayishidagiga qaraganda kamroq ish bajaradi. Shu ishni hisoblab chiqamiz. Adiabatik jarayonda $Q = 0$. Binobarin, $A_Q = \Delta U$, ichki energiya o'zgarishi esa $\Delta U = \frac{3}{2} Nk (T_1 - T_2)$. Shuning uchun

$$A_Q = \frac{3}{2} Nk (T_1 - T_2).$$

Gazni adiabatik siqqanimizda bosim izotermik siqqandagiga qaraganda tez ortadi, bosimning bunday tez ortishi faqat siqish bilan emas, balki gazning qizishi bilan ham bog'liq (144- b rasm). Demak, adiabatik siqishda tashqi kuchlar bajargan ish izotermik siqishdagiga qaraganda kattaroq bo'ladi.

- ?
1. Izoxorik jarayon uchun termodinamikaning birinchi qonuni qanday tavsiflanadi?
 2. Izobarik jarayonda termodinamikaning birinchi qonuni qanday tavsiflanadi?
 3. Izotermik jarayon uchun termodinamikaning birinchi qonuni qanday tavsiflanadi?
 4. Adiabatik jarayon deb qanday jarayonga aytiladi?
 5. Adiabatik jarayonlar real jarayonlarmi? Unga misol keltiring.
 6. Adiabatik jarayonda ish nimaning hisobiga bajariladi?

50- §. Issiqlik jarayonlarining qaytmasligi

1. Jarayonlarning yo'nalishi haqida

Termodinamikaning birinchi bosh qonuni energiyaning saqlanish va aylanish qonunlarini issiqlik jarayonlarining ma'lum sharoitlariga qo'llanilishidan iborat ekanligi aytib o'tilgan edi. Termodinamikaning birinchi bosh qonuni barcha hodisalarda aniq kuzatiladi.

Biroq termodinamikaning birinchi bosh qonuni termodinamik jarayonlarning qanday yo'nalishda borayotganligiga nisbatan hech qanday ko'rsatma bera olmaydi.

Bir nechta misol qarab chiqaylik. Faraz qilaylik, izolatsiyalangan sistema turli temperaturali ikkita jismdan iborat bo'lsin. Termodinamikaning birinchi bosh qonuniga binoan, issiqlik almashinish jarayonida bitta jism Q issiqlik miqdori oladi, ikkinchi

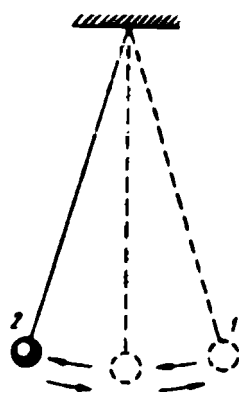
jism esa xuddi shunday Q issiqlik miqdorini tashqariga beradi. Issiqlik qanday yo'nalishda uzatiladi? Bu savolga termodinamikaning birinchi bosh qonuni asosida javob berish mumkin emas. Bundan tashqari, termodinamikaning birinchi bosh qonuni issiqlik kamroq isigan jismdan ko'proq isigan jismga ixtiyoriy ravishda o'tadigan jarayon uchun zid bo'lmagan bo'lar edi.

Yana bitta misol qarab chiqamiz. Tosh Yerga tushayotganda uning ilgariylanma harakatining butun kinetik energiyasi energiya-ning saqlanish qonuniga mos ravishda toshning ichki energiyasiga va uning atrofidagi jismlar ichki energiyasiga aylanadi. Biroq, termodinamikaning birinchi qonuniga teskari jarayon ham zid bo'lmas edi, bunda yerda yotgan toshga atrofdagi narsalardan biror issiqlik miqdori uzatilgan va natijada tosh o'z-o'zidan sakrab ketishi ham mumkin bo'lar edi. Biroq hech kim hech qachon sakrayotgan toshlarni kuzatmagan.

Bu va bunga o'xshash boshqa misollar termodinamikaning birinchi qonuni energiya-ning bir turdan boshqa turga aylanishi yo'nalishiga va issiqlikni bir jismdan boshqasiga o'tish (uzatish) yo'nalishiga hech qanday chegara qo'ymasligidan dalolat beradi. Shu bilan birga, tajriba energiya-ning har xil turlari teng qiymatli emasligini va ular imkoniyatlar bo'yicha boshqa ko'rinishlarga aylanishini ko'rsatadi. Masalan, istalgan jismning mexanik energiyasini to'laligicha uning boshlang'ich temperaturasiga bog'liq bo'lmagan holda ichki energiyasiga aylantirish mumkin. Haqiqatan ham, istalgan jismni ishqalash bilan isitish mumkin: bunda uning ichki energiyasi ishga teng kattalikka ortadi. Xuddi shuningdek, elektr energiya to'laligicha, masalan, elektr toki rezistor orqali o'tganda, ichki energiyaga aylanishi mumkin. Shunday qilib, ichki energiya-ning boshqa ko'rinishlarga teskarisiga aylanishi uchun ma'lum cheklanishlar mavjud, bu quyidagidan iborat: **ichki energiya hech qanday sharoitlarda to'laligicha energiya-ning boshqa turlariga aylanmaydi.** Tabiatda jarayonlarning o'tish yo'nalishi xuddi shunga bog'liqdir.

2. Qaytar va qaytmas jarayonlar

Faraz qilaylik, izolatsiyalangan sistema qandaydir jarayon natijasida 1 holatdan 2 holatga o'tsin. Agar sistema o'z-o'zidan 2 holatdan 1 holatga qaytadigan va sistemada hech qanday boshqa o'zgarishlar sodir bo'lmaydigan teskari jarayon mavjud bo'lsa, u holda $1 \rightarrow 2$ jarayon *qaytar jarayon* deb ataladi.



145- rasm.

Izolatsiyalangan sistemalarda ishqalanish va noelastik deformatsiyalar bo'lmagan sharoitlarda o'tadigan barcha mexanik jarayonlar qaytar jarayonlarga misol bo'la oladi. Masalan, vakuumda osmaga osib qo'yilgan mayatnik ishqalanishsiz harakat qilib, 1 holatdan 2 holatga o'tadi (145- rasm), so'ngra hamma o'sha oraliq holatlarni o'tib, yana 1 holatga qaytadi.

Agar izolatsiyalangan sistema qandaydir jarayon natijasida 1 holatdan 2 holatga o'tsa va u o'z-o'zidan dastlabki holatiga o'tishida sistemada hech qanday o'zgarishlar bo'lmaydigan $2 \rightarrow 1$ teskari jarayon sodir bo'lmasa, u holda

$1 \rightarrow 2$ jarayonni *qaytmas jarayon* deb ataladi.

Qaytmas jarayonlarga misollar keltiramiz. Bu, avvalo, issiqlik almashinish jarayonidir. Issiqlik issiqroq jismdan sovuqroq jismga o'tadi. Biroq, izolatsiyalangan sistemada issiqlik o'z-o'zidan teskari yo'nalishda o'ta olmaydi. Agar gazga katta hajm berilsa, kengayadi, biroq teskari jarayon — o'z-o'zidan siqilishi mumkin emas.

Qaytmas jarayonga, shuningdek, bir xil gazning boshqasiga diffuziyalanib o'tishi misol bo'la oladi. Gazlarning o'z-o'zidan ajralishi — teskari jarayon sodir bo'lmaydi. Teskari jarayonlarning mavjudligi faqat molekular hodisalarning asosiy xarakteristikasi bo'lib hisoblanmasdan, balki tabiatda va texnikada barcha real jarayonlarning ham asosiy xarakteristikasi hisoblanadi.

3. Termodinamikaning ikkinchi qonuni

Issiqlik jarayonlarining qaytmasligidan quyidagi xulosa kelib chiqadi: **ichki energiya o'z-o'zidan temperaturasi pastroq jismdan temperaturasi yuqoriroq jismga o'ta olmaydi.** Termodinamikada bu fundamental qonun *termodinamikaning ikkinchi bosh qonuni* deb ataladi.

- ?
1. Termodinamikaning birinchi bosh qonunini ta'riflab bering va uning matematik ifodalanishini yozing.
 2. Termodinamikaning birinchi bosh qonuni asosida termodinamik jarayonlarning yo'nalishini aniqlash mumkinmi?
 3. Qaytar va qaytmas jarayonlarga misollar keltiring. Ularni tushuntirib bering.

51- §. Issiqlik dvigatellarining ishlash prinsipi

Issiqlik dvigatellari deb, yonilg'ining ichki energiyasini mexanik energiyaga aylantirib beruvchi mashinalarga aytiladi.

1. Issiqlik dvigatellarining yaratilish tarixidan

Birinchi issiqlik dvigateli — bug' mashinalarining yaratilishi haqiqatan birinchi baynalmilal kashfiyot edi. Tuzilishi va vazifasi bo'yicha har xil bug' mashinalarini quyidagi olimlar ishlab chiqdilar: ingliz T. Severi (1698- y), ingliz T. Nyukomen (1705- y), fransuz D. Papen (1707- y), rus I. I. Polzunov (1763- y), ingliz J. Uatt (1774- y).

Uatt kashfiyoti fan va texnikaning rivojlanishi uchun katta ahamiyatga ega bo'ldi. Uning kashfiyoti Angliyada sanoat gurkirab rivojlanayotgan vaqtga mos keldi.

1860- yilda Polzunov va Uattlar universal bug' mashinasini kashf etganlaridan deyarli 100 yil keyin fransuz ixtirochisi Lenuar birinchi bo'lib ikki taktli ichki yonuv dvigatelining loyihasini tuzdi. Shundan 16 yil keyin, 1876- yilda nemis konstruktori N. Otto birinchi bo'lib to'rt taktli dvigatel yasadi.

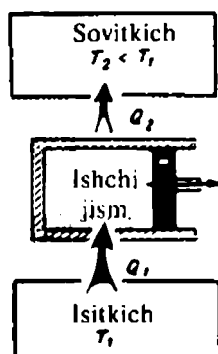
2. Issiqlik dvigatellarining ishlash prinsipi

Issiqlik dvigatellari turlarining har xilligiga qaramasdan, ularning ishlash prinsipi umumiy belgilarga ega. Dvigatellarning ishlashida quyidagi umumiy belgilarini ajratish mumkin:

a) istalgan issiqlik dvigatelida yonilg'ining energiyasi mexanik energiyaga aylanadi. Bunda yonilg'ining energiyasi yuqori temperaturagacha qizdirilgan gaz yoki bug'ning icgki energiyasiga aylanadi;

b) issiqlik dvigatelining ishlashi uchun turli temperaturali ikkita jism bo'lishi shart (150- rasm). Ular *isitkich* va *sovitkich* deb ataladi. Bulardan tashqari, *ishchi jism* (bug' yoki gaz) zarur. Issiqlik dvigatelining ishlash jarayonida ishchi jism isitkichdan biror Q_1 miqdordagi issiqlik miqdori oladi va uning bir qismini A mexanik energiyaga aylantiradi, issiqlikning qolgan Q_2 qismini esa sovitgichga beradi. Energiyaning aylanish va saqlanish qonuniga binoan:

$$Q_1 = Q_2 + A;$$



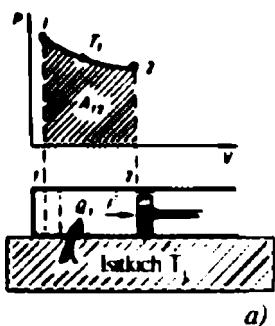
146- rasm.

d) istalgan issiqlik dvigatelining ishlashi ishchi jism holati o'zgarishining takrorlanuvchi sikllaridan iborat. Har bir sikl turli jarayonlardan: isitgichdan energiya olish (ishchi jismning kengayishi va u olgan energiyaning bir qismini mexanik energiyaga aylantirish) va nihoyat, energiyaning foydalanilmagan qismini sovitkichga uzatishdan iborat.

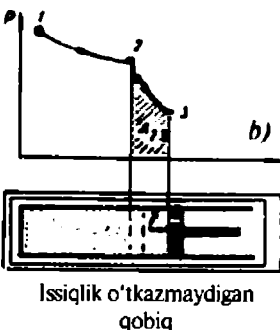
3*. Karno sikli

Issiqlik dvigatellarining ishlash prinsipini chuqurroq tushunish uchun S. Karno tomonidan birinchi bo'lib tavsiflangan ideal dvigatelning to'rt taktli ishlash siklini qarab chiqamiz.

Qo'zg'aluvchan porsheni bo'lgan issiqlik o'tkazuvchi silindrga

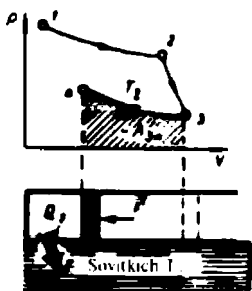


a)

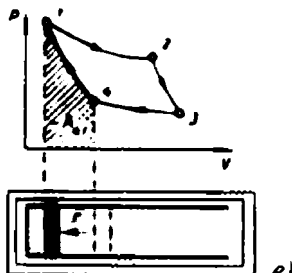


b)

Issiqlik o'tkazmaydigan qobiq



c)



Issiqlik o'tkazmaydigan qobiq

e)



f)

qamalgan gazni T_1 temperaturali isitkich (147- a rasm) bilan issiqlik kontaktiga keltiramiz. Gaz T_1 temperaturagacha qizib, 1 holatdan 2 holatga o'tib izotermik kengayadi. Bunda:

a) gaz isitkichdan Q_1 issiqlik miqdori oladi;

b) gaz tashqi kuchlarga qarshi $A_{12} = Q_1$ ish bajaradi.

Gaz 2 holatga erishganda, gazning isitkich bilan kontakti ajratiladi va silindrni issiqlikdan izolatsiya qilingan qobiqqa qamaladi (147- b rasm). Gazga 3 holatgacha adiabatik kengayishiga qo'shimcha imkoniyat beriladi. Bunda:

a) gaz o'zining energiyasi hisobiga tashqi kuchlarga qarshi A_{23} ish bajaradi;

b) gazning ichki energiyasi pasayganligi uchun uning temperaturasi T_1 dan T_2 gacha kamayadi.

147- rasm.

Gaz 3 holatga erishgandan keyin uni temperaturasi T_2 bo'lgan sovitkich (147 - d rasm) bilan kontaktga keltiramiz. Gazni tashqi kuchlar bilan 4 holatgacha izotermik ravishda siqamiz, bu holatni shunday tanlaymizki, keyin sistemani adiabatik siqish natijasida 1 holatga o'tkazish mumkin bo'lsin. Bunda:

- a) tashqi kuchlar gazni siqish bo'yicha A_{34} ish bajaradi yoki xuddi o'shanday gaz A_{34} manfiy ish bajaradi;
- b) sistema sovitkichga Q_2 issiqlik miqdori beradi.

Bunday sistema 4 holatga erishganidan keyin uni sovitkichdan ajratamiz hamda issiqlikdan izolatsiya qilingan qobiqqa joylashtiramiz va 1 (147- d rasm) holatgacha adiabatik ravishda qisamiz. Bunda:

- a) gaz adiabatik siqilganda tashqi kuchlar A_{41} ish bajaradi yoki xuddi o'shanday gaz A_{41} manfiy ish bajaradi;
- b) gazning temperaturasi T_2 dan T_1 gacha ko'tariladi va boshlang'ich 1 holatga o'tadi.

Gazning adiabatik kengayishda bajargan A_{23} ishi tashqi kuchlarning adiabatik siqishda gaz ustida bajargan A_{41} ishiga teng, chunki birinchi holda gaz temperaturasi T_1 dan T_2 gacha kamayadi, ikkinchi holda esa T_2 dan T_1 gacha ko'tariladi. Shuning uchun sikl natijasida $A_{12} - A_{34}$ ayirmaga teng bo'lgan ish bajariladi.

Bu ish izoterma va adiabat bilan chegaralangan yuzga proporsional bo'ladi (147- e rasmda shtrixlangan holda ko'rsatilgan). Izotermik va adiabatik jarayonlarning tanlab olinishi tasodifan emas: gap shundaki, ishchi jism 1 - 2 izoterma va 2 - 3 adiabat bo'yicha kengayganda, ishchi jism tomonidan olingan hamma energiya to'la mexanik energiyaga aylanadi, ishchi jismning 3 - 4 izoterma va 4 - 1 adiabat bo'ylab dastlabki holatiga qaytishi mexanik energiyani juda kam isrof qilish bilan kuzatiladi. Ikkita izoterma va ikkita adiabatdan iborat bo'lgan issiqlik dvigatelinin ish sikli qulay hisoblanadi.

4. Ideal issiqlik dvigatelinin FIK

Yuqorida tavsiflangan Karno sikli yoki ideal dvigatel sikli deb nom olgan siklni amalga oshirish mumkin bo'lganda edi, bu dvigatelning FIK i quyidagiga teng bo'lar edi: $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$.

Karno ideal dvigatelning FIK faqat isitkich va sovitkich temperaturalariga bog'liqligini hamda quyidagi formula bo'yicha

hisoblashini isbotladi: $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$.

Real issiqlik dvigatellarining foydali ish koeffitsiyenti har doim ideal dvigatellarning FIK dan kichik, chunki real dvigatellarda oldini olib bo'lmaydigan isrofdan tashqari (issiqlikni sovitkichga muqarrar uzatish), konstruktiv elementlariga bog'liq bo'lgan boshqa energiya isroflari ham mavjud.

2. 1. Istalgan issiqlik dvigatelining asosiy elementlarini aytib bering.
2. Isitkichning temperaturasi 600°C , sovitkichning temperaturasi esa -40°C bo'lgan ideal issiqlik dvigatelining FIK ni hisoblang.

52- §. Issiqlik dvigatellarining inson hayotidagi o'rni

Issiqlik dvigatellari kishilik jamiyati hayotida juda muhim ahamiyatga ega. Ularning qo'llanilish muammolarining faqat ikkita tomonini ko'rib chiqamiz.

1. Issiqlik dvigatellarining energetika va transportni rivojlantirishdagi roli

Issiqlik dvigatellari texnikani, ayniqsa, energetika va transportni rivojlantirishda katta o'rin tutgan va bundan keyin ham shunday bo'lib qoladi. Bug' mashinalarining yaratilishi mashinasozlik sanoatida juda katta ahamiyatga ega bo'ldi, paroxod (1807- y.) va parovozning (1814- y.) ixtiro qilinishi uchun qulayliklar yaratib berdi. K. L a v a l ning bug' turbinalarini (1889- y.) ixtiro qilishi elektrostansiyalar quvvatining keskin ortishiga sabab bo'ldi. Hozirgi vaqtda bug' turbina — issiqlik va atom elektrostansiyalarida asosiy birlamchi dvigatel bo'lib xizmat qiladi.

Ichki yonuv dvigatellarining yaratilishi avtomobilsozlik va aviatsiyani hayotga olib keldi. Gaz turbinalarining kashf etilishi samolyotlar tezligining va yuk ko'tarish qobiliyatining keskin ortishiga sabab bo'ldi, reaktiv dvigatellarning ixtiro qilinishi esa Koinotga uchish haqidagi asrlab qilingan orzularni ro'yobga chiqardi.

Ichki yonuv dvigatellari qishloq xo'jaligida va qurilish texnikasida (traktorlar, kombaynlar, avtomashinalar, buldozerlar, ekskavatorlar va boshqa mashinalar) katta rol o'ynaydi.

Hozirgi vaqtda issiqlik dvigatellari — yonilg'i energiyasini energiyaning boshqa turlariga aylantirib beruvchi asosiy vosita desak, mubolag'a bo'lmaydi va ularsiz hozirgi zamon taraqqiyotiga erishib bo'lmas edi.

2. Issiqlik dvigatellari va tabiatni muhofaza qilish

Issiqlik dvigatellarining hamma turlari yonilg'i energiyasini mexanik energiyaga aylantirib beradi. Yonilg'ining barcha turlari

to'la yonadi, deb bo'lmaydi, bundan tashqari, ularning tarkibida oltingugurt (ko'mir taxminan — 2%, neft — 2,5%, gaz — 0,05%) va boshqa aralashmalar mavjud bo'ladi, shuning uchun atmosferaga chiqariladigan ishlatib bo'lingan gazlar atmosferani jonivor va o'simliklar dunyosi uchun zararli moddalar bilan ifloslantiradi.

Hozirgi vaqtda har yili yonilg'ini yoqish natijasida atmosferaga 200 mln t uglerod (II) oksidi, 150 mln t oltingugurt (IV) oksidi, 50 mln t atrofida azot (II) oksidi, 250 mln t changlar, 70 mln m³ qo'rg'oshin va boshqa metallar birikmalari chiqadi.

Atmosferaga chiqarib yuborilgan chala yongan mahsulotlar havodagi suv bug'lari bilan kimyoviy reaksiyaga kirishadi. Masalan, biror birikmalar (CO₂, SO₂, H₂S va boshq.) suv bilan reaksiyaga kirishadi va kislotalar eritmasi (aralashma) ning tomchilari ko'rinishida yuz, hatto minglab kilometr masofaga tarqaladi. Yer yuziga kislotali yomg'ir deb ataluvchi yomg'ir yog'adi, bu esa insonlarning sog'liqlariga, o'simlik va hayvonot dunyosiga zararli ta'sir ko'rsatadi, metallarning zanglashini tezlashtiradi, marmar va ohaktoshdan qurilgan inshootlarni ishdan chiqaradi, tuproqni va suv havzalarini ifloslantiradi. Bizni o'rab turgan muhitga issiqlik dvigatellaridan atmosferaga chiqadigan azot va uglerod oksidlari ham zararli ta'sir ko'rsatadi.

So'nggi yillarda barcha mamlakatlarda atrof muhitni muhofaza qilishga juda katta e'tibor qilinmoqda. Atrofdagi havoni ishlayotgan issiqlik dvigatellari ifloslantirishini kamaytirish uchun: a) yonilg'ining to'laroq yonishini ta'minlash; b) elektrostansiyalar va ichki yonuv dvigatellarining o'txonalaridan ajralib chiqadigan gazlarni yaxshi tozalash; v) „tozaroq“ yonilg'ini izlab topish zarur.

Yonilg'i to'la yonishi uchun ichki yonuv dvigatelinin yonilg'i aralashmasiga vodorod qo'shiladi, toshko'mirda ishlaydigan elektrstansiyalarida esa ko'mirni maydalab ko'mir kukuniga aylantiriladi. Avtomobil dvigatellarida yonilg'i to'la yonishi uchun dvigatelning ishlash rejimi juda katta ahamiyatga ega.

Ayniqsa, ishlangan va yonishdan hosil bo'lgan gazlarni yaxshilab tozalash uchun ko'p ishlar qilinmoqda. Shu maqsadda yonilg'iga maxsus qo'shilmalar qo'shiladi, shuningdek, gazlarni atmosferaga chiqarishdan oldin maxsus ishlov beriladi. Masalan, elektr stansiyalarda ko'mir kukuniga (yoki mazutga) changsimon ohak aralashiriladi, bunda oksidlar u bilan reaksiyaga kirishadi. Yonishdan hosil bo'lgan gazlarni CO va CO₂ dan tozalash uchun maxsus katalizatorlar o'rnatiladi, bu katalizatorlar ishtirokida gazlar havodagi vodorod bilan reaksiyaga kirishadi.

Yangi, „tozaroq“ yonilg'i turini izlab topish ko'pdan buyon davom etib kelmoqda. Hozirgi vaqtda yonilg'i sifatida aralashmalardan oldindan tozalangan tabiiy gaz, shuningdek, spirtlar (Lotin Amerikasida) yetarlicha keng qo'llanilmoqda.

Vodorod dvigatelinini yaratish bo'yicha izlanish ishlari olib borilmoqda, bu dvigatel ishlaganda atmosferaga zararli gazlar chiqmaydi.

Atrof muhitni muhofaza qilish har bir kishining vazifasidir va har bir inson bunda faol qatnashishi kerak. Masalan, agar har bir o'rta maktab o'quvchisi quvvati 100 W bo'lgan elektr lampani bir sutkada 7 soat foydasiz yoritishga yo'l qo'ymasa, u holda 4 mln o'quvchi bir yil mobaynida

$$0,1 \text{ k W} \cdot 1 \text{ soat} \cdot 365 \cdot 4\,000\,000 \approx 1,4 \cdot 10^9 \text{ kW} \cdot \text{soat}$$

energiya tejashga imkon beradi.

Mamlakatdagi eng yaxshi elektr stansiyaga 1 kW · soat elektr energiya ishlab chiqarish uchun 650 g qo'ng'ir ko'mir sarflanadi. Binobarin, $1,4 \cdot 10^9$ kW soat elektr energiya ishlab chiqarish uchun

$$M = 0,65 \cdot 1,4 \cdot 10^9 \text{ kg} = 0,9 \cdot 10^9 \text{ kg} = 0,9 \cdot 10^6 \text{ t}$$

ko'mir yoqish kerak!

Million tonna ko'mir!

Buncha tonna ko'mir yoqilganda 600 000 t kul hosil bo'ladi, atmosferaga 1 mln t karbonat angidrid gazi, taxminan 30 000 t oltigugurt gazi, 10 000 t atrofida azot va aynan shuncha tonna chang chiqarilgan bo'lar edi. Bundan tashqari, ko'mir qazilganda va yonganda ko'mir qatlamlarida radioaktiv elementlar ajraladi. Ularning miqdori katta bo'lmasa-da, million tonna ko'mir yoqilganda uni hisobga olmaslik mumkin emas.

Bu bizning har birimiz atrof-muhitni muhofaza qilishda qanchalik yordam berishimiz mumkinligini ko'rsatuvchi bir misoldir.

