

РАҲИМ БЕКЖОНОВ

# ЭЙНШТЕЙН

ва

# НИСБИЙЛИК НАЗАРИЯСИ

Ўрта мактаб ўқитувчилари ва ўқувчилари  
учун қўлланма

ТЎЛДИРИЛГАН ВА ТУЗАТИЛГАН ИККИНЧИ НАШРИ

«ЎҚИТУВЧИ» НАШРИЁТИ

Тошкент — 1978

ЎзССР Маориф министрлиги тавсия этган

*На узбекском языке*

**Рахим Бегжанович Бегжанов**

## ЭЙНШТЕЙН И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Пособие для учителей и учащихся  
средних школ

*Издательство «Ўқитувчи»*

*Ташкент — 1978*

Редакторлар: *Ғ. Обидов, Б. Холлиев*  
Бадний редактор *Е. Соин*  
Техн редактор *О. Беляева*  
Корректор *Д. Нуриддинова*

ИБ № 903

Теринга берилди. 10.10. 1977 й. Босинга рухсат этилди 18.08. 1978 й. РО9253.  
Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Тип. қоғози. № 3. Кегль 10 шпонсиз. Юқори босма усулида  
босилди. Шартли б. л. 12,18. Нашр. л. 11,97. Тиражи 17000. Зак № 2113. Баҳо-  
си 45 т.

«Ўқитувчи» нашриёти. Тошкент, Навоий кўчаси, 30. Шартнома № 229 — 77.

Ўзбекистон ССР нашриётлар, полиграфия ва китоб савдоси ишлари Давлат коми-  
тети Тошкент «Матбуот» полиграфия ишлаб чиқариш бирлашмасининг полиграфия  
комбинати. Тошкент, Навоий кўчаси, 30.

Полиграфкомбинат Ташкентского полиграфического производственного объедине-  
ния «Матбуот» Государственного комитета УзССР по делам издательства, полигра-  
фии и книжной торговли Ташкент, Навои 30.

© «Ўқитувчи» нашриёти, ўзгаришлар билан 1978 й.

Б  $\frac{60501 - 216}{353 (06) 78}$  253—78

## ИКҚИНЧИ НАШРИГА СЎЗ БОШИ

Китоб ЎзССР Маориф министрлигига қарашли Тошкент шаҳар, Республика ўқитувчилар малакасини ошириш институтларида қилинган муҳокама ва сўнгги пайтда Наманганда умумий таълим мактабларида физика ва математика фанларининг ўқитилишини янада такомиллаштириш масаласига бағишланган республика илмий-амалий семинар — кенгашида ўқитувчилар билан бўлган учрашув натижалари ҳамда кўпгина китобхонлардан келган хатлардаги таклифлар, кўрсатмалар ва талаблар асосида қайтадан кўриб чиқилди ва тўлдирилди. Айниқса, иккинчи қисмга кўпроқ аҳамият берилди. Учинчи қисмда эса фаннинг энг сўнгги ютуқлари ҳисобга олинди.

Китобнинг ҳар бир қисми бир-бирига қатъий боғланиб ёзилмаганидан ҳар қайси қисмни мустақил ўқиш мумкин. Шу сабабдан баъзан, китобхон яхши ўзлаштириши шарт ва физика нуқтаи назаридан муҳим деб топилган фикрлар қисмларда ҳар хил вариантда такрорланди.

Китобнинг бу нашрини тайёрлашда таклиф ва кўрсатмалар берган китобхонларга муаллиф миннатдорчилигини билдиради.

## БИРИНЧИ НАШРИГА СЎЗ БОШИ

Автор физика фанидан Республика ҳамда телевизион олимпиадаларда қатнашиб, истеъдодли ўқувчилар, мактаб ўқитувчилари билан суҳбатда бўлиб, ўқувчиларда Ернинг сунъий йўлдошлари ҳамда бошқа планеталарга ва коинотга турли ракеталар учирилиши туфайли Эйнштейннинг нисбийлик назариясига, хусусан коинотнинг тузилиши ҳақидаги ҳозирги замон физикавий манзарага бўлган қизиқиш ортганлигини пайқайди. Ундан ташқари, ўқувчиларда ҳозирги замон физика фани асосчиларининг ҳаёти ва ижодий фаолиятини ўрганишга қизиқиш ниҳоят катта бўлиб, бу соҳада ҳам ўқувчи ва ўқитувчилар оммасига мўлжалланган адабиётнинг ўзбек тилида камлиги сезиларли даражада эканлиги маълум бўлди. Шунинг учун автор бу талабни бир оз бўлса-да қондиришга ҳаракат қилиб ушбу китобни ёзди.

Китобда ҳозирги замон физикаси асосини ташкил қилган, материя мавжуд бўладиган макон ва замон (фазо ва вақт) хусусидаги тушунчаларимизда революцион ўзгаришлар ясаган нисбийлик назарияси ва унинг гениал автори Альберт Эйнштейннинг ҳаёт йўли ёритилди.

Махсус нисбийлик назариясининг яратилишига асримиз бошидаги муҳим физикавий тажрибалар натижасини тушунтириш зарурати сабаб бўлган бўлса, Эйнштейн яратган умумий нисбийлик назарияси инсон заковатининг эришган улкан ғалабаси бўлди.

Эйнштейн гоёлари XX аср физикаси ва табиёт фаоларини бутунлай ўзгартириб юборди. Китобда В. И. Ленин



таъбири билан айтганда «табиатнинг буюк ўзгартирув-  
чиси» Эйнштейннинг ҳаёти ва ижодий фаолиятига ало-  
ҳида ўрин ажратилган. Уқувчилар кўз олдида Эйнштейн  
доно ва содда, хушчақчақ ва сезгир, одамлар орасида  
тинчлик ва қаҳрамонлик тарғиботчиси, зўравонлик ва  
эрксизлик душмани сифатида гавдаланади. Эйнштейн-  
нинг одамийлигини ўрганган сайин унга ҳурматимиз  
ортиб боради. У соф одам, унинг учун фан турмуш икир-  
чикирларидан холи, юксак бир нарса эди.

У фан йўлида кундалик майда шахсий манфаатдан  
воз кечишга чақирарди. Бу борада Эйнштейннинг 1939  
йилда АҚШ президенти Ф. Рузвельтга ёзган ва кейин-  
чалик катта воқеаларга олиб келган хати ҳам бор.

Китобнинг кейинги икки қисми Эйнштейнгача бўлган  
физиканинг қийинчиликларига, махсус ва умумий нис-  
бийлик назариясига бағишланган. Бунда фаннинг нис-  
бийлик назарияси ва астрофизиканинг ғоятда қизиқ  
бўлимининг ҳозирги ҳолати ва сўнгги ғоя ва ютуқлари  
баён этилади. Ҳаракатнинг нисбийлиги, саноқ система-  
лари, классик ва махсус нисбийлик принциплари, соат-  
лар ва «эгизаклар» парадокси, космик парвозлар, мас-  
санинг тезликка боғлиқлиги, махсус ва умумий нисбий-  
лик назариялари, энг катта зичлик ва биздан жуда  
узоқлашган ўтмишни ўрганишда нисбийлик назарияси-  
нинг қўлланилиши, умумий нисбийлик назариясининг  
экспериментал текширилиши, нейтрон юлдузлар, пуль-  
сарлар, квазарлар, катта массаларнинг гравитацион  
сиқилиши (коллапси), коинотнинг кенгайиши, Фридман-  
нинг космологик модели ва янги яратилган назариялар  
устида ҳам гап боради.

Маълумки, XX аср физикасининг энг йирик намоянда-  
лари Нильс Бор ва Альберт Эйнштейн ҳозирги замон  
физикаси асослари устида узоқ баҳс олиб боришди. Бу  
баҳс 30 йилгача чўзилди. Н. Бор ва А. Эйнштейннинг  
ҳозирги замон физикасига, хусусан, квант физикасига  
бўлган муносабати мутлоқ бир-бирига зид эди. Н. Бор  
фан ривожини сўнгги вақтларда катта ютуқларга эриш-  
ган квант физикасига боғлиқ ҳолда тушунса, Эйнштейн,  
мутлоқ аксинча, физикада статистик методларга қарши  
бўлиб, квант физикаси ютуқларини ўткинчи, тасодиф  
ҳол деб тушунарди. Бу икки йирик олимнинг фанда  
оламшумул аҳамият касб этган ана шу баҳси ҳам ки-  
тобда батафсил баён этилган.

Инсон ҳаётида энг маҳсулдор ижодий давр ёшликка тўғри келади. Ўтказилган кўп тадқиқотлар олим ҳаётида бу давр асосан 20 ёшдан 40 ёшгача бўлган вақтга тўғри келишини кўрсатди. Фаннинг йирик намояндалари Исаак Ньютон, Гендрик Антуан Лоренц, Макс Планк, Альберт Эйнштейн, Нильс Бор, Энрико Ферми, Николай Лобачевский, Александр Фридман ва бошқа машҳур олимлар ўзларининг энг машҳур ишларини 25 ёшларида қилишган.

Шунинг учун мактаб ўқувчилари имкони борича фан асосларини чуқурроқ билишлари ва фаннинг энг сўнгги ютуқларидан хабардор бўлиб туришлари зарур, чунки машҳур олим Макс Планк айтганидек, «Ёш авлод ҳақиқатни бирдан ўзлаштириб олади».

Қитоб кенг ўқувчилар ва ўқитувчилар оммасига мўлжалланиб, нисбийлик назариясидан факультатив машгулотлар ўтказиш учун қўлланма сифатида ёзилган.

## КИРИШ

XIX аср охири ва XX аср боши физика фани учун оғир йиллар бўлди. Янги тажриба йўллари билан топилган далилларни эски, классик физика назарияси ва тушунчалари ёрдамида англаб бўлмай қолди. Классик физика боши берк кўчага кириб, физикада «кризис» ҳолат вужудга келди...

Ҳали 26 ёшга тўлмаган Эйнштейн ҳал қилиниши қийин бўлган нарсага уриниб кўрди: у янги далилларни ўзи кашф этган нисбийлик назарияси нуқтаи назаридан тушунтириб беришга ҳаракат қилди. У бу ишнинг улдасидан чиқди ва шу пайтда вужудга келган янги масалаларни ҳал этди. Лекин бу ютуқни у ниҳоят зўр кураш, кўп меҳнат ва физиканинг ҳамма қабул қилган эски тушунчаларини парчалаш, бузиш натижасида қўлга киритди...

Эйнштейннинг асосий ғояси шундан иборатки, фазо ва вақтнинг хусусияти олдиндан берилган эмас, у тажрибадан аниқланиши керак. Фазо ва вақтнинг хусусиятлари ҳар қачон ва ҳар ерда тенг қийматли бўлиши мутлақо мумкин эмас; улар бир нуқтадан иккинчи нуқтага ва бир саноқ системасидаги ондан иккинчи саноқ системасидаги онга ўтганда ўзгариб туради.

Ҳозирги замон назарий физикаси икки янги назариянинг — нисбийлик назарияси ва квант назариясининг вужудга келиши билан характерланади. 1900 йилда Макс Планк нурланишнинг квант назарияси тўғрисидаги биринчи асарини эълон қилди. 1903 йилда Альберт Эйнштейн ўзининг машҳур «Ҳаракатдаги жисмларнинг электродинамикасига доир» асарида махсус нисбийлик назариясининг асосларини изоҳлаб берди. Ҳозирги замон физикасининг асосини ташкил қилган бу тарихий ҳодисаларнинг улкан аҳамиятини тушунтириш осон эмас. Материянинг энг оддий ва шу билан бирга энг умумий хусусиятларини ўрганувчи физика фани табиат ҳақидаги кўпдан-кўп фанлар орасида алоҳида ўрин тутди. Шунинг учун физика табиатшуносликнинг ҳар қандай бўлимига сингиб кириши муқаррардир. Техника тараққиётида ҳам физика алоҳида аҳамиятга эга. Буни таъкидлаш учун кўз ўнгимизда вужудга келган ядро техникаси Эйнштейннинг нисбийлик назариясидан келиб чиқадиغان масса ва энергия ўртасидаги пропорционаллик қонунига асосланганлигини эслатиш kifоя.

Нисбийлик назарияси — материя мавжуд бўладиган фазо ва вақт назариясидир. Нисбийлик назариясининг

физикада амалга оширган энг улуғ революцияси — бизнинг бу асосий тушунчалар ҳақидаги таассуротларимизни тубдан ўзгартириб юборганлигидир. Табиий фанлар тарихида фазо ва вақт физикавий системалар динамикаси кузатиладиган ва муҳокама қилинадиган майдонча бўлиб хизмат қилди.

Ньютоннинг классик таассуротига мувофиқ фазо улкан, бўш қутини эслатарди. Уч ўлчовли система чексизликкача давом этади. Фазо физикавий ҳодисалар юз берадиган саҳна, холос. У материядан ажралган ҳолда мавжуд. Унинг хусусиятлари Евклид геометрияси воситасида изоҳланади. 2000 йил давомида Евклид геометрияси мумкин бўлган ягона геометрия, яъни нуқта, чизиқ ва жисм каби математик объектларнинг ўзаро муносабатларини изоҳлайдиган ягона теоремалар системаси эканлигига ҳеч ким шубҳа қилмаган эди. Бунинг натижасида физикавий фазо геометрияси Евклид геометриясидир, деган ишонч ҳосил бўлди. Вақт фазовий координаталар билан ҳеч боғланмаган ва у бутун олам учун бир хил, абсолют деб ҳисобланарди. Физикавий борлиқнинг уч асосий элементи — фазо, вақт ва модда алоҳида кўринишда намоён бўларди.

Махсус нисбийлик назарияси бу тушунчаларга чуқур ўзгаришлар киритди. Фазо ва вақт ҳақидаги бизнинг кундалик турмушдан олган тушунчаларимиз тақрибий бўлиб, фақат ёруғлик тезлигидан жуда кичик тезликлардагина тўғри эканлиги маълум бўлди. Эйнштейннинг фикрича ҳаракатдаги соат ҳаракатсиз соатга қараганда секинроқ юради, ўлчамлар эса ҳаракат йўналишида қисқаради. Махсус нисбийлик назариясининг бу ва бошқа натижалари ҳозирги замон физикасининг барча тажрибалари билан тасдиқланмоқда.

1916 йилда Эйнштейн умумий нисбийлик назариясида фазо ва вақт хусусиятларининг шу фазода мавжуд бўлган материяга боғлиқлигини кўрсатди. Модда бўш қутининг ичига ташқаридан киритилмайди. Фазо, вақт ва модда бир-биридан мустақил равишда мавжуд эмас. Материя яқинида фазо эгриланади, соат эса ўз юришини секинлаштиради. Биринчи қарашда бу мумкин эмасдек кўринади. Чунки бутун олам учун бир хилда ўтадиган вақт тўғрисидаги бизнинг одатдаги фикримиз шунчалик тўғри бўлиб кўринадики, биз бунини ўз-ўзидан тушунарли деб ҳисоблашга ўрганиб қолганмиз.

Нисбийлик назарияси ҳозирги замон физикаси билан бирга дунёга келди ва физика фанининг катта ютуғи бўлиб қолди.

# I ҚИСМ. АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН

«Илмий ишга интилган одам ўзи учун тўғри йўлни ўзи топиб олади. Бу ишда маслаҳатдан фойда йўқ. Яхши-си олимлардан ўрнатилган олиш керак».

Альберт Эйнштейн

## I боб

### А. ЭЙНШТЕЙННИНГ ҲАЁТИ ВА ИЖОДИЙ ФАОЛИЯТИ

Альберт Эйнштейннинг ҳаёти ғоят ибратлидир. Унинг ҳаёти дабдабали воқеаларга бой эмас — Эйнштейн ҳеч қачон расмий лавозимларга тайинланмаган. Унинг ҳақидаги хотира жойлар ҳам сақланиб қолмаган; Ульм шаҳридаги Эйнштейн туғилган уй иккинчи жаҳон уруши охирларида бомбардимон пайтида вайрон бўлган; Эйнштейн жасадининг кулини, унинг васиятига кўра шамолга учириб юборишган. Унинг архивини эса нацистлар йўқ қилиб ташлаган. Лекин Эйнштейннинг номи, физикада катта ўзгаришлар қилган ва XX аср табиий фанларига кескин таъсир кўрсатган ғоялари сақланиб қолди. Унинг номини ва ғояларини энди на шамол, на бомба ва на вақт йўқота олади.

1905 йилда Берлинда чиққан «Аналы физики» («Физика йилномаси») журналида «Ҳаракатланувчи жисмлар электродинамикасига доир» деган мақола босилиб чиқди. Уша даврда ҳали кенг илмий жамоатчиликка яхши танилмаган Альберт Эйнштейн имзо чеккан бу мақола борлиқ ҳақидаги ишон билимларини тубдан ўзгартириб юборган нисбийлик назариясининг юзага келишида биринчи қадам эди. Шундан кейин ўтган давр умумий ва махсус нисбийлик назариясини самарали ўзлаштириш даври бўлди.

\* \* \*

\*

Дастлаб Эйнштейннинг нисбийлик назариясига алоқадор бўлмаган илмий ишларига тўхталиб ўтамиз. Булардан биринчиси ёруғликнинг квант назарияси ҳақи-

даги ишлардир. Бу назарияга даставвал Макс Планк асос солган. У мавжуд ёруғлик назариясини имкони борича ўзгартирмаслик учун ёруғлик тўлқинсимон тарзда тарқалади, ammo илгари қабул қилинганидек, узлуксиз оқим тарзида чиқиб ва ютилиб турмай, балки айрим кичик ва мутлақо аниқ порциялар — квантлар ҳолида чиқади ва ютилади, деб фикр юритди.

Эйнштейн нисбийлик назарияси ҳақидаги мақоласидан бир неча ой муқаддам модда билан электромагнит нурланиш ўртасида энергия алмашилиши фақат маълум порциялар — энергия квантлари (фотонлар) чиқариш ва ютиш билан юз беради деб тахмин қилиш учун кўп маълумотлар мавжуд эканлигига эътибор берди. Бу маълумотлар, масалан, ёруғлик фотонлари жисмлардан электрон уриб чиқариши, яъни фотоэффект ҳодисаси тадқиқотларидан келиб чиқишини пайқайди. У фотоэффект ҳодисасини Планк гипотезаси асосида тушунтирди.

Эйнштейннинг ёруғлик тўғрисида ёзган иккинчи илмий иши ҳозир лазерларни ўрганишда асос бўлиб хизмат қилмоқда. Совет олимлари Н. Басов, М. Прохоров ва америкалик Таунисга радиотўлқинлар ва ёруғлик оқимларини кучайтириш усулини кашф этганликлари учун Нобель мукофоти берилди. Қисқача баёни қуйида бериладиган бу назарияга ҳам аслида донишманд Альберт Эйнштейн асос солган.

Атомнинг иккала ҳолати — оз энергияли («қуйи» ёки «асосий») ва кўп энергияли («юқори» ёки «уйғонган») ҳолати тегишли частотадаги ёруғликка боғлиқ бўлади. Юқори ҳолатда атом ўзидан нур тарқатиб, сўнгра қуйи ҳолатга тушиб қолади. Қуйи ҳолатда атом энергия квантини ўзига қабул қила олади, яъни ёруғлик оқими энергиясини юта олади. Лекин Эйнштейннинг кўрсатишича, учинчи хил процесс ҳам мавжуд экан. Бирор ёруғлик оқимининг юқори ҳолатдаги атомга таъсири натижасида атомдан айни шундай рангдаги ва йўналишдаги ёруғлик оқими ажралиб чиқар экан. Бу янги энергия порцияси атомга таъсир этувчи ёруғлик оқимига қўшилиб, уни кучайтиради. Лазер нури мана шундай пайдо бўлади. Бу нурнинг ажойиб хусусиятлари фақат кейинги йиллардагина маълум бўлди.

Ядро физикаси ва атом (тўғрироғи ядро) энергетикаси тараққиётида Эйнштейн яратган нисбийлик назарияси

рнясининг аҳамияти шу қадар юксакки, ядро физикаси масалаларида Эйнштейннинг хулоса ва формулаларисиз иш кўриш мумкин эмас.

Бу дастлаб Эйнштейннинг машҳур  $E := mc^2$  формуласига тааллуқлидир ( $E$  — энергия,  $m$  — масса,  $c$  — ёруғликнинг бўшлиқдаги тезлиги). Бу формула бўйича 1 г масса энергия жиҳатидан 30 млн. кВт-соатга тенгдир. Бу формула юзасидан анчагина тушунмовчилик ва сафсатабозликлар содир бўлди. Бу формулага кўра гўё модда йўқолар эмиш. Аслида бу формула массанинг энергияга айланишини кўрсатмайди. Гап шундаки, зарралар ўзларининг ҳолати, яъни ҳаракати ва жойлашувига қараб турли массага эга бўлади.

Бу ўринда атом массаси билан (у бутунлай атом ядросида мужассамланган) унинг таркибидаги зарралар массаларининг йиғиндиси бир-биридан фарқ қилишини кўрсатиб ўтиш керак. Тўрт грамм гелийдаги ~~гелий~~ атомлари сони тахминан бир грамм водороддаги ~~водород~~ атомлари сонига тенгдир. Бундан тўртта водород атоми қўшилса, бир гелий атоми ҳосил бўлар эканда, деган тахминий хулоса чиқариш мумкин. Энди биз бу тахминнинг моҳиятига назар ташлаб кўрайлик. Аслида 4,004 г гелийдаги атомлар сони 1,008 г водороддаги атомлар сонига тенгдир. Агар биз 1,008 сонини тўртга кўпайтирсак, 4,032 ҳосил бўлади.

Бу сон 4,004 сонидан, 0,028 га фарқ қилади. Бу фарқ тўртта водород атомини бир гелий атомига айлантириш мумкинлиги тўғрисидаги фаразга тўсиқ бўлармикин? Йўқ, тўсиқ бўлмайди. Лекин бу массалардаги фарқ Эйнштейннинг машҳур эквивалент қонунига мувофиқ водороднинг гелийга айланишида қанча энергия ажралиб чиқишини кўрсатиб беради: 0,028 грамм масса ўн миллион кВт-соатга тенгдир!

Эйнштейннинг формуласи водороднинг гелийга айланиши юлдузлар учун энг қулай ёқилғи деган хулосага олиб келади. Бу кашфиётгача олимлар Қуёш системаси (хусусан, Ердаги ҳаётнинг) ёшини аниқлашдаги геологик маълумотларни ва қуёшнинг иссиқлик энергияси запасларини чексиз солиштириб кўришдан бирор тузукроқ хулоса чиқаролмай келардилар. Бундан ташқари, радиоактив парчаланишда кўп энергия ажралиб чиқиши натижасида ҳосила ядролар массасининг умумий йиғиндиси дастлабки ядролар массаларининг умумий йиғин-

дисидан кам бўлади, деб Эйнштейн олдиндан айтган эди. Кейинги текширишлар бу фикрнинг тўғри эканлигини тўла тасдиқлади.

Эйнштейннинг  $E = mc^2$  формуласига кўра Менделеев даврий системасидаги энг енгил элемент — водород (оғир водород — дейтерий) билан табиатда учрайдиган энг оғир элемент уранда битмас-туганмас энергия запаслари яшириниб ётганлиги маълум бўлди. Олимларнинг текширишларини мана шу оқимга солиб юборган Эйнштейн гоёлари оқибат натижада атом реакторларининг яратилишига олиб келди.

Ҳозирги кунда барча ядро физикаси лабораторияларида Эйнштейн формуласи татбиқ этилаётганлигини кўриш мумкин: ядро снарядларини ҳосил қилиш учун резонанс усули билан зарралар тезлаштирилади. Водород атомининг ядроси бўлган протон магнит майдонида айланар экан, унга доим электр кучлари «туртки бериб» туради. Протоннинг тезлиги ортмаганда уни маълум тактга тушириш осон бўлади, бунинг сабаби ҳар қайси айланишнинг вақти бир-бирига тенг бўлишидир. Лекин протоннинг ҳаракатланиш тезлиги катталашганда, унинг массаси ортади, айланиш вақти ўзгаради. Таниқли совет физиги В. Векслер, кейинчалик америкалик олим Мак Миллан протон тезлигининг ортишига мос равишда магнит майдоннинг туртки частотасини бошқариш системасини ишлаб чиқишди. Бу усул билан протон тезлигини ёруғлик тезлигига яқинлаштириш мумкин. Ҳозирча тезлаткичларда протон массаси тезлик ҳисобига 10—30 марта оширилади. Тезлаткичларни ҳисоблашда Эйнштейн назариясидан минглаб инженерлар фойдаланмоқдалар.

Эйнштейн жуда оғир ҳаёт кечирди. У ўзи яшаган даврда юз берган йирик воқеаларнинг шоҳидигина бўлиб қолмай, бу воқеаларнинг бевосита иштирокчиси ҳамдир. Олимнинг болалик ва ўсмирлик йиллари Германияда «темир канцлер» Бисмарк даврида ўтди. Унинг қариллик йилларини Хиросима фожиаси ғурбатга кўмди. У иккала жаҳон урушини, фашизм даҳшатларини ўз кўзи билан кўрди. Унинг ёшлик йилларида классик физиканинг буюк инқирози бошланди.

Альберт Эйнштейн 1879 йилда Швабия Альпларининг этагида, Дунай дарёсининг чап қирғоғидаги Илъм шаҳрида дунёга келди. IX асрда бунёд этилган бу қади-



мий шаҳар ўтмишда жуда обод ва Швабня иттифоқидаги энг илғор шаҳарлардан бири бўлган.

Унинг отаси Герман Эйнштейн Штутгарт гимназиясини тамомлаганидан кейин университетга кирмоқчи бўлади. У математикага қизиқар, тузуккина қобилияти ҳам бор эди. Лекин Герман Эйнштейн университетга кириш ўрнига савдо билан шуғулланади. У 1858 йилда Штутгартда бадавлат савдогарнинг қизи Полина Кохга уйланади. Улар олдин Бухау шаҳрига, кейинчалик 1877 йилда Ульмга кўчиб келишади. Бундан 10 йилча аввал бу ерга Эйнштейннинг бобоси кўчиб келган эди. Ульмдан йигирма беш километр наридаги Мюнхен шаҳрида Герман Эйнштейннинг амакиваччаси Рудольф яшарди. Шу орада Рудольфнинг хотини қиз туғади. Унга Эльза деб исм қўйишади. Бу қиз кейинчалик Альбертга турмушга чиқади. Она томондан улар яна ҳам яқин қариндош бўлишади. Эльзанинг онаси Альбертнинг холаси эди.

Альберт туғилгандан кейин бир йил ўтгач, улар Мюнхенга кўчиб кетишади. Герман укаси Якоб билан Мюнхенда электротехника устахонаси очади. Альберт беш ёшга тўлгандан кейин, улар Мюнхен чеккасидаги Зендлинг деган жойга кўчишади. Бу ерда Герман динамомашина, фонарь ва ўлчагич асбоблар тайёрлайдиган кичкина фабрика ҳамда уй қуради. Фабрикани ака-ука биргаликда бошқаришарди. Герман савдо ишларини бошқарса, Якоб фабрикага раҳбарлик қиларди.

Мюнхенда 1881 йилда Альбертнинг синглиси Майя туғилади. Улар жуда иноқ бўлиб ўсишади. Зендлингдаги Эйнштейнлар уйи атрофидаги боғлар уларнинг энг севимли жойлари эди.

Герман Эйнштейн болаларида табиатга нисбатан севги ва меҳр туйғуларини ўстиришга ҳаракат қиларди. Шаҳар теварагидаги манзарали жойларга сайл қилиш уларнинг энг севган одатлари эди. Бу сайлларда жуда кўп қариндош-уруғлар, шунингдек Эхингендан кичкина Эльза билан келган Рудольф ҳам иштирок этарди.

Альбертнинг онаси пианино чалиш ва ашула айтишни яхши кўрарди. Унинг энг севимли композитори Бетховен эди. У Бетховеннинг сонаталарини меҳр билан ижро этарди. Эйнштейнлар оиласи музика ҳамда немис классик адабиётининг эҳтиросли мухлислари эди.

Герман Эйнштейннинг укаси Якоб ҳам улар билан

бирга яшарди. Чуқур билимга эга бўлган инженер Якоб эса Альбертда математикага қизиқиш уйғотишга ҳаракат қиларди.

Альберт кам гап, ювош бола эди. У ўртоқларининг сершовқин ўйинларига қўшилмасди. Тенгдошларининг солдат-солдат ўйини унинг гашига тегарди. Бу даврда бутун мамлакат бўйлаб ҳарбий оркестр садолари янграрди. Гала-гала болаларни орқасидан эргаштириб кўчалардан солдатлар ўтишарди. Шаҳар аҳолиси ҳарбий маршларга ҳавас билан қарашар, болаларининг ёш империяга хизмат қилаётганликларидан фахрланар эдилар. Отасининг қўлини маҳкам ушлаб олган кичкина Альберт эса йиғлар ва уйга кетамиз деб ёлворарди. Шовқин-сурон унга ёқмасди.

Альберт улғайиб, мактабга борадиган бўлиб қолди. Германияда бошланғич таълимот черков ихтиёрида бўлиб, мактаблар диний эътиқодга асосланган эди. Яхудиylар мактаби Эйнштейн уйдан анча олисда, бунинг устига унда ўқиш жуда қиммат эди. Альбертни уй яқинидаги католик динидаги кишиларнинг болалари ўқидиган мактабга беришади. У мактабдош ўртоқларини ўзининг ўта адолатпарвар эканлиги билан ҳайратга солади.

Эйнштейн ўн ёшга тўлганда гимназияга киради. Бундаги муҳит Альбертнинг ҳулқ ва қизиқишларига мутлақо мос келмас эди. Классик таълимот латин ва грек грамматикасини қуруқ ёдлашдан нарига ўтмасди, тарих эса воқеаларни санаш билан чекланарди, холос. Уқитувчилар офицерларга тақлид қилишар, ўқувчилар эса қуйи офицерларни эслатишарди. Бу даврни эслаб Эйнштейн шундай деб ёзган эди: «Бошланғич мактаб ўқитувчилари сержантларга ўхшаса, гимназия ўқитувчилари лейтенантларга ўхшар эди». Лекин гимназияда кўнгилга ёқадиган ўқитувчилар ҳам йўқ эмас эди. Шундай ўқитувчилардан бири Руэс эди. Руэс ўқувчиларга антик маданиятнинг моҳиятини, унинг классик ва ўша давр немис маданиятига таъсирини, турли давр ва авлодлар маданиятининг бир-бирига боғлиқ эканлигини тушунтиришга ҳаракат қиларди. Руэснинг дарсларида ўқишдан олинган завқ бир умрга Эйнштейннинг хотирасида қолди.

Альберт синфдан-синфга муваффақият билан ўтар, ювош ва доим хаёл суриб юрадиган бу ўсмир мактаб

программасини осон ўзлаштирар эди. Дарсларда секин гапириб жавоб берар эди. Бунини эса ўқитувчилар ёқтиришмас эди. Дарсларда Эйнштейн берган аниқ ва чуқур жавоблар ишга юзаки қарайдиган ўқитувчиларнинг онгига бориб етмайди. Лекин улар бу ювош боланинг миясида пишиб етилаётган ўйларни билмасдилар. Альберт атрофини қуршаган табиат ва жамиятдан ўз кўнглига мос келадиган уйғунлик топишга уринарди. Унинг диндорлиги Коинот тузилиши билан танишгандан кейин йўқ бўлиб кетди. Мактаб дарсликлари олам уйғунлигини унга тушунтириб беролмас эди. Альберт оламнинг тузилиши тўғрисидаги билимларни илмий-оммабоп китоблардан топди. Оммабоп китоблар ўқишни унга польшаллик муҳожир Макс Талмей тавсия этади. Эйнштейнлар оиласи медицина факультетида ўқийдиган бу камхарж йиғитни ҳар жума кунини овқатга таклиф этишар эди. Талмейнинг маслаҳати билан Альберт Бернштейннинг «Табиатшунослик бўйича оммабоп китоблар» асарини ўқиб чиқади. Бу асарда зоология, ботаника, астрономия, география каби фанларга оид маълумотлар бўлиб, фактлар табиат ҳодисаларининг сабабли боғланиши қонунига мослаб тушунтирилган эди. Бернштейннинг асаридан кейин Альберт зўр қизиқиш билан Бюхнернинг «Куч ва материя» номли асарини ўқиб чиқди. Уша даврда немис ёшлари орасида кенг тарқалган бу асарда оламнинг мураккаблиги тўлиқ очиб берилмаган бўлса ҳам, лекин диннинг бебурдлиги изчил кўрсатилган эди. Бу асар Эйнштейнда кучли таассурот қолдирди.

Эйнштейннинг математикага қизиқиши жуда эрта уйғонган эди. Унинг амакиси Якоб шундай дерди: «Алгебра қизиқ фан. Агар биз овлаган ҳайвон топилмаса, бу ҳайвонни вақтинча икс деб атаймиз-да, уни топмагунча қидира берамиз». Альберт иксни қидиришга бел боғлайди. У оддий масалаларни ечишнинг янги-янги йўллари қидириб топишга уринади.

Альберт ўн икки ёшида алгебра ва геометрия каби янги фанларни ўрганишга киришади. У алгебрани яхши билар, лекин геометрия унга нотаниш эди. Альберт геометрия дарслигини сотиб олиб, ҳамма ўқувчилар сингари аввал китобни варақлай бошлади. Геометрия дарслигининг биринчи саҳифасини ўқиб, унга жуда қизиқиб қолади,



А. Эйнштейннинг ўқувчилик йиллари.

лаззат бахш эта бошлайди. Ун тўрт ёшида у уйларида бўладиган концертларда иштирок эта бошлайди. Музика чалишни ўрганишида Моцарт қанчалик роль ўйнаса, Альбертнинг фан чўккиларига интилишида Евклид геометрияси ҳам шунчалик роль ўйнайди.

Евклиднинг геометрия тўғрисидаги китобчаси Эйнштейнга мўъжиза бўлиб туюлади. У кейинчалик «Ёшлигида бу китобни ўқиб ҳайратга тушмаган одам назарий тадқиқотлар олиб боришга қодир эмас»,— деб ёзади. Эйнштейн кейинчалик Евклид геометриясининг асосларинигина эмас, балки дифференциал ва интеграл ҳисобларни ҳам осонгина ўзлаштирди. Лекин ўқитувчилари унинг истеъдодини вақтида фаҳмлай олмадилар. «Сиз одам бўлмайсиз, Эйнштейн»,— деб очиқ айтади бир куни немис тили ўқитувчиси.

Альберт гимназияни тугаллай олмади. «Ювошдан йўғон чиқади» деганларидай, кейинги пайтларда бу индамас боланинг тили жуда заҳар бўлиб қолган эди. Унинг шоир Гейнени ёқтириши ҳам бежиз эмас эди-да. У ҳеч кимни тан олмай қўяди, миясига нима келса, шуни очиқ айтади. Ўзига ёқмаган нарсалардан кулади.

Альберт ёшлигидан скрипка чалишни ўргана бошлаган эди. Лекин муаллимлари уни музикага қизиқтира олмай хуноб бўлишарди. Альберт етти йил давомида скрипка чалишни ўрганишни давом эттирди. Лекин Моцартнинг сонаталарига навбат етганда, аҳвол кескин ўзгарди. Бола музиканинг кучли сеҳрига берилди. У бутун истеъдодини ишга солиди. Моцарт сонаталарини ўрганди. Кейин музика Альберт учун

Гимназияни тамомлашга бир йил қолганда ўқитувчилари уни ҳайдашга қарор қилишади. Эйнштейн Италияга ота-онасининг олдига кетади. Миланда у Германия гражданлигидан чиқади.

Италия унга жуда ёқиб қолади. Қадимги ибодатхоналар, музейлар, расмлар галереялари, қасрлар ва манзарали уйлар... Қишилари қувноқ, ҳазилкаш ҳамма ёқда музыка, ашула. Бу Германиядаги расмийчилик, бир хилликдан кескин фарқ қилар эди. У Генуяга саёҳат қилади. Ҳамма жойда у ўзини эркин ҳис этади.

Лекин у нима биландир шуғулланиши керак эди. Отасининг турмуши кун сайин оғирлашиб борарди. Отаси бутун маблағини сарфлаб Милан ва Павияда электротехника устахоналари қуради, лекин бу устахоналар фойда келтирмайди. Шундан кейин отаси Альбертга пул топиш қийинлашиб бораётганини айтиб, тезроқ бирор касб эгаси бўлишни маслаҳат беради. Бу даврда Эйнштейн математика ва назарий физика билан шуғулланишни кўнглига тугиб қўйган эди. Лекин уларни кундалик иш билан боғлаш қийин эди. Отаси билан амакиси унга инженер бўлишни маслаҳат беришади. Альберт уларнинг маслаҳатига кўнади, лекин гимназия аттестатисиз университетга кириш қийин эди. У ўша даврда кенг танилган Цюрих политехника институтига боради ва имтиҳонда математикадан аъло баҳо олади, лекин чет тили, ботаника ва зоологиядан бўш топширади. Гимназияни битирганлиги ҳақидаги гувоҳномаси йўқ эканлигини ҳисобга олиб, уни институтга қабул қилишмайди. Эйнштейннинг математикани пухта билишига қойил бўлган институт директори унга Швейцариядаги ўрта мактаблардан бирида ўқиб, бир йилдан кейин институтга қайта имтиҳон топширишни маслаҳат беради. Директор Аарау шаҳарчасидаги кантонал мактабини маъқул кўради.

Ўқишдан юраги безиллаб қолган Эйнштейн ўрта мактабнинг охириги синфига ноилож ўқишга киради. Лекин тезда мактаб унга ёқиб қолади. Бу ерда дарслар жуда қизиқарли ўтилар, ўқитувчилар ўқувчиларнинг чинакам дўстлари эди. Бу мактабда физика ва химия лабораторияларида ўқувчилар мустақил тажрибалар олиб боришарди. Зоология музейида, шунингдек, мактаб боғида микроскоп ва ланцетлар билан иш олиб борилар эди. Юқори синф ўқувчилари сиёсий муҳожир-

лар таъсирида ижтимоий масалаларга қизиқиш билан қарар эдилар. Эйнштейн Винтелер деган ўқитувчининг уйида яшайди. Винтелернинг болалари, кейинчалик мактабдошлари уни ёқтириб қолишади. Бу мактаб тажрибаси шуни кўрсатадики, агар таълим-тарбия ишлари яхши йўлга қўйилса, ўқиш қизиқарли бўлибгина қолмай, илмий иш олиб боришга ҳам имконият туғилади. Эйнштейн мактабни 1896 йилда тамомлайди.

Унинг студентлик ҳаёти шу йилнинг октябрь ойидан бошланади. Эйнштейн политехника институтининг математика ва физика ўқитувчилари тайёрлайдиган педагогика факультетига киради. Эйнштейн туғилмасдан 10 йил аввал бу ўқув юртини Рентген тамомлаган эди. Институт ўқитувчилари орасида Гурвиц, Гейзер, Герман Минковский каби машҳур олимлар бор эди. Минковский кейинчалик нисбийлик назариясининг математик аппаратини ишлаб чиқиш билан ном чиқаради. Лекин Эйнштейн унинг лекцияларига қатнашмас эди. У вақтини кўпинча физика лабораториясида ўтказарди. Эйнштейн назарий физика мутафаккирлари Максвелл, Гельмгольц, Кирхгоф, Больцманнинг асарларини ўрганади. Математика эса уни чўчитади, чунки «унинг ҳар бир соҳаси бизга ажратилган қисқа умрни бутунлай ютиб юбориши мумкин» деб ўйлайди. Физикада у тезда мустақил фикрлаш, юксак чўққига олиб борадиган керакли масалаларни қидириб топишга ўрганади. Физикада у ўзини сувдаги балиқдай эркин ҳис қилар эди.