X BOBNING ASOSIY MAZMUNI

1. Termodinamika, termodinamik muvozanat holatida bo'lgan makroskopik sistemalarning xossalari va bu sistemalarning bir holatdan boshqa holatga o'tish jarayonini o'rganadi. Termodinamika XIX asrning birinchi yarmida, issiqlik mashinalari nazariyasining rivojlanishi va energiyaning aylanish va saqlanish qonunlarining aniqlanishi tufayli yuzaga keldi.

2. Termodinamikaning birinchi bosh qonuni energiyaning aylanish va saqlanish qonunlarining termodinamik jarayonlarga qo'llanilishini ifodalaydi:

$$Q = \Delta U + A$$

3. Ideal gazning ichki energiyasi faqat uning temperaturasi va N molekullar soniga bog'liq:

$$U = \frac{3}{2} NkT$$

va uning holat funksiyasi hisoblanadi.

4. Real gazning ichki energiyasi uning holat funksiyasi bo'lgani holda uning temperaturasi va hajmiga bog'liq.

5. Ish bajarish va issiqlik almashinuvi — sistema ichki energiyasining o'zgarish shakli, ish va issiqlik miqdori esa — bu o'zgarish o'lchovi hisoblanadi.

6. Termodinamik sistemaning bir holatdan boshqa holatga eng oddiy o'tish jarayonlari izobarik, izoxorik, izotermik va adiabatik jarayonlardir.

7. Issiqlik dvigatellarida yonilg'ining ichki energiyasi mexanik energiyaga aylanadi. Issiqlik dvigatellarining ishlashi uchun ikkita turli temperaturali jism zarur. Ular isitkich va sovitkich deb ataladi. Bundan tashqari, ishchi jism (bug' yoki gaz) kerak.

Issiqlik dvigatelining ish jarayonida ishchi jism isitkichdan biror Q_1 issiqlik miqdori oladi va uning bir qismini A mexanik energiyaga aylantiradi. Mexanik energiyaga aylanmagan Q_2 issiqlik miqdorini sovitkichga uzatadi:

$$Q_1 - Q_2 = A.$$

8. Dvigatel bajargan ishning ishchi jism isitkichdan olgan issiqlik miqdoriga nisbati foydali ish koeffitsiyenti deb ataladi:

$$\eta = \frac{A}{Q}.$$

$A = Q_1 - Q_2$ bo'lgani uchun $Q = Q_1$, u holda

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

Istalgan issiqlik dvigatelining foydali ish ko'effitsiyenti har doim birdan kichik bo'ladi. Zamonaviy eng yaxshi issiqlik dvigatellarining FIK i 50% dan kam.

7- MASHQ

1. Sistema 1 holatdan 2 holatga o'tdi (148- rasm). Bu jarayonni pV va pT koordinatalarda tasvirlang.

2. Sistema 1 holatdan 2 holatga o'tdi (149- rasm). Bu jarayonni VT va pT koordinatalarda tasvirlang.

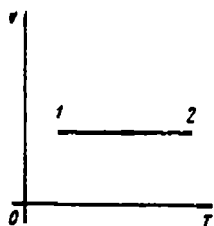
3. Gaz 1 — 2 — 3 — 1 jarayonda (150 - rasmda ko'rsatilgan) qanday ish bajaradi? Musbatmi yoki manfiyimi?

4. Gaz kengayganda uning bosimi $4 \cdot 10^5$ dan $8 \cdot 10^5$ Pa gacha chiziqli ortdi, bunda uning hajmi 0,1 dan 1,1 m³ gacha o'zgardi. Gaz qancha ish bajargan?

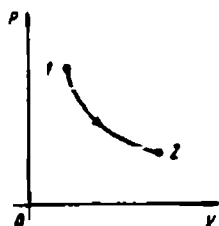
5. Gaz dastlab 1 holatdan 2 holatga, keyin esa 2 holatdan 1 holatga o'tdi (151- rasm). Gaz bajargan ish nimaga teng? Teskari yo'nalish jarayonlarida gaz hajargan ish qanday bo'ladi?

6. Gaz 1 holatdan 2 holatga, keyin 2 holatdan 3 holatga, 3 holatdan 4 holatga va nihoyat 4 holatdan 1 holatga o'tkazildi (152- rasm). Gazning bu holat o'zgarishini pT va VT koordinatalarda ifodalang.

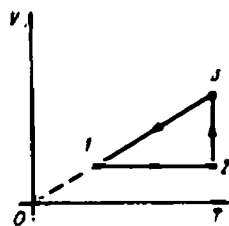
7. 153- rasmda bir sikl uchun gazning holat o'zgarishi ko'rsatilgan. Bu siklning grafigini pT va pV koordinatalarda chizing.



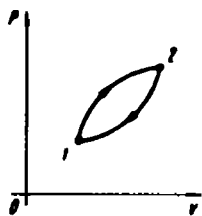
148- rasm.



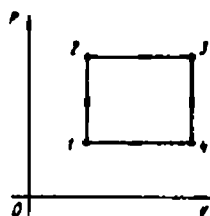
149- rasm.



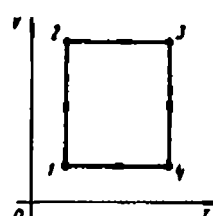
150- rasm.



151- rasm.



152- rasm.



153- rasm.

8. Ideal dvigatelda isitkich va sovitkichning temperaturasi, mos ravishda, 427°C va 27°C ga teng. Agar dvigatel sikl davomida isitkichdan 7000 J ga teng issiqlik miqdori olsa, dvigatel bir siklda qancha ish bajaradi?

9. Inersiya bo'yicha v_0 tezlik bilan harakatlanayotgan aravachaga uning massasiga teng bo'lgan m massali g'isht tushirildi. Bunda qancha issiqlik miqdori ajralishini aniqlang.

10. 1 mol miqdordagi bir atomli gaz 27°C temperaturada berk idishda turibdi. Gazning bosimi 3 marta ortishi uchun gazga qancha issiqlik miqdori berish kerak?

11. Massasi m bo'lgan bir atomli gazning T temperaturadagi ichki energiyasini toping.

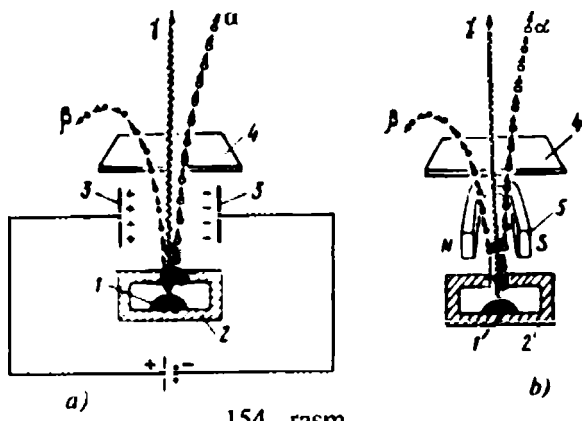
XI bob. ATOM

53- §. Atomni o'rganish tarixidan

XIX asr oxirida atomning murakkab tuzilishga ega ekanligini ko'rsatuvchi dalillar paydo bo'ldi. Ayniqsa, bu 1896- yili fransuz olimi A. Bekkerel uran tuzlari qandaydir noma'lum nurlanish manbai ekanligini aniqlagandan so'ng ayon bo'lib qoldi. Bu nurlanish keyinchalik *radioaktiv nurlanish* nomini oldi. Radioaktiv nurlanishning ionlashtirish qobiliyatini o'rgangan E. Rezerford (1871—1937) 1899- yili bu nurlanishning bir jinsli emasligini va ikki qismdan iboratligini aniqladi, ularni α - va β - nurlar deb atadi. U α - nurlar musbat zaryadli zarrachalar oqimi ekanini isbotlashga muvaffaq bo'ldi. O'sha yili A. Bekkerel (1852—1908) β - nurlar elektronlar oqimi ekanini isbotladi.

Atomning tuzilishi. Biz gazlar va suyuqliklarning issiqlik va molekular xossalarini molekular nuqtayi nazardan o'rgangan edik. Unda bizni molekularning tuzilishi to'g'risidagi masala deyarli qiziqtirmagan va biz atom tuzilishi to'g'risidagi masala bilan umuman shug'ullanmagan edik. Bizga atom moddaning mayda zarrasi ekanligini bilish yetarli edi. Ammo elektromagnit hodisalarni o'rganish uchun bunday tasavvurlar yetarli emas. Biz atomning qanday tuzilganligini bilishimiz shart. Quyidagi dalillar atomning murakkab tuzilishga ega ekanligini ko'rsatadi.

Radiy va qator boshqa moddalar o'z-o'zidan musbat zaryadlangan zarralar (α - zarralar), elektronlar (β) va to'liq uzunligi juda qisqa bo'lgan elektromagnit to'liqlar (γ) nurlaydi. Bu hodisa *radioaktivlik* deyiladi, bunday moddalar esa *radioaktiv moddalar* deyiladi (154- a rasm).



154- rasm.

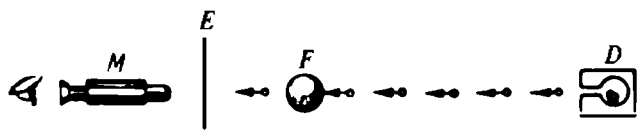
Elektronlar va musbat zaryadlangan α -zarralar atomlardan tashkil topgan moddadan uchib chiqqanidan radioaktivlik hodisasi atom tuzilishining ham murakkab ekanligidan dalolat beradi.

Atom qanday tuzilgan?

Atomning birinchi modelini ingliz fizigi J. J. Tomson (1856—1940) taklif qildi.

Tomson atomni ichida elektronlar suzib yuradigan musbat zaryadlangan suyuq shar sifatida tasavvur qilish mumkin, deb hisobladi. Sharning musbat zaryadi elektronlarning manfiy zaryadiga teng, shunday ekan, umuman, atom neytraldir.

Rezerford tajribasi. Tomson taklif qilgan atom modelining to'g'riligini tekshirib ko'rish uchun ingliz fizigi E. Rezerford atomni radioaktiv moddalardan uchib chiqayotgan musbat α -zarralar yordamida „tekshirib“ ko'rmoqchi bo'ldi. Rezerford tajribasi g'oyasini taxminan quyidagicha tasavvur qilish mumkin (155- rasm). Agar atom haqiqatan ham J. J. Tomson taklif qilgandek tuzilgan bo'lsa, unda α -zarra atom orqali uchib o'tayotganida uncha ko'p og'masligi lozim. Rezerford uchib o'tgan α -zarrani qayd qilish uchun *E* ekrandan foydalandi. Bu ekran musbat zaryadlangan α -zarra kelib urilganda shu'lalanadigan moddadan yasalgan. Ekran *F* nishon atrofida harakatlana oladi. Ekran *M* mikroskop yordamida kuzatildi.



155- rasm.

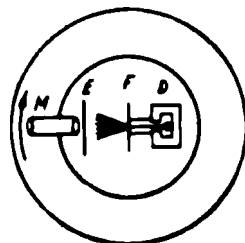
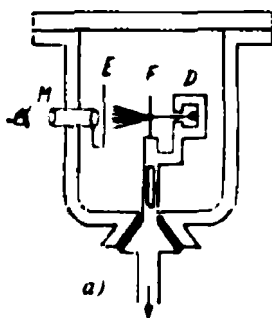
Tabiiyki, Rezerford bitta atomni bombardimon qila olmadi. Yupqa aluminiy zar qog'oz uning uchun nishon bo'lib xizmat qildi. Musbat zarralar havo molekulari bilan to'qnashmasligi uchun nishon va radioaktiv preparat vakuumda joylashtirildi. Rezerford qurilmasining sxemasi 156 - a, b rasmda ko'rsatilgan.

Rezerford tajriba davomida α - zarrani nafaqat nishon ortida, balki nishon oldida ham qayd qildi. Gap shundaki, zarralar xuddi qandaydir bir massiv (ulkan) narsadan qaytayotgandek edi. Rezerford bajargan matematik hisoblashlar atom ichida musbat zaryadlangan soha — yadro borligini, α - zarralar esa o'sha yadrodan qaytishini ko'rsatdi. Shunday qilib, Rezerford tajribalarida Tomson taklif qilgan atom modeli noto'g'ri ekanligi kelib chiqdi.

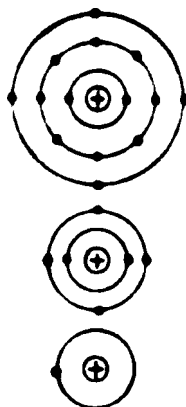
Rezerford fikriga ko'ra (157- rasm), atom markaziy yadrodan iborat bo'lib, unda atomning deyarli hamma massasi va uning barcha musbat zaryadi mujassamlangan. Quyosh atrofidagi planetalar singari yadro atrofida ham alohida elektronlar harakatlanadi. Har bir atomdagi elektronlar soni shundayki, ularning manfiy zaryadlarining yig'indisi yadroning musbat zaryadiga teng, shuning uchun atom neytraldir. Rezerfordning hisoblashlari ko'rsatadiki, yadroning diametri butun atomdan taxminan yuz ming marta kichik ekan (butun atomning o'lchami elektron harakatlanadigan eng katta orbitaning o'lchami bilan aniqlanadi).

Atom tuzilishining bu modeli *planetar model* deb nom olgan.

Rezerford tajribasi elektronlarning harakatlanishi to'g'risida hech narsa ko'rsatmadi, albatta. Ammo musbat yadrodan va elektronlardan iborat bo'lgan atomning statik modeli mumkin bo'lmagani uchun (elektronlar musbat yadroga tortiladi!) Rezerford elektronlar yadro atrofida harakatlanadi deb tasavvur qildi.



156- rasm.



157- rasm.

Elektron. Elektronlarning mavjudligini birinchi bo'lib, tajribada 1897- yilda ingliz fizigi *J. J. Tomson* tasdiqlagan edi.

Hozirgi vaqtda elektronlarning mavjudligini juda ko'p dalillar bilan tasdiqlash mumkin. Bularning ko'plari bilan keyinroq tanishasiz. Hozircha shuni nazarda tutish lozimki, elektronlarning mavjudligi xususan radioaktivlik hodisasi bilan tasdiqlangan.

Juda ko'p o'tkazilgan tajribalar elektron massaga ega bo'lib, u $m_e = 9,109534 \cdot 10^{-31}$ kg ga teng ekanligini ko'rsatgan. Shuni qayd qilib o'tish muhimki, massasi elektron massasidan kichik bo'lgan modda zarrasi hanuzgacha aniqlanmagan.

Elektron o'lchamlarini yoki shaklini aniqlashga imkon beradigan tajribalar hozircha mavjud emas. Agar elektron sfera shakliga ega, deb faraz qilsak, unda qator bilvosita ma'lumotlar asosida shu sferaning radiusini hisoblash mumkin: $R_e = 2,8179380 \cdot 10^{-15}$ m.

Elektron elektr maydon bilan qurshalgan bo'lib, uni xarakterlash uchun elektr zaryad tushunchasi kiritilgan: $e = -1,6121892 \cdot 10^{-19}$ C. Tabiatda elektron zaryadidan kichik bo'lgan elektr zaryadlar payqalmagan. Shuning uchun elektron zaryadini *elementar zaryad* deyiladi.

Bundan keyin biz e simvol bilan elementar zaryadning absolut kattaligini belgilaymiz. Shuning uchun elektron zaryadi — e ga teng.

54- §. Atomning Bor modeli

Daniya fizigi N. Bor (1885—1962) 1913- yili atomning tamoman yangi modelini yaratishga urinib ko'rdi. U o'z oldiga Rezerfordning atom tuzilishi yadroviy modelini, chizikli spektr qonuniyatlarini va yorug'lik sohilishi va yutilishining kvant xarakterini birlashtirish maqsadini qo'ydi. Bor o'z nazariyasining asosiga ikkita postulatni qo'ydi.

1. Bor postulatlari. Bor postulatlari quyidagicha ifodalanishi mumkin:

1. *Atomlar, ulardagi elektronlar tezlanish bilan harakatlanishiga qaramay, uzoq vaqt nurlanmaydigan holatlarda bo'lishi mumkin. Bu holatlar statsionar yoki ruxsat etilgan holatlar nomini olgan. Statsionar holatlarning har birida atom faqat qat'iy bir aniq qiymatga ega bo'la oladi: $E_1, E_2, E_3, \dots E_n$.*

Atomning barcha statsionar holatlari I dan cheksizgacha nomerlanadi. Atomning statsionar holati nomeri *bosh kvant soni* deb nomlangan.

2. Atom bir statsionar holatdan ikkinchi statsionar holatga sakrash bilan o'tishi mumkin. Atom kattaroq energiyali m - holatdan kichikroq energiyali n - holatga o'tganda u nurlanadi. Nurlanish chastotasi

$$\nu = \frac{E_m - E_n}{h}$$

formula bilan aniqlanadi. Atomning E_1 eng kichik energiya mos keluvchi holati asosiy holat, yuqoriroq (E_2, E_3, \dots, E_m) energiyalar mos keluvchi holatlari — qo'zg'algan holatlar deyiladi.

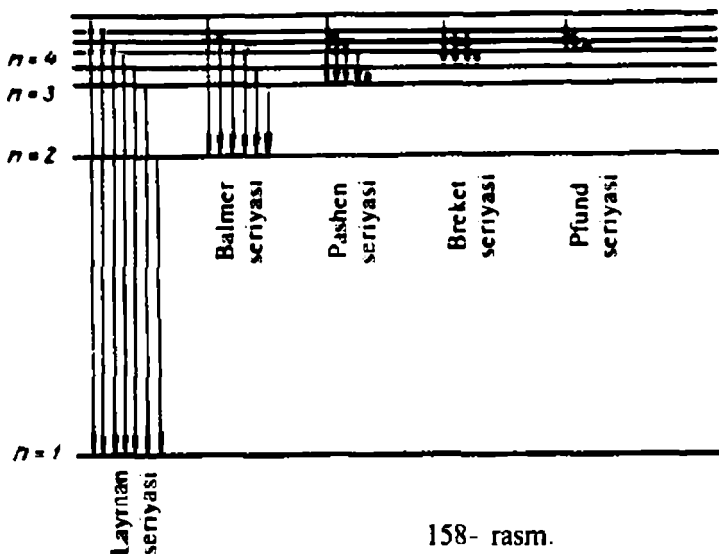
2. Vodorod atomining chiziqli spektri qonuniyatlarini tushuntirish. Bor postulatlarini tajribada aniqlangan spektral chiziqlarning barcha qonuniyatlarini tushuntirish imkonini berdi: spektral chiziqlar atomlarning qo'zg'algan statsionar holatlardan kichikroq energiyali u yoki bu statsionar holatlarga o'tishlariga mos keladi. Vodorod atomining turli qo'zg'algan holatlardan bitta statsionar holatga o'tishda hosil bo'ladigan barcha spektral chiziqlar seriyalarga birlashtirilgan va ularga bu seriyalarni kashf etgan olimlarning nomi berilgan: *Layman* seriyasi ($n = 1$), *Balmer* seriyasi ($n = 2$), *Pashen* seriyasi ($n = 3$), *Breket* seriyasi ($n = 4$), *Pfund* seriyasi ($n = 5$).

158- rasmda vodorod atomidagi elektronning statsionar holatlari va mos seriyalarning hosil bo'lishiga olib keluvchi ular orasidagi o'tishlar sxematik tasvirlangan. O'tishlar strekalar bilan belgilangan. 1, 3, 4 va 5 chiziqlar spektrning ultrabinafsha qismida joylashgan.

3. Bor nazariyasining ahamiyati va kamchiliklari. Bor nazariyasi atomning tuzilishi haqidagi tasavvurlarning rivojlanishida muhim qadam bo'ldi. Vodorod spektridagi chiziqlarga mos keluvchi chastotalarning nazariyada topilgan va tajribalarda aniqlangan qiymatlarining tengligi, shuningdek, vodorodsimon atomlarning tushuntirilishi Bor postulatlarini atomlarda yuz beruvchi jarayonlarning obyektiv qonuniyatlarini aks ettirishini ko'rsatadi. Borning ko'p g'oyalari, o'zgartirilgan ko'rinishda bo'lsa ham, atomning zamonaviy kvant nazariyasida saqlanib qolgan.

Bor nazariyasi asosida atomning magnit maydondagi xulq - atvorini, elementlarning Mendeleyev jadvalida joylashish tartibini, kattaroq tartib nomerlarga o'tilgani sari atomlar tuzilishining murakkablashib borishini tushuntirish mumkin bo'ldi.

Bor nazariyasi mikroolam hodisalarini tushuntirishda klassik tasavvurlardan voz kechish kerakligini ko'rsatdi va atomning kvant nazariyasini yaratishda muhim bosqich bo'ldi. Ammo, Bor



158- rasm.

nazariyasi to'lig'icha izchil emas edi. U klassik fizikaga zid bo'lgan qator kvant tasavvurlarni kiritdi va, shu bilan bir vaqtda, ayrim klassik tasavvurlarni ham (masalan, elektron trayektoriyasi tushunchasi) saqlab qoldi.

Bor nazariyasining izchil emasligi, ichki ziddiyatlarga egaligi uning geliy atomini va boshqa element atomlarini tushuntira olmasligida ko'rinadi. Bor nazariyasi atomlarning bir holatdan boshqasiga o'tish sabablari haqidagi savolga javob bera olmadi.

Shuning uchun Bor nazariyasi o'z o'mini atomning yanada takomillashgan nazariyasi — kvant nazariyasiga bo'shatib berdi. Kvant nazariyasi o'ta murakkabligi tufayli o'rta maktabda o'rganilmaydi.

- ?
1. Atomning Rezerford modeli bilan klassik fizika orasidagi asosiy ziddiyatlarni ko'rsating.
 2. Bor postulatlarini ta'riflang va nima uchun ular kiritilganligini tushuntirib bering.
 3. Balmer tajribada topgan formulani yozing va unga kiruvchi kattaliklarning ahamiyatini tushuntiring.
 4. Balmer formulasini Bor postulatlarini asosida tushuntiring.
 5. 158- rasmni diqqat bilan o'rganing va vodorodning spektral chiziqlari qanday prinsip asosida seriyalarga birlashtirilganini tushuntiring.

1. Odatdagi manbalardan keluvchi yorug'lik kogerent emas. Ma'lumki, juda ko'p turli-tuman yorug'lik manbalari (alanga, cho'g'lanma lampa tolasi, uchqunli va elektr yoy razryadli lampalardagi gaz, luminaforlar va h. k.) mavjud. Ammo yorug'lik manbalari turli-tuman bo'lishiga qaramay, ularning ishlashi asosida yorug'lik generatsiyasining bitta mexanizmi yotadi.

Yorug'lik atomlar, molekular va ionlar tomonidan nurlanadi. Atom (molekula, ion) turg'un (asosiy) holatda bo'lganda, u nur sochmaydi. Bunday holatda atom cheksiz uzoq vaqt bo'lishi mumkin. Ammo atom, unga tashqi elektromagnit maydon yoki zarralar (masalan, bitta atomlar yoki elektronlar) ta'sir etishi natijasida qo'zg'algan holatga o'tishi mumkin. Atomning qo'zg'algan holatda bo'lish vaqti juda kichik. Chunonchi, qo'zg'algan vodorod atomining yashash vaqti $10^{-7} - 10^{-8}$ s.

Atom qo'zg'algan holatdan asosiy holatga o'tganda o'zidan foton chiqaradi. Atomning nur sochish vaqti 10^{-8} s tartibida, nurlangan energiya esa $\Delta W \approx 10^{-19}$ J ga teng.

Yorug'lik manbalaridagi nur sochuvchi atomlar soni juda katta. Xususan, yorug'lik quvvati 5 W bo'lgan lampada (bunday quvvatga, misol uchun, yorug'lik FIK i 5% bo'lgan yuz vattli cho'g'lanma lampa ega bo'ladi). Har sekunda birdaniga

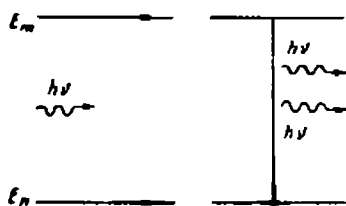
$$N = \frac{5W}{10^{-19} \text{ J} / 10^{-8} \text{ s}} \approx 5 \cdot 10^{11}$$

ta atom nur sochadi.

Bu — har sekunda lampa cho'g'lanish tolasining $5 \cdot 10^{11}$ atomi bir - biriga bog'lanmagan holda fotonlar chiqaradi, demakdir.

Atomlarning qo'zg'algan holatdan qo'zg'almagan holatga o'tishi o'z-o'zidan yuz berganligi sababli, nurlanish har xil qutblanish tekisligiga ega bo'lgan va har xil fazali fotonlardan iborat bo'ladi. Har xil atomlar nurlanishining fazalari va qutblanishi orasida hech qanday moslik yo'q. Har xil atomlar nurlanishining chastotalari ham har xil. Bunday nurlanish kogerent emas. Uning to'lqinlari fazoda turg'un interferensiyalar manzara hosil qilmaydi. Ko'z qandaydir o'rtachalashgan yoritilganlikni qabul qiladi.

Cho'g'lanma lampalar, nurlanuvchi gazli trubkalar, luminescent manbalar va boshqalardan nurlanuvchi yorug'lik, stadionda bo'lg'usi musobaqadan oldingi g'ovur-g'uvurni eslatadi, bunda



159- rasm.

o'z qo'shnilari bilan bo'lg'usi musobaqa haqida fikr almashayotgan odamlarning o'zaro moslashmagan ovozlari qo'shilib, umumiy shovqinni hosil qiladi.