Эйнштейн институтни 1901 йилда муваффақият билан тамомлайди. Лекин Эйнштейнни мустақиллиги учун ёмон кўриб қолган профессор Г. Ф. Вебер уни физика кафедрасида олиб қолишни истамайди. Вебер физикада эски принциплар тарафдори эди. У Гельмгольцдан кейин физика тараққий этмайди деб ўйларди. У лекцияларни жуда қизиқарли ўқиса ҳам, лекин Эйнштейн унинг лекцияларига кирмас, фақат амалий машғулотларга қатнашар эди. Эйнштейн унга профессор жаноблари деб эмас, Вебер жаноблари деб мурожаат қилар эди.

Эйнштейн ўзининг бу муваффақиятсизлиги тўғрисида кейинчалик шундай деб ёзган эди: «Мустақиллигим учун ёмон кўриб қолган профессорлар мен учун фан эшигини бекитиб қўйишди». Институтни тугатгандан сўнг икки йил ишсиз юргани унга жуда қимматга тушди. Даставвал у приват-доцентлик ўрнини беришларини

сўраб Швейцариядаги ўзи ўқиган институтига мурожаат қилди, лекин унга бўш ўрин йўқ, деб жавоб беришди. Ундан сўнг Эйнштейн гимназияга ўқитувчи бўлиб жойлашишга уриниб кўрди, лекин бу сафар ҳам омади келмади. Ниҳоят, у газетада репетитор кераклиги ҳақидаги эълонни ўқиб қолди. Жингалак сочли, қора кўзлари маъюс боқадиган барваста ўсмир бу эълон бўйича бориб ўқитувчи бўлиб ёлланди.

Унинг ўқувчилари ўқишни яхши ўзлаштира олмаган икки бола экан. Эйнштейннинг ўзи ҳам гимназияда ёмон ўқиган эди. У «тарбиянинг анъанавий машинаси» деб атайдиган, зўраки ўзлаштирилган билимларни фақатгина имтиҳонгача олиб келадиган усулга кескин қарши эди. «Қизиқувчанлик,— деган эди у — нозик ниҳол бўлиб, тақдирлаш билан бирга, аввало, эркинликка муҳтождир». Эйнштейн ўз ўқувчиларини ҳам қандай ўқишни лозим топса шундай ўқитар эди. У ёдлаб олиниши лозим бўлган тайёр ечимларни ўқувчиларига ёдлатиш ўрнига, уларга саволлар бериб, бу саволларга уларнинг жавоб топишларига уринар эди.

Эйнштейн ўз ишини севар, лекин унга бир вазият халақит берарди. Болалар гимназияга қатнашда давом этишар, у ерда эса болалардаги қизиқувчанликни ҳар куни бўғишга ҳаракат қилаётганликларини Эйнштейн сезар эди. У болаларнинг отаси олдига бориб болаларни ўқишдан чиқариб олишни сўради ва унинг ўзи уларни гимназия ўқитувчиларидан кўра яхшироқ ўқита олишини тушунтирди. Унинг таклифи қабул қилинмади, чунки бу кишининг ўзи гимназияда ўқитувчи эди. Репетитор ишдан бўшатилиди. Эйнштейн яна ишсиз қолади. «Бу йиллар мен учун жуда оғир бўлди»,— деб ёзади кейинчалик у. Етишмовчиликнинг зўрлигидан илмий масалалар устида бош қотиришга ҳеч қандай имконият йўқ эди. Қамбағаллик ўз кучини кўрсатди. Эйнштейн бир умр буйрак касалига дучор бўлди. Лекин у умидсизликка тушмади: «Мен хушчақчақ қушман, хафа бўлишни билмайман»,— дейди у. Фақат ўртоқларига ёзган хатларидагина у ҳазиллашиб ўзини омади келмаган йигит деб атайди.

Умуман ҳазил, кулги Эйнштейн ҳаётида жуда катта роль ўйнади. Ўз фикрларини ҳимоя қилганда, у аҳволни кулги-ҳажв билан юмшатишга ҳаракат қилар, рақибларига қарши гапирганда эса уларни ҳажв билан лол



А. Эйнштейн Женева патентлар бюроси ишчиси.

қолдирарди. Шундай пайтларда унинг беозор кўзларида олов чақнарди. «Кулги ва камтарлик мувозанат яратади»,— дер эди Эйнштейн. Дўстлари унинг ҳазилларини ёқтирар эдилар.

1902 йилнинг ёзида Эйнштейн ўртоғи Марсель Гроссман ёрдамида (Гроссман кейинчалик унга нисбийлик назариясини яратишда ёрдам берган эди) Берн шаҳридаги патентлар бюросига учинчи класс техника эксперти лавозимиغا ишга киради. «Маданий мулк бюроси» деб ата-

ладиган бу ташкилотда ишлайдиган кишилар сони ўттиздан ҳам ошмасди. Эйнштейн турли инженерлик проблемаларининг моҳиятини тезда тушуниб олар ва ўз хулосаларини қисқа, аниқ ва изчил қилиб ёзар эди.

Эйнштейн шу ишни ҳам яхши кўриб қолди. Унга патентлаш учун жуда кўп аризалар тушар, бу аризаларда ихтирочилар ўз фикрларини одатда, ҳаддан ташқари муфассал ва кўп миқдордаги нотаниш техникавий терминлар билан баён қилар эдилар. Эйнштейннинг вазифаси, ихтиронинг том маъносини тушуниш ва ундан сўнг бошлиқларга мазкур ихтиронинг патент олишга лойиқ ёки лойиқ эмаслигини тезда ҳал қила оладиган даражада тушунарли ва қисқа реферат ёзиб беришдан иборат эди.

Ўз ақлини бундай усулда пешлаш Эйнштейнга ёқарди. Кундалик хатлар орасида у баъзан қизиқ гоёни учратиб қолар эди. Бу унинг ўз ишига нисбатан қизиқшини орттирарди. Лекин ҳаммадан яхшиси шу эдики, у ўзининг кундалик вазифасини уч-тўрт соат ичида бажариб бўлиб, қолган вақтини севимли физикага бағишлашга имкон бор эди.



Эйнштейн Швейцария патент бюросида ишлай бошлаган вақтдан бошлаб унинг физикага қизиқиши қайтадан кучайди ва у бутун ҳаракатни тушунишга имкон берган статистик механика қонунларини худди шу ерда яратди ва худди шу ерда фотоэлектрик эффект назариясини ишлаб чиқди. Шу ерда у ўзининг биринчи нисбийлик назариясини тугатди. Унда махсус ҳол — доимий тезликли тўғри чизиқли ҳаракат (текис ҳаракат) кўрилганлиги учун бу назария «ма х с у с н и с б и й л и к н а з а р и я с и» деб аталди. Сўнгра бу назарияга асосланиб Эйнштейн ўзининг умумий нисбийлик назариясида ўзгарувчан (тезланишли) ҳаракатни тушунтириш усулини ҳам топди. Эйнштейн яратган баъзи бир хулосалар натижасида иккала назария ҳам кенг шуҳрат қозонди. Умумий нисбийлик назариясидан Оламининг ўлчамлари ва тузилиши ҳақидаги хулосалар, махсус нисбийлик назариясидан эса ядро энергияси тадқиқотларида ҳал қилувчи аҳамиятга эга бўлган  $E = mc^2$  тенглама келиб чиқади.

Махсус нисбийлик назариясининг манбаини ўтмишдан — Эйнштейннинг ўн олти ёшлик давридан излаш керак. Эйнштейн, у пайтларда кўпинча ҳаракат «мўъжизаси» ва ёруғлик ҳақида ўйлар эди. Ёруғлик тезлиги маълум эди —  $300\,000$  км/сек. (Бу эса ёруғлик нури ер шарини секунднинг еттидан бир улушида айланиб чиқа олишини билдиради).

Агар, — деб мулоҳаза қиларди Эйнштейн, — кузатувчи ҳар қандай тезлик билан (ҳаттоки ёруғлик тезлиги билан) ҳаракатлана олса, унда нима бўлади? Фараз қилайликки, мен ёруғлик нури билан бирга деярли шундай тезликда югурияман. У ҳолда ёруғлик тезлиги менга  $300\,000$  км/сек дан кўп марта кичик бўлиб туюлади. Ўз жойида турган одам учун эса у секундига  $300\,000$  километр бўлиб қолаверади.

Лекин Эйнштейн, гарчи бирорта физикавий қонунга зид бўлмаса ҳам, ўзи чиқарган хулосанинг хато эканлигини фаҳмлар эди. У мулоҳаза қилишда давом этаверди. Фараз қилайлик, мен ёруғлик тезлигига тенг тезликда югурияман ёки ёруғлик нурига «мини» кетмоқдаман. У ҳолда менинг учун ёруғлик нури ҳаракат қилмайди: у тинч ҳолатда бўлади. Лекин бу мумкинми? Ёруғлик частота — тўлқин ҳаракатга хос бўлган катталиқ билан ҳарактерланади. Ёруғлик тинч ҳолатда бўлади деган фикр

эса унинг асл мазмунига зиддир; натижада жумбоқ масала вужудга келмоқда. Кейинчалик Эйнштейн ўн олти ёшидаги бу фикр ва мулоҳазалари уни ҳаяжонлантирган ҳақида ёзган эди. Эйнштейн Цюрих политехника институтининг студенти бўлган кезларда шунга жуда яқин бўлган масалани ҳал қилиш учун амалга оширилган бир қанча тажрибалар ҳақида ўқиган эди. Тажрибаларнинг мақсади эфирдаги — ўша вақтларда бутун фазони эгаллаб туради деб ҳисобланган моддадаги— ёруғлик тезлигини ўлчашдан иборат эди. Бирор марта ҳам бу модда тажриба йўли билан топилган эмас эди. Бироқ тажрибадан ёруғлик тўлқин шаклида тарқалиб, бу тўлқинлар ҳаво молекулалари ва материянинг бошқа ҳар қандай кўринишларидан халос бўлган фазо орқали ўта олиши маълум эди. Барча тўлқин ҳодисалар ташувчи модда муҳитнинг мавжудлигини тақозо қиларди. Шунингдек ёруғлик учун ҳам ташувчи модда зарур деб ўйлашар ва бу ташувчи модда вазифасини эса қайд қилиниши мумкин бўлмаган эфир бажаради деб ҳисоблар эдилар.

Агар оламни тўлдириб турган модда — эфир ҳаракатсиз бўлса, у ҳолда Ер планетаси эфирда ҳаракат қилиб унинг қаршилигига учрайди ва «эфир шамоли» деб номланган оқим вужудга келади. Бундай оқимга қарши йўналтирилган ёруғлик нури эса ўз ҳаракатини бирор даражада секинлатиши керак эди. Аксинча, эфир оқими бўйича йўналган нур ўз тезлигини ўшанча ошириши керак. Америкалик А. А. Майкельсон бу тахминни тажрибада текшириб кўришга қарор қилди: у асосий қисми кўзгулар системасидан иборат бўлган асбоб ёрдамида ёруғлик нури «парчалаб», уни бир вақтнинг ўзида ҳар хил йўналишларда тарқатди ва нурларни кузатиш олиб бориладиган кўзгулик трубага яна қайтарди. Майкельсон ўзининг биринчи тажрибасини 1881 йилда Германияда, Герман Фон Гельмгольц лабораториясида ишлаб юрган вақтида ўтказди. Тажриба қутилган натижани бермади; иккала ёруғлик нурининг тезлиги бир хил бўлиб, секундига 300 000 километрни ташкил қилди. Олти йилдан сўнг, Америкага қайтиб келгандан кейин Майкельсон Е. У. Морли билан биргаликда мукамаллаштирилган асбоб билан ўша тажрибани такрорлади. Тажриба натижаси олдингидай бўлди.

Бундан эфир мавжуд эмас деган хулоса келиб чиқмайди. Эфир қўзғалмас ҳолатда бўлмасдан, Ер билан

биргаликда ҳаракатланиши ҳам мумкин. Бундай ҳолда эфир шамоли вужудга келмайди ва эфирнинг мавжудлиги икки ёруғлик нурининг ҳаракатда бўлиш вақтига таъсир кўрсатмайди. Бу — шу пайтда мавжуд бўлган турли гипотезалардан бири эди, холос.

Эйнштейн Майкельсон тажрибасини эшитиб, унинг натижаларини ўзини ўсмирлик йилларидан бошлаб қизиқтирган жумбоқнинг исботи сифатида қабул қилди. Эфирнинг мавжуд ёки мавжуд эмаслиги ҳақидаги масалани ҳисобга олмаганда, Майкельсон тажрибаси Ернинг Қуёш атрофида айланиши сабабли ёруғлик тезлиги унинг ҳаракат йўналиши қандай бўлишидан қатъи назар Ерга нисбатан ҳамиша ўзгармай қолишини кўрсатди. Демак, кузатувчи қандай тезликда ҳаракатланмасин у ҳеч қачон ёруғлик нурига етиб ололмайди, деган хулоса чиқариш мумкин. У ёруғликни ҳеч қачон тинч ҳолда кўра олмайди.

Эйнштейн кўп йиллардан бери фикру зикрини қамраб олган шубҳаларига энди далил топди: энди у ёруғлик тезлиги доимий эканлигини билар эди. Бас, шундай экан, у ҳолда ёруғлик йўналишида ҳаракатланаётган ва тинч турган кузатувчилар учун ҳам ёруғлик тезлиги секундига 300 000 километрни ташкил қилишини қандай қилиб тушунтириш мумкин?

Жумбоқни ечишнинг калити саволнинг ўзида эканлигини билмаган Эйнштейн Цюрих Политехника институтида ўқиб юрган чоғида ҳам ва ундан кейинги йилларда ҳам масаланинг асл моҳиятини излаб, маълум бўлган барча физикавий ҳодисаларни текшириб чиқди, лекин кетма-кет муваффақиятсизликка учради. Аммо унда масалани тушуниб етиш иштиёқи катта эди. Қандайдир номаълум куч уни бир нарса орқасидан қуввишга мажбур қилаётгандек, у эса ҳеч қуввиб ета олмаётгандек туюлар эди. Кўпинча у умидсизликка тушар, баъзан мушқуллик сезарди.

У физикани мустақил ўрганганлиги учун физикага танқидий муносабатда бўлиб қолди. Бу даврда физика оддий эмас эди: у, дунё эфири тўғрисидаги фаразлар каби унча зарур бўлмаган фаразларга асосланган эди. Эфир эса таҳминларга асосланган уйдирмадан бошқа нарса эмаслиги эҳтимолдан узоқ эмас эди.

Гумон қилинган эфир билан бундан бир неча юз йил илгари ҳаракатни тушунтириш учун киритилган

бошқа концепция ўртасида маълум ўхшашлик бор эди.

Оламда маълум осмон жисмининг ҳаракатини белгилашда қўзғалмас контрол нуқта вазифасини бажара оладиган бирорта ҳам планета ёки юлдуз йўқ. Ҳамма нарса ҳаракат қилади. Ер ўз ўқи атрофида ва Қуёш атрофида орбита бўйлаб ҳаракат қилади. Қуёш бутун бизнинг Қуёш системамиз билан биргаликда Сомон йўли ичида, Сомон йўли эса бошқа галактикаларга нисбатан ҳаракат қилади. Жисмининг ҳаракати Ерга нисбатан бир хил ва Қуёшга нисбатан бошқачароқ бўлган ҳолда жисмининг ҳақиқий, абсолют ҳаракатини қандай қилиб аниқлаш тўғрисидаги савол жуда илгари пайдо бўлган эди. Бу саволга фазони осмон жисмларини сақлайдиган ва уларнинг таъсирига учрамайдиган бўш ҳажм деб фараз қилиб жавоб топиш мумкин. У ҳолда фазо осмон жисмларининг ҳар қандай бошқа объектга нисбатан абсолют ҳаракатини аниқлашда саноқ системаси бўлиб хизмат қилар эди.

Эйнштейн тинч турувчи ёки абсолют фазонинг борлигига шубҳа билан қарарди — дунё эфири борлигига ишонмас эди. Унисининг ҳам, бунисининг ҳам мавжудлиги тажрибада аниқланмаган, Эйнштейн эса: «Агар сиз бирон нарсани миқдорий равишда ўлчай олмасангиз, сиз уни билмайсиз», деган принципга амал қилар эди.

Эйнштейннинг мулоҳазаларида классик физика асосланадиган тушунчаларни ва уларнинг тажриба билан заиф боғланганлигини танқид қилган Эрнест Мах фалсафий асарларининг таъсири кучли эди. Мах на фақат абсолют фазо концепциясини, балки абсолют вақт тушунчасини — вақт тўғрисидаги бизнинг кундалик тушунчамизни ҳам танқид қилди.

Ана шу абсолют фазо концепцияси Эйнштейннинг ёруғлик тезлигининг доимийлиги муаммосини — уни боши берк кўчага бошлаб кирган муаммони ҳал қилишига халақит берар эди. Унинг бу муаммони Махнинг қарашлари асосида ҳал қилмоқчи бўлиб қилган барча уришларида «бизнинг вақт тўғрисидаги кундалик тушунчамиз ўлчаш талабига жавоб бера олармикин?», деган фикр бурпилиш нуқта бўлиб хизмат қилди.

— Соат нима? — ўз-ўзидан сўрар эди Эйнштейн. «Соатнинг аниқ юриши»га ишониб биз тўғри иш қиламизми? Ҳар қандай шароитда ҳам шундай қилиш мум-

кинми? Бизнинг соатимиз ҳамisha бир хил ритмда юришига ишонсак бўладими? Фараз қилайликки, соат ёруғлик тезлиги билан солиштирса бўладиган улкан тезлик билан ҳаракат қилсин. Бундай ҳол соатнинг юришига таъсир қилмаслигини биламизми?

Барча «ҳа» ва «йўқ» жавобларни ҳисоблаб кўриб, Эйнштейн «Йўқ, билмаймиз» деган натижага келди. Ҳаракат соат юришига таъсир кўрсатади дейиш ҳам, ҳеч қандай таъсир кўрсатмайди дейиш ҳам бир хилда тўғри жавоб эди.

Энди, вақтни ҳар хил тезликларда ҳаракат қилаётган ~~ҳар хил~~ кузатувчилар томонидан ҳисобга олиш натижалари бир хил, деб фараз қилайлик. Олинган натижаларни тенглаштиришнинг бирор-бир усули йўқмикин? Вақтни ўлчашдаги фарққа бирор тузатма киритиш мумкин эмасми? (Мумкин бўлган тажрибаларнинг анализи жавоб берди: йўқ, мумкин эмас!?)

Энди биз Эйнштейн юқорида айтиб ўтган: «ёруғлик йўналиши бўйича ҳаракатланаётган кузатувчига ҳам, ўз ўрнида қимирламай турган кузатувчига ҳам ёруғлик қандай қилиб секундига 300 000 километр тезликда тарқалгандек бўлиб кўринади?» деган муаммони қандай ҳал қилганлигини кўриб турибмиз. *Мен кўришганим!*

Бу кузатувчилар вақтни бир хилда ҳисоблайди, яъни ёруғлик тезлигини бир онда ўлчайди, деб ҳисобланади. Бироқ бунинг учун ҳеч қандай ишончли асос йўқ эди. Ундай бўлса, балки ҳар хил кузатувчилар томонидан ўтказилган вақт ҳисоби уларнинг ҳаракат тезликларига боғлиқдир; яъни бу ҳисоблар шундай ўзгарарки, натижада ёруғлик тезлиги доимо бир хилда қолар?

Эйнштейннинг махсус нисбийлик назариясининг асосий ғояси ана шундан иборат эди. Тўғри жавоб топиш учун унга етти йил керак бўлди. Абсолют вақт тушунчаси кйшилар «онгида мустаҳкам ўрнашиб олган», унга шубҳа билан қараш жуда қийин эди. Лекин Эйнштейн бу тушунчага шубҳа билан қарай олди, шундан сўнг қолган ишлар жуда силлиқ кетди. Фикрни илмий терминларга ўтказиш ва мантиқий хулосалар чиқаришга ҳаммаси бўлиб беш ҳафта кетди. Натижада оддий назария келиб чиқди. Бу шу маънода оддий эдики, унда кам нарсадан кўп нарса келиб чиқди, бу кам нарсалар, Эйнштейн бошлаган бу бир нечта постулатлар бўлиб, улар тажрибада ишончли равишда тасдиқланди. Асосий

постулатга кўра, манба ёки қабул қилувчининг ҳаракатидан қатъи назар, бўш фазода ёруғлик ҳамisha бир хил тезликда ҳаракатланади. Эйнштейн ўз назариясининг таърифини қуйидаги сўзлар билан бошлаган эди: «Қани, кўрайликчи, эфир, абсолют фазо, абсолют вақт сингари тушунчаларсиз ҳам ишлай оламизми? Келинг, яккаю-ягона постулатдан бошқа ҳеч нарсани тўғридан-тўғри қабул қилмай, бунинг воситасида нималар чиқшини кўрайлик».

Эйнштейннинг хулосаларида кўпинча,  $c$  ёруғлик тезлиги қатнашади, чунки бундан у ўз ишида ташкил қилувчи принцип сифатида фойдаланди. Бу катталик нисбийлик назариясининг таркибий қисми бўлган ҳаракат қонунларида учрайди. Жисмларнинг тезлиги  $c$  га қараганда анча кичик бўлганда бу қонунлар Ньютон қонунларига тўғри келади. Жисмларнинг тезлиги  $c$  га яқинлашганда эса улар Ньютон қонунларидан фарқ қилади. Нисбийлик назарияси қонунларига мувофиқ жисмнинг тезлиги ошган сари унинг массаси ҳам ортиб, тезликнинг қиймати  $c$  га яқинлашганда масса чексиз катта бўлади. Шу сабабли Оламда ҳеч нарсa секундига 300 000 километрдан катта тезлик билан ҳаракат қилолмайди.

Бундан ташқари, илгари ҳар(хил тушунчалар деб қараладиган) масса ва энергия ҳақиқатда эса бир нарсанинг ўзаро боғланган икки томони эканлиги маълум бўлди: Массанинг фавқулодда кичик миқдори жуда катта энергия миқдорига эквивалентдир. Масса ва энергия орасидаги муносабат математикавий кўринишда:  $m = \frac{E}{c^2}$  ёки  $E = mc^2$

формула орқали ифодаланади. Бу формула кейинчалик атом энергиясини қўллашнинг миқдорий асоси бўлиб қолди.

Эйнштейн учун ҳам  $E = mc^2$  формула алоҳида аҳамиятга эга эди. Бу тенглама табиатдаги асосий ўзаро боғланишни ифодалар ва Эйнштейннинг фикрича, ундан физиканинг тахминларга асосланган мантиқий хулосаси келиб чиқар эди.

Махсус нисбийлик назарияси чоп қилингандан бир неча йил кейин математик Герман Минковский нисбийлик назариясини бошқача математикавий шаклда ифодалаш мумкинлигини топди. Назариянинг Минковский томонидан таклиф қилинган математикавий талқинида

фазо ва вақт ягона тўрт ўлчамли континуум сифатида намоён бўлади. Эйнштейн бир ҳодиса аини бир кузатувчи томонидан ўлчанганда ҳар хил натижалар келиб чиқишини кўрсатди. Лекин шу билан бирга назария барча кузатувчилар учун тўғри бўлган, ишончли ўлчаш натижасини олишга имкон берадиган усулни — кузатишларнинг мос тушмайдиган натижаларини корреляциялаш усулини ҳам кўзда тутар эди. Минковский шуни кўрсатдики, бу усул кузатиш вақтида олинган маълумотларни математикавий фазо-вақт координата системасида умумлаштириш йўли билан амалга оширилади. Шундай қилиб, Эйнштейн назарияси янги фазо-вақт тушунчасини киритганлиги аниқланди.

Навбатдаги вазифа фақат биргина текис ҳаракатни эмас, балки ҳаракатнинг ҳамма турларини шу тўрт ўлчамли схемага мослашдан иборат эди.

Вафотидан бир оз олдинроқ Роберт Оппенгеймер билан суҳбатлашганда Эйнштейн 26 ёшида амалга оширган йирик иши ўзининг кейинги бутун ҳаётига қандай таъсир қилганлигини айтиб, шундай деган эди: «Агар сиз ҳаётингизда ҳеч бўлмаса бир марта йирикроқ ишни амалга оширсангиз, ундан сўнг сиз ўз-ўзингизники бўлмай қоласиз, ҳаётингиз ҳам, ишингиз ҳам бошқа ўзан бўйлаб кетади».

1905 йилдан кейин кишилар Эйнштейн ҳақида ҳар хил фикрга эга бўладилар. Бировларга у фанда хавфли қатъий ўзгаришлар тарафдори бўлиб кўринса, бошқа бировларга эса содда ҳаваскор, ишқивоз бўлиб кўринадди. Баъзилар унинг илмий ишлари «яхшилик» ва «ёмонлик» билан бирга қўшилиб, барча абсолютликни йўқотади, деб ҳисоблай бошлади. Эйнштейн ҳаётида ўзгариш 1905 йилда, яъни унинг ишлари бошқа олимларга маълум бўлгандаёқ юз берган бўлса ҳам, лекин шоншухрат унга анча кеч келди. Бир неча йил илгари академия дунёсида ўзига иш ахтариб юрганида дуч келган кўринмас девор қулади, энди уни фан олами тан олди. Эйнштейн Швейцария патент бюросидан кетди.

Берн университетига приват-доцент бўлиб тайинланганидан кейин етти йил ўтгач, у юксак даражага эришди — ўттиз уч ёшида профессор бўлди. Бошқалар учун муаммо бўлган академия «поғона»ларидан кўтарилиш унинг хизматлари эвазига тезлашди. Уни Берн университетидан Цюрих университетига таклиф қилишди;

сўнгра у Прага университетига ўтди ва яна Цюрихга, лекин бу сафар ўзи қачонлардир студент бўлган политехника институтига қайтди. Уриннинг ҳар бир ўзгариши академия дунёсидаги юқорироқ лавозимдан (демак, каттароқ маошдан) ва ошиб бораётган обрўдан нишона эди.

1922 йилда Эйнштейнга халқаро Нобель мукофоти берилди. У жаҳондаги ўнлаб академияларнинг аъзоси қилиб сайланади. Эйнштейннинг шуҳрати у даврда ҳали кашф этилмаган занжир реакцияси қонунини каби жуда тез тарқалади. Ҳеч бир олим Эйнштейн сингари афсонавий шуҳрат қозонган эмас. Берлиннинг Эйнштейн турадиган Габерландштрассе кўчасидаги 5-уйга жаҳоннинг ҳамма томонидан турли тилларда ёзилган кўплаб хатлар узлуксиз келиб турарди. Шуҳрат унинг тинкасини қуритади. «Мен одамлар қўлида қўғирчоққа айланиб қолдим», «биз ҳаммамиз эсдан оғмадикмикан», дейди.

Бу даврда Эйнштейн Планк билан дўстлашиб қолган эди. Улар одамларнинг кўзига жуда ғалати кўринар эдилар. Эйнштейн тўладан келган, сочлари қалин, хушчақчақ йигит бўлса, Планк озғин, узоқни кўролмайдиган, паришонхотир, сочлари тўкилиб кетган кекса киши эди. Планк нисбийлик назариясининг фан учун аҳамиятини бошқа олимлардан аввалроқ пайқади. Фақат физикага бўлган муҳаббатигина эмас, балки музыкага бўлган эҳтиросли муҳаббат ҳам уларни дўстлаштирган эди. Эйнштейн қўлига скрипка олар экан, дарров жиддий тусга кирар эди. Планк эса қўлларини бир-бирига асабий ишқаб, рояль чалгани ўтирарди. Баъзан улар роялга ёнма-ён ўтириб чалишарди. Моцарт, Брамс, Бетховен, Скрябин... Баъзан уларнинг ўзлари куй яратишарди. Улар бир-бирларини жуда яхши тушунар эдилар. Агар бирор назарий концепцияни алоҳида баҳоламоқчи бўлса, Эйнштейн: «фикрнинг мусиқийлиги», дерди. Бу фикрни у биринчи марта улуг фаҳм ва сезги эгаси бўлган Нильс Борга нисбатан айтган эди. Унинг дастлабки ишларини мақтаб: «Бу фикрнинг энг юксак мусиқийлигидир»,— деган эди Эйнштейн.

Эйнштейн ўз олдига ҳеч қачон енгил вазифаларни қўймасди. У ҳал қилган масалалар ўзининг мураккаблиги билан кишини ҳайратда қолдирарди. Эйнштейн олти юздан ортиқ мақола ёзган. Бу мақолаларнинг ярмидан кўпи илмий мақолалардир. У дам олишни билмайдиган,



лекин ҳар қандай шароитда ҳам ишлай оладиган ажойиб олим эди.

... Мана, ёш Эйнштейн ўзининг тўнғич боласи ётқизилган аравагани гавжум кўчада итариб кетаётир. У бирдан тўхтаб, чўнтагидан қоғоз-қалам чиқаради ва алланималарни ёзиб қўяди.

Унинг студентларидан бири бундай қизиқ фактни келтиради. «Эрталаб мен унинг уйига бордим. У ўзининг ишхонасида ўтирарди, стол устида турли математикавий формулалар ёзилган қоғозлар сочилиб ётарди. У чап қўлига кичик ўғли Эдуардни кўтариб олиб, ўнг қўли билан алланималарни ёзар ва ерда кубик ўйнаётган катта ўғлининг саволларига ора-сира жавоб бериб қўяр эди. Мен унинг диққат билан ўйлаётганини кўрдим».

Иш унинг учун одатдаги ҳолат эди. Стол орқасида ўтириб дўстлари билан суҳбатлашув, яхтада саёҳат қилиш ҳам (Эйнштейн спортнинг мана шу тури билан баъзан шуғулланиб турарди), газета ўқиш, трамвайда чайқалиб юриш ҳам унинг ишлашига халақит бера олмас эди. Совет давлат арбоби Луначарский шундай деб ёзади: «Эйнштейннинг кўзлари узоқни кўролмайди, паришон. Гўё назарининг ярмидан кўпи олдинга эмас, ич-ичига қаратилгандай. Шунинг учун кўзлари мавҳум хаёлга тўлса, четдан ғамгин бўлиб кўринади».

У лекцияларни ёқтирмасди, баҳс ва жонли суҳбатларнинг қурбони эди. «У стол орқасида ўтириб эмас, ҳамкасблари билан суҳбатлашиб ижод қиларди,— деб ёзади унинг биографи Антон Рейзер,— у ўзининг янги фикрларини қоғозга ёзиб эмас, қўлига бўр олиб ҳамкасблари билан доска ёнида суҳбатлашиб ниҳоясига етказар эди».

Эйнштейн ўз табиатига кўра «жангчи» эмас эди. Масалан, у шахматни ёқтирмасди. «Бу ўйинда ютиш учун кураш руҳи менга тўғри келмайди», дерди.

У Галилей ва Кеплерни яхши кўрар ва уларнинг жасоратини ҳурмат билан тилга оларди. Ҳеч кимга қўшилмайдиган ва доим хаёл суриб юрадиган Кеплернинг жўшқинлиги Эйнштейнга жуда яқин эди. «Галилей тутқунда» романининг автори Макс Бродга ёзган хатида Эйнштейн бундай дейди: «Менинг назаримда у бошқа эди. У ҳақиқат йўлида жон куйдирарди. Лекин... ҳеч қандай зарурат бўлмагани ҳолда поплар ва бошқа сиёсатчилар билан курашиш учун Римга боради. Нисбий-

лик назариясини ҳимоя қилиш учун мен шунга ўхшаган иш қилишимни асло тасаввур этолмайман. Мен ҳақиқат менга нисбатан кучли деб ўйлаган бўлардим, Росинантга миниб, уни қилич билан ҳимоя қилиш мен учун кулгили Дон Кихотликдан бошқа нарса бўлмасди».

Нисбийлик назарияси физикада революция ясади, бу планетамизни революциялар билан ларзага келтирган ижтимоий ғояларга ҳамоҳангдир. Бу назария қотиб қолган илмий догмаларнигина эмас, балки давлатни бошқаришдаги эски усулларни ҳам улоқтириб ташлашга чақирарди. Буни ҳамма, ҳатто революцион усулларнинг душманлари ҳам тушунарди. Эйнштейннинг шуҳрати ошган сайин унинг номи ва назарияси теварагидаги кураш ҳам кучая борди.

Фанда чинакам революционер бўлган Эйнштейн Октябрь революциясини чин юракдан табриклади. «Мен Россиянинг дўсти эдим, бундан кейин ҳам унинг дўсти бўлиб қоламан»,— деб ёзди у. Эйнштейн Ленининг ролини тўғри тушунарди: «Социал адолат учун курашгани учун мен Ленинни ҳурмат қиламан. Унга ўхшаган одамлар инсоният виждонини сақлаш ва янгилаш учун хизмат қилади».

Эйнштейн ниҳоят даражада сахий ва кўнгилчан одам эди. Ҳамма нарсани кечиравергани учун эмас, балки ҳамма нарсани тушунгани учун у сахийлик қиларди. Лекин унинг ашаддий душманлари ҳам оз эмас эди. Улар нисбийлик назарияси ва унинг муаллифига туҳмат тошларини ёғдирардилар. Немис физик олими Пауль Вейланд Эйнштейн таъсирига қарши курашиш учун махсус комитет тузади. Гейдельберг университетининг профессори, экспериментчи физик, шовинист, кейинчалик телба фюрернинг содиқ малайи Ленард айниқса чидай олмасди. У нисбийлик назариясига туҳмат қилибгина қолмай, Эйнштейнни маҳв этишга очиқдан-очиқ чақиради. Эйнштейннинг душманлари: «Нисбийлик назарияси — немис назарияси эмас, бу большевиклар физикаси, бу илмий ғийбатдан бошқа нарса эмас», дейишгача бориб етишади. Газеталардан бири: «Герман профессорлари Эйнштейн сафсаталарига ишониб турган бир пайтда, ишчиларнинг Марксга эргашишига таажубланмаса ҳам бўлади»,— деб ёзди: Бу бош кўтараётган фашизм эди.

Эйнштейннинг қисматиға тушган улуғ шуҳрат инсоният тақдири учун олимнинг қанчалик масъулиятли эканлигини унга доимо эслатиб турарди. Кейинчалик у: «Мен ўз вақтимни тенгламаларгагина эмас, сиёсатга ҳам сарфлашга мажбур эдим»,— дейди. У илмий иш билан банд бўлса ҳам, ижтимоий масалаларга ўз вақтини аямай сарфларди.

Йигирманчи йилларда олим Голландия, Чехословакия, Австрия, АҚШ, Англия, Франция, Ҳиндистон, Хитой, Япония, Паластин, Испания каби мамлакатларга боради. Аризонадаги индеецлар қабиласида ҳам бўлади. Индеецлар унга «Улуғ нисбийлик назарияси доҳийси» унвонини беришади ва ўз миллий кийимларини тақдим этишади. «Инсониятнинг коллектив ақли олдида оламнинг янги манзарасини ҳимоя қилиш» учун кўп минг кишилик аудиторияларда лекциялар ўқийди. Олимнинг душманлари бундан фойдаланишга ошиқадилар. Германияда босилиб чиққан «Нисбийлик назариясини оммага ўргатишмоқда» деган китобчада нисбийлик назариясининг хатолиги олимлар орасида фош бўлгани учун энди уни Эйнштейн оммага ўргатмоқчи ва шу йўлда обрўсини кўтармоқчи дейилган эди. Эйнштейн ўз назариясини реклама қилишда айбланади. Лекин баъзилар нисбийлик назариясини герман аҳлининг меваси деган фикрни кўтариб чиқишди. Юқорида номи зикр қилинган Ленард бу назарияни урушда ҳалок бўлган истеъдодли назариётчи олим Франц Газенерль кашф этган, дейди. Шу тарзда нисбийлик назарияси атрофида сиёсий кураш кучая боради.

Эйнштейн ўз ишини хотиржам давом эттиради. У М. Горький, Р. Роллан, А. Барбюс, Р. Тагор, Ж. Неру, Б. Шоу, А. Франс, Уэллс каби интернационал ақл ва ижод намояндалари билан ҳамнафас, уларнинг кўпчилиги билан шахсан дўст эди. У уруш оловини ёқувчилар ва ирқчиларни фош этувчи, халқларни тинчлик ва қардошликка ундовчи чақириқларга қўл қўяди, қуролсизланиш принципларини ҳимоя қилиб чиқади.

Эйнштейн Германияда йигирма йил яшади. Гитлер ҳокимият тепасига келганда у Калифорнияда лекция ўқир эди. Гитлерчилар уни нацистлар режими душманлари рўйхатига киритишади ва сиртдан ўлимга ҳукм этишади. Эйнштейнга бағишланган махсус журнал унинг портрети билан очилади. Альбомда унинг «жино-

ятлари» санаб ўтилгандан кейин (Эйнштейннинг «бош жинояти» унинг нисбийлик назариясини кашф этганлигидир деб кўрсатилади) «ҳали дорга осилгани йўқ» деган сўзлар ёзиб қўйилган эди. Нацистлар олимнинг уйини мусодара қилишади, архивини, китобларини ўтга ёқишади, уни тутган одамга эса 50 минг марка мукофот эълон қилишади.

Бу вақтда Цюрихда унинг 22 ёшли ўғли Эдуард асаб касали билан огриган бўлиб, унинг аҳволи оғир ва даволаш анча қийинлигини врачлар айтишган эди.

1933 йилнинг кузида Эйнштейн АҚШга кўчиб кетади. У Принстонда Олий тадқиқотлар институтига профессор бўлиб ишга киради.

Бу институт Америкада таълим-тарбия ишларининг реформачиси Абрам Флекснер деган киши томонидан ташкил этилган бўлиб, унинг мақсади машҳур математик, физик, табиатшунос ва тарихчиларга илмий тадқиқотлар олиб бориш учун барча имкониятларни яратиб беришдан иборат эди. Институтда ўн саккиз киши ишларди. Улардан ташқари институтда яна бир нечта чет эллик олимлар ҳам иш олиб борардилар. Институтнинг доимий хизматчилари лекция ўқиш ва ўз асарларини нашр эттириш юзасидан ҳеч қандай мажбурият олмас эдилар.

Эйнштейннинг бу фан мутафаккирлари республикасига ишга келиши олимлар томонидан қизгин маъқулланди. «Бу воқеа Ватиканни Римдан Янги Дунёга кўчириш билан баравар қимматга эгадир!— дейди Поль Ланжевен хурсанд бўлиб,— ҳозирги замон физикасининг папаси бу ерга келган экан, энди Америка Қўшма Штатлари табиёт фанларининг марказига айланади».

Олий тадқиқотлар институтида Эйнштейн 1933 йил 1 октябрдан иш бошлайди. Унинг йиллик иш ҳақи 15000 доллар қилиб белгиланади. Бу Эйнштейннинг ўзи рози бўлган иш ҳақидан 4 баравар кўп эди. Эйнштейн ўзининг пулга бўлган муносабатини мана бундай ифодалаган эди: «Мусо, Исо ё Гандининг пул солинган халта кўтариб юрганини тасаввур этиш мумкинми? Мен уларнинг пул кўтариб юрганини тасаввур этолмайман». Унинг пулга нисбатан бепарво эканлигини мана шу фактдан билса ҳам бўлади. Эйнштейн етмиш ёшга тўлганда, Рокфеллер фондидан унга 15000 доллар пулга чек ёзиб беришади. Лекин Эйнштейн узоқ вақтгача

пулни олмайди ва чекдан гаров китобчаси сифатида фойдаланади.

Қирқинчи йилларда Эйнштейннинг шуҳрати тилларда дoston бўлиб кетган эди. Эйнштейн эса ўзининг шуҳратига бепарво қарарди. Колумбия университетининг ректори зиёфатда уни «Ҳозирги маънавий ҳаёт доҳийси»,— деб улуғлаганда Эйнштейн ёнида ўтирган кишиларга: «Мана энди мен тез вақт ичида ўзимга биронта бейсбол чемпиониға ўхшаб машҳур бўлиб кўринсам керак», деган эди.