2. Majburiy (induksiyalangan) nurlanish. A. Eynshteyn 1916- yili nazariy tekshirishlar asosida atomlarning qo'zg'algan holatdan qo'z-

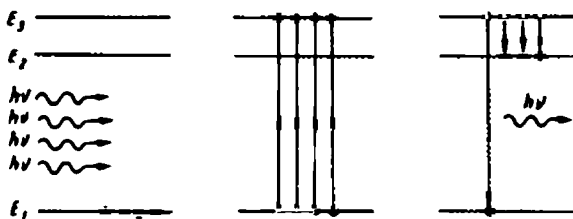
g'almagan holatga o'tishi nafaqat o'z-o'zidan (spontan), balki majburiy (induksiyalangan) bo'lishi ham mumkin, degan xulosaga keldi. Bunday o'tish qo'zg'algan atom yonidan o'tuvchi boshqa foton ta'sirida sodir bo'lishi mumkin. Bunda qo'zg'algan atom (molekula, ion) o'zini qo'zg'algan holatdan qo'zg'almagan holatga o'tishini yuzaga keltirgan fotondan mutlaqo farqlanmaydigan foton chiqaradi. Bunda induksiyalangan nurlanishni yuzaga keltiruvchi foton ham o'zgar olmaydi (158- rasm).

Foton o'z yo'lida qo'zg'algan atomga to'qnashib, undan o'z qiyofadoshini urib chiqargandek bo'ladi. Har ikkala foton bir xil chastota, harakat yo'nalishi, faza va qutblanish tekisligiga ega bo'ladi.

Yorug'likni kuchaytirish. Mashhur fizik V. A. Fabrikant 1939- yili yorug'likni kuchaytirishning majburiy nurlanish hodisasidan foydalanishga asoslangan usulini taklif etdi. Bu usulning mohiyati quyidagicha. Ayrim moddalarning atomlarida shunday qo'zg'algan statsionar holatlar borki, atomlar bu holatlarda ancha uzoq vaqt davomida (bir necha sekund) bo'la oladi. Bunday holatlar *metastabil* holat nomini olgan. Atomlarida metastabil holatlari bo'lgan moddalarga rubin — aluminiy oksidi Al_2O_3 misol bo'la oladi, ularda aluminiy atomlarining bir qismi o'rnini metastabil holatlari bo'lgan xrom ionlari egallagan.

Rubin yorug'lik bilan yoritilganda xrom ionlari qo'zg'aladi va E_3 energetik sathga mos keluvchi holatga o'tadi (160- rasm). Juda qisqa vaqt oralig'i (10^{-8} s) o'tgandan so'ng qo'zg'algan xrom atomlarining ko'pchiligi E_2 metastabil sathga o'tadi.

E_3 sathdan E_2 sathga o'tishda nurlanish bo'lmaydi; bu o'tishda ajralgan energiya kristall panjaraga beriladi, natijada kristallning temperaturasi ko'tariladi. Agar rubin kristali uzoq vaqt davomida yoritilsa, xrom ionlarining E_2 metastabil sathga juda zich „ko'chishi“ yuz beradi (161- a rasm). Agar rubin sterjenga uning uchlaridan



160- rasm.

biri orqali sterjen o'qi yo'nalishida kuchsiz yorug'lik dastasi tushsa, $E = hv$ energiyasi xrom ionining metastabil va asosiy holatlari energiyalari ayirmasi $E_2 - E_1$ ga teng bo'lgan fotonlar bu ionlarning E_2 holatdan E_1 holatga o'tishlarini va ana shunday

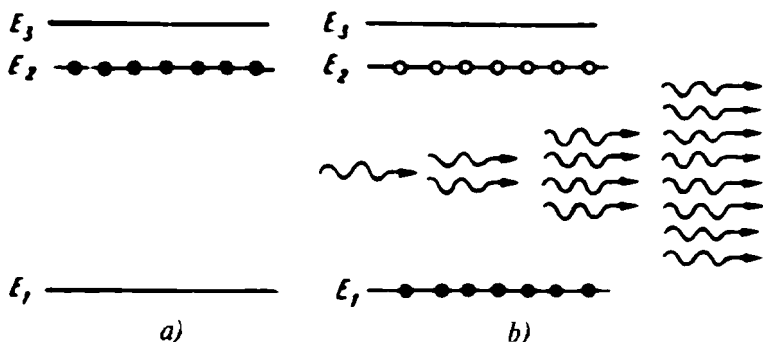
$$hv = E_2 - E_1$$

energiyali fotonlarning nurlanishini yuzaga keltiradi. Fotonlar soni ikki marta ortadi. Majburiy tebranishlarning fotonlari xrom ionlarining o'tishlarini yuzaga keltiruvchi fotonlardan faqat energiya va chastotalari bo'yicha emas, balki fazalari, tarqalish yo'nalishlari va qutblanishi bo'yicha ham farqlanmaydi.

Soni ikki marta ortgan bir xildagi fotonlar rubin sterjen ichida harakatlanib, xromning yangi ionlarining nurlanishini yuzaga keltiradi. Bunda fotonlar soni kuchaytiriluvchi yorug'lik dastasidagi boshlang'ich sonidan 4 marta ortadi. Rubin sterjenda metastabil holatdagi xrom ionlari yetarli miqdorda bo'lar ekan, bu jarayon davom etadi va sterjenning ikkinchi uchiga tomon harakatlanuvchi fotonlar soni shiddat bilan ko'chkisimon ortadi (161- b rasm). Buning natijasida rubin sterjendan, unga kirgan yorug'likka kogerent bo'lgan yorug'lik dastasi chiqadi, ya'ni yorug'lik dastasining kuchayishi yuz beradi.

Ammo faqat yorug'lik dastasi energiyasining ortishigina muhim emas. Undan ham muhimi, shunday yo'l bilan chastotasi, fazasi va harakat yo'nalishi bir xil bo'lgan fotonlar oqimidan iborat kogerent to'lqinlar dastasining olinishidir.

4. Kogerent nurlanish generatori. Atomlarning metastabil holatdan turg'un holatga majburiy o'tish prinsipidan foydalanib, yorug'likni kuchaytirishdan kogerent nurlanish generatsiyasigacha bir qadam qoladi, xolos. Birinchi marta kogerent nurlanish generatori haqidagi g'oya 1957- yili N. G. Basov va



161- rasm.

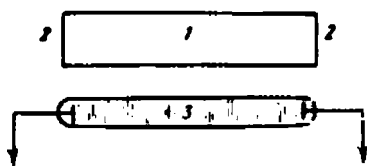
A. M. Proxorovlar va ulardan bexabar holda amerikalik fizik Ch. Tauns tomonidan aytilgan edi. Birinchi kogerent yorug'lik generatori amerikalik fizik T. Meyman tomonidan qurilgan. 162- rasmda bu generatorning asosiy qismlari ko'rsatilgan: rubin sterjen — 1, ko'zgu — 2 va ksenon gaz razryadi lampasi — 3, bu lampaning nurlanishi rubin sterjenga tushib, undagi xrom ionlarini qo'zg'algan holatga o'tkazadi.

Agar xrom ionlari qo'zg'atilgan va ulardan bir qismi metastabil holatda bo'lsa, sistema turg'un bo'lmaydi. Undagi xrom ionlarining metastabil holatdan asosiy holatga spontan (ichki sabab natijasida vujudga keladigan) o'tishlari ehtimolligi juda yuqori bo'ladi. Bunday o'tishlarda $h\nu = E_2 - E_1$ energiyali fotonlar nurlanadi. Spontan nurlangan fotonning harakat yo'nalishini oldindan bilish qiyin — u ixtiyoriy. Spontan nurlangan har xil fotonlar har xil yo'nalish bo'yicha harakatlanadi. Agar foton sterjen o'qiga parallel bo'lmagan yo'nalish bo'yicha chiqarilgan bo'lsa, u tezda yon devor orqali sterjendan chiqib ketadi (163- rasm).

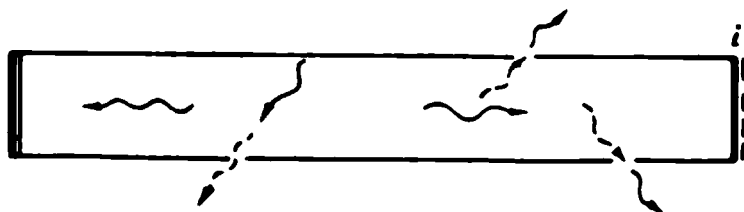
Ammo spontan chiqarilgan fotonlar ichida rubin sterjen o'qiga parallel ravishda harakatlanuvchilari ham, albatta, bo'ladi. Ular o'z yo'lida xrom atomlarining induksiyalangan o'tishlarini hosil qiladi va fotonlar soni (ular sterjen uchiga yetguncha) tez ortadi.

Bu fotonlar sterjen uchidagi ko'z-gudan qaytib (to'liq yoki qisman), yana sterjen o'qi bo'ylab harakatlanadi va ular sonining ortishi davom etadi.

Fotonlar oqimi har safar yarim shaffof ko'zguga yetganda, uning bir qismi kogerent nurla-



162- rasm.



163- rasm.

nish dastasi ko‘rinishida tashqariga chiqadi. Barcha fotonlarning harakat yo‘nalishlari bir xilligi sababli, kichik dastada juda katta nurlanish energiyasi to‘planadi.

Majburiy kogerent nurlanish manbalari *lazerlar** deb yuritiladi. Bunday nom berilishining boisi shundaki, generatsiya jarayonida asosiy rolni induksiyalangan nurlanish hisobiga yorug‘likni kuchaytirish jarayoni o‘ynaydi. Lazerlarning bir turi — kogerent nurlanishning molekular generatorlari (lazerlar) ni yaratgan N. G. Basov, A. M. Proxorov va amerikalik fizik Ch. T a u n s lazerlar sohasidagi ishlari uchun Nobel mukofotiga sazovor bo‘lishgan (1964- y).

Lazerlar yaratilishi bilan optikaning kogerent yorug‘likning xossalari va mumkin bo‘lgan qo‘llanishlarini o‘rganuvchi yangi bo‘limlari yuzaga keldi.

5. Lazerlarning qo‘llanishlari. Lazerlar zamonaviy texnikada keng qo‘llaniladi.

Lazerlarning amaliy qo‘llanishidagi yo‘nalishlardan biri lazer nuri dastasida juda katta quvvat (o‘nlab megavatt) to‘planishi bilan bog‘liq. Lazerlar qiyin eriydigan materiallarni payvandlash va kesish uchun, teshiklar teshish (masalan, olmoslarda) uchun, meditsinada nozik va murakkab operatsiyalar (masalan, ko‘zning oq tushgan to‘r pardasini eritib yopishtirish) o‘tkazish uchun ishlatiladi. Yarimo‘tkazgich asboblarda ishlab chiqarishda lazerlar yordamida nuqtaviy payvand amalga oshiriladi.

Lazerlarning qo‘llanishidagi boshqa yo‘nalish lazerlardan chiqarilgan yorug‘lik tarqalishda deyarli sochilmasligi bilan bog‘liq. Lazer nurining bu xususiyatidan, masalan, metropoliten liniyalarini qurishda, geodeziyada masofa va burchaklarni o‘lchashda, kema, samolyot va raketalarning tezligi va harakat yo‘nalishini aniqlashda, sayyoralarni lokatsiyalashda foydalaniladi.

* „Lazer“ so‘zi inglizcha quyidagi ifodadagi so‘zlarning birinchi harflaridan tuzilgan: „Light amplification by stimulated emission of radiation“ — tarjimasi „Yorug‘likni majburiy nurlanish bilan kuchaytirish“.

Lazerlardan foydalanishdagi uchinchi yo'nalish lazerlardan nurlanuvchi yorug'likning kogerentligi bilan bog'liq: lazer nuri nihoyatda ingichka spektrga ega, uni modulatsiyalash va uning yordamida turli ma'lumotlarni uzoq masofalarga uzatish mumkin.

Hozirgi kunda lazer aloqa liniyalari ishga tushirilgan. Lazer tovush va televizion tasvirlarni yozib olish va qayta ko'rsatishda va zamonaviy texnikaning boshqa sohalarida foydalaniladi.

Lazerlarning qo'llanishidagi asosiy yo'nalishlarning to'liq bo'lmagan ro'yxati ana shulardan iborat.

- ?
1. Qanday nurlanish induksiyalangan nurlanish deyiladi?
 2. Yorug'likni kuchaytirish nimadan iborat?
 3. Rubinli lazerning sxemasini chizing va uning ishlash prinsipini tushuntiring.
 4. Lazerlarning qo'llanishidagi asosiy yo'nalishlarni nomma-nom aytib bering.

56- §. Zarralarning to'liq xossalari

Bor nazariyasi atomning tabiati va uning tarkibiga kiruvchi zarralar haqidagi o'sha vaqtda shakllangan tasavvurlarni qayta ko'rib chiqishga yordam berdi.

1. De Broyl gipotezasi. L. de Broyl 1924 - yili to'liq va korpuskula xossalari ega bo'lgan elektromagnit nurlanishga o'xshab, atomlar va ular tarkibiga kiruvchi zarralar ham ana shunday xossalarga ega bo'ladi, degan gipotezani ilgari surdi. Bunda de Broyl birinchi marta fotonlar uchun topilgan

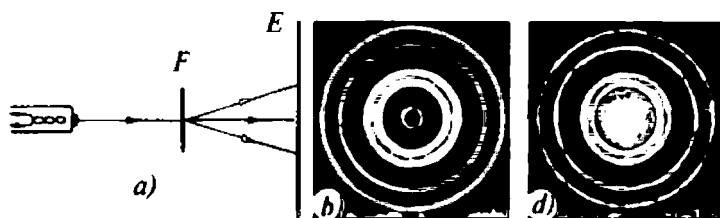
$$E = h\nu, \quad p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

munosabatlar universal xarakterga ega va zarralar uchun ham o'rinli deb hisobladi.

De Broyl g'oyasiga ko'ra, har qanday zarra va hatto har qanday jism to'liq xossalari ega. Zarra (yoki jism)ning to'liq uzunligi va chastotasi quyidagi

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}, \quad \nu = \frac{E}{h}$$

formulalar bilan aniqlanishi mumkin. De Broyl gipotezasi tez kunda tajribada tasdiqlandi: tajribada elektronlar difraksiyasi kuzatildi.



164- rasm.

2. Elektronlar difraksiyasi. Birinchi marta elektronlar difraksiyasi amerikalik fiziklar K. Devisson va L. Jermerlar tomonidan kuzatilgan (164- rasm). Katta tezlik bilan harakatlanuvchi elektronlar dastasi, bu tajribada elektronlar uchun o'ziga xos difraksiyon panjara rolini o'ynovchi, yupqa folgaga yo'naltiriladi. Elektronlar folgadan o'tib, yaxshi chaqnaydigan lyuminessensiyon ekranga tushadi. Ekranda aniq difraksiyon manzara kuzatiladi.

164- b rasmda folga tez harakatlanuvchi elektronlar bilan yoritilganda olingan difraksiyon manzaraning fotosurati keltirilgan, 164- d rasmda esa folga rentgen nurlari bilan yoritilganda olingan ana shunday fotosurat berilgan. Har ikkala fotosuratlarining bir-biriga o'xshashi hayron qolarli darajada.

Devisson va Jermer tajribalarida va shunga o'xshash boshqa tajribalarda elektronlar difraksiyasi *elektronlar oqimi* uchun kuzatilgan. Ammo difraksiya hodisasi alohida elektronlar uchun ham xosmi? Bu savolga I. B. Biberman, N. T. Sushkin, V. A. Fabrikantlar tomonidan o'tkazilgan tajriba javob berdi. Ularning tajribasida elektronlar oqimi shunday kuchsiz ediki, asbob orqali ular bitta-bittadan o'tar edi. Ekspozitsiya vaqti yetarlicha katta bo'lganda elektronlar oqimining intensivligi katta bo'lgan holdagidan farqlanmaydigan difraksiyon manzara hosil bo'ladi. Binobarin, elektronning to'lqin xossalari elektronlar dastasiga emas, balki har bir alohida elektronga xos xususiyat ekan.

Shuningdek, protonlar, neytronlar, atomlar va molekullarning ham difraksiyasi kuzatilgan edi. Shunday qilib, de Broyl gipotezasi tajribada to'liq tasdiqlandi.

3. Moddaning korpuskular-to'lqin dualizmi haqida. Tajribalarda isbotlanganligiga qaramay elektron, proton, neytron va atomlar bir vaqtda ham to'lqin, ham zarra xususiyatiga ega bo'lishiga ishonish qiyin. Bu qiyinchilik shu bilan bog'liqki, biz atrofimizdagi bevosita qabul qilinadigan makrodunyo haqidagi bilimlarimizni beixtiyor mikrodunyo zarralariga ko'chiramiz. Bizning barcha kundalik

tajribalarimiz, fizikaviy obyektlar haqidagi barcha bilimlarimiz, mikrodunyoni ifodalashda foydalangan barcha tushunchalarimiz, bularning hammasi makrodunyo fizikasidan olingan.

Ammo atom va uning tarkibiga kiruvchi zarralar biz kundalik hayotimizda va makrojismlar fizikasida to'qnashgan hech bir narsaga o'xshamaydi. Ularni klassik fizika tushunchalari asosida har tomonlama to'la va aniq ifodalab bo'lmaydi. Bu zarra ham emas, to'lqin ham emas, ularning birgalikda olingani ham emas, ammo ularda ham zarralarning, ham to'lqinlarning xossalari bor.

Yo'l - yo'lakay shuni ham ta'kidlab o'tamizki, to'lqin xossalar makroskopik jismlar uchun ham xos, ammo kichikligi tufayli biz ularni sezmaymiz. Misol uchun, 10 m/s tezlik bilan harakatlana-yotgan 1 kg massali jismga uzunligi

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}}{1 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}} = 6,626 \cdot 10^{-36} \text{ m}$$

bo'lgan de Broyl to'lqini mos keladi Bunday uzunlikni o'lchab bo'lmaydi. Massasi 1 m/s tezlik bilan harakatlanuvchi 1 g massali no'xatga uzunligi $\lambda = 6,626 \cdot 10^{-32}$ bo'lgan to'lqin mos keladi.

Elektromagnit nurlanishning ikkiyoqlamalik tabiati haqida ilgari aytilgan (29 - § ga q.) va moddaning ikkiyoqlamalik tabiati to'g'risida yuqorida bayon etilgan fikrlarni eslab, ular asosida quyidagi umumlashtirishni qilish mumkin: modda va elektromagnit maydon zarralari bir vaqtda ham to'lqin, ham korpuskular xususiyatlarga ega. Bunda sharoitga qarab, bu ikki xususiyatdan goh unisi, goh bunisi yorqinroq namoyon bo'ladi. Ularning bu xususiyati dualizm (lotincha dualis — ikkiyoqlamalik) nomini olgan.

- ?
1. De Broyl gipotezasi nimadan iborat?
 2. Elektronlar difraksiyasini qanday kuzatish mumkin?
 3. Elektronlar difraksiyasi nimani isbotlaydi?
 4. To'lqin-zarra dualizmining mohiyati nimadan iborat?
 5. Energiyasi 15 keV bo'lgan elektronlar uchun de Broyl to'lqin uzunligini aniqlang.

8- MASHQ

1. $9 \cdot 10^7$ m/s tezlik bilan uchuvchi elektronga mos keladigan De Broyl to'lqin uzunligi nimaga teng?
2. Elektromagnit to'lqinlar De Broyl to'lqinlarining xususiy holi deb

hisoblab, bu holda fotonlar vakuumda yorug'lik tezligiga teng tezlik bilan tarqalishini va tinchlikdagi massaga ega emasligini isbotlang.

XI BOBNING ASOSIY MAZMUNI

1. XIX asrning ikkinchi yarmida atomlarning murakkab tuzilishga ega ekanligiga guvohlik beruvchi dalillar to'plana boshlandi. Fizikada moddaning tuzilishi to'g'risidagi yangi dalillar ko'payishi bilan atomlarning tuzilishi haqidagi aniq tasavvurlar rivojlandi. XX asr boshida atomning Tomson modeli ko'pchilik tomonidan tan olindi. E. Rezerford va uning xodimlari o'tkazgan tajribalar Tomson modelining asossizligini ko'rsatdi. Uning o'rnini Rezerfordning yadroviy modeli egalladi (1911- y.). Yadroviy model klassik fizikaga zid va spektral qonuniyatlarni tushuntira olmas edi. N. Bor 1913-yili atom tuzilishining Rezerfordning yadroviy modelini, chiziqli spektr qonuniyatlarini, nurlanish va yutilishning kvant xarakterini birlashtiruvchi tamomila yangi modelini yaratishga urinib ko'rdi. Bor nazariyasi atom tuzilishi haqidagi tasavvurlarning rivojlanishida yirik qadam bo'ldi. Uning ko'pgina g'oya va tasavvurlari atomning zamonaviy nazariyasiga kirgan.

2. Ammo Bor nazariyasi kutilmagan qiyinchiliklarga duch keldi. Chunonchi, bu nazariya geliy va boshqa moddalar atomlarining tuzilishini, nurlanishning tabiatini tushuntira olmadi. Bundan tashqari, Bor nazariyasida bir vaqtda klassik va kvant tushunchalaridan foydalanilgan edi. Chunonchi, atomdagi elektronlarga yadroning elektrostatik maydonida kulon kuchlari ta'sirida aniq orbitalar bo'ylab harakatlanuvchi moddiy nuqtalar sifatida qaralgan, keyin esa bu sof klassik modelga kvant sakrashlari kiritilgan. Bor nazariyasidan foydalanib, atomlarning turg'unligini ham tushuntirib bo'lmadi. Bulardan boshqa qiyinchiliklar ham aniqlangan edi.

Atomning Bor nazariyasi duch kelgan qiyinchiliklar uni qayta ko'rib chiqish zarurligini ko'rsatar edi. Bunday qayta ko'rish natijalaridan biri zarralarning to'liq xossalari haqidagi L. de Broyl gipotezasi bo'ldi (1924 - y.). De Broyl gipotezasi tez orada tajribada tasdiqlandi (1927- y.). Atom va atom zarralari korpuskular xossalari bilan bir qatorda, to'liq xossalariga ham ega ekanligi ma'lum bo'ldi. *Korpuskular to'liq dualizmi— modda zarralari va elektromagnit maydon fotonlarining umumiy xossasi bo'lib chiqdi.*

3. Odatdagi manbalardan chiqariluvchi yorug'lik kogerent emas. Lazerlar — kogerent yorug'lik manbalaridir.

Atom yadrosining kashf etilish va o'rganilish tarixi nihoyatda ibratli va qiziqarlidir. Yadro haqidagi zamonaviy tasavvurlar sekin-asta, eksperimental dalillar to'planishiga qarab shakllangan. Bu shakllanishning muhim bosqichlariga to'xtalib o'tamiz.

1. Atom yadrosining kashf etilishi. Uning o'lchamlarini aniqlash. Rezerford tajribalari (1911- y.) atom ichida musbat yadro borligiga shubha qoldirmaydi. Bu tajribalarning natijalari α - zarralar yadroga yaqinlashgan eng qisqa x masofani baholash imkonini berdi. Bu masofada α - zarraning kinetik energiyasi

$$W_p = \frac{q_{ya}q_{\alpha}}{4\pi\epsilon_0 x}$$

formula bilan hisoblash mumkin bo'lgan elektrostatik itarish potensial energiyasiga to'liq aylanadi.

Ravshanki, $q_{ya} = Ze$, $q_{\alpha} = 2e$, $W_p = W_k$. U holda

$$W_k = \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0 x}$$

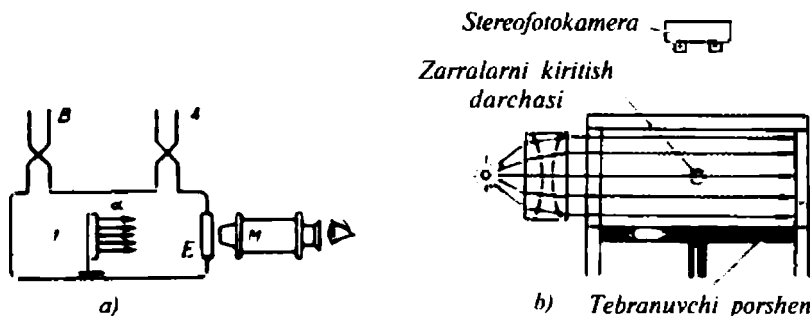
bo'ladi, bundan

$$x = \frac{Ze^2}{2\pi\epsilon_0 W_k}$$

topiladi. Agar α - zarraning kinetik energiyasini $W_k = 5 \cdot 10^6$ eV deb qabul qilsak va oltin uchun $Z = 79$ ekanini e'tiborga olsak, $x \approx 10^{-14}$ m bo'ladi. Bundan, α - zarra va atom yadrosi radiuslarining yig'indisi 10^{-14} m dan kichik ekan kelib chiqadi. Demak, atom yadrosining diametri 10^{-14} m dan kichik bo'lishi kerak ekan. Zamonaviy dalillar bo'yicha yadrolarning o'lchamlari $10^{-14} + 10^{-15}$ tartibida.

Rezerford tajribasida α - zarralar atom yadrolari bilan to'qnashganda ularning parchalanib ketmaganligi atom yadrolarining mustahkamligini ko'rsatadi.

2. Protonning kashf etilishi. E. Rezerford 1919- yili azot atomlarini α -zarralar bilan bombardimon qilish bo'yicha o'z tajribalarini amalga oshirdi. 165-a rasmda bu maqsadda foydalanilgan asbobning sxemasi tasvirlangan. Tajribaning boshlanishida I kamera havo bilan to'ldirilgan bo'ladi, tajriba davomida havo A naycha orqali so'rib olinadi. B naycha orqali kamera azot bilan to'ldirilishi mumkin.



165- rasm.

Kameraning o'ng tomonidagi devoriga zaryadli zarralarning urilishi ta'sirida shu'alanuvchi E ekran qilingan. α - zarralar manbai kamera ichida harakatlana oladi. Ekranda hosil bo'lgan chaqnashlar M mikroskop yordamida kuzatiladi.

Tajriba boshida α -zarralar manbai ekrandan shu qadar uzoq-lashtiriladiki, ekranda chaqnashlar ko'rinmay qoladi. Bu α -zar-ralar ekrangacha yetib kelmaganligini bildiradi. Keyin kameradagi havo so'rib olinib, uning o'rniga azot gazi kiritiladi. Ekranda chaqnashlar paydo bo'ladi. Rezerford ekran α -zarralarning azot atomlari bilan to'qnashuvida azot atomlaridan uchib chiqqan qandaydir boshqa zarralar ta'sirida yorishadi, deb taxmin qiladi.

Bu taxminni tekshirib ko'rish uchun boshlang'ich qurilma 165-*b* rasmda tasvirlangan Vilson kamerasi bilan almashtiriladi. Bu kameraning yuqorigi qopqog'i tiniq, tubi vazifasini esa keskin tushirilishi mumkin bo'lgan porshen o'taydi. Vilson kamerasida azotdan tashqari to'yingan suv (yoki spirt) bug'i ham bo'ladi. Kameraning tubi (porshen) keskin tushirilganda undagi bug' soviydi va o'ta to'yingan bo'lib qoladi. Aytaylik, ana shu momentda kameraga α -zarralar uchib kirsin. Bu zarralar gaz (azot) molekullari bilan to'qnashib, ularni ionlashtiradi va suv bug'ining kondensatsiyalanish markazlarini hosil qiladi. O'ta to'yingan suv bug'i azot ionlarida kondensatsiyalanadi, natijada, atmosferaning yuqori qatlamlarida uchuvchi samolyot qoldiradigan izga o'xshash trek — tuman izi hosil bo'ladi.

Treklar bevosita kuzatilishi mumkin, ammo, odatda, ularning fotosurati olinadi. 166- rasmda Rezerford tajribasida α - zarralar hosil qilgan treklarning fotosurati ko'rsatilgan. Ko'pgina to'g'ri chiziqli treklar orasida „vilkalar“ (ayrilar) ham uchraydi, ulardan biri fotorasmda ko'rinib turibdi. Bu „vilka“ nimani anglatadi? Bu



166- rasm.

savolga javob berish uchun Vilson kamerasi magnit maydonga joylashtiriladi. Magnit maydonda izlar egrilanadi. Bu — izlar zaryadli zarralarga tegishli ekanini ko'rsatadi. Treklarning egilishiga qarab, ulardan biri α -zarraga, ikkinchisi — zaryadi $+e$ ga va massasi vodorod yadrosining massasiga teng bo'lgan zarraga, uchinchisi — kislorod yadrosiga tegishli ekanligi aniqlandi.

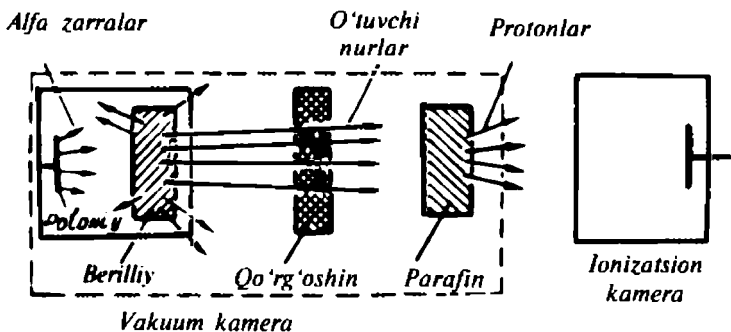
Shunday qilib, azot α -zarralar bilan bombardimon qilinganda azot yadrosidan vodorod atomining yadrosi urib chiqariladi, u *proton* deb nomlangan. Bu natija yadro tarkibiga protonlar kiruvchi murakkab sistema ekanligidan dalolat beradi.

3. Neytronning kashf etilishi. E. Rezerford 1920- yili massasi proton massasiga teng bo'lgan, ammo elektr zaryadiga ega bo'lmagan zarra mavjud bo'lishi kerak, degan taxminni aytgan edi. Ammo bunday zarrani Rezerford topa olmadi.

Bundan o'n yil o'tgandan so'ng, nemis olimlari V. Bote va G. Bekkerlar berilliyini α -zarralar bilan bombardimon qilinganda o'tish qobiliyati nihoyatda katta bo'lgan qandaydir nurlar paydo bo'lishini aniqlashdi, ular qattiq γ -nurlar oldik, deb o'ylashdi.

Fransuz olimlari F. Jolio-Kyuri va I. Jolio-Kyurilar 1932 - yili berilliyini α -zarralar bilan bombardimon qilinganda olingan nurlarni tekshirishga qaror qilishdi. Eng avvalo, ular bu nurlar havodan o'tganda uni deyarli ionlashtirmasligini aniqlashdi. Ammo ularning yo'lga parafin yoki ko'p vodorodli boshqa biror modda joylashtirilsa, nurlarning ionlashtirish qobiliyati keskin ortib ketadi (167- rasm).

O'sha 1932 - yili ingliz olimi D. Chedvik (Rezerfordning xodimi) berilliyini α -zarralar bilan bombardimon qilinganda γ - nurlar emas, balki elektr zaryadiga ega bo'lmagan, massasi va o'lchami bo'yicha protonlarga yaqin bo'lgan qandaydir zarralar oqimi chiqadi, degan gipoteza (faraz)ni ilgari surdi. Bu zarralarni u *neytronlar* deb atadi. Neytronlar zaryadsiz bo'lgani sababli, hisoblagichdan o'tishida ular hech qanday ionlashtirishni yuzaga keltirmaydi.



167- rasm.

Neytronlar bevosita kameraga tushsa, har minutda bir nechta zarra qayd qilinadi, xolos. Zarralarning bu soni kamera oldiga yupqa qo'rg'oshin ekran qo'yilganda ham o'zgarmaydi, ammo kamera oldiga yupqa parafin plastinka qo'yilsa, unga tushuvchi zarralar soni keskin ortadi. Har minutdagi sanashlar sonining ortishi shu bilan bog'liqlik, neytronlar parafindagi vodorod atomlarining yadrolari bilan to'qnashib, parafindan protonlarni urib chiqaradi, ular ionizatsion kameraga tushadi va qayd qilinadi.

Erkin, ya'ni yadro tarkibiga kirmagan neytron faqat 1000 s atrofida yashashi mumkin, bundan keyin u proton, elektron va neytrinoga (juda kichik massali zarra, u bilan keyinroq batafsil tanishamiz) ajraladi.

- ?
1. Radioaktivlik hodisasi qachon va kim tomonidan kashf etilgan? U nimadan iborat?
 2. Rezerford tajribasini 165 - a rasmdan foydalanib tushuntiring.
 3. Proton qachon va qanday kashf etilgan?
 4. Neytronning kashf etilishini aytib bering.
 5. Atom yadrosini o'rganish tarixining asosiy bosqichlarini gapirib bering.

58- §. Atom yadrosining tarkibi. Bog'lanish energiyasi

Atom yadrosining tarkibi. Neytron kashf etilgandan (1932-y.) biroz keyinroq mashhur fizik D. D. I v a n e n k o, keyinroq nemis fizigi V. G e y z e n b e r g atom yadrosi proton va neytronlardan tuzilgan, degan fikrni aytishdi. Bu zarralar *nuklonlar* deb nomlandi. Yadro tarkibiga kiruvchi protonlar soni Z uning zaryadini aniqlaydi, u Ze ga teng. Z soni kimyoviy elementning Men-deleyev davriy jadvalidagi tartib nomerini aniqlaydi va *atom nomeri* yoki yadroning zaryad soni deb yuritiladi.

Yadrodagi nuklonlar soni (ya'ni proton va neytronlarning yig'indi soni) A yadroning *massa soni* deyiladi. Yadrodagi neytronlar soni $N = A - Z$ ga teng.

Yadrolarni belgilash uchun



belgidan foydalaniladi, bu yerda X — elementning kimyoviy belgisi, yuqoriga uning A massa soni, pastga — Z atom nomeri qo'yilgan.

2. Izotoplar — 1906 - yilda bitta kimyoviy elementning barcha atomlari bir xil massaga ega bo'lmasligi ma'lum bo'ldi.

Berilgan kimyoviy elementning yadrolarining massasi bilan farqlanuvchi turli xillari izotoplar deyiladi. Bir element turli izotoplarining xossalari bir-biriga juda yaqin, bu ularning elektron qobiqlari bir xil tuzilishga ega ekanligidan, yadrolarining zaryadlari, demak, ulardagi protonlar soni bir xilligidan dalolat beradi. Ularning nomi ham shundan kelib chiqib (grekcha „izos“ — bir xil va „topos“ — o'rin), bir elementning barcha izotoplari elementlar Davriy jadvalida bir xil o'rinni egallashini anglatadi. Izotoplar massasining bir-biridan farq qilishi ularning yadrolaridagi neytronlar sonining har xilligi bilan bog'liq.

3. Yadroviy kuchlar. Oddiy dalillar atom yadrolarining mustahkamligidan dalolat beradi: atrofimizdagi buyumlar zarralarga ajralib ketmasdan uzoq vaqt yashaydi. Ammo buni qanday tushuntirish mumkin? Chunki atom yadrolari tarkibiga protonlar kiradi va elektr o'zaro itarishish kuchlari ularni tarqatib yuborishi kerak edi. Bundan yadrolar ichidagi nuklonlar orasida elektrostatik itarishish kuchidan katta bo'lgan qandaydir kuchlar ta'sir etadi, degan xulosa kelib chiqadi. Bu kuchlar *yadroviy kuchlar* deb nomlangan. Yadroviy kuchlar har qanday nuklonlar (protonlar, neytronlar, proton va neytronlar) orasida ta'sir etadi. Yadroviy kuchlarning o'ziga xos xususiyati ularning yaqindan ta'sir qilishidir: 10^{-15} m masofalarda ular elektrostatik o'zaro ta'sir kuchlaridan taxminan 100 marta katta, ammo 10^{-14} m masofalardayoq ular juda kichik bo'lib qoladi.

4. Bog'lanish energiyasi. Yadrodan proton yoki neytronni chiqarib yuborish uchun yaqindan ta'sir yadroviy kuchlarni yengib, ish bajarish zarur. Natijada „qolgan yadro — chiqarilgan nuklon“ sistemasining energiyasi tashqi kuchlar bajargan ishga teng bo'lgan ΔE ga ortadi.

Yadroni alohida proton va neytronlarga to'liq ajratish uchun zarur bo'ladigan energiya yadroning bog'lanish energiyasi deyiladi.

Massa va energiyaning o'zaro bog'liqlik qonuniga ko'ra, bunda zarralarning massasi ham

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$$

ga ortadi. Demak, yadroning massasi hamma vaqt uni tashkil etuvchi zarralarning alohida olingan holdagi massalari yig'indisidan kichik bo'ladi. Bu yerdagi Δm massa defekti deb yuritiladi.

Yadro fizikasida zarralarning massasi massaning atom birligi (m. a. b.) da ifodalanadi. Massaning atom birligi uglerod - 12 izotopi atomi massasining 1/12 qismiga teng:

$$1 \text{ m. a. b.} = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ kg.}$$

Quyidagi jadvalda ayrim turg'un yadrolar va elementar zarralarning massalari keltirilgan.

4 - jadval

Yadroning belgisi	Massasi, m.a.b.	Yadroning belgisi	Massasi, m.a.b.
1_0n	1,008665	${}^{14}_7N$	14,003242
1_1H	1,007825	8_8O	16,999134
4_2He	4,002603	${}^{235}_{92}U$	235,043933

Jadvaldan foydalanib, geliy atomi yadrosining

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

bog'lanish energiyasini hisoblaylik.

Ma'lumki, alohida olingan geliy atomi yadrosi, proton va neytronlarning massalari

$$m_{He} = 4,002603 \text{ m. a. b.}, m_p = 1,007825 \text{ m. a. b.},$$

$$m_n = 1,008665 \text{ m. a. b.}$$

ga teng. U holda

$$\Delta m = (2m_p + 2m_n - m_{He})$$

massalar farqi (massa defekti), $\Delta m = (2 \cdot 1,007825 + 2 \cdot 1,008665 - 4,002603) \text{ m. a. b.} = 0,030377 \text{ m. a. b.}$ ga teng bo'ladi. Nihoyat, $1 \text{ m. a. b.} = 1,660566 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ekani e'tiborga olinsa, $\Delta E = 0,030377 \cdot 1,660566 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2$ yoki $\Delta E = 0,030377 \cdot 1,660566 \cdot 9 \cdot 10^{-11} \text{ J}$ bo'ladi. Yadro fizikasida energiyani elektron - voltlarda hisoblash qabul qilingan. Ma'lumki,

$$1 \text{ eV} = 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

Shuning uchun,

$$\Delta E = 0,030377 \frac{1,660566 \cdot 9 \cdot 10^{-11}}{1,60219 \cdot 10^{-19}} \text{ eV.}$$

Sezish mumkinki,

$$\frac{1,66056 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ J}}{1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}} = 931 \cdot 10^9 \text{ eV} = 931 \text{ MeV}$$

nisbat masala shartiga bog'liq emas, shuning uchun yadroviy reaksiyalarda bajariladigan keyingi hisob-kitoblarni

$$\Delta E = \Delta m \text{ m. a. b.} \times 931 \text{ MeV} / \text{m. a. b.}$$

formula asosida amalga oshiramiz. Shunday qilib, geliy atomi yadrosining bog'lanish energiyasi uchun

$\Delta E = 0,030377 \text{ m. a. b.} \cdot 931 \text{ MeV} / \text{m. a. b.} \approx 28,2 \text{ MeV}$ natija topiladi.

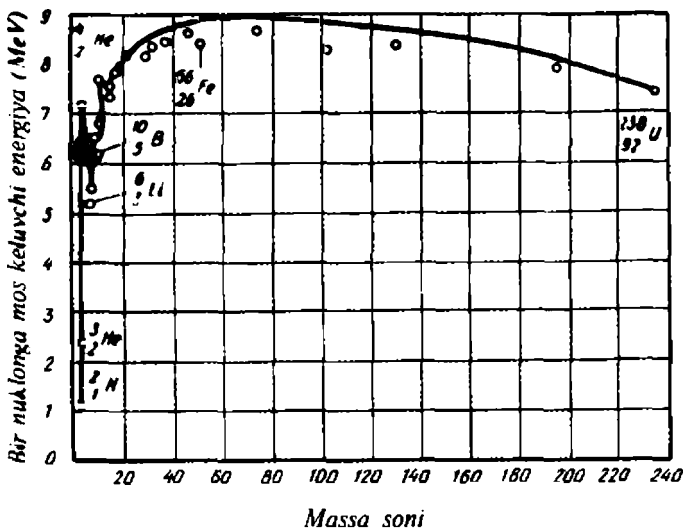
Atom yadrosining ΔE to'liq bog'lanish energiyasini undagi N nuklonlar soniga bo'lib, *solishtirma bog'lanish energiyasi* deb yuritiluvchi

$$\Delta \varepsilon = \frac{\Delta E}{N}$$

kattalikni topish mumkin. Geliy atomi yadrosi uchun solishtirma bog'lanish energiyasi

$$\Delta \varepsilon = \frac{28,2}{4} \text{ MeV} \approx 7,05 \text{ MeV}$$

ga teng. 168- rasmda bitta nuklonga to'g'ri keladigan (solishtirma) bog'lanish energiyasining A massa soniga bog'liqlik grafigi keltirilgan. Bu grafikning tahlili quyidagi xulosalarni chiqarishga imkon beradi:



168- rasm.

- solishtirma bog‘lanish energiyasi har xil elementlarning yadrolari uchun har xil bo‘ladi;
- eng katta solishtirma bog‘lanish energiyasi massa sonlari 40 dan 100 gacha bo‘lgan yadrolarga to‘g‘ri keladi;
- yengil yadrolarda solishtirma bog‘lanish energiyasi yadrodagi nuklonlar sonining kamayishi bilan kamayadi, og‘ir yadrolarda esa u yadroning massa soni ortishi bilan kamayadi.

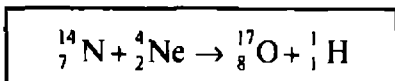
- ?
- Atom yadrosining tarkibiga qanday zarralar kiradi?
 - Izotoplar nima? Izotoplarga misollar keltiring.
 - Yadro kuchlarini ta’riflab bering.
 - Bog‘lanish energiyasi nima? U nimalarga bog‘liq?

59- §. Yadro reaksiyalari. Yadro reaksiyalarida energiya ajralishi va yutilishi

Natijasi atom yadrolarining qayta tuzilishidan iborat bo‘lgan jarayonlar yadro reaksiyalari deyiladi.

1. Yadro reaksiyalarida saqlanish qonunlari. Yadro reaksiyalari saqlanish qonunlariga mos holda o‘tadi. Xususan, elektr zaryadining, energiyaning, impulsning va nuklonlar sonining (massa

sonining) saqlanish qonunlari amal qiladi. Misol tariqasida Rezerford tomonidan 1919 - yili amalga oshirilgan:



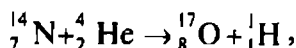
birinchi sun'iy yadro reaksiyasini qarab chiqamiz. Bu reaksiyada zarrachalarning massa soni reaksiyadan oldin va reaksiyadan keyin ham 18 ga teng. Zarralarning zaryadi reaksiyadan oldin 9e ga, reaksiyadan keyin ham 9e ga teng.

2. Yadro reaksiyalarida energiya ajralishi va yutilishi. Energiyaning saqlanish qonuni, massa va energiyaning o'zaro bog'liqlik qonuni yadro reaksiyalarida ajralgan va yutilgan energiyalarni hisoblab topish imkonini beradi. Buning uchun quyidagilarni aniqlash kerak:

- a) yadro va zarralarning reaksiyagacha bo'lgan massasi m_1 ni;
- b) yadro va zarralarning reaksiyadan keyingi massasi m_2 ni;
- d) massaning o'zgarishi $\Delta m = m_1 - m_2$ ni;
- e) energiyaning o'zgarishi $\Delta E = \Delta mc^2$ ni.

Misol tariqasida bir nechta yadro reaksiyalarini qarab chiqamiz:

a) Rezerford reaksiyasi birinchi sun'iy yadro reaksiyasi edi, uni eslaymiz:



zarralarning massasini oldingi paragrafning oxirida keltirilgan jadval bo'yicha aniqlaymiz.

Reaksiyagacha bo'lgan massa:

$${}^{14}_7\text{N} - 14,003242 \text{ m. a. b.}$$

$${}^4_2\text{He} - 4,002603 \text{ m. a. b.}$$

$$m_1 = 18,005845 \text{ m. a. b.}$$

Reaksiyadan keyingi massa:

$${}^{17}_8\text{O} - 16,999134 \text{ m. a. b.}$$

$${}^1_1\text{H} - 1,007825 \text{ m. a. b.}$$

$$m_2 = 18,006959 \text{ m. a. b.}$$

Massaning o'zgarishi $\Delta m = m_1 - m_2$:

$$\Delta m = (18,005845 - 18,006959) \text{ m.a.b.} = 0,001114 \text{ m.a.b.}$$

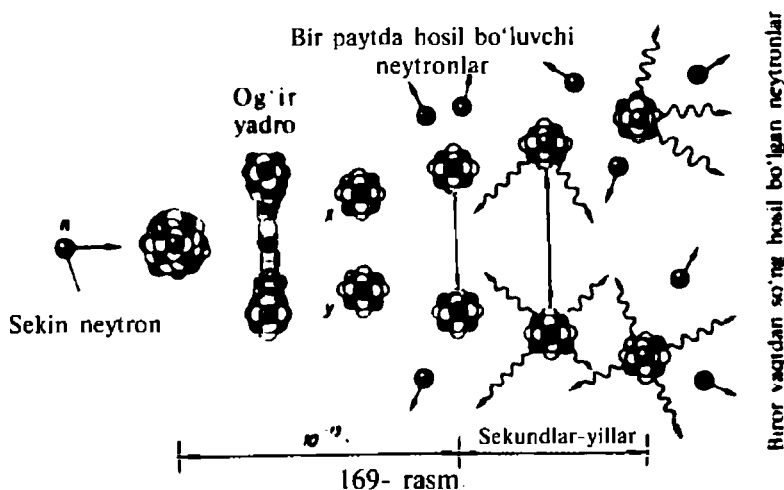
Reaksiya natijasida energiyaning o'zgarishi

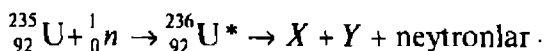
$$\Delta E = \Delta mc^2 :$$

$$\Delta E = -0,001114 \text{ m.a.b.} \times 931 \frac{\text{MeV}}{\text{m.a.b.}} = -1,04 \text{ MeV.}$$

Bu yerdagi „—“ ishora reaksiyaning energiya yutilishi bilan yuz berishini ko'rsatadi.

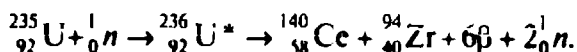
3. Uran yadrosining bo'linish reaksiyasi. Ko'p sonli nuklonlarga ega bo'lgan atom yadrolari turg'un bo'lmaydi va bo'linib ketishi mumkin. G. N. Flyorov va K. A. Petrjak uran yadrosining o'z-o'zidan bo'linishini topishdi. Taxminan o'sha vaqtning o'zida nemis fiziklari O. Gan va F. Shtrassman uran yadrosi neytronlar bilan bombardimon qilinganda Mendeleevning kimyoviy elementlar davriy sistemasining o'rtalarida joylashgan elementlarga bo'linib ketishini kashf etishdi. Bu hodisani ingliz olimi O. Fisher va avstraliyalik olim L. Meynterlar tushuntirib berishdi. Ular sekin harakatlanuvchi neytronni biriktirib olgan uran yadrosi uranning $^{236}_{92}\text{U}^*$ radioaktiv izotopiga aylanadi, u o'z navbatida taxminan teng X va Y qismlarga bo'linadi, bunda bir nechta neytronlar ajraladi, deb taxmin qilishgan. Reaksiya quyidagi sxema bo'yicha o'tadi (169 - rasm):





Keyingi tekshirishlar uran yadrosi neytronlar bilan bombardimon qilinganda 80 xil bo'laklar hosil bo'lishini ko'rsatdi. Shu bilan birga massalari nisbati 2:3 bo'lgan bo'laklarga bo'linish eng ehtimolli ekani ma'lum bo'ldi.

Uran yadrosining mumkin bo'lgan bo'linish reaksiyalaridan biri quyidagi sxema bo'yicha o'tadi:



Reaksiyada ajraladigan energiyani hisoblaymiz.

Bo'linishgacha bo'lgan massa:

$$\begin{aligned} & 235,0439 \text{ m. a. b. } ({}_{92}^{235}\text{U}) \\ & 1,0087 \text{ m. a. b. } ({}_0^1n) \\ \hline & m_1 = 236,0526 \text{ m. a. b.} \end{aligned}$$

Bo'linishdan keyingi massa:

$$\begin{aligned} & 139,9054 \text{ m. a. b. } ({}_{58}^{140}\text{Ce}) \\ & 93,9036 \text{ m. a. b. } ({}_{40}^{94}\text{Zr}) \\ & 2,0173 \text{ m. a. b. } ({}_0^1n) \\ & 0,0033 \text{ m. a. b. } (6\beta) \\ \hline & m_2 = 235,8296 \text{ m. a. b.} \end{aligned}$$

Massalar ayirmasi: $\Delta m = m_1 - m_2 = 0,223 \text{ m. a. b.}$

Ajralgan energiya $\Delta E = \Delta m c^2$:

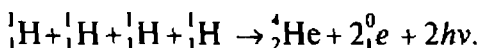
$$\Delta E = 0,223 \text{ m. a. b.} \cdot 931 \frac{\text{MeV}}{\text{m. a. b.}} \approx 208 \text{ MeV!}$$

Keltirilgan hisoblashlar uran yadrosining bo'linish reaksiyasi energiya ajralishi bilan yuz berishini ko'rsatadi. Bu — reaksiya jarayonida uran yadrosining bog'lanish energiyasi boshqa energiya turlariga (bo'laklar va neytronlarning mexanik energiyasiga, nurlanish energiyasiga) aylanishini anglatadi.

Hisoblash oxirida 208 MeV natijani olib, undov belgisi qo'yildi. Bu bejiz emas. Gap shundaki, atom ko'lamlarida bu juda katta energiya. Qiyoslash uchun shuni ko'rsatish kifoyaki, ikkita vodorod atomi va bitta kislorod atomining birikishidan bor-yo'g'i 10 eV

energiya ajraladi. Bitta uran yadrosining bo'linish reaksiyasida bundan taxminan 20 milliard marta ko'p energiya ajraladi! Agar 1 kg uran-235 ning barcha yadrolarining bo'linishiga erishib bo'lganida edi, bunda 20 000 000 kW soat energiya ajralar edi. Bunday energiyani olish uchun 2 000 000 tonna ko'mirni yoqish zarur bo'ladi.