Эйнштейндан автограф олишни хоҳлаган кишилар сони кун сайин ортиб борарди. Лос-Анжелос шаҳрида яшайдиган ўн беш ёшли ўқувчи қиз Эйнштейндан ҳийла билан автограф олади. У профессорга хат ёзиб дугоналари икки айланага уринма ўтказишни билишмаётганини айтади. Эйнштейн икки айланага уринма ўтказишни тушунтириб унга жавоб ёзади ва хатнинг охириға «А. Э.» деб имзо чекади.

Бора-бора Эйнштейн ўзининг Принстондаги қўш айвонли уйдан чиқмай қўяди. Бу уйнинг орқасида катта боғ бор эди. Принстондан унчалик узоқ бўлмаган денгизга ҳам камдан-кам боради. Унинг шахсига сифиниш унга шу қадар ёқмас эдики, у одамлар орасида, ўтиришларда жуда кам бўлар эди. «Мен қирол Мидасга ўхшаб қолдим,— деб ҳазиллашарди у.— Лекин фарқ шундаки, менинг теварагимдаги нарсалар олтинга эмас, масхарабозликка, циркка айланади».

У автобусда кўпинча истеъдодли математик Курт Гедель билан гаплашиб кетарди. Автобус Фулд-Холл деб аталадиган қуббали узун бино ёнида тўхтарди. Бу ерда 115 рақамли кенг ва ёруғ хона жойлашган бўлиб, олимга ўз ҳурматиғни изҳор қилиш учун бу хонага Неру, Тагор, Альберт Швейцер каби машҳур кишилар келишган эди. Кабинетда ёзув столи, кресло, юмшоқ курси ва китоблар терилган стеллаж бор эди. Бу хонада Эйнштейн майдоннинг ягона назарияси устида ишлар эди.

Америка журналларидан бирида 1936 йилнинг кузидан 1939 йилгача Эйнштейн билан бирга ҳаракатнинг мавҳум проблемалари устида ишлаган, истеъдодли назарийчи, машҳур поляк олими профессор Леопольд Инфельднинг хотиралари босилди. Кембрижда Макс Борн билан ҳамкорликда электродинамика проблемалари устида иш олиб борган бу олим 1938 йилда Эйн-

штейн билан бирга «Физика эволюцияси» ҳамда «Гравитация тенгламалари ва ҳаракат проблемалари»га оид тадқиқотларини нашр эттирган эди (кейинги ишнй ёзишда Б. Гоффман ҳам иштирок этган). Уларнинг ҳамкорликда ишлашлари туфайли 1949 йилда «Умумий нисбийлик назариясида зарралар ҳаракати» асари майдонга келди. Инфельд хотираларида ўзининг олим бўлиб танилишида катта роль ўйнаган киши образини яратди.

«Мен ўз ҳаётимда менга қараганда талантили олимларни кўп кўрганман,— деб ёзади поляк олими. Мен уларнинг ақл-фаросати, масалаларни тез ҳал қила олиши, сезгирлиги, мен учун енгилмас бўлиб кўринган қийинчиликларни енгиллашига қойил қолардим. Шундай пайтларда менинг қалбимни завқланиш туйғулари билан бир қаторда таҳқирланиш ҳислари ҳам чулғаб оларди. Ахир, сен енгилмаган тўсиқларни бемалол енгил ўтган кишини кўрганингда ўз нўноқлигингни эслаб ерга қарамай, илож ҳам йўқ-да! Лекин Эйнштейн билан ишлаган пайтимида бу аламли туйғу менда бир марта ҳам пайдо бўлмаган. Нега? Ўзимнинг тушунишимча, бунга иккита нарса сабаб бўларди. Эйнштейн ўз назариясини тушунтирганда, ҳеч қачон тингловчини қойил қолдиришга интилмади. У ўз фикрини аста-секин, шошилмай атрофлича тушунтирарди. Бунда у муҳим нуқталарни такрорлаб, алоҳида таъкидлаб ўтишни яхши кўрарди. Тингловчилар унинг фикрини тез уқиб оляптими ё тушунмаяптими?— буни Эйнштейн мутлақо сезмасди. У фикрларини ўзига тушунтираётган одамга ўхшаб гапирарди. «Мен мана шундай нарсаларни қилдим! Билиб қўйинглар!» деган имо унинг учун ёт эди. Эйнштейн ўз ишларининг натижаларини мақтагудай бўлса, у худди қимматбахо тош топиб олган кишига ўхшаб гапирарди.

Икковимиз биргаликда ишлаган пайтларимизда мен унинг чуқур фикрларига, сезгирлигига; айниқса ўз олдидаги проблемаларни ҳал қилишда кўрсатган тиришқоқлигига ҳайрон қолардим. Одамнинг илмий тадқиқотга лаёқатли, ё лаёқатсиз эканлиги кўп жиҳатдан унинг характерига боғлиқ бўлади, дерди у. Эйнштейн билан кўп ишлаган ва уни яхшироқ билган сайин мен уни илмий муваффақиятлари учун эмас, балки ажойиб хулқи учун кўпроқ ҳурмат қилардим. Эйнштейн физик ва файласуф сифатида қанчалик улуғ бўлмасин, у мен

учун одам сифатида бундан ҳам улуғроқдир. Бундай деб гапириш бирмунча ғалатиноқ бўлса ҳам, лекин Эйнштейн унга тамомила лойиқдир. Мен ўзим билган олимлар ичида фақат Эйнштейннигина улуғ олим деб, рўй-рост айта оламан. Бизнинг замондошларимиз орасида унга тенг келадигани йўқ. Эйнштейннинг шуҳратини оламга таратган нарса у кашф этган ёруғлик нурлари эгилишининг улуғвор аҳамияти эмас, балки мана шу одамийлик дейиш тўғрироқ бўлар. Башарият виждони бўлган Эйнштейн беҳаёликдан, зулм ва зўрликдан, ҳаётда ўзинга қулай шароит яратиш учун очкўзларча интилувчи кишилардан қаттиқ ҳазар қиларди. Бундан Эйнштейн адолатсизлик, ё зўрликни кўрганда титраб кетадиган кўнгилчан одам экан деган хулоса чиқармаслик керак. Бундай дейиш мутлақо нотўғридир. Мен Эйнштейнчалик ёлғиз, хилватда яшашга кўп интилган одамни кўрган эмасман. Унинг сахийлиги, инсофлиги, ижтимоий ғоялари (бундай дейиш ғалати туйилса ҳам, лекин шуни айтиш керакки, у ижтимоий масалаларга қизиқар эди) ўзининг бетарафлиги билан кўзга ташланарди, шунинг учун бўлса керак, бу ғоялар ерга бошқа планетадан олиб келинганга ўхшаб туюларди. Эҳтимол, худди мана шу хилватгоҳлик, Эйнштейннинг ўзини дунё ишларидан ажратиб олишга интилиши унинг ақл бовар қилмайдиган ахлоқий юксакликка кўтарилишига сабаб бўлгандир. Ўз шахсини, шахсий манфаатини биринчи ўринга қўйган одам ҳеч қачон бундай юксакликка эриша олмайди. Хилват ҳаёт кечириш эса анча нарсдан воз кечишни талаб қилади. Эйнштейн бир куни олим учун энг қулай жой маяк қоровулининг жойидир, чунки бу жой ўйлаш ва ишлаш учун энг кўп имконият беради, деб ёзган эди. Мен унга бундай шароитда илмий иш олиб борадиган олим кам, чунки ижод учун одамлар, фикр алмашув бўлиши керак, дедим. Эйнштейн менинг гапларимга унчалик эътибор қилмади. Ҳақиқатан ҳам, Эйнштейн маяк қоровули бўлиб ишлашга хурсандчилик билан рози бўладиган ягона олим эди десам, хато қилмайман.

Эйнштейннинг ҳаёти ақл бовар қилмайдиган зид ҳодисалар бирлашувининг намунасидир. У ўзининг энг муҳим ишини Берндаги патент бюросида оддий хизматчи бўлиб юрганида тамомлади. Эйнштейн кўпинча ўзининг физикдан кўра кўпроқ файласуф эканига ишора

қиларди. Унинг физика соҳасидаги тадқиқотлари мавҳум характерга эга. Шунга қарамай, одамлар Эйнштейннинг нисбийлик назарияси озми-кўпми атом бомбасига алоқадор деб ўйлашарди. Эҳтимол, унинг ҳаётидаги тушуниб бўлмайдиган воқеалардан бири, зид ҳодисаларнинг ақл бовар қилмайдиган даражадагиси мана шу бўлса керак. Мавҳум тафаккур генийси, бу одам «атом бомбасининг отаси» ҳисобланади...»

Эйнштейн яхтада сузишни яхши кўрарди. 1935 йилда у Коннектикут дарёсининг қуйи оқимида жойлашган Олд-Лайм шаҳрида (Коннектикут штати) бир уйни ижарага олади. 1940—1945 йилларда эса Нью-Йорк штатидаги Адирдон деган жойдаги уйлардан бирини ижарага олади. Бу ерда ўрмон, воҳа, сойлар, 1300 та кўл бўлиб, жуда манзарали эди.

1935 йилда қаникул вақтида Эйнштейн Флоренция яқинида яшаётган синглизис Майяга бундай деб ёзган эди: «Хат ёзмайсан деб ҳамма мендан нолийди, бу тўғри. Жуда кўп, бунинг устига нотаниш жойларга хат ёзишга тўғри келади. Ҳар куни мадмуазель Дюкас блокнот кўтариб кириб, мени диктовка қилишга мажбур қилмаганда аҳволим нима бўлишини билмайман. Бошқа вақтда чорбоғда мен эркин нафас оламан. Ҳаммадан Коннектикут дарёсида яхтада сузишни айтмайсанми! Бунақа хилват, одам оёғи тегмаган жойни Европада топиш мумкин эмас. Тезда ёз тугайди ва мен саришта Принстонга жўнайман. Бунинг ҳам ўзига яраша гашти бўлади. Энди Принстонда ўзимизнинг уйимиз бор. Олдин кўнгилдагидай бошланган иш ҳозир секин ва қийинчилик билан давом этапти. Физиканинг принципиал масалаларида биз очиқ-ойдин эмас, пайпаслаб, кўпинча тусмоллар билан ишлайдиган босқичда турибмиз, бир олим учун тўғри бўлиб кўринган нарса бошқа олимни ўзига тортмайди. Ҳамма ҳам ишга тушгунча ўзини ишончсиз ҳис қилади. Мен қилган ишларим фаннинг таркибий қисми бўлиб қолгани билан ўзимни овутиб юрибман. Сиёсий аҳвол шу қадар қалтис бўлиб қолдики, киши ҳатто тенгдошлари билан ҳам очиқча гаплашолмайди. Одамлар тартибни, инсонлик қадр-қийматини ҳурмат қилиш, жуда кўп қурбонлар эвазига энг яхши авлодларимиз яратган бойликларни қадрлаш ҳисидан маҳрум бўлиб қолганга ўхшаб кўринади. Буларни ўйлаб баъзан киши тушкунликка тушиб қолади. Инсон



яратган барча бойликлар асосида ахлоқий принцип ётади».

«Эйнштейн атом бомбасининг отаси» деган фикр асоссиз эканлигини қайд қилиб ўтиш лозим. У атом бомбасини яратишда иштирок этмади. Япониянинг Хиросима ва Нагасаки шаҳарларига атом бомбаси ташлашга қарши чиқди. Миллатчилик ва ялпи урушнинг ашаддий душмани бўлган бу олим атом қуролидан фойдаланишни кескин қоралади. Хиросима ва Нагасаки шаҳарлари бомбардимон қилингандан кейин тузилган атомчи олимлар фавқулодда комитетининг президенти бўлган Эйнштейн қотиллик, одам ўлдириш давлат томонидан оқланган тақдирда ҳам жазоланадиган жиноятлар қаторига кириши лозим, деган талабни кўтариб чиқди.

Кўҳна алхимикларнинг бир элементни бошқа бир элементга айлантириш тўғрисидаги орзуси 1896 йилдагина, Франция физиги Анри Беккерель радиоактив нурларни кашф этгандан кейин реал имкониятга айланди. Атом физикасининг бундан кейинги тараққиёти Пьер Кюри ва Мария Склодовская-Кюри, 1919 йилда атом ядросини альфа-зарралар билан бомбардимон қилиш йўли билан бир элементни бошқа элементга айлантирган Эрнест Резерфорд, унинг шогирди, 1913 йилда квант назарияси асосида атомнинг янги моделини ишлаб чиққан Нильс Бор, 1932 йилда нейтрон атом ядросининг таркибий қисми эканлигини исботлаган Жемс Чедвик каби олимларнинг номи билан боғлиқ. 1934 йилда италиялик олим Энрико Ферми одатдаги шароитда радиоактив бўлмаган элементларнинг ядроларини нейтронлар воситасида активлаштиришга муваффақ бўлди. Фредерик ва Ирен Жолио-Кюрилар сунъий радиоактивликни кашф этдилар. Бу орада Гитлернинг учинчи рейх душманларига қарши ҳар қандай қуролни ишлатишдан қайтмаслиги маълум бўлди. Инсоният иккинчи жаҳон урушининг шарпасини сезиб, чўчиб қолди.

1939 йил 6 январда «Табиятунослик» журналида босилган мақола бу ташвишга сабаб бўлди. Мақолада уран ядроси бўлиниб, қатор барий изотоплари ҳосил этиши тажрибада аниқланганлиги эълон қилинган эди. Мақола Монреалда Резерфорд қўлида бир оз вақт ишлаган профессор Отто Гап ва унинг ассистенти Ф. Штрассман томонидан ёзилган эди. Профессор Отто

Ган Стокгольмда ишлайдиган ўзининг тенгдоши ва касбдоши Лиза Мейтнерга мақола корректурасини юборади. Лиза Мейтнер Ган билан 1907 йилдан таниш бўлиб, 1938 йилда Германияни ташлаб кетишга мажбур бўлган эди. Лиза Мейтнер бу кашфиётни қариндоши атомчи физик Отто Роберт Фриш билан муҳокама қилади. Улар уран ядроси бўлиниш процессининг физикавий моҳиятини тушунтиришга муваффақ бўлишади. Уран ядроси бўлинганда ажралиб чиқадиган энергияни соддагина асбоб ёрдамида аниқлашади.

Лиза Мейтнер билан қилган суҳбатларини Фриш 1939 йил январь ойининг бошларида Копенгагенда Нильс Борга айтади. Нильс Бор 1939 йил 29 январда Вашингтонда Америка олимлари жамиятининг йнгилишида атом физикаси эришган бу йирик ютуқлар тўғрисида ахборот беради. Бу эса олимларга шу қадар кучли таъсир кўрсатадики, улар бу янгиликни текшириб кўриш учун йнгилиш тугамасданоқ ўз лабораторияларига шошилишади. Бир неча соатдан кейин улар Бор айтган маълумотларнинг тўғри эканига ишонч ҳосил қилишади. Илмий тадқиқотлар суръати тезлашади. Жолио Кюри, Хальбан ва Коварский Парижда занжир реакциясини амалга ошириш устида иш олиб боришарди. Бу реакцияни биринчи марта 1942 йил 6 декабрда Чикаго шаҳрида Энрико Ферми амалга оширишга муваффақ бўлади.

Бу орада АҚШда ҳаяжонли воқеалар юз бера бошлаган эди. 1939 йилда Нью-Йорк яқинидаги Нассау Пойнт деган жойда дам олаётган Эйнштейннинг олдига икки олим келади. Уларнинг иккови ҳам Будапештда туғилган, лекин кейинчалик АҚШда ишлар эди. Уларнинг бири Колумбия университетиде уран — водород системасида занжирли реакция масалаларини ўрганаётган Лео Сциллард, иккинчиси Пауль Вигнер, эди. Сциллард Эйнштейн билан 1922—1923 йилларда Берлин университетиде назарий физикадан дарс бериб юрганда танишган эди. Улар биргаликда ҳозиргача атом электростанцияларида ишлаётганаётган «Эйнштейн — Сциллард насоси»ни яратишган. Вигнер 1930 йилда Принстон университетиде назарий физика проблемаларидан дарс беради.

Меҳмонлар Эйнштейнга уранининг занжирли реакцияси ва ундан фойдаланиш имкониятлари тўғрисида гапи-

риб беришади. Улар учови маслаҳатлашиб, Эйнштейн билан дўстлик муносабатида бўлган Бельгия қироличаси Елизавета орқали Бельгия ҳукуматини Конгодан олиндиган урани Германияга кўплаб сотишдан айнитмоқчи бўладилар. Лекин кейинчалик бу фикрдан қайтиб, бевосита президент Рузвельтга хат ёзишга қарор қиладилар. Хатнинг дастлабки нусхасини Эйнштейн немис тилида ёзади. Бу нусха асосида Сциллард инглиз тилида икки нусха хат тайёрлайди. Эйнштейн бу нусхалардан энг муфассал ёзилганига имзо чекади. Хат америкалик молия хизматчиси Александр Сакс орқали 1939 йил 11 октябрда Рузвельтга топширилади. Сциллард бундан ташқари яна меморандум ҳам ёзади. Бу меморандум хатга илова қилинади.

Кейинчалик жуда катта воқеаларга олиб келган бу хатнинг тўла текстини келтирамиз:

Альберт Эйнштейн, Олд Гров, Род,  
Нассау Пойнт Пеконик, Лонг Айленд,  
1939 йил 2 август.

Америка Қўшма Штатлари Президентини Ф. Д. Рузвельтга.

Оқ уй, Вашингтон.  
Сэр!

Ферми ва Сцилларднинг мен қўл ёзмада кўриб чиққан баъзи бир сўнгги ишлари шуни кўрсатадики, яқин вақт ичида уран энергиянинг янги ва муҳим манбаига айланади. Шу муносабат билан юзага келган вазиятнинг айрим томонлари ҳукуматнинг сергак бўлиб туришини, агар зарур бўлиб қолса, кескин ва тез ҳаракат қилишини талаб этади. Мен сизнинг эътиборингизни қўйидаги факт ва тавсияларга жалб этишни ўзимнинг бурчим деб ҳисоблайман.

Сўнгги тўрт ой давомида Францияда Жолио, шунингдек, Америкада Ферми ва Сциллард томонидан олиб борилган тадқиқотлар йирик массадаги уранда ядро реакцияси ҳосил қилиш имконини беради. Бу реакция натижасида анчагина энергия ажралиб чиқади ва кўп миқдорда радиоактив элементлар олинади. Бунинг яқин вақт ичида амалга оширилишига тамомила ишониш мумкин.

Бу янги ҳодиса бомбалар яратиш (ҳали унча исботланмаган бўлса ҳам ҳар ҳолда шуни айтиш мумкин), янги типдаги ғоят кучли бомбалар яратишга олиб кела-

ди. Шундай бомбалардан бири кемада портга келтирилиб портлатилса, у бутун порт ва унинг теварагидаги майдонни вайрон қилиб ташлайди. Бундай бомбалар самолётлар учун оғирлик қилиши мумкин.

Қўшма Штатларда уран кам. Ураннынг нодир конлари Канада ва Чехословакияда жойлашган. Бельгия Конгосида ураннынг катта манбалари бор.

Мана шуларни ҳисобга олиб ҳукумат билан Америкада занжирли реакция масалаларини ўрганаётган олимлар ўртасида донмий алоқа ўрнатсангиз. Бундай алоқа ўрнатиш учун Сиз ишониб тайинлаган киши норасмий равишда қуйидаги вазифаларни бажариши мумкин:

а) ҳукумат идоралари билан алоқа ўрнатиш, уларни тадқиқотлар билан таништириб туриш, зарурий тавсияларни, хусусан, Қўшма Штатларни уран билан таъминлаш соҳасидаги тавсияларни ҳукуматга етказиб туриш;

б) хусусий кишилар ва тегишли жиҳозга эга бўлган саноат лабораторияларини жалб этиш йўли билан университетларнинг ички маблағлари ҳисобига олиб борилаётган экспериментал ишларни тезлаштиришда ёрдам бериш.