4. Yengil yadrolarning birikish reaksiyasi. Amerikalik fizik X. Bete 1939 - yili Quyosh va yulduzlar energiyasining manbalaridan biri ularning tarkibiga kiruvchi vodoroddan geliy hosil bo'lishi degan g'potezani ilgari surdi, bu reaksiya soddalashtirilgan holda quyidagicha yozilishi mumkin*:



Bu reaksiyada ajraluvchi energiyani hisoblaymiz.
Reaksiyagacha bo'lgan massa:

$$m_1 = 4 \cdot 1,007825 = 4,031300 \text{ m. a. b. } (4{}^1_1\text{H.})$$

Reaksiyadan keyingi massa:

$$\frac{4,002603 \text{ m. a. b. } ({}^4_2\text{He}) + 0,001098 \text{ m. a. b. } (2{}^0_1\text{e}^+)}{m_2 = 4,003701 \text{ m. a. b.}}$$

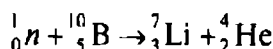
Massalar farqi: $\Delta m = m_1 - m_2$:

$$\Delta m = 4,031300 - 4,003701 = 0,0276 \text{ m. a. b.}$$

Ajralgan energiya: $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$.

$$\Delta E = 0,027 \text{ m. a. b. } \times 931 \frac{\text{MeV}}{\text{m. a. b.}} = 26 \text{ MeV.}$$

5. Neytronlarni qayd etish reaksiyasi. Neytronlarni qayd etish uchun quyidagi



reaksiya asosida ishlovchi maxsus hisoblagichlardan foydalaniladi.

* ${}^0_1\text{e}$ bilan belgilangan zarra *pozitron* deb nomlangan, uning zaryadi elektron zaryadga teng. ammo musbat ishorali, massasi elektron massasiga teng.

Hisoblagich kamerasi bor florid BF_3 gazi bilan to'ldiriladi. Agar kamera ga neytron kiritilsa, yuqorida keltirilgan reaksiya natijasida α - zarra va litiy atomining yadrosi hosil bo'ladi. Bu zarralar ularning gaz molekulalarini ionlashtirish qobiliyatiga asoslanuvchi usullar bilan qayd etiladi.

- ?
1. Qanday jarayonlar yadro reaksiyalari deyiladi?
 2. Yadro reaksiyasida saqlanish qonunlarining aniq bajarilishini tasdiqlovchi misollar keltiring.
 3. Yengil yadrolarning birikish reaksiyasiga misollar keltiring. U energiya ajralishi bilan yuz berishini ko'rsating.
 4. Uran - 235 izotopining bo'linish reaksiyasini yozing va tushuntirib bering. Bu reaksiyada ajraluvchi energiyaning kattaligini aniqlang.

60- §. Radioaktivlik hodisasi

1. Radioaktiv yemirilishni xarakterlovchi kattaliklar. Radioaktiv yemirilish asosan statistik hodisadir. U yoki bu yadroning qachon yemirilishini hech qachon aniqlab bo'lmaydi. Yadrolar bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda radioaktiv o'zgarishlarni boshdan kechiradi. Radioaktiv yadrolar N boshlang'ich sonining yarmi yemirilishi uchun ketgan vaqt *yarim yemirilish davri* deyiladi va $T_{1/2}$ bilan belgilanadi.

Vaqt birligi ichidagi radioaktiv yemirilishlar soni *radioaktiv manba* (modda) *ning aktivligi* deyiladi va A bilan belgilanadi:

$$A = \frac{dN}{dt},$$

bu yerdagi dN — kichik dt vaqt ichidagi yemirilishlar soni.

Xalqaro birliklar sistemasida aktivlik birligi uchun 1 s da 1 ta yemirilish bo'ladigan moddaning aktivligi olinadi. Bu birlik bekkere (1 Bk) deb ataladi:

$$1 \text{ Bk} = 1 \text{ yemir. / s.}$$

Aktivlikning sistemadan tashqari birligi — kyuri (Ku):

$$1 \text{ Ku} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ yemir. / s.}$$

2. Radioaktiv yemirilish qonuni. Aytaylik, ixtiyoriy t_0 vaqt momentida N_0 ta yemirilmagan atomlari bo'lgan radioaktiv modda berilgan bo'lsin. Chekli t vaqt o'tgandan keyin moddada qolgan radioaktiv yadrolar sonini topaylik.

Ravshanki, t vaqt momentidagi yemirilgan atomlar soni dN , shu momentdagi yemirilmagan atomlar soni N ga proporsional bo'ladi. Radioaktiv atomlarning umumiy N soni qancha ko'p bo'lsa, yemirilganlarining soni ham shuncha ko'p bo'ladi:

$$dN \sim N.$$

Radioaktiv atomlarning yemirilishi o'z-o'zidan va xotik bo'lgani sababli, t dan $t + dt$ gacha bo'lgan vaqt intervalida yemirilgan atomlar soni dt vaqt oralig'iga proporsional bo'ladi, deb hisoblash mumkin:

$$dN \sim dt.$$

Shunday qilib, $dN \sim Ndt$ yoki

$$dN = -\lambda Ndt$$

bo'ladi, bu yerda λ — proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, *radioaktiv yemirilish doimiysi* deyiladi. Uning qiymati har xil moddalar uchun har xil. Tenglikning o'ng tomonidagi „ — “ ishora yemirilmagan atomlar soni N kamayishi sababli, dN manfiy kattalik bo'lishini ko'rsatadi.

Yemirilmagan atomlar sonini topish uchun yuqoridagi tenglikni $\frac{dN}{N} = \lambda dt$ ko'rinishda yozib, so'ngra integrallaymiz:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt,$$

bundan

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

yoki

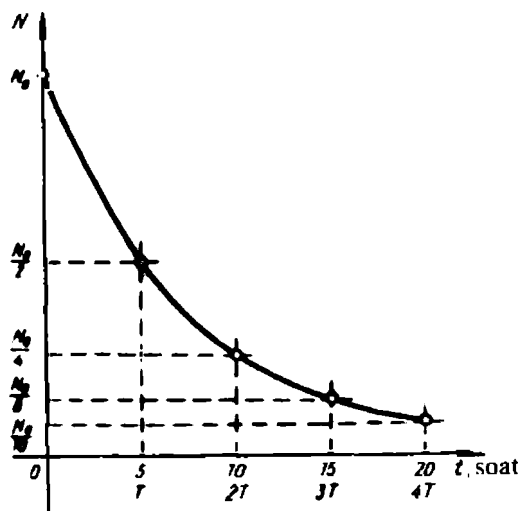
$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

natija topiladi.

Bu formula radioaktiv yemirilish qonunining matematik ifodasidir:

yemirilmagan radioaktiv yadrolar soni vaqt o'tishi bilan eksponensial ravishda kamayadi.

170- rasmda bu bog'lanishning grafigi keltirilgan. Grafikdan radioaktiv yemirilish aktivligi o'zgarishining umumiy xarakteri



170- rasm.

va vaqtga bog'liq bo'lmagan holda, yarim yemirilish vaqti ichida (berilgan holda 5 soat) moddaning aktivligi ikki barobar kamayishi ko'rinib turibdi.

3. Alfa yemirilish. α - yemirilish hodisasi shundan iboratki, ayrim elementlarning radioaktiv yadrolari o'z-o'zidan α - zarralar chiqaradi. Tajribalarda α - yemirilish bilan bog'liq quyidagi dalillar aniqlangan:

- a) α - yemirilish faqat og'ir yadrolar uchun o'rinli;
- b) α - aktiv yadrolarning yarim yemirilish davri 10^6 s dan 10^{17} yilgacha;
- d) bir moddaning yadrolaridan uchib chiquvchi α - zarralarning hammasi bir xil energiyali (2 MeV dan 9 MeV gacha) bo'ladi;
- e) yarim yemirilish davri uchib chiquvchi α -zarralar energiyasiga bog'liq. α - zarralar energiyasi qancha kichik bo'lsa, yarim yemirilish davri shuncha katta bo'ladi.

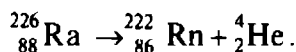
Nima sababdan atomlarning yadrolari α - zarralar chiqarib yemirilishini tushuntirish uchun α - zarralar faqat ko'p sonli proton va neytronlar (nuklonlar) ga ega bo'lgan og'ir yadrolar tomonidan chiqarilishiga e'tiborni qaratamiz.

Ma'lumki, yadrodagi nuklonlar orasidagi tortishish kuchlari yaqindan ta'sir qiluvchi, elektrostatik itarishish kuchlari esa uzoqdan ta'sir qiluvchi kuchlardir. Barcha kimyoviy elementlarda yadro moddasining zichligi deyarli bir xil bo'lgani sababli, og'ir

yadrolarning o'lchamlari yengil yadrolarga qaraganda katta bo'ladi (ularda nuklonlar soni ko'p!). Shuning uchun og'ir yadrolarning yadroviy tortishish kuchlari tufayli hosil bo'lgan mustahkamligi kichik bo'ladi. Og'ir yadro ichida yuz beruvchi jarayonlar natijasida uning α - zarralar chiqarish bilan yemirilishiga qulay sharoit yuzaga keladi. α - yemirilishdan so'ng yadro katta turg'unlikka ega bo'lib qoladi.

Ammo nima sababdan og'ir yadrolar proton yoki neytron chiqarmasdan α -zarra chiqaradi? Yadrodan chiqib ketish uchun nuklon yadroviy tortishish kuchlarini yengishi kerak, buning uchun esa u yetarli energiyaga ega bo'lishi zarur. Bunday energiyaning manbai yadro nuklonlarining α - zarraga birikishida ajraluvchi energiya (bunday birikish energiya ajralishi bilan yuz berishi bizga ma'lum) bo'lishi mumkin.

Masalan, radiy yadrosining yemirilish reaksiyasini quyidagicha yozish mumkin:



Reaksiyada ajraluvchi energiyani hisoblaylik.

Reaksiyagacha bo'lgan massa: $m_1 = 226,03120 \text{ m. a. b. } ({}_{88}^{226}\text{Ra})$

Reaksiyadan keyingi massa:

$$\begin{array}{r} 222,02335 \text{ m. a. b. } ({}_{86}^{222}\text{Rn}) \\ 4,00260 \text{ m. a. b. } ({}_2^4\text{He}) \\ \hline m_2 = 226,02595 \text{ m. a. b.} \end{array}$$

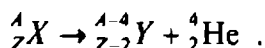
Massalar ayirmasi $\Delta m = m_1 - m_2$:

$$\Delta m = (226,03120 - 226,02595) \text{ m. a. b.} = 0,00525 \text{ m. a. b.}$$

Ajraladigan energiya $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$:

$$\Delta E = 0,00525 \text{ m. a. b. } \cdot 931 \text{ MeV / m. a. b.} \approx 4,9 \text{ MeV.}$$

α -zarralar chiqarish bilan bo'ladigan radioaktiv nurlanish natijasida boshlang'ich „ona“ yadroga nisbatan massa soni to'rt birlikka, zaryadi esa ikki birlikka kam bo'lgan yangi „bola“ yadro hosil bo'ladi:



„Bola“ yadro ham, ko‘p hollarda radioaktiv bo‘ladi va ma‘lum vaqt o‘tgandan keyin u ham yemiriladi. Radioaktiv yemirilish jarayoni turg‘un, ya‘ni radioaktiv bo‘lmagan yadro paydo bo‘lguncha davom etadi, ko‘p hollarda ular qo‘rg‘oshin yoki vismut yadrosi bo‘ladi.

4. Beta - yemirilish. β - yemirilish hodisasi shundan iboratki, ayrim elementlarning yadrolari o‘z -o‘zidan elektronlar va juda kichik massali neytral zarra — antineytrino chiqaradi. Qizig‘i shundaki, radioaktiv yemirilish jarayonida yadrolar o‘zida bo‘lmagan elektronlarni chiqaradi (yadrolar proton va neytronlardan tuzilgan). Bu juda oson tushuntiriladi. Aniq sharoitlarda yadroda neytronning proton va elektronga aylanishi yuz beradi. Paydo bo‘lgan elektron yadrodan uchib chiqadi. Yadro neytronning proton va elektronga aylanish jarayoni neytronlari ko‘p bo‘lgan yadrolarda kuzatiladi. Yadrodan uchib chiquvchi elektron Δm massalar farqiga ekvivalent bo‘lgan ΔE kinetik energiyaga ega bo‘ladi.

Ana shu $\Delta E = \Delta mc^2$ energiyani hisoblaylik.

Yemirilishgacha bo‘lgan massa:

$$m_1 = 1,00866 \text{ m . a . b. } \left({}_1^1 n \right).$$

Yemirilishdan keyingi massa:

$$\frac{1,00728 \text{ m . a . b. } \left({}_1^1 \text{H} \right) + 0,00055 \text{ m . a . b. } \left({}_{-1}^0 e \right)}{m_2 = 1,00733 \text{ m . a . b.}}$$

Massalar farqi $\Delta m = m_1 - m_2$:

$$\Delta m = (1,00866 \pm 1,00783) \text{ m . a . b. } = 0,00083 \text{ m . a . b.}$$

Ajraluvchi energiya $\Delta E = \Delta mc^2$:

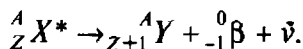
$$\Delta E = 0,00083 \text{ m . a . b. } \times 931 \text{ MeV / m . a . b. } = 0,8 \text{ MeV .}$$

β -yemirilishni diqqat bilan o‘rganish shuni ko‘rsatdiki, bunda energiya va impulsning saqlanish qonunlari buzilgandek bo‘ladi. Ammo shvetsariyalik fizik V. Pauli β - yemirilish jarayonida yana qandaydir zarra tug‘iladi va u energiya va impulsning bir qismini o‘zi bilan olib chiqib ketadi, degan fikrni aytdi. Bu gipoteza asosida italiyalik fizik E. F e r m i β - yemirilish nazariyasini ishlab chiqdi. Fermining hisoblashlari Pauli tomonidan bashorat qilingan zarra

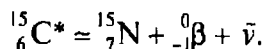
neytral va juda kichik (elektronga nisbatan ham) massaga ega bo'lishi kerakligini ko'rsatdi. U bu zarrani *neytrino* deb atadi. Neytrinoni uzoq vaqtlargacha aniqlay olishmadi, chunki u modda bilan nihoyatda kuchsiz ta'sirlashar edi. Hozirgi vaqtda neytrinning mavjudligi eksperimental tasdiqlangan.

Keyinchalik β -yemirilishda ishtirok etuvchi ikki xil neytrino mavjudligi aniqlangan: neytrino (ν bilan belgilanadi) va antineytrino ($\bar{\nu}$ bilan belgilanadi).

β -yemirilish natijasida massa soni oldingidek, ammo atom nomeri (zaryad soni) birga ortiq bo'lgan yangi yadro hosil bo'ladi:

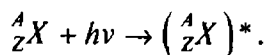


Masalan, ushbu reaksiya bo'lishi mumkin:

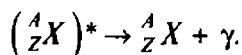


Yadrolardan β -yemirilish jarayonida chiquvchi elektronlarning energiyasi 0 dan boshlab, berilgan yadro uchun mumkin bo'lgan maksimal qiymatgacha uzluksiz ravishda o'zgarib turishi tajribalarda aniqlangan. Ammo faqat ahyon-ahyondagina maksimal energiyali elektronlar nurlanadi.

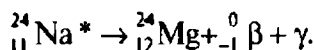
5. Yadrolarning γ -nurlanishi. Yadro, xuddi atom singari, eng kichik energiyali holatda bo'lishi mumkin. Yadroning eng kichik energiyali holatdan qo'zg'algan holatga o'tishi uni zarralar yoki fotonlar bilan bombardimon qilish orqali amalga oshiriladi. Misol uchun, ${}^A_Z X$ element yadrosi ν chastotali fotonlar bilan bombardimon qilinganda u $({}^A_Z X)^*$ qo'zg'algan holatga o'tishi mumkin:



O'zining asosiy holatiga qaytib, yadro γ - kvantlar chiqaradi:



Shunday qilib, γ - kvant chiqarilganda atomning yemirilishi kuzatilmaydi, chunki ular atomlar tomonidan emas, balki yadrolar tomonidan nurlanadi. γ - nurlanish radioaktiv yemirilish bilan birgalikda yuz beradi, masalan, natriyning radioaktiv yemirilishi β - va γ - nurlanish bilan birgalikda sodir bo'ladi:

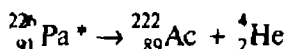


γ -nurlanishning asosiy xossalari bilan tanishaylik. Eng avvalo uning nihoyatda yuqori chastotali ekanini ta'kidlash kerak. Shuning uchun uning to'liq xossalari zaif bo'lib, birinchi o'ringa korpuskular xossalari chiqadi.

γ -nurlanish fotonlari elektr zaryadiga va tinchlikdagi massaga ega emas. Shuning uchun moddadan o'tishda γ - kvantlar yadro va elektronlar bilan juda kam to'qnashadi. Ammo onda-sonda to'qnashlar natijasida ular o'zlarining dastlabki yo'nalishidan keskin og'adi. Bunda γ - kvantlar energiyasi deyarli o'zgarmaydi, ammo γ - kvantlarning bir qismi moddada yutiladi.

γ - nurlanishning katta o'tuvchanlik qobiliyati ularni inson uchun xavfli qilib qo'yadi.

- ?
1. Yadrolarning radioaktiv yemirilishida hosil bo'lgan mahsulotlarning tinchlikdagi massasi boshlang'ich yadrolarning tinchlikdagi massasidan kichik bo'ladi. Bu saqlanish qonunlarining buzilishi emasmi?
 2. α - yemirilish mexanizmini tushuntiring.
 3. β - yemirilish mexanizmini tushuntiring.
 4. γ - nurlanish mexanizmini tushuntiring.
 5. Quyidagi



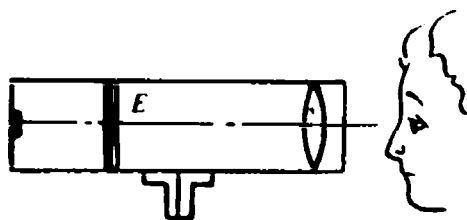
sxema bo'yicha yuz beruvchi protaktiniy yadrosining α - yemirilishida qancha energiya ajralishini hisoblang.

Yadrolarning massalari: ${}_{91}^{226}\text{Pa}$ — 226, 0280 m . a . b;

${}_{89}^{222}\text{Ac}$ — 222, 0178 m . a . b .; ${}_2^4\text{He}$ — 4, 0026 m . a . b .

61- §. Radioaktiv nurlanishlarni va zarralarni qayd qilish usullari

Radioaktiv (α -, β -, va γ -) nurlanish va zarralarni kuzatish va qayd etishning barcha usullari ularning ionlashtirish va atomlarni qo'zg'atish xususiyatlariga asoslangan. O'zlaridan o'tuvchi zarralarni qayd qilishga yoki ularning izini kuzatishga imkon beruvchi ayrim asboblarning tuzilishi va ishlash prinsipi bilan tanishamiz.



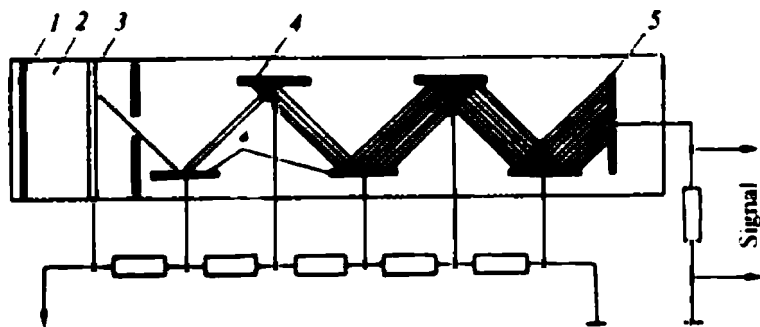
171- rasm.

1. Ssintillatsion sanog'ich. Bu — zarra bilan asbob ekranining to'qnashish joyini kuzatish imkonini beruvchi asboblardan biridir. Eng oddiy holda u xavfsiz radioaktiv nurlanish manbai, luminofor (masalan, ZnS, NaI) qoplangan ekran va ekranni kuzatish uchun xizmat qiluvchi lupadan iborat (171- rasm).

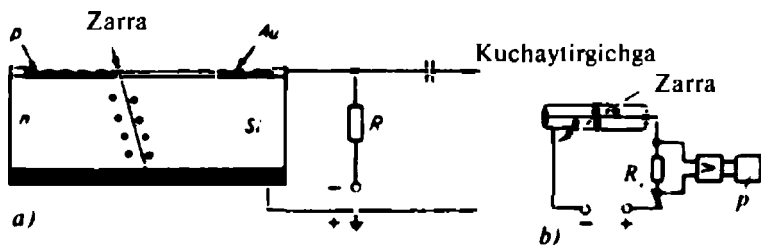
Rezerford tajribalarida α -zarralarning sochilishini kuzatish uchun ana shunday asbobdan foydalanilgan, faqat unda kuzatish mikroskop orqali olib borilgan (165- rasimga q.).

Zaryadlangan zarra ekrandan o'tayotib, uning chaqnashini yuzaga keltiradi. Asbobning nomi ham ana shundan (lotincha scintillatio — chaqnash) olingan.

Zamonaviy ssintillatsion sanog'ichning sxemasi 172- rasmda keltirilgan. Uning asosiy qismi 1 luminessensiyon ekran bo'lib, u 2 svetovod yordamida fotoelektron ko'paytirgich (FEK) bilan tutashtirilgan. Ekranga α -, β - yoki γ - nurlanish tushishi bilan unda hosil bo'lgan chaqnashlar svetovod orqali FEK ning 3 fotokatodiga uzatiladi. Fotokatodga tushgan fotonlar undan elektron urib chiqaradi. Bu elektronlar 4 fotoko'paytirgichning birinchi dinod deb yuritiluvchi, birinchi elektrodga yo'naltiriladi. Dinod materialining chiqish ishi kichik. Shuning uchun unga tushgan



172- rasm.



173- rasm.

elektronlar undan bir nechta (3 tadan 10 tagacha) elektronlarni urib chiqaradi. Urib chiqarilgan elektronlar ikkinchi dinodga tushadi va h. k.

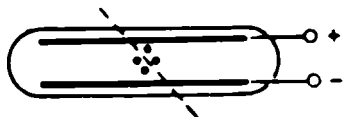
Zamonaviy FEK larda $10 + 20$ dinodlar bo'ladi. Bu 10^8 martagacha kuchaytirish imkonini beradi. Ssintillatsion sanog'ichlar o'zlariga tushuvchi zarralarni 100 foizgacha, γ - kvantlarni 30 foizgacha qayd etadi.

2. Yarimo'tkazgich sanog'ich. Bu — zanjirga teskari yo'nalishda ulangan oddiy yarimo'tkazgich dioddir (173- a rasm). Agar p - n o'tish orqali tez harakatlanuvchi zaryadli zarra o'tsa, u yuzaga keltirgan elektronlar va teshikchalar zanjirda qisqa muddatli tok impulsi hosil qiladi, u kuchaytirilgandan keyin maxsus asbobda qayd etiladi.

3. Gaz razryadli sanog'ich. Siz X sinfdagi gazlardan elektr tokining o'tishini o'rganganingizda, gazning nomustaqil razryadidan foydalanib ishlaydigan gaz razryadli sanog'ichning tuzilishi va ishlash prinsipi bilan tanishgan edingiz (173- b rasm). Bunday sanog'ichlar *proporsional sanog'ich* nomini olgan, chunki ularda kirish impulsi qayd qilinuvchi zarralarning energiyasiga proporsional bo'ladi.

4. Ionizatsion kamera. Bu asbob gaz bilan to'ldirilgan yupqa devorli berk idishdan iborat. Idishga ikkita elektrod joylashtirilgan (174- rasm), ularga kuchlanish ($100 + 1000$ V) beriladi. Idishga kirgan zaryadli zarra undagi gazni ionlashtiradi. Zarra hosil qilgan ionlar elektrodga intiladi, zanjirda qisqa muddatli tok impulsi hosil bo'ladi va u asboblardan tomonidan qayd qilinadi.

5. Pufakli kamera. Zaryadlangan zarralarning izini (trekini) kuzatishga imkon beruvchi Vilson kamerasi 57- § da bayon etilgan edi. Pufakli kamera Vilson kamerasining o'ziga xos bir turidir. Pufakli kameradagi ishchi modda — bosim ostidagi shaffof suyuqlik (suyuq vodorod yoki suyuq propan, ksenon) dir. Bosim kamayganda suyuqlik o'ta qizigan holatga o'tadi. Bu holatda u yuqori energiyali



174- rasm.



175- rasm.

zarralarni yaxshi sezadigan bo'lib qoladi. O'ta qizigan suyuqlikka uchib kirgan yuqori energiyali zarra suyuqlikni qaynatadi va uning trayektoriyasi pufakchalar tizimi tarzida ko'rinadi. Hosil bo'lgan izning fotosurati olinadi. Pufakli kameraning o'lchamlari bir necha o'n santimetrdan bir necha metrgacha bo'ladi.

6. Uchqunli kamera. Uchqunli kameraning asosiy qismi ko'p qoplamali, o'zgarmas sig'imli kondensatorga o'xshaydi (175-rasm), uning qoplamalari bir-biridan bir necha millimetr masofada bo'ladi. Barcha toq qoplamalar toqlari bilan, barcha juft qoplamalar esa — juftlari bilan birlashtiriladi. Kameradan zarra o'tayotgan momentda qoplamalarga metriga minglab kilovolt kuchlanishli maydon hosil qiluvchi yuqori kuchlanish impulsi beriladi. Qoplamalar orasida zarra uchib o'tgan joylarda uchqun paydo bo'ladi. U fotosuratga olinishi yoki ultratovush detektorlari yordamida uning tovushi yozilishi mumkin.

7. Neytral zarralarni qayd qilish haqida. Neytral zarralar qayd qilinishidan oldin reaksiyasi zaryadli zarralar hosil bo'lishi bilan o'tadigan modda bilan reaksiyaga kirishishga majbur etiladi, bunda yuzaga kelgan zaryadli zarralar odatdagi usullar bilan qayd etiladi.

62- §. Nurlanishlarning biologik ta'siri va ulardan saqlanish

1. Nurlanishlarning biologik ta'sirini xarakterlovchi kattalik. Yadro nurlanishlari barcha tirik organizmlarga kuchli shikastlantiruvchi ta'sir o'tkazadi. Bu ta'sirning qanday bo'lishi nurlanish olib o'tgan energiyaga va uning ionlashtirish qobiliyatiga qarab aniqlanadi. Yutilgan nurlanish dozasi haqida hukm chiqarish mumkin. Buni xarakterlash uchun ikkita kattalik kiritilgan: *yutilgan nurlanish dozasi va nurlanishning ekspozitsion dozasi.*

Yutilgan nurlanish dozasi deb, nurlantirilayotgan jism tomonidan yutilgan ΔW nurlanish energiyasining jism massasiga nisbati bilan o'lchanadigan kattalikka aytiladi va D harfi bilan belgilanadi:

$$D = \frac{\Delta W}{m}$$

Xalqaro birliklar sistemasida yutilgan nurlanish dozasi ning birligi sifatida grey (1 Gy) qabul qilingan:

$$1 \text{ Gy} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ kg}} = \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Nurlanishning ekspozitsion dozasi deb, havoning qandaydir hajmida nurlanish tomonidan hosil qilingan bir xil ishorali ionlar yig'indi zaryadining shu hajmdagi havo massasiga nisbati bilan o'lchanadigan kattalikka aytiladi va NED bilan belgilanadi:

$$\text{NED} = \frac{Q}{m}$$

Nurlanishning ekspozitsion dozasi birligi uchun shunday nurlanish intensivligi olinadiki, u 1 kg quruq havoda yig'indi zaryadi 1 C bo'lgan bir xil ishorali ionlar hosil qiladi:

$$1 \text{ NED} = 1 \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

Amalda tez-tez sistemadan tashqari birlik — rentgen va uning ulushlari ishlatiladi:

$$1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$$

Tirik organizmlar, xususan, odam nurlanganda, nurlanishning shikastlantiruvchi ta'siri, yutilish dozasi bir xil bo'lganda, nurlanish turiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun hamma turdagi nurlanishlarning biologik ta'sirlarini rentgen va γ -nurlanishning biologik ta'siri bilan solishtirish qabul qilingan.

Berilgan turdagi nurlanishning shikastlantiruvchi ta'siri (yutilgan nurlanish dozasi bir xil bo'lganda) rentgen nurlanishinikiga qaraganda necha marta yuqori ekanligini ko'rsatuvchi kattalik nisbiy biologik ekvivalentlik koeffitsiyenti (NBEK) yoki nurlanishning sifat koeffitsiyenti (NSK) deb yuritiladi. Quyidagi 5- jadvalda nurlanishning asosiy turlari uchun NBEK ning qiymatlari keltirilgan.

5- jadval

Nurlanish turi	NBEK
Rentgen va γ -nurlanish	1
β -zarralar (elektronlar)	1
Issiqlik (sekin) neytronlari	3
Tez neytronlar	10
Protonlar	10
α -zarralar	10

Shuning uchun nurlanishning tirik organizmga ta'sirini baholash uchun maxsus kattalik — *ekvivalent doza* kiritilgan.

Yutilgan nurlanish dozasi (D) bilan nisbiy biologik ekvivalentlik koeffitsiyenti (NBEK) ning ko'paytmasiga teng bo'lgan kattalik yutilgan nurlanishning ekvivalent miqdori tushunchasi deyiladi va D_{ekv} bilan belgilanadi:

$$D_{ekv} = D \cdot NBEK.$$

Xalqaro birliklar sistemasida ekvivalent doza birligi uchun *zivot* (1 Zv) qabul qilingan. Bu birlik nisbiy biologik ekvivalentlik koeffitsiyenti 1 ga teng bo'lgandagi 1 Grey yutilgan dozaga mos keladi.

Amalda yutilgan nurlanishning ekvivalent dozasini o'lchash uchun rbe (rentgenning biologik ekvivalenti) deb yuritiluvchi, sistemadan tashqari birlik ishlatiladi:

$$1 \text{ Zv} = 100 \text{ rbe}.$$

2. Radioaktiv nurlanishning insonga ta'siri. Inson uzluksiz ravishda radioaktiv nurlanish ta'siriga uchrab turadi. Bu nurlanish manbalari: kosmik jismlar; radioaktiv moddasi bo'lgan Yer bag'ri; biz yashayotgan binolar (granitda, g'ishtlarda va temir-betonda radioaktiv moddalar bor); rentgen apparatlari; televizorlar; hatto bizning tanamizda ham 0,01 g radioaktiv kaliy — $^{40}_{19}\text{K}$ mavjud, u sekundiga 4000 yemirilish aktivligi bilan bo'linadi.

Yil davomida har bir kishi o'rtacha 400 — 500 mrbe ga yaqin nurlanish dozasini oladi, bu doza quyidagicha taqsimlanadi:

Kosmos va Yer nurlanishi taxminan 150 mrbe;

rentgenoskopiya vaqtida olinadigan nurlanish 140 mrbe; televizion eshittirishlarni tomosha qilish vaqtida olinadigan nurlanish 100 mrbe;

nurlanishning boshqa turlari 80 mrbe ga yaqin.

Bular yil davomida yutiladigan o'rtacha dozalar. Ammo bunday doza inson salomatligiga hech qanday ta'sir ko'rsatmaydi. Chunki inson biologik obyekt sifatida ana shunday uzluksiz nurlanish sharoitida shakllangan va uning organizmi bunday dozalariga o'rganib qolgan. Radiologik himoya bo'yicha xalqaro komissiyaning ma'lumotiga ko'ra, yiliga 35 rbe dan yuqori bo'lgan dozalar xavfli hisoblanadi.

3. Ehtiyot choralari va himoyalanih. Yadro nurlanishlari yana shunisi bilan xavfliki, ularning hatto yuqori dozalarini ham insonning sezgi organlari sezmaydi. Shuning uchun radioaktiv

moddalar bilan ishlaganda ehtiyot bo'lish va xizmat instruksiyalarida yozilgan yo'l - yo'riqlarga qat'iy rioya qilish zarur.

Radioaktiv nurlanishga yo'liqmaslik uchun, undan himoyalaniş zarur. Hech qanday holatda ham radioaktiv moddani qo'lga olish mumkin emasligini, buning uchun uzun dastali maxsus qisqichlardan foydalanish zarurligini esdan chiqarmaslik zarur.

Radioaktiv yadrolardan uchib chiquvchi α - zarralardan himoyalaniş ancha oson, chunki ular havoda bir necha santimetr masofagacha ucha oladi va kiyim-bosh tomonidan ushlab qolinadi. β - nurlanish esa havoda 5 m gacha masofani o'ta oladi, shuning uchun undan himoyalaniş ancha murakkab. Shu sababli β - aktiv moddalarni, albatta, maxsus zavod upakovkalarida saqlash zarur. γ - nurlanish bir metr qalinlikdagi suvdan va 6 sm qalinlikdagi qo'rg'oshin listidan bemalol o'tib ketadi, shuning uchun undan himoyalaniş ancha murakkab. γ - nurlanishdan saqlanish uchun radioaktiv moddani maxsus qo'rg'oshin konteynerlardan chiqarmaslik kerak, konteynerning qopqog'ini ochganda esa γ - nurlanish to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalishini esda tutish kerak.

Neytronlar chiqaruvchi moddalar bilan ishlashda nihoyatda ehtiyot bo'lish zarur: tez harakatlanuvchi neytronlar har qanday moddada juda kuchsiz yutiladi. Radioaktiv moddalar bilan ishlanadigan hamma hollarda nurlanish devordan va laboratoriya asboblardan qaytishi mumkinligi ko'zda tutilishi zarur.

Radioaktiv moddalar bilan ishlashda nihoyatda batartib bo'lish, ish joyi va laboratoriyaning radioaktiv ifloslanishiga yo'l qo'ymaslik kerak. Masalan, radioaktiv moddalarni kanalizatsiyaga yuvib yuborish, radioaktiv changni havoga uchirib yuborish mumkin emas. Bundan sizning birga ishlaydigan o'rtoqlaringiz ham, siz ishlayotgan laboratoriyadan uzoqda bo'lgan, mutlaqo notanish kishilar ham zararlanishi mumkinligini esdan chiqarmaslik zarur.

63- §. Tayyor fotosuratlar bo'yicha zaryadli zarralarning trek (iz) larini o'rganish

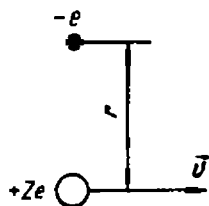
(Laboratoriya ishi)

Ishning maqsadi: Vilson kamerasida fotosuratga olingan zaryadli zarralar harakatining fotosuratlarini o'qishda elementar ko'nikmalar hosil qilish.

Asbob-uskunalar: 1) trek (iz) larning fotosuratlari; 2) tiniq (shaffof) qog'oq; uchburchak lineyka (go'niya); 4) sirkul; 5) qalam.

Tayyorgarlik ishlari

Vilson kamerasi yordamida harakatlanuvchi zaryadli zarralarning treki (izi) kuzatiladi va fotosurati olinadi. Zarraning treki suv yoki spirtning mikroskopik tomchilari tizimidan iboprat, ular bu suyuqliklar o'ta to'yingan bug'larining ionlarda kondensatsiyalanishi tufayli hosil bo'ladi. Ionlar esa kamerada bo'lgan bug' va gazlarning atom va molekulari bilan zaryadli zarralarning o'zaro ta'siri natijasida hosil bo'ladi.



176- rasm.

Aytaylik, Ze zaryadli zarra atom elektronidan r masofada v tezlik bilan harakatlansin (176- rasm). Elektronning bu zarra bilan kulon o'zaro ta'siri tufayli, elektron zarraning harakat chizig'iga perpendikular yo'nalishda qandaydir $\Delta p = F\Delta t$ impuls oladi. Zarra va elektronning o'zaro ta'siri zarra trayektoriyaning elektronga eng yaqin bo'lgan va r masofa bilan taqqoslanadigan, masalan, $2r$ ga teng bo'lgan qismidan o'tish vaqtida eng samarali bo'ladi. U holda

$$\Delta p = F\Delta t$$

formuladagi Δt — zarra $2r$ masofani o'tishi uchun ketgan vaqt bo'ladi:

$$\Delta t = \frac{2r}{v},$$

F esa zarra va elektronning ana shu vaqt oralig'idagi o'rtacha o'zaro ta'sir kuchi bo'ladi.

Kulon qonuniga ko'ra F kuch zarra va elektronning Ze va e zaryadlari ko'paytmasiga to'g'ri va ular orasidagi masofaning kvadratiga teskari proporsional bo'ladi. Demak, zarra va elektronning o'zaro ta'sir kuchi taxminan

$$F = \frac{Ze e}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

ga teng (shuning uchun taxminanki, bizning hisob - kitoblarda atom yadrosining, boshqa elektronlar va muhit atomlarining ta'siri hisobga olinmagan). U holda

$$\Delta p = F\Delta t = \frac{Ze e}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot \frac{2r}{v} = \frac{Ze e}{2\pi\epsilon_0 r v}$$

bo'ladi.

Shunday qilib, elektron olgan impuls uning yaqinidan o'tuvchi zarraning zaryadiga to'g'ri, tezligiga teskari proporsional ekan.

Elektron olgan impulsning qandaydir yetarli katta qiymatida elektron atomdan uzilib chiqadi va ionga aylanadi. Zarraning zaryadi qancha katta va tezligi qancha kichik bo'lsa, elektron olgan impuls, demak, uning atomdan chiqib ketish ehtimolligi shuncha katta bo'ladi (so'nggi formulaga q.) binobarin, zarra o'tgan yo'lining har birligida shuncha ko'p ionlar, demak, suyuqlik tomchilari paydo bo'ladi. Bundan zarra treklari fotosuratini „o'qish“ uchun zarur bo'lgan quyidagi xulosalar kelib chiqadi:

1. Boshqa shartlar bir xil bo'lganda, katta zaryadli zarraning treki qalinroq bo'ladi. Masalan, tezliklar bir xil bo'lganda α - zarraning treki proton va elektronnikidan qalin bo'ladi.

2. Agar zarralar bir xil zaryadga ega bo'lsa, tezligi kichik bo'lgan, sekinroq harakatlanuvchi zarraning treki qalinroq bo'ladi. Bunda ravshanki, zarraning harakat oxiridagi treki harakat boshidagiga qaraganda qalinroq bo'ladi, chunki zarraning energiyasi muhit atomlarini ionlashtirishga sarflanganligi tufayli uning tezligi kamayib boradi.

3. Radioaktiv moddadan har xil masofalardagi nurlanishni tekshirish shuni ko'rsatadiki, har bir radioaktiv modda uchun xarakterli bo'lgan qandaydir masofada γ - nurlanishning ionlashtiruvchi va boshqa ta'sirlari keskin uzilib qoladi. Bu masofa zarraning *yugurish masofasi* deyiladi. Ravshanki, yugurish masofasi zarraning energiyasiga va muhitning zichligiga bog'liq bo'ladi. Masalan, 15°C temperatura va normal bosimdagi havoda boshlang'ich energiyasi 4,8 MeV bo'lgan α - zarraning yugurish masofasi 3,3 sm, boshlang'ich energiyasi 8,8 MeV bo'lgan α - zarraning yugurish masofasi esa 8,5 sm bo'ladi. Qattiq jism, masalan, fotoemulsiyada ana shunday energiyali α -zarraning yugurish masofasi bir necha o'n mikrometrga teng.

Agar Vilson kamerasi magnit maydonga joylashtirilgan bo'lsa, unda harakatlanuvchi zaryadli zarralarga (zarra tezligi maydon chiziqclariga perpendikular bo'lgan holda)

$$F = ZevB$$

Lorens kuchi ta'sir etadi, bu yerda Ze — zarraning zaryadi, v — uning tezligi, B — magnit maydon induksiyasi. Chap qo'l qoidasi Lorens kuchi hamma vaqt zarra tezligiga perpendikular ravishda

yo'nalishini, binobarin, markazga intilma kuch bo'lishini ko'rsatishga imkon beradi, shuning uchun

$$ZevB = \frac{mv^2}{r}$$

bo'ladi, bu yerda m — zarra massasi, r — uning treki (izi) ning egrilik radiusi, so'nggi tenglikdan

$$r = \frac{mv}{ZeB} \quad (1)$$

topiladi.

Agar zarra tezligi yorug'likning vakuumdagi tezligidan ko'p marta kichik bo'lsa ($v \ll c$, ya'ni zarra relyativistik bo'lmasa), u holda uning kinetik energiyasi va egrilik radiusi orasidagi munosabat (v ni (1) dan topib, $mv^2/2$ ga qo'yilganda)

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{(ZeBr)^2}{2m} \quad (2)$$

ko'rinishga ega bo'ladi.

Topilgan formulalar asosida zarralar treklarining fotosuratlarini tahlil qilish uchun zarur bo'ladigan yana quyidagi xulosalarni qilish mumkin.

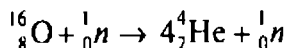
1. Trekning egrilik radiusi zarraning massasiga, tezligiga va zaryadiga bog'liq (1). Zarraning massasi va tezligi qancha kichik va uning zaryadi qancha katta bo'lsa, egrilik radiusi shuncha kichik (zarraning to'g'ri chiziqli harakatdan og'ishi shuncha katta) bo'ladi. Misol uchun, bitta magnit maydonda va bir xil boshlang'ich tezliklarda elektronning og'ishi protonning og'ishidan katta bo'ladi, fotosuratda esa elektron treki proton trekingi radiusiga qaraganda kichikroq radiusli aylana ekanligi ko'rinadi. Tez harakatlanuvchi elektron sekin harakatlanuvchi elektronga qaraganda kamroq og'adi. Geliyning bitta elektroni yetishmaydigan atomi (He^+ ion) α -zarraga (ikkita elektroni yetishmaydigan geliy atomiga) qaraganda kamroq og'adi, chunki massalari bir xil bo'lgani holda α -zarraning zaryadi bir karra ionlashgan geliy atomining zaryadidan katta bo'ladi. Zarra energiyasi bilan trekning egrilik radiusi orasidagi (2) bog'lanishdan ham zarra energiyasi qancha katta bo'lsa, uning to'g'ri chiziqli harakatdan og'ishi shuncha katta bo'lishi ko'rinadi.

2. Yugurish masofasi oxirida zarraning tezligi kamaygani sababli, trekning egrilik radiusi ham kamayadi (to'g'ri chiziqli

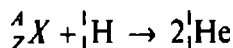
harakatdan og'ish ko'payadi). Egrilik radiusining o'zgarishiga qarab zarraning harakat yo'nalishini aniqlash mumkin — harakatning boshlanishi trekning egriligi kichik bo'lgan joyda bo'ladi.

3. Trekning egrilik radiusini o'lchab, ayrim boshqa kattaliklarni bilgan holda zarra zaryadining massasiga nisbati — zarraning Ze/m solishtirma zaryadini hisoblab topish mumkin. Bu nisbat zarraning muhim xarakteristikasi hisoblanadi. U zarraning qanday zarra ekanligini aniqlashga imkon beradi, uni indentifikatsiya qilishga, ya'ni boshqa ma'lum zarracha bilan solishtirishga imkon beradi.

Agar Vilson kamerasida atom yadrosining bo'linish reaksiyasi yuz bergan bo'lsa, yemirilish mahsulotlari bo'lgan zarralarning treklari bo'yicha qanday yadro yemirilganligini aniqlash mumkin. Buning uchun yadro reaksiyalarida to'liq elektr zaryadining va to'liq nuklonlar sonining saqlanish qonunlari bajarilishini eslash kerak. Masalan, quyidagi



reaksiyada reaksiyaga kiruvchi zarralarning yig'indi zaryadi 8 ga teng ($8 + 0$), reaksiya mahsulotlari bo'lgan zarralarning yig'indi zaryadi ham 8 ga teng ($4 \cdot 2 + 0$). Chap tomondagi nuklonlarning to'liq soni 17 ga ($16 + 1$), o'ng tomondagilarining soni ham 17 ga ($4 \cdot 4 + 1$) teng. Agar qanday element yadrosi bo'linganligi ma'lum bo'lmaganda edi, oddiy arifmetik hisoblashlar asosida uning zaryad sonini topish, so'ngra D. I. Mendeleyev jadvali bo'yicha bu elementning nomini aniqlash mumkin bo'lar edi. Nuklonlar to'liq sonining saqlanish qonuni qaralayotgan yadro bu elementning qaysi izotopiga tegishli ekanini aniqlash imkonini beradi. Misol uchun,



reaksiyada $Z = 4 - 1$ va $A = 8 - 1$, demak, 7_3X yadro litiyning izotopiga tegishli ekan.

Topshiriq. Fotosuratda yengil element yadrolarining treklari (ular yugurish masofasining so'nggi 22 santimetri) berilgan (177- rasm). Yadrolar rasmga perpendikular yo'nalgan $B = 2,17T$ induksiya magnit maydonda harakatlanadi. Barcha yadrolarning boshlang'ich tezliklari bir xil va magnit chiziq'larga perpendikular.

1. Magnit maydon induksiya vektorining yo'nalishini aniqlang. Nima sababdan zarralarning trayektoriyalari aylanalarning yo'la-

ridan iborat bo'lishini tushuntiring. Har xil yadrolar trayektoriyalarining egriligi har xil bo'lishiga sabab nima? Nima sababdan har bir trayektoriya-ning egriligi zarra yugurish masofasi-ning boshidan oxiriga tomon o'zga-rib boradi?

2. Har xil yadrolar treklarining qalinligi har xil bo'lishining sababini tushuntiring. Nima sababdan har bir zarraning treki yugurish masofasi-ning oxirida boshlanishidagiga qara-ganda qalinroq bo'ladi?

3. Fotosurat ustiga tiniq qog'oz (kalka) varag'ini qo'ying va asta-se-kin unga trekni hamda fotosuratning

o'ng qismini ko'chiring. I zarra trekining taxminan yugurish masofasi boshidagi va oxiridagi egrilik radiuslarini o'lchang va I zarra protonga tenglashtirilganini bilgan holda, yugurish vaqtida zarraning energiyasi qanchaga o'zgarganligini aniqlang.

4. III zarra trekining yugurish boshlanishidagi egrilik radiusini o'lchang. Bu zarraning boshlang'ich tezligi protonning (pastki trek) boshlang'ich tezligiga tengligini bilgan holda III zarra uchun zaryadning massaga nisbati q/m ni hisoblang. Olingan son bo'yicha bu zarra qaysi elementning yadrosi ekanini aniqlang.

Tekshirish uchun savol. II va IV treklar qaysi yadroga tegishli — deyteriygami yoki tritiyga?



181- rasm

9- MASHQ

1. ${}_{10}^{20}\text{Ne}$ yadrosining massasi 19, 9924 m.a.b. ga teng. Uning solishtirma bog'lanish energiyasini aniqlang.

2. Gamma - kvant ${}^3_1\text{H}$ deytron yadrosi bilan to'qnashib, uni proton va neytronga ajratadi. γ - kvantning qanday energiyasida bu reaksiya bo'lishi mumkin?

3. ${}^8_8\text{O}$ yadrosidan bitta neytronni chiqarish uchun qancha energiya kerak bo'ladi? Neytral ${}^{15}_8\text{O}$ atomning massasi 15, 0030 m.a.b. ga teng.

4. Rezerfordning atom yadrosini aniqlash bo'yicha o'tkazgan tajribasidan olingan ma'lumotlardan foydalanib, massasi 12 m.a.b. ga teng bo'lgan ${}^{12}_6\text{C}$ uglerod atomi yadrosidagi moddaning zichligini aniqlang.

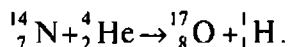
XII BOBNING ASOSIY MAZMUNI

1. Atomlarning yadrolari proton va neytronlardan iborat. Agar yadro shar shaklida deb hisoblansa, uning diametri 10^{-15} m tartibida bo'ladi.

2. Yadrolarning tarkibiga kiruvchi proton va neytronlar orasida yadroviy kuchlar ta'sir etadi. 10^{-15} m tartibdagi masofalarda yadroviy kuchlar elektrostatik o'zaro ta'sir kuchlaridan taxminan 100 marta katta, 10^{-14} m masofalarda esa ular juda kichik bo'ladi.

3. Yadroni proton va neytronlarga to'liq ajratib yuborish uchun zarur bo'lgan energiya yadroning bog'lanish energiyasi deyiladi.

4. Mikrozaralarning atom yadrosi bilan to'qnashuvidan boshlanib, atom yadrosining o'zgarishi bilan tugaydigan jarayonlar yadro reaksiyalari deyiladi. Yadro reaksiyalari saqlanish qonunlariga qat'iy rioya qilingan holda o'tadi. Birinchi sun'iy yadro reaksiyasi 1919 - yili E. Rezerford tomonidan amalga oshirilgan. Bu reaksiya davomida arotning yadrosi kislorod yadrosiga aylanadi:



5. Yadrolarning bitta yoki bir nechta zarralar chiqarib, o'z - o'zidan yemirilishi va buning natijasida yangi yadro hosil bo'lishi *radioaktivlik hodisasi* deb yuritiladi. Bu reaksiya davomida azotning yadrosi kislorod yadrosiga aylanadi.

6. Yengil yadrolarning og'irroq yadrolarga birikish reaksiyasi va og'ir yadrolarning yengilroq yadrolarga bo'linish reaksiyasi energiya ajralishi va tinchlikdagi massalarning kamayishi bilan yuz beradi.

XIII bob. ATOM ENERGETIKASINING FIZIK ASOSLARI

Insoniyat moddiy va ma'naviy boyliklar yaratmasdan yashay olmaydi. Ularni ishlab chiqarish uchun esa ish bajarish zarur. Ammo har qanday ish oxir-oqibatda harakatning bir turini boshqa turga aylantirish bilan bog'liq. Har qanday harakatning universal o'lchovi — energiya. Demak, insoniyatga energiya kerak.

Insoniyatning energiyaga bo'lgan ehtiyoji so'zsiz ortib bormoqda. Sanoatning barcha sohalaridagi, qishloq xo'jaligi, transport, aloqa va xalq xo'jaligining boshqa tarmoqlaridagi mehnat unumdorligi energiya bilan ta'minlanganlikka bog'liq. Inson foydalanadigan barcha boyliklarga qandaydir energiya sarflangan. Mamlakatning farovonligi uning energiya bilan ta'minlanganlik darajasiga bog'liq.

Oxirgi paytlargacha insoniyat energiya olish uchun asosan tabiiy gaz, ko'mir, neft, slanes, torfdan foydalanib keldi. Yoqilg'ining bu turlari, birinchidan, barcha mamlakatlarning hududlarida bir tekis taqsimlanmagan, ikkinchidan, ayniqsa, neft zaxiralari chegaralangan. Bu shunga olib keladiki, yoqilg'ining ayrim turlarini uzoq masofalarga tashish (bu esa iqtisodiy jihatdan foydasiz), boshqa turlarini esa, masalan, neftni, uning zaxiralari chegaralanganligi sababli tejab sarflash zarur bo'ladi. Yoqilg'ining hamma turlari kimyo sanoati uchun qimmatli xom ashyo hisoblanadi. Insoniyat oldida turgan energiya yetishmasligi muammosini yadro reaksiyalarida ajraladigan energiyadan foydalanish bilan ma'lum darajada hal etish mumkin.