Германия босиб олган Чехословакия конларидан қазиб чиқариладиган урanni сотиш ҳозирги пайтда тўхтаиб қўйилгани менга маълум. Агар Германия ташқи ишлар министри ўринбосарининг ўғли фон Вейцекернинг уран бўйича Америкада қилинган ишлар тақрорлаётгани, Берлиндаги Қайзер Вильгельм институтига командировка қилингани ҳисобга олинса, бу тадбирнинг сабабини пайқаш қийин эмас.

Самманият билан Альберт Эйнштейн.

Эйнштейннинг бу хати унинг ижтимоий масалаларни узоқ кузатиши, шу масалаларга муносабатининг эволюцияси натижаси эди. Шу билан бирга, бу ҳаракат атом эрасининг характерли хусусиятлари билан чамбарчас боғлиқдир.

Ҳеч ким, айниқса Эйнштейннинг ўзи келгусида кўп воқеалар мана шу ҳаракатдан келиб чиқишини билмаган бўлса керак. Лекин унинг урanni бўлиш юзасидан экспериментал ишларни ташкил этишда оз бўлса ҳам

иштирок этиши ва кейинчалик атом бомбасини ҳарбий мақсадда ишлатишга қарши курашиши даврнинг ўзига хос хусусиятидир. Бунинг асосий сабаби энергиянинг массага боғлиқ эканлигини кўрсатувчи формулани Эйнштейн кашф этганлигидагина эмас. Нисбийлик назарияси ўз вақтида ҳаётдан, одамларнинг умид-орзуларидан узоқ бир нарсанинг симболи эди. Шу билан бирга, бу назария барчанинг эътиборини ўзига жалб этди: Эндиликда инсоният шундай бир босқичга келиб етдики, фан энг юксак умидлар ва шу билан бирга энг даҳшатли ваҳималар манбаига айланди. Энди ижтимоий масалаларга аралашидан бош тортиш — фанга хиёнат қилиш билан барабар эди: фаннинг мағзи, унинг табиати, ҳақиқат одамларнинг юксак умидлари юзага чиқишини ва ташвишларининг йўқолишини талаб этарди.

Атом бомбаси билан қуролланган Гитлер Эйнштейннинг хаёлидан кетмасди. Айни пайтда Эйнштейн АҚШнинг ҳукмрон доираларига ҳам ишонмас эди. Бу ишончсизлик шу қадар кучли эдики, 1940 йилнинг сентябрь ойида Эйнштейн Рузвельтга ёзган хати тўғрисида афсусланиб гапиради. У ўзининг бу хатини Германияда олиб борилаётган атом бомбаси тайёргарликлари билан оқлайди.

Аслида, ўша даврда Гитлер атом бомбаси ишлаб чиқариш имкониятига эга эмас эди. Биринчидан, тез вақт ичидаёқ унинг аҳволи танг бўлиб қолди. 1942 йилнинг кузида Совет Армиясининг қарши ҳужумга ўтиши Германияда атом реакторлари қуриш имкониятини барбод қилди. Иккинчидан, Германияда фан тараққиётига тўсқинлик қилиш, машҳур олимларни қувғин остига олиш физика институтларида илмий тадқиқот ишлари даражасини пасайтириб юборди. Германияда қолган физикларга келганда, бу олимлар янги кашфиётлар яратиш тўғрисида эмас, балки мавжуд кашфиётларни нацистлар ҳукуматининг қўлига туширмаслик тўғрисида ўйлар эдилар. Уран бўлишининг заңжирли реакцияси устида ишлаган Фридрих Хоутерманс ўз тадқиқотларининг натижаларини ошкор қилмасликка интилар эди. Хоутерманс бу масала устида Гейзенберг ва Вейцекер ҳам ишлашаётганини эшитиб чўчиганди. Макс фон Лауэ уни: «Қимматли касбдош, ҳеч ким ўзи хоҳламаган нарсани ҳеч қачон ихтиро қилолмайди»,— деб тинчитади. Бунинг устига, Гитлер ва унинг маслақдошлари назарий

физикага шубҳа билан қарар эди. Телба фюрерга физиканинг рационал ва объектив характери унинг мистик довирашларидан жуда узоқ бўлиб туюларди.

Германияда атом бомбасини ишлаб чиқаришни йўққа чиқарган асосий ғов юқорида санаб ўтилган ички сабаблар эмас, балки гитлерчиларнинг 1942 йилда Волга бўйида Сталинград жангида мағлубиятга учраши бўлди. Гитлерчилар Германиясининг бу мағлубияти жаҳон халқларини атом уруши хавфидан халос этди.

Бу хавфни Эйнштейн 1939 йилда олдиндан билолмас эди. Бу даврда ва ундан кейин ҳам у фашистларнинг атом бомбасини ихтиро этишидан чўчиб юрарди.

Сакс Эйнштейннинг хатини Рузвельтга анча кейин — 11 октябрдагина топширди. Хат президентга унчалик таъсир этмади. Лекин Сакс президентга эртаси куни овқат пайтида айтган бошқа гап кучли таъсир кўрсатди. Наполеон ўз вақтида унга янги двигателлар асосида ишлайдиган кемалар қуриб беришни тавсия этган Фултонни қувиб юборган эди. Мана шу воқеани эслатиб Сакс бундай дейди: «Агар ўша пайтда Наполеон бекорга ғазабланмай, бир оз ўйлаб иш қилганда, XIX аср тарихи бутунлай бошқача ривожланган бўларди». Бу гапдан сўнг Рузвельт Оқ уйдаги хизматчисига Наполеон даврида тайёрланган француз виносидан олиб келишни буюради. Рузвельт уни қадаҳларга қуйиб, ўзининг ҳарбий ёрдамчиси генерал Уотсонни чақиртиради. Шундан кейин атом бомбаси яратиш ишлари бошлаб юборилади. Лекин у жуда секинлик билан борарди. 1940 йилнинг март ойида Эйнштейн президентга яна бир хат ёзишга мажбур бўлади. Эйнштейн бу хатда фашистлар Германиясида уранга қизиқиш кучайганлигини айтади. Рузвельтнинг қўллаб-қувватлашига қарамай, ҳукумат доираларида бу ишга халақит берувчилар оз эмас эди. Сциллард ва бошқаларнинг хотираларида кўрсатилишича, назарий фикрга жуда кам эътибор бериларди. Бу программани бажаришга жалб этилган физик олимлар ва инженерларнинг жонбозлигигина ишни аста-секин олға силжитарди. Улар фашистлар Германиясида атом бомбаси кашф этилиши хавфини яхши ҳис қилар эдилар.

Фашистлар Германиясининг тор-мор этилиши бу хавфни йўққа чиқарди. Лекин энди янги хавф пайдо бўлди. «1945 йилда биз немислар атом бомбаси кашф

этиб, уни бизга қарши ишлатиш мумкин деган хавфдан қутулдик,— деб ёзган эди кейинчалик Сциллард, лекин энди биз Қўшма Штатлар ҳукумати атом бомбасини бошқа халқларга қарши ишлатиши мумкин деб, хавф-сирай бошладик».

Япония шаҳарларини атом бомбардимонидан халос этиш мақсадида Сциллард Рузвельтга меморандум топшириш учун Эйнштейннинг олдига келади. Эйнштейн ёзган хат эгасига бориб етмади. 1945 йил 12 апрелда Рузвельт тўсатдан вафот этганда, бу хат унинг столи устида турган эди.

Генерал Спаатеннинг маслаҳати билан Япониянинг Хиросима ва Нагасаки шаҳарларига атом бомбаси ташлаш планлаштирилади. 1945 йил 6 август эрталаб америкалик учувчи Роберт Левис ўзининг бомбардимончи самолётида Мариан оролларида осмонга кўтарилади. Самолётга «Индианополис» крейсерида олиб келинган биринчи атом бомбаси ортилган эди. Бу даҳшатли юк соат саккиздан 15 минут ўтганда Хиросима шаҳрига ташланди. Қудратли портлаш шаҳарни олов денгизига айлантирди. Уч кундан кейин америкаликлар Нагасаки шаҳрига ҳам атом бомбаси ташладилар.

Альберт Эйнштейн қирғин тўғрисидаги хабарни радиодан эшитди. Бу даҳшатдан у ҳеч нарса дея олмай қолди. Президент Трумэннинг ғалаба тўғрисида: «Бу бомба 20 000 тонна тринитротолуолдан ҳам кучлироқ қирғин кучига эгадир. Биз дунё тарихидаги энг қизғин илмий қиморда 2 миллиард доллар тикдик ва ютдик»— деб дабдаба билан айтган сўзлари унинг қалбини ғамга тўлдирди. Эйнштейн одамларни огоҳлантира бошлади: «Жаҳон ҳозир шундай кризис олдида турибдики, бу кризиснинг моҳиятини яхшилик ва ёмонлик тўғрисида ҳукм чиқарувчи кишилар ҳали тушуниб олганича йўқ. Занжирдан бўшатилган атом энергияси ҳамма нарсани ўзгартириб юборди. Лекин бизнинг фикрлаш йўсинимиз ўзгаргани йўқ. Биз янги ҳалокат ёқасига ожизона қараб кетяпмиз». У катта донишмандлик билан бу фикрга яна қуйидаги сўзларни қўшади: «Бу жумбоқни ечиш — кишилар қалбида».

Эйнштейн ёзади: «Физиканинг принципиал масалалари тўғрисидаги қарашларим деярли барча замондошларимнинг қарашларидан фарқ қилади, шунинг учун мен уларнинг номидан назарий физика юзасидан гапиргани

ҳайиқаман. Мен энг аввал асосий физика қонунларини статистик ифодалаш заруратига ишонмайман. Қўп замондошларимга қарши ўлароқ, мен майдон тушунчасининг элементар характерга эга эканлигини тан оламан. Сўнгра мен группалар назариясининг принциплари амалда тасдиқланиши керак деб ҳисоблайман».

Эйнштейн 1948 йил ёзида Қонрад Габихтга ҳам таҳминан мана шунга ўхшаш фикрни айтади. «Мен ҳали ҳам ғайрат билан илмий иш олиб боряпман, лекин мени физиканинг реаллик қонунларига бўйсунганини хоҳламайдиган ўжар деб ўйлашади». Бундан олдинроқ Макс Борнга ёзган хатида шундай деган эди. «Нима сабабдан мени ашаддий гуноҳкор деб ҳисоблашингни биламан. Лекин бу йўлга менинг қандай қилиб келганимни тушунмасанг керак. Менинг нуқтаи назаримга ҳеч қачон қўшилмасанг ҳам, лекин у сени андак қониқтириши мумкин. Мен ҳам жон деб сенинг позитив фалсафий қарашларингни ер билан яқсон қилган бўлардим. Лекин буни биз ҳеч қачон қилолмасак керак...» Эйнштейннинг бу гаплари тўғрисида Борн шундай дейди: «Бу жумлалар физиканинг асосий масалалари тўғрисидаги менинг қарашларимга тегишли. Мен ҳам Нильс Бор ва Вернер Гейзенбергга ўхшаб статистик квант механикаси тарафдориман, Эйнштейн эса классик детерминизм позициясини ҳимоя қилади. Умуман мен изчил позитивист эмасман».

Квант механикасининг асосий принципларига ўзининг салбий қарашини Эйнштейн Жемс Франкка бир куни мана бундай тушунтирган эди: «Жуда деганда мен оламни ҳеч қандай табиат қонунларига бўйсунмайдиган бир хаос деб тасаввур этишим мумкин. Лекин олам ўзгармас, статистик қонунларга бўйсунмади деган фикр менга мутлақо тўғри келмайди».

Эйнштейн одамийлиги билан кишиларни магнитдай ўзига тортарди. 1938 йилда гестаподан қочиб, Бавариядан Америкага келган рассом Мозер Шарль Эйнштейнни яхши кўрадиган бир чолдан Эйнштейннинг илмий ишларига тушунмайсиз-у, унинг нимасига қойил бўласиз, деб сўрайди (Мозер Шарль 1927 йилда Нюренбург шаҳрида уюштирилган галерея учун Эйнштейннинг портрётини ишлаб берган эди). Чол унга чин қалбдан бундай жавоб беради: «Мен профессор Эйнштейн тўғрисида ўйлаганимда, ўзимни ҳеч қачон ёлғиз ҳис этмай-



ман». Рассом вафот этганда, Эйнштейн уни дафн қилиш маросимига келади ва унинг ижодига хос қувноқ ҳажв ва ички кучни, санъатдаги расмий оқимларга қарши курашганини алоҳида таъкидлаб кўрсатади.

Эйнштейннинг муҳтож одамларга доим ёрдам берганлиги кўпгина мисоллар билан тасдиқланади. Масалан, 1934 йилда у 1264 тингловчи учун скрипка чалиб беради; бу концертдан тушган 6500 доллар Германиядан қочиб келган олимларга берилади. Эйнштейн болалар фойдасига Принстонда уюштирилган мана шундай концертда ҳам иштирок этади.

Сон-саноқсиз илтимослар, кўриб бериш учун юборилган ишлар олим учун чинакам азоб эди.

Бундай илтимослар билан бир қаторда у ҳурмат юзасидан юборилган қизиқ-қизиқ нарсалар ҳам олар эди. Масалан, олим етмиш ёшга тўлганда Нью-Йорк кондитерлари иттифоқи унга катта торт юборишади. Тортнинг ўртаси кафедрага ўхшатиб ишланган бўлиб, унга: «Профессор Альберт Эйнштейнга, бахтиёр туғилган кунингиз билан»,— деган сўзлар ёзилган эди. Шакардан ишланган сариқ, қизил гуллар, чиннигул, бўтакўз ва бинафшалар билан безатилган бу торт шу қадар оғир эдики, уни икки киши зўрга кўтариши мумкин эди. Бу гал Эйнштейн Нью-Йоркда қуриладиган медицина колледжи учун пул тўплаш мақсадида ўзининг туғилган кунини нишонлаш юзасидан уюштирилган кечада иштирок этади. Бу йиғилишда кутилган мақсадга эришилди; колледж қурилишига сарф бўладиган пулнинг учдан бир қисми миқдорида (3,5 миллион доллар) пул тўпланди.

Тантана олдидан Эйнштейн пресс-конференция ўтказишга розилик беради. Саволлар олимга ёзма равишда берилади.

Савол: Сизнинг фанга қизиқишингизга беш яшар пайтингизда компас ва ўн ёшга тўлганда Сиз ўқиган чизма геометрия китоби таъсир қилган, деб эшитдик... Мана шу нарсалар сизга шунчалик таъсир қилгани ростми?

Жавоб. Мен ўзим бу нарсалар менинг ақлий тараққиётимга сезиларли таъсир кўрсатган бўлса керак, деб ўйлайман. Лекин одам ўзида нима бўлаётганини яхши англаб етолмайди; компас ҳар қандай болага сўзсиз ўзига хос йўсинда таъсир кўрсатади. Айрим киши-

ларининг алоҳида, бошқача таъсирлашишига нима сабаб бўлади? Бу ҳақда озми-кўпми ишонарли, ё ишонарсиз фикр юритиш мумкин, лекин бу процессларнинг ҳақиқий сабаби ҳали очилган эмас.

**С а в о л:** Янги медицина колледжи физик олим номи билан аталмоқчи. Ҳозир физика фани медицинага қандай ёрдам кўрсатмоқда?

**Ж а в о б:** Физиканинг медицинага ёрдами олдин шундан иборат бўлдики, одамларни илмий усулларнинг тўғри эканига ишонтирди. У медикларни зарурий ускуналар ва тушунчалар билан таъмин этди. Биологларни ҳаёт процессларини жуда содда, оддий изоҳлашга қизиқтирган ҳам физика бўлди.

**С а в о л:** Олим бўлишни хоҳлаган студентга Сиз қандай маслаҳат берасиз?

**Ж а в о б:** Илмий ишга интилган одам ўзи учун тўғри йўлни ўзи топиб олади. Бу ишда маслаҳатдан бир нима чиқмаса керак, яхшиси олимлардан ўрнак олиш керак.

Медицина колледжи олимнинг вафотидан кейингина қуриб битказилди. Колледжнинг очилиш маросимида унинг катта ўғли иштирок этди. Бу колледжга Альберт Эйнштейн номи берилди.

Эйнштейнни кўрган кишиларнинг ҳаммаси унинг чақнаб турган кўзларини кўриб ҳайратга тушар эдилар. («Ҳеч қайси фотосурат унинг кўзларидаги нурни ифода қилолмайди»,— деб эслайди Инфельд.) Лекин ўша август кунларида улуғ олимнинг кўзлари нурсиз эди. Хиросима ва Нагасаки фожиасидан қаттиқ таъсирланган Эйнштейн радио орқали гапириб, бундай дейди: «Немислар атом бомбаси ярата олмаслигини билганимда мен атом бомбаси яратиш йўлида ҳеч нарса қилмас эдим». Лекин у фанни қораламайди: «Гугуртнинг ихтиро қилиниши маданият ва одамзодга қандай хавф туғдирса, уран бўлинишининг очилиши ҳам шундай хавф туғдиради». Оламнинг тақдири энди фан тараққиётига эмас, балки одамзод хулқ-атворининг кучига боғлиқдир. «Бизни энди қурол ҳимоя қилолмайди,— деди Эйнштейн. Бизни фан ҳам, ернинг тагига қочиш ҳам хатардан сақлай олмайди. Энди бизни тартиб ва қонунга риоя қилишгина ҳалокатдан сақлаши мумкин». Атом энергияси қирғинчилик ишларига эмас, аксинча яратувчилик, бахтсаодат йўлида хизмат қилиши лозим.

Фашизм тор-мор қилингандан кейин ҳам олим ташвишдан қутулмайди. «Урушда галаба қўлга киритилди, лекин ҳали мустақам тинчлик қўлга киритилгани йўқ... Ҳозир сичқоннинг инига яшириниб олган уруш тарафдорлари яна уяларидан чиқишлари мумкин». Эйнштейн ўзининг қисқача автобиографиясини «Ёрқин замон — мудҳиш замон» номли тўпламда нашр қилади. Китобнинг номи символик характерга эгадир. Ҳозирги пайтда ёрқин замоннинг мудҳиш замонга айланиши ҳеч гап бўлмай қолди. Оддий бир эҳтиётсизлик орқасида ер юзи вайрон бўлиб кетиши мумкин. «Қуролсизлан, ё ҳалок бўл!» — олим масалани мана шундай қўяди. Бу сўзлар математика формуласидай аниқ ва ёрқиндир.

Ўттиз беш йил давомида Эйнштейн бир мақсад — тортишиш ва электр кучларининг ўзаро боғлиқлигини аниқлаш устида ишлади.

Электромагнит майдонини Фарадей кашф этган бўлиб, Максвелл унинг тенгласини тузган, тортишиш майдонини эса Ньютон ўргана бошлаган эди. Уни умумий нисбийлик назариясида Эйнштейн ниҳоясига етказди. Лекин булар бир-бирига боғланмаган ҳодисалар эди. Майдоннинг ягона назарияси уларни бир-бирига боғлаши лозим!

Майдоннинг ягона назарияси... Бу назарияга Эйнштейннинг ақл бовар қилмайдиган меҳнати ва бутун билими сарфланди. Эйнштейн ўз мақсадига бир неча бор эришгандай бўлди. Шунда у «Мана энди мен ҳақиқатнинг учини тутиб олдим»... деб ёзади. Кейин олим ўзи яратган манзарадан узоқлашар, яратган нарсаларини шафқатсизлик билан ўчириб ташлаб, қайта иш бошлар эди. «Кўп одамлар ўтин ёришни яхши кўришини мен тушундим, — дерди аччиқ заҳарханда билан у, — ўтин ёрганда қилинган иш кўзга кўриниб туради».