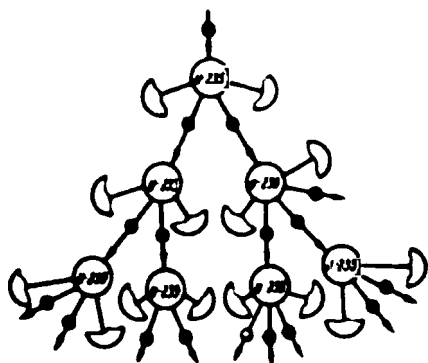
64- §. Yadro reaktori. Atom elektr stansiyasi

Yadro reaksiyalarini o'rganish jarayonida biz $^{235}_{92}\text{U}$ yadrosining bo'linish reaksiyasi energiya ajralishi bilan yuz berishini ko'rdik. Bu reaksiyalarda reaksiyaga kirishuvchi moddaning massa birligi hisobiga ajraladigan energiya kimyoviy reaksiyalardagiga qaraganda millionlab marta katta. Shuning uchun XX asr o'rtalarida fan va texnikaning barcha kuchlari yadro energiyasini egallashga, uni ajratib olish va qo'llashni o'rganishga yo'naltirildi.

1. Zanjir reaksiya. Yadro energiyasining ajralishi uchun uran yadrosining bo'linishida yangi neytronlarning chiqishi prinsipl ahamiyatga ega. Aniqlanishicha, aniq sharoitlarda uranda yadrolar bo'linishining zanjir reaksiyasi yuz berishi mumkin ekan.

Aytalik, $^{235}_{92}\text{U}$ uran izotopining yetarli katta bo'lagida bitta neytron ta'sirida yadrolardan birining bo'linish reaksiyasi yuz bersin va buning natijasida ikkita neytron ajralsin. Bu neytronlar yana ikkita yadroning bo'linishiga sabab bo'ladi va bunda to'rtta neytron ajraladi, ular yana to'rtta yadroning bo'linishiga sabab bo'ladi va h.k. (178- rasm). Bunday reaksiya yadro bo'linishining zanjir reaksiyasi, deb yuritiladi. Uran-235 bo'linishining zanjir reaksiyasi nazariyasini 1938- yili Y. B. Zeldovich va Y. B. Xaritonlar ishlab chiqishgan.

Amalda yadrolar bo'linishida chiquvchi barcha neytronlar yangi yadrolar tomonidan birlashtirib olinmaydi. Neytronlarning bir qismi uran bo'lagidan chiqib ketadi, bir qismi esa aralashmalarining atomlariga tushadi va uran yadrolarining bo'linishlarini yuzaga keltirmaydi. Shuning uchun uran yadrolar bo'linishining zanjir



178- rasm.

reaksiyasi hamma vaqt ham sodir bo'lavermaydi. Zanjir reaksiya yuz berishi uchun,

birinchidan, $^{235}_{92}\text{U}$ izotopning bo'lagi yetarlicha katta bo'lishi kerak. Uran bo'lagining o'lchamlari katta bo'lganda bo'linish reaksiyasi davomida ajraluvchi neytronlarning ko'p qismi uran bo'lagining chekkasiga yetguncha reaksiyaga kirishib ulguradi. Uran bo'

lagini neytronlarni qaytaruvchi maxsus g'ilofga joylashtirish ham zanjir reaksiyaning amalga oshishiga yordam beradi.

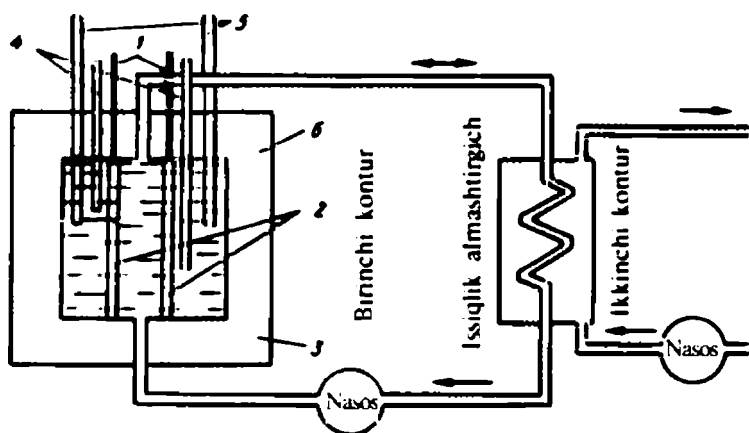
2. Kritik massa. Uran yadrolari bo'linishining zanjir reaksiyasi amalga oshishi uchun yadrolarning bo'linishi natijasida hosil bo'ladigan neytronlarning ko'p qismi uran bo'lagidan chiqib ketmasligi, balki yadrolar tomonidan birlashtirib olinishi kerak. Buning uchun uran bo'lagining massasi qandaydir chegaraviy qiymatdan kichik bo'lmasligi lozim. Uran massasining zanjir reaksiya bo'lishi uchun zarur bo'lgan minimal qiymati *kritik massa* deb yuritiladi. Uranning massasi kritik massadan kichik bo'lganda hosil bo'luvchi neytronlarning ko'p qismi yadrolarning bo'linishini yuzaga keltirmay tashqariga chiqib ketadi, shuning uchun yadrolar bo'linishining zanjir reaksiyasi yuz bermaydi. Uranning massasi kritik massadan katta bo'lganda neytronlar soni tez ortadi va reaksiya portlash xarakteriga ega bo'ladi. Atom bombasining ishlashi ana shu prinsipga asoslangan.

3. Issiqlik neytronlari yadro reaktori. Uran yadrolarining bo'linishida ajraluvchi energiyadan tinchlik maqsadlarida foydalanish uchun zanjir reaksiya boshqariladigan bo'lishi kerak. U uyurmasimon rivojlanmasligi kerak, balki boshqarilishi mumkin bo'lgan qandaydir doimiy tezlik bilan uzoq vaqt davom etishi zarur. Og'ir yadrolar bo'linishining boshqariladigan zanjir reaksiyasini amalga oshiradigan qurilma yadro reaktori deyiladi. Yadro reaktorlarining ikki turi mavjud: sekin (issiqlik) neytronlar yadro reaktori va tez neytronlar yadro reaktori. Sekin neytronlar yadro reaktorlarida yadro yoqilg'isi $^{235}_{92}\text{U}$ bo'ladi. Tabiiy uranda 0,7

foiz uran-235 izotopi bo'lganligi sababli, u yadro reaktorida foydalanishdan oldin boyitiladi.

Sekin neytronlar yadro reaktorlarida ishlatiladigan uran sterjenlarida 5 foizgacha uran-235 bo'ladi. 179- rasmda sekin neytronlar yadro reaktorining soddalashtirilgan sxemasi ko'rsatilgan. Uran sterjenlari (1) suvga tushirilgan germetik berk po'lat quvurlar (2) ga tushiriladi. Alohida uran sterjenining massasi kritik massadan kichik, shuning uchun bitta sterjenda uran-235 yadrolarining ayrim o'z-o'zidan yemirilishlari yuz bersada, zanjir reaksiyasi bo'lishi mumkin emas, hamma sterjenlar reaktorga tushirilgandan keyin uranning massasi kritik massadan katta bo'lib qoladi. Ammo zanjir reaksiya boshlanmaydi, bunga ikki holat to'sqinlik qiladi. Birinchidan, yadrolarning bo'linishida ajraluvchi neytronlar katta tezlikka ega bo'ladi va uran-235 yadrolari tomonidan ushlab qolinmaydi, ikkinchidan, neytronlar soni zanjir reaksiyaning boshlanishi uchun yetarli bo'lmaydi, chunki ular tezligi katta bo'lgani sababli tezda reaktorning uran sterjenlari joylashgan aktiv zonasidan chiqib ketadi. Shunday qilib, zanjir reaksiya boshlanishi uchun neytronlar sekinlashtirilishi va ularning aktiv zonadan chiqib ketishiga yo'l qo'yilmaslik kerak.

Birinchi muammo suv yordamida hal etiladi. Uran sterjenlaridan chiqqan neytronlar suvga kirib, vodorod va kislorod atomlarining yadrolari bilan to'qnashadi, ularga o'z energiyasining bir qismini beradi va sekinlashadi. Bunda suv isiydi. Ikkinchi muammoni hal etish uchun aktiv zona neytronlarni yaxshi qaytaradigan materialdan qilingan 3 ekran bilan o'raladi. Agar bu



179- rasm.

shartlar bajarilsa, reaktorda uran-235 yadrolari bo'linishining zanjir reaksiyasi boshlanadi.

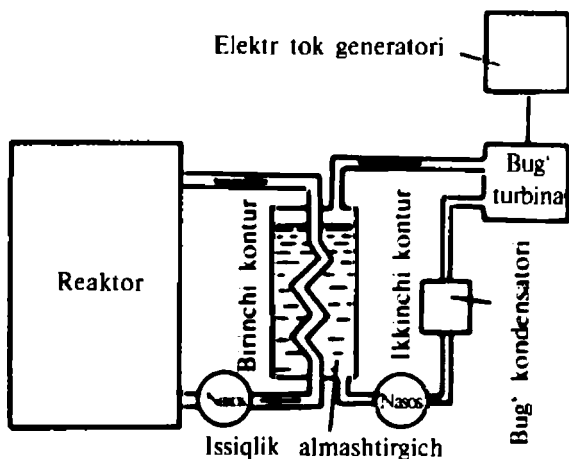
Agar sekin neytronlar sonini boshqarish bo'yicha zaruriy choralar ko'rilmasa, reaktorning aktiv zonasida yadro portlashi yuz berishi mumkin.

Zanjir reaksiyani boshqarish neytronlarni kuchli yutuvchi materiallar (borli po'lat, kadmiy)dan tayyorlangan 4 sterjenlarni tushirish va ko'tarish bilan amalga oshiriladi. Bu sterjenlarni aktiv zonaga qisman va to'liq kiritish bilan undagi neytronlar sonini, binobarin, uran-235 izotopi yadrolarining bo'linish tezligini boshqarish mumkin. Reaksiyaning to'satdan tezlashib ketishining oldini olish uchun 5 avariya sterjeni qilingan, u aktiv zonaga tushirilsa, zanjir reaksiya darhol to'xtaydi.

Aktiv zonadan (agar u to'silmasa) neytronlar va γ -nurlarning intensiv oqimi chiqadi. Shuning uchun aktiv zona neytronlarni qaytaruvchi va γ -nurlanishni yutuvchi moddadan qilingan 6 sovut bilan o'raladi. Uran-235 yadrolarining bo'linishi natijasida, neytronlar bilan birga, ko'p sonli parchalangan atom bo'laklari ham ajraladi, ular suvdan o'tib, uni yuqori temperaturagacha isitadi. Isigan suvni nasoslar yordamida reaktor, quvurlar va issiqlik almashtirgichdan iborat berk kontur bo'ylab harakatga keltiriladi. Isigan suv issiqlik almashtirgichda ikkinchi kontur bo'yicha aylanuvchi suvni isitadi. Shunday qilib, bunday reaktorda suv ikkita funksiyani bajaradi: u uran-235 yadrolarining bo'linish reaksiyalarida ajraluvchi neytronlarni sekinlashtiradi va issiqlikni olib ketadi. Shuning uchun bunday reaktorlar *suv—suvli* reaktor deb yuritiladi. Agar neytronlarni sekinlatgich grafit bo'lsa, grafit taxlamidagi maxsus kanallar bo'yicha issiqlik tashuvchi (suv, havo, azot, karbonat anhidrid yoki eritilgan natriy) aylanadi, u issiqlikni reaktordan olib, issiqlik almashtirgichdagi, ikkinchi konturda aylanuvchi suvga uzatadi. Bu holda sekinlatuvchi va issiqlik tashuvchi funksiyalari ajratilgan. Ikkinchi konturdagi suv olingan issiqlik hisobiga yuqori bosimli bug'ga aylanadi.

Shunday qilib, yadro reaktori bug'-kuch qurilmasining „o'txonasi“ bo'ladi, unda odatdagi kimyoviy yonilg'i o'rniga yadro yonilg'isi — uran-235 ning bo'linuvchi izotopi ishlatiladi.

4. Atom elektr stansiyasi (AES). Yadro reaktorlarida ajraluvchi energiya elektr energiyasi olish uchun ishlatiladi. AES — bu aslida elektr tok generatorlari bug' turbinalari yordamida aylantiriladigan issiqlik elektr stansiyasidir (180- rasm).



180- rasm

Ammo uning odatdagi issiqlik elektr stansiyalaridan farqi shuki, unda turbinalarni aylantirish uchun zarur bo'lgan yuqori bosimli bug' yadro reaktorlarida ajraluvchi energiya hisobiga hosil qilinadi.

Birinchi atom elektr stansiyasi 1954-yili rus fizigi I. V. Kurchatov rahbarligida qurilgan edi; uning quvvati atigi 5 MW ni tashkil etgan.

- ?
1. Uran yadrosining bo'linish reaksiyasini yozing va bu reaksiyada ajraluvchi energiyani hisoblang.
 2. 1 kg mazut yonganda 40 000 kJ energiya ajraladi. Bu energiyani 1kg uran ${}_{92}^{235}\text{U}^*$ yemirilganda ajraluvchi energiya bilan solishtiring.
 3. Qanday reaksiyani zanjir reaksiya deyiladi? Nima sababdan uran ${}_{92}^{235}\text{U}^*$ da zanjir reaksiya bo'lishi mumkin?
 4. Kritik massa nima?
 5. Sekin neytronlar yadro reaktorining tuzilishi va ishlash prinsipi 179- rasm asosida tushuntiring.
 6. Atom elektr stansiyasining ishlash prinsipi tushuntiring.

65- §. Termoyadro reaksiyasi. Termoyadro energetikasining istiqbollari

Kuchli energetika bazasi mamlakat iqtisodiyotini har tomonlama rivojlantirishning, ishlab chiqarish texnikasi va texnologiyasining barcha tarmoqlarini takomillashtirishning va xalq farovonligini

og'ishmay oshirishning asosi hisoblanadi. Shuning uchun energetikani va ayniqsa, elektr energetikasini rivojlantirishga alohida e'tibor beriladi. Ammo elektr stansiyalarida faqat yoqilg'i, gidravlik va yadro energiyalari elektr energiyasiga aylantiriladi. Zaminimiz yoqilg'i va yadro yonilg'isining energetika ehtiyojlarini uzoq yillar davomida qanoatlantiradigan darajadagi katta va boy zaxiralariga ega. Ammo bular ham abadiy emas va qayta tiklanmaydi. Energiyaning gidravlik manbalari qayta tiklanadi, ammo ular chegaralangan. XX asr o'rtalariga kelib yangi energiya manbalarini axtarib topish muammosi paydo bo'ldi.

Olimlarning e'tiborini atom yadrolarining sintez reaksiyasi o'ziga qaratdi. Oldingi 64-§ da uran-235 yadrosining bo'linish reaksiyasida 208 MeV energiya ajralishi, vodorod yadrolaridan geliy yadrosining sintezi reaksiyasida esa 26 MeV energiya ajralishi ko'rsatilgan edi. Birinchi holda bitta nuklonga

$$E_1 = \frac{208}{235} = 0,9 \text{ MeV}$$

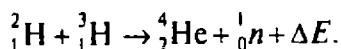
energiya, ikkinchi holda esa

$$E_2 = \frac{26}{4} = 6,5 \text{ MeV!}$$

energiya to'g'ri keladi. Shunday qilib, energetika nuqtayi nazaridan yadrolarning sintez reaksiyasi, og'ir yadrolarning bo'linish reaksiyasiga qaraganda foydaliroq ekan.

1. Termoyadro reaksiyasi. Geliy yadrolari sintez reaksiyasini amalga oshirish uchun, ulkan elektrostatik itarishish kuchlarini yengib, atom yadrolarini juda qisqa — 10^{-15} m masofalargacha yaqinlashtirish kerak. Vodorod yadrolarining bunday yaqinlashuvi faqat bir necha yuz million gradus temperaturagacha qizdirilgan vodorod plazmasidagina bo'lishi mumkin. Bunday temperaturada yadrolarning kinetik energiyasi ular orasidagi elektrostatik itarishish kuchlarini yengishga yetarli bo'ladi. Bunday reaksiyalar *termoyadro reaksiyalari* deb yuritiladi.

Birinchi termoyadro reaksiyasi vodorod bombasida amalga oshirilgan. Unda vodorodning ^2_1H (deyteriy) va ^3_1H (tritiy) izotoplaridan geliy yadrosining sintezi amalga oshirilgan:



2. Boshqariluvchi termoyadro reaksiyalari. Vodород bombasidagi termoyadro reaksiyasini boshqarib bo'lmaydi. Boshqariluvchi termoyadro reaksiyasini amalga oshirish uchun 10^8 K tartibidagi temperaturani hosil qilish va ushlab turish kerak. Bundan tashqari, olingan gaz plazmasini berilgan hajmda ushlab turish zarur, chunki plazmaning idish devorlariga tegishi uning sovishiga olib keladi.

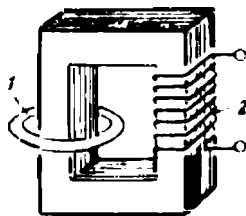
Fiziklarning kuch-g'ayrati boshqariluvchi termoyadro reaksiyasini yaratishga yo'naltirilgan. Optimal yechimlarni topish yo'lidagi uzoq muddatli izlanishlardan, ko'p sonli qiyinchiliklarni yengish borasidagi kurashlardan so'ng, eng istiqbolli yo'nalishlar aniqlandi va ularga asosiy kuch-g'ayrat yo'naltirildi. Hozirda bu muammoni hal etishning ikki yo'nalishi belgilandi: termoyadro reaksiyasini „Tokamak“ tipidagi qurilmalarda tinch yadro „alan-gasi“ shaklida va yadro yonilg'isi kichik „tabletka“larining „mikro-portlashlari“ ko'rinishida amalga oshirish.

3. „Tokamak“ tipidagi qurilma. Birinchi marta yaratilgan „Tokamak“ tipidagi qurilmada plazmani qizdirish uchun kuchli elektr razryadidan, uni ushlab turish uchun esa magnit maydondan foydalaniladi. „Tokamak“da plazma / toroidal kamerada

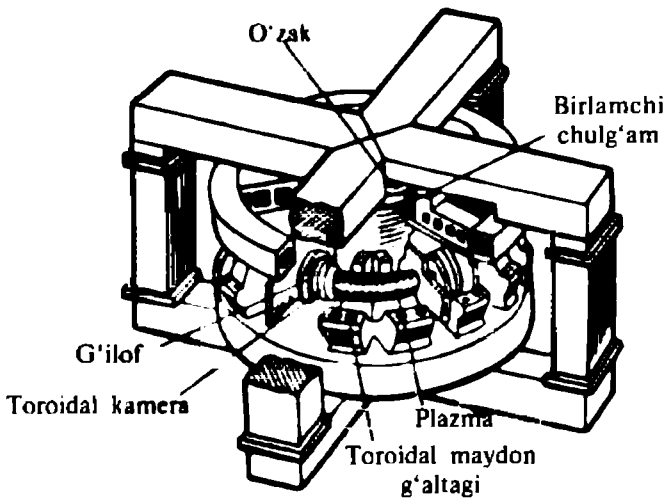
hosil qilinadi (181- rasm). Kamera past bosimli deyteriy (^2_1H) bilan to'ldiriladi. Toroidal kamera impuls transformatorining ikkilamchi o'rami bo'ladi, uning 2 birlamchi o'rami juda katta sig'imli kondensatorlar batareyasiga ulanadi (181- rasmda ko'rsatilmagan). Kondensatorlar batareyasi transformatorning birlamchi o'rami orqali zaryadsizlanganda toroidal kamerada uyurmaviy elektr maydon yuzaga keladi, u ishchi gazni ionlashtiradi va undan kuchli tok impulsini hosil qiladi. Elektr toki ishchi gazni qattiq qizdiradi. Bir necha o'n million kelvingacha temperaturali plazma hosil bo'ladi.

Bundan tashqari, toroidal kamerada hosil qilingan elektr toki ikkinchi muhim funksiyani bajaradi: uning magnit maydoni elektron va ionlarni plazma ustunida ushlab turadi va bu bilan ularning kamera devorlariga to'g'ridan to'ri tegishiga to'sqinlik qiladi.

Plazma shnurining egilishlarga va boshqa mumkin bo'lgan shakl o'zgarishlariga nisbatan turg'un bo'lishi uchun „Tokamak“da induksiya chiziqlari plazmadagi tok yo'nalishiga parallel bo'lgan kuchli magnit maydon hosil



181- rasm.



182- rasm.

qilinadi. Bu stabilizatsiyalovchi toroidal magnit maydonni toroidal kameraning tashqarisidan o'ralgan o'ramlar hosil qiladi.

„Tokamak-10“ qurilmasining umumiy ko'rinishi 182- rasmda berilgan. Unda transformatorning magnitoprovodi, toroidal magnit maydonning o'ramlari va vakuum kamerasining detallari ko'rinib turibdi. Elektr ta'minot, vakuum hosil qilish, boshqarish sistemalari va o'lchov - diagnostika kompleksi boshqa xonalarga joylashgan. „Tokamak-10“ da yuqori temperaturali plazma 0,06 s gacha ushlab turiladi, bundan biroz kam vaqt davomida toroidal kamerada geliy sintezi termoyadro reaksiyasi yuz beradi.

Shuni ta'kidlash lozimki, ajraladigan termoyadro energiyasi, hozircha plazma hosil qilish uchun sarflangan energiyaga nisbatan juda kichik. Ammo termoyadro reaksiyalari natijasida hosil bo'ladigan neytronlar oqimi „Tokamak“da intensiv termoyadro reaksiyasi borayotganligidan dalolat beradi.

Termoyadro reaksiyasining mavjud bo'lish vaqtini ko'paytirish yo'llari qurilmaning o'lchamlarini kattalashtirish bilan bog'liq. Shuning uchun hozir shunday tipdagi katta „Tokamak-20“ qurilmasi qurilmoqda.

- ?
1. Qanday yadro reaksiyasi termoyadro reaksiyasi deyiladi?
 2. Termoyadro reaksiyasini qanday amalga oshirish mumkin?
 3. „Tokamak“ qurilmasining ishlash prinsipini tushuntiring.
 4. Termoyadro sintezi uchun lazer qurilmasining ishlash prinsipini tushuntiring.

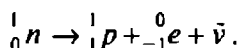
XIII BOBNING ASOSIY MAZMUNI

1. Dunyoda birinchi atom elektr stansiyasining yaratilishi (1954- y.) energetikada yangi yo'nalishni boshlab berdi.

2. Atom energetikasi rivojining birinchi bosqichida sekin (issiqlik) neytronlar reaktori qurildi va ularda yadro „yonilg'isi“ sifatida uran-235 dan foydalanildi. Atom energetikasi rivojining ikkinchi bosqichida, sekin neytronlar reaktori bilan bir qatorda, tez neytronlar reaktori ham foydalanildi. Tez neytronlar reaktori plutoniy (yoki uning uran-235 bilan aralashmasi)dan foydalaniladi. Bu reaktorlar aktiv zonasining tashqi qismi uran-238 dan qilinadi. Reaktor ishlaganda ajralgan neytronlar uran-238 yadrolari tomonidan birlashtirib olinadi va ular yadro reaksiyasi natijasida plutoniyga aylanadi. Natijada tez neytronlar reaktori ularga boshida kiritilganga qaraganda bir yarim marta ko'p yadro „yonilg'isi“ (plutoniy) hosil bo'ladi. Yadro energetikasining uchinchi bosqichi, aftidan, yengil yadrolar sintezi jarayonida ajraluvchi energiya bilan bog'liq bo'ladi.

XIV bob. ELEMENTAR ZARRALAR

Radioaktivlik hodisasining ko'rsatishicha, nafaqat atom yadrolari o'z-o'zidan boshqa (kichikroq bog'lanish energiyasiga ega bo'lgan) yadrolarga aylanishi mumkin, balki neytronlar ham proton, elektron va neytrinoga aylanishi mumkin:



Fizika qarshisida yangi muammolar paydo bo'ladi: nega tabiatda bunday zarralar mavjud? Ularning xossalari nimaga bog'liq? Nega ular bir-biriga aylanadi? Qancha zarra mavjud bo'lishi mumkin? Bu savollarga javob berish yo'lidagi izlanishlar fizikaning yangi bo'limi — elementar zarralar fizikasining paydo bo'lishiga olib keldi.

Elementar zarralar fizikasi o'ta kichik ($R < 10^{-15}$ m) masofalarda, o'ta kichik ($t < 10^{-8}$ s) vaqt davomida va o'ta yuqori ($E > 1$ GeV) energiyalarda yuz beruvchi hodisalarni o'rganadi. Hozircha fizikaning bu bo'limi o'z rivojining dastlabki bosqichida.

Keyingi yillarda elementar zarralar fizikasida qator fundamental kashfiyotlar qilindi, ular materiyaning tuzilishi va

bugungacha elementar deb hisoblanuvchi zarralarning xossalari haqidagi tasavvurlarni tubdan o'zgartirib yubordi.

Bu bobda biz elementar zarralar fizikasining asosini tashkil etuvchi asosiy ilmiy dalillar bilan tanishamiz.

66- §. Asosiy elementar zarralar va o'zaro ta'sirlarning turlari

Zamonaviy fizikada „Elementar zarralar“ termini materiyaning atomlari yoki atom yadrolari bo'lmagan kichik zarralariga qo'llaniladi. Bundan buyon „elementar zarralar“ deyilganda protonlar, neytronlar, elektronlar, fotonlar, neytrino, shuningdek, mazkur bobda tanishiladigan pozitron va antiprotonlar tushuniladi. Bu ro'yxat to'la emas. Hozirgi vaqtda boshqa ko'pgina elementar zarralar ham ma'lum.