1942 йилнинг баҳорида Эйнштейн ўз дўсти врач Ганс Мюзамга шундай деб ёзган эди: «Мен асосан пайпоқсиз юришим билан машҳур бўлган якка қарияга айланиб қолдим. Лекин шунга қарамай, олдингидан ҳам кўпроқ зўр бериб ишляпман ва мен учун эски бўлган ягона физикавий майдон муаммосини ҳал қилишга умидим бор. Бу ҳаво кемасини эслатади: ҳавода парвоз қилиб юрасан-у, лекин Ерга қандай тушишингни тасаввур қилмайсан... Балки менга яхши кунларгача яшаш ва

ният қилган Ерга ўхшаган нарсани бир лаҳза кўриш насиб қилар...»

Улуғ физик ягона майдон назарияси устида умрининг охириг кунларига қадар ишлашда давом этди. 1959 йилда Гейзенберг «Эйнштейннинг ягона майдон назариясига доир» деган мақолани ёзди ва унда Эйнштейн уринишларининг муваффақиятсизлиги сабабларини муҳокама қилди.

Нима учун ажойиб назария муваффақиятсиз чиқди? Энг биринчи сабаб шуки, бу масалани ҳал этишга ҳали анча барвақт эди. Эйнштейн уни физикавий журналнинг деярли ҳар бир номери янги элементар зарра кашф қилинганлиги тўғрисида маълумот бераётган, ҳар бир зарра эса қандайдир бирор майдон билан боғланаётган йилларда яратишга уринди. Янги фактларнинг шиддатли оқимида ягона назария учун мустаҳкам асос топиш қийин ва ҳатто мумкин эмас эди.

Ягона майдон назариясини яратишда Эйнштейн катта қийинчиликларга дуч келиши билан бирга унинг программаси фойдасига аргументлар ҳам йиғилиб борди. Сўнги ўн йилликларнинг кашфиётлари бирдан иккинчисига осонгина айланадиган зарраларни ва мос равишда бир-бирига ўзаро айланадиган майдонларни юзага чиқарди. Ҳозир ягона майдон назарияси учун асос — квант тушунчалари бор. Бир майдоннинг ўзаро бошқасига ўтиши — бу майдон квантларининг ўзаро ўтиши, яъни элементар зарраларнинг трансмутациясидир. Ультрарелятивистик эффектларнинг субквант дунёси ҳақидаги фикр ва ягона майдон назарияси коинотнинг асосий жараёнлари сифатида элементар зарраларнинг ўзаро бир-бирига айланишининг тўла концепциясига қўшилиб кетади.

Ҳозирча бундай концепция йўқ. Фақатгина, асосий тушунча сифатида ўз-ўзига айний бўлган зарранинг қандайдир бирор майдондаги ҳаракати хизмат қиладиган дунё манзарасидан бир турдаги зарранинг бошқа турдаги заррага айланиши асосий момент бўлиб хизмат қиладиган дунё манзарасига ўтишнинг принципиал имконияти ҳақида гапириш мумкин, холос. Бу янги манзарага ўтишнинг принципиал имкониятининг ўзи ҳам Эйнштейннинг уринишига ўхшаш бошланғич нуқта зарурлигидан далолат беради.

Ягона майдон назарияси фақатгина гениал физик

орзуларининг рўёбга чиқиши, унинг ғояларининг тараққиётигина бўлиб қолмайди. У йигирманчи асрни бошлаб берган нисбийлик назариясининг ниҳояси бўлади.

Эйнштейн қилмоқчи бўлган бу иш бир одамнинг қўлидан келмасди. Буни олим яхши тушунар ва умрининг охиригача уни ниҳоясига етказа олмаслигини биларди. Лекин уни ўзидан ҳам зўрроқ бўлган қандайдир ички куч бошлаган ишини давом эттиришга мажбур этарди.

Шунчалик катта ақлий ишга куч-қувватни у қаердан топди. Бу унинг кишини ҳайратга соладиган ақлининг сирларидан биридир.

Баъзан у руҳан тушкунликка тушарди. Морис Соловиннинг ўлиmidан беш йил олдин «Майдоннинг ягона назарияси тамом бўлди,— деб ёзган эди Эйнштейн унга. Шунча кўп меҳнат сарфлаганимга қарамай, мен уни қандай қилиб текшириб кўришни билмайман. Бу ҳол узоқ давом этади, зотан физиклар мантиқий ва фалсафий далилларни тан олмайди».

Вақт ўтиши билан одам умрининг қанчалик қисқа эканлигини сезиб қолади... Эйнштейн бутун ҳаёти давомида беҳуда югур-югур, оворагарчиликдан қочишга уринди, лекин энди у ўзини турмуш икир-чикирларидан ҳимоя қилишга тириша бошлади. У қўшимча ёқа ва подтяжка тақмайдиган бўлди, пайпоқни фақат совуқ кунларда киярди, сочини ўстириб юрарди; у костюм ўрнига теридан тикилган камзул ва оддий фуфайка киярди.

Эйнштейн Лейбницнинг «Музыка кўнгил қувончи, у кўнгилни оздирмай аллалайди», деган сўзларини кўп такрорларди. Ешлик чоғида у музыка чалмай туролмасди, музыка унга ишда кўмакчи эди. Лекин энди булар ўтиб кетди. Скрипка чалиш учун анча куч керак. У скрипка чалишдан воз кечди. Набирасига аталган скрипка ғилофда ётарди. Энди у кўпроқ пластинка тингларди.

Эптон Синклер унга ўзининг романини юборди. Эйнштейн бунинг учун ёзувчига миннатдорчилик билдиради. Лекин муаллиф хафа бўлмаслиги зарур: афтидан у китобни ўқиб чиқолмаса керак, чунки унинг бутун ақлий фаолияти майдоннинг ягона назариясини тугатишга қаратилган. Эйнштейн бадий адабиётга жуда қизиққан бўлмаса ҳам, у Гейне, Гёте ва айниқса Достоевский-

ни яхши кўрарди. У бир куни Достоевский тўғрисида бундай деган эди. «Достоевский менга ҳар қандай мутафаккир, ҳатто Гауссдан ҳам кўпроқ нарса ўргатди». Энди олим ухлаш олдидан «Дон-Кихот» романидан бир неча саҳифа ўқийди, вассалом. Кўп ўқишга вақт йўқ, у Сервантесга бўлган ҳурмати уни умр бўйи йўқотмади, эҳтимол, унинг ўзи ҳам маълум даражада Дон-Кихотга ўхшаб кетгани учун шундай бўлгандир... Физик ҳамкасблари майдоннинг ягона назарияси муносабати билан унинг Дон-Кихотлигига шубҳа қилишмасди. Улар майдоннинг ягона назариясининг келажаги йўқ, мана шу уриниш орқасида Эйнштейн физиканинг умумий оқимидан четга чиқиб қолди, деб ҳисоблашарди. «Физиклар мени қари аҳмоқ деб ўйлашади,— дейди Эйнштейн,— лекин мен келгусида физиканинг ҳозиргача тараққий этиб келган йўлидан бошқа йўналишга кўчишига шубҳа қилмайман». У мана шу йўналишни аниқлашга интилди.

Эйнштейннинг ақли жуда юксак мавҳумликка кўтарилгани учун унинг фикрини ҳамма ҳам тушуна олмас эди. Шунинг учун олимлар уни идеяларини тушуниб бўлмайдиган мутафаккирга чиқариб қўйишади.

XVIII асрда яшаган инглиз шоири Александр Поп ёзади:

Ёғду берди унга Ньютон.  
Олам эди мисли зимистон,

Бизнинг давримизда бу байтга биров яна икки қатор шеър қўшди:

Бироқ Эйнштейн оламини, мана  
Ўз ҳолига қайтарди яна.

Бу ҳазил анча кенг тарқалган фикрнинг ифодаси эди. Кўп кишиларга классик механикадан воз кечиш — моддий дунёни илмий билишдан воз кечишдек туюлади.

Эйнштейн фан ютуқларини оммалаштиришга интилувчи олим эди дейиш галати туйилса керак. Лекин Эйнштейн соддаликка, фикрларнинг тушунарли бўлишига замондошларининг ҳаммасидан ҳам кўпроқ интилар эди. У сохта профессорона гапларни ёмон кўрарди. «Агар бирон проблемани бутун ранг-баранглиги ва алоқалари билан қисқа, жонли қилиб ифодалашга муваффақ бўлсанг, қалбинг қувонч ва илҳомга тўлиб кета-

ди»,— деганда, олим чин юракдан гапирган эди. «Назариянинг асослари қанчалик содда бўлса, у шунчалик катта таассурот қолдиради». Эйнштейн ўзи тўғрисида гапириб, умр бўйи «Фан асосларига аниқлик киритиш ва уларни такомиллаштиришга бор кучи билан интилганини» айтади.

Немис файласуфи Кант: «Табииёт фанида математикадан қанчалик кўп фойдаланилса, унда шунчалик кўп ҳақиқат бўлади», деган эди. Эйнштейн Гётенинг фикрини кўпроқ ёқлар эди. Гёте бундай деб ёзган эди: «Физикани математикадан бўлак ўрганиш керак. Физика мустақил фандир. Математика фанига тўғри келиш-келмаслигига қараб ўтирмасдан, физика табиат ва унинг ҳаётини ўрганиши лозим». Эйнштейн: «Ҳеч қайси олим формулалар ёрдамида фикр юритмайди» деб ҳисоблар ва доимо «Энг олдин фикр, формула эса мана шу фикрнинг ҳосиласи — натижасидир» деб такрорларди. Шунинг учун ҳам Фарадей ҳақида гапирганда, Эйнштейн унинг ақли формулаларга ўралиб қолмаганини алоҳида таъкидлаб кўрсатган эди. Ҳақиқатан ҳам, Фарадей асарларини ўқиган одам унда формулалар йўқлигига ишонч ҳосил қилади.

Лекин бу фикрни юзаки тушунмаслик лозим: Эйнштейн математиканинг аҳамиятини жуда яхши тушунар ва «Физиканинг принципиал масалаларини ўрганиш нозик математикавий усуллардан фойдаланишни тақозо этади»,— деб қайта-қайта таъкидлар эди.

Эйнштейн оммабоп адабиётни болалигидан севарди. «Илмий-оммабоп китобларни ўқиш тезда мени библия<sup>1</sup> ҳикояларидаги кўп нарсалар нотўғри экан деган хулосага олиб келди,— деб эслайди олим, кейинчалик. Шундан сўнг нарсаларга ишончсизлик билан қараш руҳи умр бўйи онгимдан кетмади». Унинг бундай эркин фикрлаши давлат обрўсига киноя билан қарашининг бошланиши эди.

Эйнштейннинг ўзи (мақолаларини ҳисобга олмаганда) илмий-оммабоп жанрга икки марта мурожаат қилгани маълум. 1917 йилда у «Махсус ва умумий нисбийлик назарияси» («Оммабоп баён») асарини ёзди.

Орадан йигирма йил ўтгандан кейин Леопольд

---

<sup>1</sup> Христиан ва яҳудийларнинг диний китоби.

Ипфельд билан биргаликда «Физика эволюцияси» асарини ёзди.

Олим билимни оммалаштиришга жуда катта аҳамият берарди. «Билимлар кам одамнинг мулки бўлиб қолаётганлиги — деган эди у, — халқнинг фалсафий даражасини пасайтириб, уни руҳан қашшоқ қилиб қўяди».

Эйнштейннинг фикрича, илмий-оммабоп китоб қандай бўлиши керак?!

«Китоб қизиқарли, фан мухлисларини ўзига жалб қила олиши лозим».

«Китоб ёзганда ўқувчининг у ёки бу илмни билмаслигига эмас, балки унинг юксак ақлига таяниш керак».

«Баён ўзаро фақат юзаки боғланадиган фактлар йиғиндисига айланиб қолмаслиги зарур, баёндан муаллифнинг янги нуқтаи назари, фикри сезилиб туриши лозим. Фан тараққиёти, аслини олганда, идеялар курашидир».

У китобхоннинг фақат ҳиссиётига таъсир этишни ўз олдига мақсад қилиб қўйган, сиртдан қизиқарли бўлиб кўринган истиора, ўхшатиш ва таққосларга тўлиб-тошган оммабоп асарларни тан олмасди. «Мақсадни аниқ ифодаладиган усуллардангина фойдаланиш керак». У ўзининг бу нуқтаи назарини умрининг охиригача ўзгартирмади. «Яхши оммабоп китоб — дерди у, — истиоралар билан эмас, балки билиш натижаси билан, аста-секин амалга ошадиган билиш, пайқаш қувончи билан китобхонни ўзига тортиши лозим».

Эйнштейн мана шундай оммабоп баённинг ажойиб намуналарини яратди.

Мана унинг нисбийлик принципини тушунтиришига мисол (1911 йил): «Лаборатория, аппаратлар билан бир хил таъминланган икки физик олимни кўз олдимизга келтирайлик. Олимлардан бири ердаги лабораторияда иккинчиси эса аниқ бир томонга кетаётган вагоннинг ичидаги лабораторияда иш олиб боряпти. Олимлар аппаратлар билан дунёдаги бор қонунларни нисбийлик принципи асосида текшириб, шу нарсани аниқлайдиларки, агар вагон силкинмай равон юрса, ҳар икки ҳолда ҳам натижа бир хил бўлиб чиқади. Бу фикрни мавҳумроқ шаклда айтсак, қўйидагича бўлади: нисбийлик принципига биноан табиат қонунлари sanoқ системасининг кўчма ҳаракатига боғлиқ бўлмайди.



Бошқа бир ўринда нисбийлик принципи бундай тушунтирилади:

Саноқ системаси сифатида 10 километр узунликдаги куръер поездини олайлик. Поезднинг бошида  $A$  пассажир, охирида эса  $B$  пассажир ўтирибди. Улар орасидаги масофа 10 километр бўлиб, бу масофа ўзгармайди. Вагонлар шундайки, пассажирлар бир-бирини кўради, бир-бирларига сигнал бера олади. Бундан ташқари, шаклида ҳам бир хил ишлайдиган соат бор...»

Мана шу соатлар қандай мақсадда олингани ҳаммага ҳам тушунарли бўлмаса, бу, шубҳасиз, олимнинг айби эмас. У ўз фикрини тушунтириш учун зарур бўлган ҳамма нарсани қилди ва келтирган мисоллар абадий қоладиган мисоллардир. У илмий-оммабоп баённинг мислсиз устаси эди.

«Атом — деб ёзади у, — тириклигида пул (энергия) сарфлашни истамайдиган, очкўз бойдир. Лекин у ўз бойлигини  $M_1$  ва  $M_2$  ўғилларига бир шарт билан васият қилади. Бу шартга кўра улар бойлик (энергия ёки масса)нинг мингдан бир бўлагини жамиятга беришлари лозим. Шундай қилиб, ўғилларнинг бойлиги отасининг бойлигидан камроқ бўлади (яъни  $M_1 + M_2$  масса бўлинувчи атомнинг  $M$  массасидан камдир). Лекин жамиятга аталган кичкина бўлакчанинг ўзиёқ (агар уни кинетик энергия сифатида қарасак) шу қадар каттаки, у жамиятга бахтсизлик келтириши мумкин. Бу бахтсизлик хавфининг олдини олиш ҳозирги замоннинг энг зарур проблемаси ҳисобланади».

«Эйнштейн ихчам, ажойиб қилиб ёзарди, унинг услубидан поэзия нафаси сезилиб турарди», — деб ёзади Инфельд. Эйнштейн учун оддий кишидай фикрлаш анча мушкул эди, чунки орадаги фарқ беқиёс даражада катта, лекин у доим тушунарли ёзишга ва гапиришга интиларди. Унинг энг мураккаб масалаларга бағишланган мақолалари ҳам ўзининг соддалиги билан ўқувчини мафтун этади. У кўп нарсани билганлиги билан китобхонни ҳайратда қолдиришга интилмайдди, ўғит-насихат қилмайди. У китобхон билан оддийгина суҳбатлашаётгандай қилиб ёзади. Олим ўз суҳбатига баъзан жонли, қизиқ ўхшатиш қўшиб юборади, жиддий суҳбат дарҳол енгиллик касб этади. Ҳажв, ҳазил, аския Эйнштейн қўлида илмий тушунтиришга хизмат қилади. Эйнштейннинг бу хусусиятига 1915 йилда машҳур француз ёзув-

чиси Ромен Роллан ҳам эътибор қилган эди. Уша йили ёш олим Ролланнинг Вевэдаги «Мозер» вилласига борган эди. Таниқли ёзувчи ўзининг кундалик дафтарига бундай деб ёзиб, қўяди: «Эйнштейн жуда хушчақчақ, ғоят жиддий фикрларни ҳам ҳазил тариқасида айтишдан ўзини тутолмайдиган йиғит экан». Табиатни алгебра усули билан тасвирлашга ишончсизлик билдириб, у бундай деб ёзади: «Ҳозирги вақтда бундай ҳаракат ҳавосиз муҳитда нафас олишга уринишдан бошқа нарса эмас».

Броун ҳаракати тўғрисида гапириб, Эйнштейн кишини ҳайратга соладиган аниқ хулоса чиқаради. «Микроскоп остида иссиқлик энергиясининг бир қисми ҳаракатланувчи зарраларнинг механикавий энергияси формасида кўринади дейиш мумкин» («Назарий атомистика»).

«Квант назариясидан процессларнинг узлуксизлигига қарши ҳеч қандай хулоса чиқариш мумкин эмас,— деган эди олим ёзувчи Александр Мошковскийга — пиво алоҳида-алоҳида бутилкаларда сотилади деб, фараз қилайлик. Наҳотки, сиз мана шу ҳодисадан пиво бўлаклардан иборат экан, деган хулосага келсангиз?».

Расмий, совуқ жумлаларнинг душмани бўлган Эйнштейн жонли, образли қилиб гапиришга уста эди. «Дифференциал тенгламаларнинг хусусий ҳосилалари физикага чўри бўлиб ишга кирди, кейин у чўридан бекага айланиб кетди» («Физик реаллик тўғрисидаги тасаввурларнинг тараққиётига Максвелл таъсири»).

Бундай оммабоп услуб намуналарини Эйнштейннинг мақолалари, хатлари, ёзиб олинган суҳбатларидан кўплаб топиш мумкин. «Мен бутун умрим давомида ўйлаб ёзилган соғлом жумлалар ва лўнда услуб тарафдори бўлиб қолдим»,— деб ёзади Эйнштейн.

У бир неча сўз ёрдамида ҳар қандай олимнинг чуқур психологик портретини чиза олар эди. Мария Кюри билан йигирма йил давомида дўстлик муносабатида яшган Эйнштейн олима вафотидан сўнг ҳурмат билан бундай деб ёзди: «Унинг улуғвор одамгарчилигига мен йил сайин кўпроқ қойил бўлардим. Ундаги куч, истакларнинг софлиги, ўз-ўзига талабчанлик, мустақил фикрлаш камдан-кам одамларда яхлит учрайдиган хислатлардир. У жамиятга хизмат қилаётганини ҳамма вақт ҳис қилиб турарди ва чинакам камтарлик унинг қалбида манманлик туйғуларига ўрин қолдирмаган эди. Жамиятнинг шафқатсиз ва адолатсизлигидан у доим куйиб юрарди.

Мана шу туйғу уни жиддий, қаттиқ қўл одамга ўхшатиб кўрсатарди. Уни яхши танимаган киши бу жузыйликнинг сабабини кўпинча тушуниб етолмас эди».

Ньютон тўғрисида Эйнштейн бундай деб ёзади: «Табиат унинг учун очиқ китоб эди. Бу китобни у қийналмай ўқирди. Бир вақтнинг ўзида у тажрибачи, назариячи, уста ва санъаткор баёнчи ҳам эди. Кучли, ўзига ишонган ва ёлғизликда яшаган бу олимнинг ижоддан лаззатланиши ва заргарона аниқликка интилиши унинг ҳар бир сўзи, ҳар бир ҳаракатида намоён бўлади».

Эйнштейн «илмий-оммабоп» латифаларни ҳам яхши кўрарди. Мана улардан бири: бир куни олимнинг тўққиз яшар ўғли Эдуард ундан: «Дада, нима учун сиз бунчалик машҳурсиз?»—деб сўрайди. Олим мана бундай жавоб беради: «Шар устида кетаётган кўр қўнғиз ўзи босиб ўтган йўли эгри эканлигини сезмайди. Мен эса мана шуни пайқаш бахтига муяссар бўлдим».