Bizga ma'lum bo'lgan ayrim elementar zarralarni xarakterlovchi asosiy kattaliklar 7- jadvalda keltirilgan.

7- jadval

Zarralar	Belgisi	Tinchlikdagi massasi	Zaryadi	Yashash vaqti
Elektron	e^-	m_e	-1	Turg'un
Proton	p	$1836,1 m_e$	+1	Turg'un
Neytron	n	$1838,6 m_e$	0	1000 s
Neytrino	ν	$< 10^{-4} m_e$	0	Turg'un
Foton	γ	0	0	Turg'un

1. Elementar zarralarning bir-biriga aylanishi. Yuqoridagi 7- jadvalga kirgan zarralarning xossalari tahlil qilar ekanmiz, ularning hammasi bir-biri bilan qandaydir bog'lanishga ega ekanligi e'tiborni jalb etadi. Chunonchi, elektron proton va neytrino neytronning yemirilishi natijasida yuzaga keladi, foton esa atomning qo'zg'algan holatdan kichik energiyali statsionar holatga o'tishi bilan bog'liq. Elementar zarralarning bir-biriga aylanishi — ularning eng muhim xususiyatlaridan biri.

Barcha elementar zarralar g'oyat kichik massaga ega, ularning ko'pchiligining massasi neytron massasidan kichik. Ularning o'lchamlari 10^{-15} m dan kichik.

2. O'zaro ta'sir turlari. Hozirgi vaqtda elementar zarralar dunyosida to'rtta fundamental tipdagi o'zaro ta'sirlar bo'lishi mumkinligi aniqlangan: *kuchli, elektromagnit, kuchsiz va gravitatsion.*

Barcha zarralar orasida gravitatsion o'zaro ta'sir mavjud, uning o'lchovi gravitatsion kuchlardir. Gravitatsion o'zaro ta'sir (demak, gravitatsion kuchlar ham) uzoqdan (uzun) ta'sir qiluvchidir. Gravitatsion o'zaro ta'sir hamma vaqt zarralarning o'zaro tortishishida namoyon bo'ladi.

Elektromagnit o'zaro ta'sir ham uzoqdan ta'sir qiladi. Elektromagnit o'zaro ta'sir kuchlari gravitatsion kuchlardan katta. Misol uchun, ikkita protonning elektromagnit o'zaro ta'sir kuchi ularning gravitatsion o'zaro ta'sir kuchidan 10^{36} marta katta. Elektromagnit o'zaro ta'sir ham tortishish kuchlari ko'rinishida (har xil ishorali zaryadga ega bo'lgan zarralar orasida), ham itarishish kuchlari ko'rinishida (bir xil ishorali zaryadga ega bo'lgan zarralar orasida) namoyon bo'ladi.

Eng katta kuchga ega o'zaro ta'sir kuchli o'zaro ta'sirdir. Kuchli o'zaro ta'sirning yaqin (qisqa) ta'sir kuchlari 10^{-15} m masofalarda elektromagnit kuchlardan taxminan 100 marta katta bo'ladi. Nihoyat, kuchsiz o'zaro ta'sir faqat 10^{-16} m dan kichik masofalardagina namoyon bo'ladi.

Elektromagnit o'zaro ta'sirlar elektromagnit maydon kvantlari — *fotonlar* orqali uzatiladi. Gravitatsion o'zaro ta'sir ham maxsus zarralar — *gravitonlar* orqali uzatiladi, deb taxmin qilinadi, ammo gravitonlar hali aniqlanganicha yo'q.

Kuchli o'zaro ta'sir *gluonlar* deb nomlangan zarralar orqali amalga oshiriladi.

Quyidagi 8- jadvalda fundamental o'zaro ta'sirlar haqidagi asosiy ma'lumotlar keltirilgan.

8- j a d v a l

O'zaro ta'sir turlari	Ta'sirlashuvchi zarralar	Maksimal ta'sir radiusi	Qaysi zarralar orqali amalga oshadi
Kuchli	Nuklonlar	10^{-15} m	Gluonlar
Elektromagnit	Zaryadli zarralar	∞	Fotonlar
Kuchsiz	Kvarklar	10^{-18} m	—
Gravitatsion	Hamma zarralar	∞	Gravitonlar

67- §. Pozitron. Antizarralar

1. Dirakning bashorati. Ingliz fizigi P. Dirak 1928-yili elektron harakatining relativistik (c ga yaqin tezliklar uchun ham o'rinli bo'lgan) nazariyasini yaratdi. Bu nazariyani yaratishda

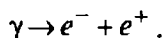
Dirak nisbiylik nazariyasining va kvant nazariyaning umumiy prinsiplariga va bulardan tashqari, ikkita eksperimental kattalik — elektronning zaryadi va massasiga tayandi.

Ammo, Dirak nazariyasidan elektron musbat zaryadga ham ega bo'lishi mumkinligi kelib chiqar edi. Dirak massasi va zaryadi elektronnikiga teng bo'lgan, faqat elektrondan zaryadining ishorasi bilan farqlanuvchi zarra mavjud bo'lishi kerak, degan fikrni ilgari surdi.

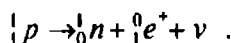
2. Pozitronning kashf etilishi. Kosmosdan Yer sirtiga to'liq uzunligi har xil bo'lgan elektromagnit to'liqlar va har xil energiyali zarralar keladi. Bu nurlanish *kosmik nurlar* deb nomlangan. Olimlar kosmik nurlarni uzoq vaqtdan buyon sinchiklab o'rganib kelishadi. Amerikalik fizik K. D. Anderson 1932- yili kosmik zarralarning Vilson kamerasidagi izlari fotosuratini o'rganar ekan, suratlardan birida xuddi elektronga, ammo „zaryadi musbat bo'lgan“ elektronga tegishli izni ko'rib qoldi. Dirak tomonidan bashorat qilingan zarra ana shunday topilgan edi.

Bu zarraning kashf etilishi fundamental ahamiyatga ega edi: 1932-yilda ma'lum bo'lgan elektron, proton va neytrondan farqli o'laroq, bu zarra „odatdagi“ modda tarkibiga kirmas edi. G'alati iz qoldirgan bu zarrani Anderson *pozitron* deb atadi.

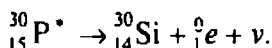
Pozitronning kashf etilishi katta qiziqish uyg'otdi. Olimlar pozitronni nafaqat kosmik nurlarda, balki Yer sharoitida, radioaktiv yadrolar ishtirok etuvchi jarayonlarda ham izlay boshlashdi. 1933-yili γ -kvantlarning modda bilan o'zaro ta'sirlashuvida elektron va pozitron hosil bo'lish hodisasi kashf etildi:



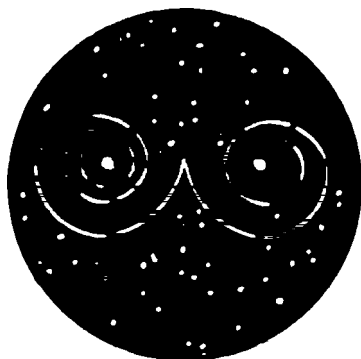
1934-yili ayrim radioaktiv yadrolarning pozitronlar chiqarishi aniqlandi. Keyinchalik, radioaktiv yadrolardan pozitron chiqishi yadrodagi protonning neytronga aylanishi bilan bog'liqligi ma'lum bo'ldi:



Misol uchun, fosfor izotopining radioaktiv yadrosi kremniy yadrosiga, pozitronga va neytronga bo'linadi:



3. Pozitronning paydo bo'lishi va saqlanish qonunlari. Elementar zarralar fizikasida saqlanish qonunlarining qat'iy bajarilishi yuqorida ta'kidlangan edi. Pozitron paydo bo'lishida ham ular bajariladi. Chunonchi, γ -kvantlarning modda bilan o'zaro ta'sirlashuvida elektron va pozitronning bir vaqtda paydo bo'lishi zaryadning saqlanish qonunidan kelib chiqadi: neytral foton faqat umumiy zaryadi nolga teng bo'lgan zarralargagina aylanishi mumkin.



183- rasm.

Vilson kamerasida olingan fotosuratdan foydalanib chizilgan 183- rasmda bir vaqtda tug'ilgan elektron va pozitronlarning treklari ko'rsatilgan.

Massa va energiyaning o'zaro bog'liqlik qonuni ($E = mc^2$) pozitron-elektron juftiga har qanday fotonlar emas, balki energiyasi $8,2 \cdot 10^{-14}$ J dan katta bo'lgan fotonlarga aylanishi mumkinligini tushuntirish imkonini beradi. Haqiqatdan ham, energiyaning saqlanish qonunidan va massa, energiyaning o'zaro bog'liqlik qonunidan elektron-pozitron juftiga aylanuvchi fotonning E energiyasi bu zarralarning tinchlikdagi $2m$ massasi bilan bog'liq $2mc^2$ energiyadan kichik bo'lishi mumkin emasligi kelib chiqadi:

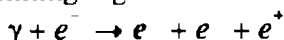
$$E \geq 2mc^2.$$

Yorug'lik tezligining va elektron massasining qiymatlarini qo'yib,

$$2me^2 \approx 2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 9 \cdot 16^{16} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \approx 1,64 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 1,64 \cdot 10^{-13} \times$$

$\times \frac{\text{eV}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 1,10^6 \text{ eV} = 1 \text{ MeV}$, demak, $E \geq 1 \text{ MeV}$ bo'lishini topamiz.

Impulsning saqlanish qonuni esa elektron-pozitron jufti tug'ilishi jarayonida, γ -kvant impulsining elektron va pozitron impulslari yig'indisidan ortiqcha qismini qabul qilish kerak bo'lgan uchinchi zarra (elektron yoki yadro) ham ishtirok etishi zarurligini taqozo etadi. Shuning uchun γ -kvantlarning modda bilan o'zaro ta'sirida elektron - pozitron juftining tug'ilish sxemasi quyidagicha yoziladi:



yoki

$$\gamma + x \rightarrow x + e + e^+$$

bu yerda x — elektron - pozitron jufti tug'ilishida ishtirok etuvchi yadro.

4. Pozitronning elektron bilan o'zaro ta'siri. P. Dirak pozitron elektron bilan to'qnashganda teskari jarayon — bu zarralarning ikkita fotonga aylanishi yuz berishi kerakligini nazariy bashorat etgan edi. Pozitron tajribada topilgandan keyin ko'p o'tmay ana shunday teskari jarayon kashf etildi. Bu jarayon uncha to'g'ri bo'lmagan *annigilatsiya* (lotincha nihil — hech nima) nomini oldi.

Yerda pozitronlar yo'qligining sababi annigilatsiyadir: pozitron paydo bo'lgan zahotiy oq elektron bilan to'qnashadi va har ikkala zarra ikkita fotonga aylanadi.

5. Antizarralar. Pozitronning kashf etilishi fizika tarixida g'oyat muhim voqea bo'ldi — bu birinchi *antizarra* edi. Gap shundaki, Dirak nazariyasidan protonning ham manfiy zaryadli qiyofadoshi bo'lishi kerakligi kelib chiqar edi. U *antiproton* deb nomlandi. Antiprotonni tajribada topish uchun uzoq vaqt qat'iyat bilan urinildi. Nihoyat, 1955- yili amerikalik fiziklar E. Segre va O. C h e m b e r l e n l a r uni topishga muvaffaq bo'lishdi. Ayni vaqtda uning proton bilan annigilatsiyasi ham kuzatildi.

Antiproton kashf etilgandan ko'p o'tmay antineutron ham kashf etildi.

OLAMNI BILISHDA VA JAMIYAT TARAQQIYOTIDA FIZIKANING AHAMIYATI

Inson har doim uni o'rab olgan olam bilan murakkab o'zaro ta'sirda bo'ladi. Bu o'zaro ta'sirlarni o'rganish olamni o'rganish hisoblanadi. Shu tufayli atrofimizdagi tabiat bir qator fanlar yordamida o'rganiladi. Bu fanlar orasida fizika muhim o'rinni egallaydi.

1. Ilmiy-texnik rivojlanishning mazmuni. Fizika fanining olamni bilishdagi yutuqlari XX asrning o'rtalarida ko'zga ko'rina boshladi. Bu davrda texnika o'z rivojlanish davrining yangi pog'onasiga ko'tarildi. Rivojlangan mamlakatlarda ishlab chiqarish to'la mexanizatsiyalashtirish va avtomatlashtirishga o'tila boshlandi. Ishlab chiqarishdagi ayrim sohalarning rivojlanishi tufayli inson qo'l mehnatidan foydalanilmaydigan bo'lindi. Bunday rivojlanishlar elektr energiyasining ko'proq sarflanishiga sabab bo'ldi.

Yangi texnologiyalarni mexanizatsiyalashtirishda yangi xususiyatlarga ega bo'lgan materiallar zarur bo'la boshladi. Ishlab

chiqarishda sun'iy materiallar keng qo'llanila boshlandi. Natijada hozirgi zamon kasblarini egallashda chuqur ma'lumotli yuqori saviyali bilimdon insonlar kerak bo'la boshladi.

Ishlab chiqarishni kompleks mexanizatsiyalashtirish insonlarni qo'l mehnati bilan bajaradigan ishlarini yengillashtirdi va uning mehnati zamonaviy mashinalar bajaradigan ishni boshqarishdan iborat bo'lib, bo'sh vaqtlarini har tomonlama barkamol rivojlanishga sarflash imkoni tug'ildi.

2. Ilmiy-texnika taraqqiyotida fizikaning ahamiyati. Fizika fan sifatida ijtimoiy ishlab chiqarish talablari natijasida yuzaga keldi. Inson ijtimoiy taraqqiyotning dastlabki bosqichlarida fizikaning yutuqlari katta. Elektromagnit hodisalardagi kashfiyotlar hozirgi zamon energetikasi, avtomatikasi va radioaloqalarning rivojlanishiga olib keldi.

Modda tuzilishini o'rganish borasidagi yutuqlar atom energetikasi va atom texnologiyalarining rivojlanishiga olib keldi.

Fizikaning rivojlanishi boshqa fanlar bilan uzviy bog'langan. Elektron mikroskop va rentgen-struktura qurilmalar yaratilishi, kristallarning tuzilishini va murakkab biologik tuzilmalarni o'rganishga yordam berdi. Ultratovush va lazerlarning ixtiro etilishi meditsinaning taraqqiyotiga xizmat qilmoqda. Yarimo'tkazgichlarni chuqur o'rganish mikroelektronika va elektron hisoblash mashinalarining yaratilishiga sabab bo'ldi.

Xulosa qilib shuni aytish mumkinki, fizika hozirgi zamon fani va texnikasi rivojlanishining asosini tashkil qiladi. Shuning uchun fizikaning hozirgi paytda rivojlangan sohalari bo'yicha, ya'ni atom va yadro fizikasidagi kashfiyotlar, atom energiyasidan foydalanish, zamonaviy televizorlar va kompyuterlar, kosmosning o'zlashtirilishi va undan amalda foydalanish, dunyoning istalgan chekkasidan uzatiladigan radio va televizion eshittirishlarni qabul qilish, simsiz so'zlashuv vositalarining yaratilishi haqida qisqacha ma'lumotga va tasavvurga ega bo'lish zarur.

3. O'zbekistonda fizika taraqqiyoti sohasida olib borilayotgan ishlar. Respublikamiz mustaqillikka erishgandan so'ng ilm-fan rivojlanishiga juda katta e'tibor berilmoqda.

Bizning vatandosh olimlarimizning fizika taraqqiyoti va uning amaliy qo'llanishida qo'shgan hissaları katta. Ular O'zbekiston Fanlar akademiyasining ilmiy tarmoqlar bo'yicha mavjud sakkizta bo'limida ish olib boradilar.

Fizika fani sohasidagi ilmiy izlanishlar, asosan, quyidagi ilmiy-tekshirish institutlarida: Yadro fizikasi instituti, Fizika-quyosh ilmiy ishlab chiqarish birlashmasi, Elektronika instituti, Astronomiya institutlarida olib borilmoqda.

Mashqlarga javoblar

№ 1. 1. $\lambda = 526 \text{ nm}$; 4. $\lambda_2 = 660 \text{ nm}$; 5. $v = 226\,000 \text{ km/s}$;
8. $h = 12 \text{ sm}$; 9. $\varphi = 698 \text{ mm}$.

№ 2. 2. $l = 10 \text{ sm}$; 3. $v = 54 \text{ MHz}$; 4. $l = 672 \text{ mm}$.

№ 3. 1. $E = 19,88 \cdot 10^{-18} \text{ J}$, $m = 2,2 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$,
 $p = 6,6 \cdot 10^{-26} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$;

№ 4. 1. $u = 299\,985 \text{ km/s}$; 3. $v = 527\,641 \text{ m/s}$.

2. $v = 5,91 \cdot 10^5 \text{ m/s}$; 3. 2; 4. $\lambda = 4,14 \cdot 10^{-7} \text{ m}$;

5. $E = 6,63 \cdot 10^{-26} \text{ J}$, $N = 1,5 \cdot 10^{25}$;

6. $p = 4,14 \cdot 10^{-26} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$; 7. $p = 1,3 \frac{E}{c}$.

№ 5. 1,24 MPa, 2. $4,03 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

3. 513 K.

№ 6. 3 · 1 mm

4. $4 \cdot 10^6 \text{ Pa}$

5. 0,83

№ 7. $4,6 \cdot 10^5$

8. 40001

9. $Q = \frac{1}{4}mv^2$

№ 8. 1. $\lambda = 8 \cdot 10^{-12} \text{ m}$.

№ 9. 1. $E_b \approx 7,78 \text{ MeV}$; 2. $E_\gamma > 2,226 \text{ MeV}$;

3. $E = 15,6 \text{ MeV}$; 4. $\rho = 8,5 \cdot 10^{15} \text{ kg/m}^3$.

MUNDARIJA

Elektromagnit to'liqlar	3
I bob. To'liqlarning umumiy xossalari	4
1-§. Elektromagnit to'liqlar haqidagi dastlabki ma'lumotlar	4
2-§. To'liqinni xarakterlovchi asosiy tushuncha va kattaliklar	9
3-§. To'liqlar bosimi	13
4-§. To'liqlarning ikki muhit chegarasida qaytishi	17
5-§. To'liqlarning ikki muhit chegarasida sinishi	21
6-§. To'liqlarning sinish, qonunlari	24
7-§. To'la qaytish	27
8-§. To'liqlar interferensiyasi	31
9-§. Yorug'lik interferensiyasi	37
10-§. To'liqlar difraksiyasi	41
11-§. Yorug'lik difraksiyasi	45
12-§. Yorug'lik to'liqining uzunligini aniqlash (Laboratoriya ishi)	49
13-§. To'liqlar dispersiyasi	52
14-§. Spektral analiz	56
15-§. Spektral analizning asosiy usullari va afzalliklari	59
16-§. To'liqlarning qutblanishi	62
1-mashq	66
I bobning asosiy mazmuni	67
II bob. Radioaloqaning fizik asoslari	68
17-§. Radiouzayishning fizik asoslari	69
18-§. Radioqabulning fizik asoslari	71
19-§. Televideniyeining fizik asoslari	74
20-§. Radiolokatsiya haqida tushuncha	75
21-§. Radioaloqa va televideniyeining rivojlanishi	78
2-mashq	81
II bobning asosiy mazmuni	81
III bob. Infraqizil, ultrabinafsha va rentgen diapazonidagi elektromagnit to'liqlarning o'ziga xos xossalari va ularning qo'llanilishi	83
22- §. Infraqizil nurlanish	83
23- §. Ultrabinafsha nurlanish	88
24- §. Rentgen nurlanishi	89
III bobning asosiy mazmuni	92
Xulosa	92
XX ASR FIZIKASI	96
IV bob. Kvant fizikasi elementlari	96
25- §. Kvant fizikasining paydo bo'lish tarixidan	96
26- §. Fotoelektrik effekt. Fotonlar	99

27- §. Plank doimiysini aniqlash (Laboratoriya ishi)	104
28- §. Fotonning impulsini	106
29- §. Elektromagnit nurlanishning ikki yoqlamalik tabiati	109
3- mashq	111
IV bobning asosiy mazmuni	111
V bob. Nisbiylik nazariyasi elementlari	112
30- §. Nisbiylik nazariyasining boshlanishi va asoslari	112
31- §. Massa va energiyaning o'zaro bog'liqlik qonuni	115
4- mashq	117
V bobning asosiy mazmuni	118
MOLEKULAR FIZIKA VA TERMODINAMIKA	
ASOSLARI	119
VI bob. Moddalarning tuzilishi haqida umumiy ma'lumotlar ..	120
32- §. Molekular-kinetik nazariyaning asosiy qoidalari	121
33- §. Diffuziya. Brown harakati	123
34- §. Gaz molekularining harakatlanish tezligi	126
VI bobning asosiy mazmuni	130
VII bob. Ideal gazning molekular-kinetik nazariyasi asoslari ..	130
35- §. Ideal gazlar molekular-kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi	130
36- §. Temperatura	134
37- §. Ideal gazning holat tenglamasi	137
5- mashq	139
38- §. Gazlardagi izojarayonlar	139
39- §. Sharh qonunini o'rganish (Laboratoriya ishi)	142
VII bobning asosiy mazmuni	143
VIII bob. Real gazlar va bug'larning xossalari	145
40- §. Real gaz xossalari ideal gaz xossalari bilan chetlashishi	145
41- §. To'yingan va to'yinmagan bug'lar	149
42- §. Havoning namligi	152
VIII bobning asosiy mazmuni	156
IX bob. Qattiq jismlarning xossalari	157
43- §. Kristall va amorf jismlar	158
44- §. Monokristall va polikristall jismlar	161
45- §. Qattiq jismlarning mexanik xossalari	164
Yung modulini aniqlash (Laboratoriya ishi)	168
IX bobning asosiy mazmuni	169
6- mashq	170
X bob. Termodinamika asoslari	170
46- §. Termodinamika predmeti, metodi va asosiy tushunchalari	170

47- §. Ideal gazning ichki energiyasi	173
48- §. Termodinamikaning birinchi qonuni. Energiyaning saqlanish va aylanish qonuni	175
49- §. Termodinamika birinchi qonunining ideal gazlardagi ba'zi jarayonlarga tatbiqi	177
50- §. Issiqlik jarayonlarining qaytmasligi	180
51- §. Issiqlik dvigatellarining ishlash prinsipi	183
52- §. Issiqlik dvigatellarining inson hayotidagi o'rni	186
X bobning asosiy mazmuni	188
7- mashq	190
XI bob. Atom	191
53- §. Atomni o'rganish tarixidan	191
54- §. Atomning Bor modeli	194
55- §. Lazer — kogerent turlanish manbai	197
56- §. Zarralarning to'lqin xossalari	202
8- mashq	204
XI bobning asosiy mazmuni	205
XII bob. Atom yadrosi	206
57- §. Atom yadrosini o'rganish tarixidan	206
58- §. Atom yadrosining tarkibi	209
59- §. Yadro reaksiyalari. Yadro reaksiyalarida energiya ajralishi va yutilishi	213
60- §. Radioaktivlik hodisasi	218
61- §. Radioaktiv nurlanishlarni va zarrarlarni qayd qilish usullari	
62- §. Nurlanishlarning biologik ta'siri va ulardan saqlanish	227
63- §. Tayyor fotosuratlar bo'yicha zaryadli zarralarning trek (iz)larini o'rganish (Laboratoriya ishi)	230
9- mashq	235
XII bobning asosiy mazmuni	236
XIII bob. Atom energetikasining fizik asoslari	236
64- §. Yadro reaktori. Atom elektr stansiyasi	237
65- §. Termoyadro reaksiyasi. Termoyadro energetikasining istiqbollari	241
XIII bobning asosiy mazmuni	245
XIV bob. Elementar zarralar	245
66- §. Asosiy elementar zarralar va o'zaro ta'sirlarning turlari	246
67- §. Pozitron. Antizarralar	247
Olamni bilishda va jamiyat taraqqiyotida fizikaning ahamiyati	250
Mashqlarga javoblar	252

Sh32

Shaxmayev N. M. va boshq.
Fizika, 11- sinf: Darslik/Mualliflar:
N.M.Shaxmayev, S. N. Shaxmayev, D. I. Shodiyev.
—T.: „O‘qituvchi“, 2004. —256 b.

BBK 22. 3ya721

Shaxmayev Nikolay Mixaylovich
Shaxmayev Sergey Nikolayevich
Shodiyev Davron Shodiyevich

FIZIKA

O‘rta maktabning 11- sinfi uchun darslik

Bo‘lim mudiri *M. Po‘latov*
Muharrir *M. Shermatova*
Rasmlar muharriri *F. Nekqadambayev*
Tex. muharrir *S. Tursunova*
Kompyuterda sahifalovchi *K. Hamidullayeva*
Musahhah *A. Ibrohimov*

IB 8304

Original-maketdan bosishga ruxsat etildi. 18.06.2004. Bichimi 60x90/₁₆
Kegli 11 shponli. Tayms garniturasi. Ofset bosma usulida bosildi.
Bosma t. 16,0. Nashr.t.16,0. 20000 nusxada bosildi.
Buyurtma № D-2263. Bahosi 1443 so‘m.

„O‘qituvchi“ nashriyoti. Toshkent, 129, Navoiy ko‘chasi, 30. Shartnoma
09—25—04.

O‘zbekiston Matbuot va axborot agentligining Toshkent poligrafiya
kombinati. Toshkent, Navoiy ko‘chasi, 30. 2004.