Ўрни келганда, у ўзини билимдон қилиб кўрсатишга интиладиган қуруқ олифталарни танқид қилишдан қайтмас эди. Бир гуруҳ физиклар билан суҳбатда электронлар нега бир хил зарядга эга бўлишини сиз айтиб бера оласизми, деб сўраган одамга Эйнштейн бундай жавоб беради: «Эчкининг қумалоқлари нима учун бир хил катталиқка эга бўлишини сиз айтиб берсангиз, мен ҳам сиз айтган ҳодисанинг сабабини айтиб бераман».

«Замондош авлодга ва тарихнинг бутун тараққиётига машҳур шахс эришган интеллектуал ютуқлардан кўра унинг хулқи кўпроқ таъсир этса керак»,—деб ёзади Эйнштейн. Дарҳақиқат, унинг илмий ишлари физикани остин-устин қилиб юборди, лекин бу ажойиб одам хулқ-атворининг қиммати ҳам ғоят юксакдир.

1955 йилнинг март ойида нисоният улуғ олимнинг етмиш беш йиллик юбилейини ва нисбийлик назариясининг эллик йиллигини кенг нишонлади. Берлинга юборган табрик телеграммасида у бундай деб ёзди: «Мен ихтилоф ва душманликка эмас, балки қардошларча ҳамкорликка сабаб бўла олганимдан хурсандман».

Ўлимидан бир неча кун олдин Эйнштейн ўтган ҳаётига заррача ачинмасдан, пушаймон қилмасдан бундай дейди: «Мен ўз вазифамни бажардим».

Фан Эйнштейн ҳаётининг чинакам мазмунига айланган эди. У ўз умрини, тақдирини, ҳатто ўлимини ҳам фанга боғлиқ ҳолда тасаввур этарди. 1949 йилда ёзган

«некрологи» да ва 1955 йилда ёзган хомаки автобиографиясида у ўз ҳаётига яқун яшаш ўрнига қиладиган ишларининг режасини тузади. Улим олдидан «Ҳаётда қилган ишларингиздан мамнунмисиз ё йўқми?» деб савол беришса, нима жавоб берар эдингиз, деб сўраган бир хира одамга жавобан Эйнштейн самимий бир вазиятда: «Улим олдида ҳам, ундан олдин ҳам бундай савол мени қизиқтира олмайди... Ахир мен табиатнинг бир зарраси эканимни бир минут ҳам унутмайман».

Эйнштейннинг ўлимга муносабати кўпгина хотираларда акс этган. 1916 йилда Эйнштейн қаттиқ касал бўлади. Беморга нисбатан Эльза жонбозлик кўрсатмаганда, эҳтимол, у тузалмас эди. Макс Борннинг хотини Гедвига уни кўргани келганда, Эйнштейн ўзининг ўлими тўғрисида гапираётгани устидан чиқади. Эйнштейн шу қадар хотиржам гапирар эдики, Гедвига ундан: «Улимдан қўрқмайсизми?» деб сўрайди. «Йўқ — деб жавоб беради Эйнштейн. Мен ўзимни бутунлай жонли олам билан шу қадар боғлиқ ҳис қиламанки, бу ниҳоясиз тириклик оқимида аниқ бир ҳаётнинг қачон бошланиши ва қачон тамом бўлиши мен учун бутунлай фарқсиздир». Бу шунчалик айтилган гап эмас, албатта. Унинг одамларга муносабати тафаккур ва ҳиссиёт гармониясининг ифодаси эди. Инфельдга Эйнштейн бундай дейди: «Агар биров менга уч соатдан кейин ўласан деса, мен бундан асло чўчимаган бўлардим. Мен энг аввал мана шу уч соатдан қандай қилиб унумли фойдаланиб қолиш мумкин, деб ўйлардим. Сўнгра қоғозларни йиғиштириб қўйиб, ўлиш учун хотиржам ётардим».

1948 йилда врачлар Эйнштейннинг аорта қон томири кенгайиб кетганлигини, бу қон томири ёрилиб кетиши мумкинлигини айтишади. Эйнштейн операциядан воз кечади.

У енгилгина вафот этди: ухлаб уйқудан қайта турмади. Бу воқеа 1955 йил 18 апрель кечаси рўй берди. У мотам тутмаслик, жасадини кўммаслик, ҳеч қанақа ёдгорлик ўрнатмасликни васият қилган эди. Олимнинг жасади куйдирилиб, шамолга учуриб юборилди. Мияси (ўзи тириклигида рози бўлгани учун) олиб қолинди. Унинг мияси кўринишдан оддийгина, ўртача катталиқда экан.

«Эйнштейн цивилизациянинг кўпгина ютуқлари ўз қимматини йўқотган бир пайтда инсониятнинг виждони

бўлиб майдонга чиқди,— деб ёзади машҳур испан музиканти Пабло Касалье. Унинг ўлими билан инсоният ўзининг бир қисмини йўқотгандай бўлди». «Мен бундан улуғроқ одамни билмайман» (Бертран Рассел). У «Соялар тобора қуюқлашаётган бу оламга тушган ёруғлик нури эди» (Ж. Нерунинг таъзияномасидан).

«Эйнштейн тор илмий иш рамкалари билан чекланиб қолмади, у илғор инсониятни ҳаяжонга солган масалаларга қизғин аралашди»,— дейилади бир гуруҳ совет академиклари қўл қўйган мақолада.

Эйнштейн урушга ва атом қуролини ишлатишга қарши эди. Совет олимлари машҳур олим Альберт Эйнштейн хотирасини ҳурмат билан тилга оладилар.

Эйнштейн вафотидан сўнг кашф этилган 99-элементга Эйнштейн номи берилди.

## II боб

### АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН ВА НИЛЬС БОР ҲОЗИРГИ ЗАМОН ФИЗИКАСИ АСОСЛАРИ ХУСУСИДА

«Менинг учун фан одамларга ва улар орасидаги келишмовчиликларга боғлиқ эмасдай туюлади».

Чарльз Сноу

Альберт Эйнштейннинг умумий нисбийлик назарияси классик физика асосида ётган ғояларга янги мазмун бағишлади. Бироқ бу, жиддий қараганда, нисбийлик назариясининг анъанавий илмий фикрдан бутунлай четланиши эмас эди. У детерминизмни— Эрвин Шрёдингер айтганидек, «ҳаётий масала»ни шубҳа остига олгани йўқ.

Умумий нисбийлик назариясида фазо билан вақт орасида туб фарқ яна бир бор таъкидланса ҳам янги фазо— вақт структураси физикларга аниқ маълумот олиш ва, бинобарин, аниқ башорат қилиш имконини берди. Янги фазо— вақтнинг хусусиятлари доим ва узлуксиз равишда ўзгариб туради, ҳаракат сабабий боғланиш

Шаклида тасвирланиши мумкин ва нисбийлик назарияси эса классик физика сингари ҳодисанинг вақт давомида қандай ривожланишини тушунишга имкон берди.

Лекин квант назариясига мувофиқ, бирор чегарадан сўнг, фазо ва вақт қандай таърифланганлигидан қатъи назар якка ҳодисанинг эволюциясини таҳлил қилиш мумкин эмас. Кузатиш давомида вужудга келадиган ғалаёнланишни кузатилаётган ҳодисадан ажратиб бўлмайди. Бинобарин, мазкур ҳолда ҳодисанинг аниқ сабабий ривожланишини тушуниш ва унинг аниқ оқибатини олдиндан айтиш мумкин эмас.

1927 йилда Копенгагенда квант механикасининг изоҳланишига қадар назарияларни ўзаро бундай солиштиришнинг иложи йўқ эди. Бу воқеа Сольвей конгрессида бўлиб ўтди. Бунда квант механикасини изоҳлаш принципларини Бор таърифлаб берган. Эйнштейн эса бир гуруҳ физикларни таажжублантириб, бу изоҳлашни номасқул деб топган.

Эйнштейн бошқалар амал қилаётган статистик усул атом тузилишининг туб маъносини тушунишга олиб келмаслигига ишонган ҳолда, бир неча йил давомида атом тузилишининг квант назариясига ҳеч қандай улуш киритмади. Эйнштейннинг бу қарашлари ҳеч ким учун сир эмас эди. Бироқ Гейзенберг ва Бор статистик қондалар вақтинча бошпана вазифасини бажарувчи эмас, балки ҳақиқатнинг ифодаси эканлигини кўрсатдилар. Тажриба маълумотларини таҳлил қилиш давомида Гейзенберг ва Бор томонидан олинган шубҳасиз далилларга қарамасдан, Эйнштейннинг бу статистик қондаларни қабул қилмаётганлиги таажжубланарли ҳол эди. Текширишлар классик физиканинг сабабий таҳлил ўтказишга имкон берадиган туркуми элементар зарраларга тўғри келмаслигини кўрсатди. Таъсир кванти ўрганилаётган предмет ҳақида бир вақтнинг ўзида тўла маълумот олиш мумкин эмаслигини кўрсатади, чунки бунинг учун олим уни ҳар хил тажрибаларда ҳар хил вазиятда муҳокама қилиши керак. Шунинг учун «нарсанинг пайдо бўлиш эҳтимоллигини эмас, балки унинг ўзини таърифлайдиган» назарияни излашнинг маъноси йўқ. Эйнштейн эса худди шундай назарияни излаш билан банд эди. Унинг ва Эрвин Шрёдингернинг қарашлари ўртасида фарқ бор эди, албатта, лекин уларнинг иккиси ҳам таъсир квантидан қачондир ва қандайдир усул билан

қутулишларига ишонишар эди: узлуксизлик ва детерминизм қайтадан тикланади.

Конгресснинг бошқа қатнашчилари сингари Нильс Бор ҳам ғоят ажабланди. Бу учрашувга қадар Бор Эйнштейн билан бир неча марта суҳбатлашган ва Эйнштейннинг квант назариясига муносабати ҳам унга равшан эди, лекин у Эйнштейн физикавий назария ўлчанадиган катталиклар билан боғланган ғояларга асосланган бўлиши керак, деган принципга амал қилади, деб ҳисоблар эди. Эйнштейн бу принципдан фойдаланиб, эфир, абсолют фазо ва вақт, гравитация ва энергия ўртасидаги фарқ концепциясини рад этди. Нисбийлик назариясининг баъзи бир танқидчилари, ҳаттоки, агар бу концепцияларни мослаштириш мумкин бўлмаса ҳам бари бир уларни физикадан қувишнинг кераги йўқ, деб таъкидлар эдилар. Эйнштейн ҳеч қачон улар фикрига қўшилмас эди. Улар квант назариясининг Копенгаген изоҳига нисбатан ҳам Эйнштейн ўша нуқтаи назарда туради, деб ишонар эдилар. Лекин у квант назариясини исботлаган тажрибаларнинг мазмунини тушунгани ҳаммоноқ табиатни классик таърифлашдан тўхтади. У бундай таърифлашнинг мумкинлиги тўғрисидаги ғоя макроскопик масштабдаги ҳодисалар устида ўтказилган илмий тажрибалар асосида келиб чиққанлигини, атом учун эса бундай таърифлаш мазмунга эга эмаслигини тан олади.

Аммо воқеалар бошқача тус олди.

Эйнштейн ўзининг бутун кучини Копенгаген изоҳининг асосида ётган — сабабиятига қарши бўлган қонунни рад этишга қаратди. У хаёлий тажрибалардан фойдаланди, умуман, амалга оширса бўладиган тажрибаларни таклиф этиб, улар асосида Гейзенбергнинг ноаниқлик принципига зид равишда координата ва импульснинг бир вақтда ва аниқ ўлчаниши мумкинлигини намоён қилмоқчи бўлди. Эйнштейн Борга ҳар кун янгидан-янги хаёлий тажрибалар тақдим қилар эди; яхшилаб таҳлил қилгандан сўнг кечга яқин Бор уларнинг квант механикаси қоидаларига зид эканлигини аниқлар ва Эйнштейннинг эътирозларини рад қиларди. Лекин эртаси кун Эйнштейн янги мураккаб хаёлий тажриба билан келарди (бу усулни у ўзининг нисбийлик назариясида усталик билан ишлатган эди). Ниҳоят, иккаласи билан ҳам қалин дўст бўлган Пауль Эренфест

бунга чидай олмади ва ярим ҳазил билан шундай деди: «Уялсангиз-чи Эйнштейн! Сиз ўзингизнинг нисбийлик назариянгизни ҳады қилаётган танқидчидай галва кўтаряпсиз. Сизнинг далилларингиз кетма-кет рад қилин्याпти, «принципиал равишда ўлчаш йўли билан текшириб бўлмайдиган, янглиш фикрга асосланган даъволарнинг маъноси йўқ»,— деган принципингизга амал қилиш ўрнига шу янглишишларга асосланган далилларни бирин-кетин ўйлаб топмоқдасиз».

Бироқ, дўстларча танбеҳга қарамасдан, Эйнштейн қарши чиқишда давом этди. Уч йилдан сўнг физиклар яна Брюсселда йиғилганларида, у Борни янги хаёлий тажриба билан кутиб олди, лекин бу гал, Борнинг ибораси билан айтганда, бу «жиддий қаршилик» эди.

Ўз-ўзидан тушунарлики, драматизм тортишишнинг моҳиятидан, гигантлар курашидаги бу икки иштирокчининг руҳий улуғлигидан иборат эди. Уларнинг мақсади ҳақиқатни аниқлаш эди. Шу сабабли, қирқ йилдан кейин ҳам баҳснинг фақат моҳиятигина эмас, балки шакли ҳам илмий аҳамиятга эга бўлиб қолмоқда.

1949 йилда Бор Эйнштейннинг етмиш ёшга тўлишига бағишлаб чиқарилган китобида баҳснинг мазмунини ҳаққоний равишда ёритган эди.

Бу вақтда Эйнштейннинг ўзи ҳаёт бўлиб, зўр бериб ишлаётган эди ва агар учраб қолса, Бор ҳикоясидаги ҳар қандай нотўғри фикрни инкор этишга имкони бор эди. Жавоб беролмайдиган рақиб билан баҳслашиш эса бошқа гап. Масалан, фалсафа соҳасида билимдон бўлган бир киши Кантнинг қабрига «Дунёни билиш мумкин» деб ўйиб ёзиб қўйган. Кант эса, маълумки, объектив дунёни билиш мумкинлигини рад этган идеалист файласуф олим эди.

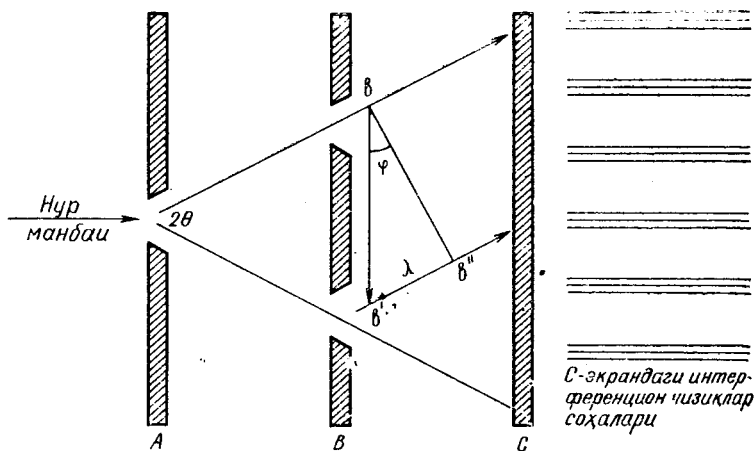
Эйнштейн ноаниқлик принципини четлаб ўтиш мақсадида борган сари мураккаб тажриба қурилмаларини таклиф қилар, Бор эса ҳар гал ўлчаш билан ўз мақсадига етолмаслигини кўрсатар эди.

Масаланинг баёнини Эйнштейн томонидан таклиф қилинган қурилмаларнинг энг соддасидан бошлаймиз (1-расмга қаранг).

Ясси тўлқинлар ёки электронлар дастаси битта тирқиши бўлган *A* экранга ва бу тирқишдан ўтиб икки тирқишли иккинчи *B* экранга тушаётган бўлсин. Оқ рангли *C* экранда ёруғ ва қоронғи параллел соҳалар



(чизиклар) пайдо бўлади. Ёруғ соҳалар тўлқинлар иккала диафрагмадан бир фазада ўтиб бир-бирини кучайтирган жойда, қоронғи соҳалар эса тўлқинлар бир-бирлари билан ярим тўлқин узунлигича йўл фарқи билан учрашиб, бир-бирини сусайтирган жойда ҳосил бўлади. Бу иккаламчи соҳаларни битта тирқишдан ҳосил бўлган  $B$  экрандаги бирламчи соҳалар билан алмаштириб юбормаслик керак. Бирламчи соҳалар орасидаги масофа анча катта бўлиб, марказий соҳадан



1-рasm.

узоқлашган сари уларнинг равшанлиги (ёруғлиги) тез камаяди, ёндаги соҳаларнинг нури иккала тирқишдан ўтмайди.

Марказий соҳани ҳосил қилувчи нурлар дастасининг фазовий бурчагини аниқлаш осон. Марказий ёруғ соҳанинг чеккаси тирқишдан ( $A$  экран) чиқаётган нурларнинг бошқа нурлар томонидан сусайтирилмаган ҳолига тўғри келади. Бунинг учун  $b'b''$  кесма тўлқин узунлигининг ярми  $\frac{\lambda}{2}$  га тенг бўлиши керак, бунда  $b'$  ва  $b''$  нуқталар орасидаги фазалар айирмаси  $180^\circ$  дан ошмайди. Демак, биринчи тирқишдан чиқаётган нурлар дастаси бурчагининг ярми  $\theta = \frac{\lambda}{2\Delta x}$  га тенг, бунда  $\Delta x$  — тирқишнинг кенглиги.

Квант механикасининг асосий қонунларига мувофиқ бундай бурчак ичида де Бройль тўлқин узунлиги  $\lambda$  бўлган электрон ҳам учиб юради. Бинобарин, унинг  $p$  импульсининг экранга параллел бўлган ташкил этувчиси  $2p\theta = \frac{p\lambda}{\Delta x}$  оралиқда жойлашган бўлади. Лекин  $2p\theta$  нинг ўзи импульсининг  $\Delta p$  ноаниқлигидир,  $\Delta x$  эса координата қийматини ўз ичига олган оралиқдир;  $\lambda = \frac{h}{p}$  ни ифодадаги

ўз ўрнига қўйсақ,  $\Delta p \Delta x = h$  (бу ерда  $h$  — Планк доимийси) ноаниқлик муносабатини ҳосил қиламиз. Бу хулоса кейинги муҳокамаларда қулайлик бўлиши учун келтирилди.

Эйнштейн, импульсининг  $A$  экранга берилган  $p$  ташкил этувчисини экран текислигида бир вақтнинг ўзида ўлчаш йўли билан бу ноаниқликни жуда камайтириш мумкин, деб даъво қиларди. Агар экран пастга йўналган бирор импульс олса, импульсининг сақланиш қонунига мувофиқ электрон худди шундай ташкил этувчи импульс билан юқорига учиб кетади ва, демак,  $B$  экраннинг юқорисидаги тирқишдан ўтади. Бироқ  $C$  экрандаги соҳалар манзараси фақат тўлқин иккала тирқишдан бир хил амплитуда билан ўтганда вужудга келади.  $A$  экран олган импульсни қайд қилиб, биз ноаниқлик принципи берадиган имкониятдан кўра кўпроқ нарсани билганга ўхшаймиз;  $C$  экранда соҳаларнинг тўла манзарасига эга бўлдик. Бу манзарани ҳосил қилиш учун эса нур  $B$  экрандаги иккала тирқишдан ҳам ўтган бўлиши лозим ва шу билан бирга ҳар гал электрон қайси тирқишдан ўтганлигини ҳам аниқласа бўлади.

Бор бунинг нотўғри эканлигини кўрсатди. Ноаниқлик муносабатлари умумий аҳамиятга эга, демак, уни  $A$  экран сингари макроскопик жисмга ҳам қўллаш керак.

Экран электрондан  $\Delta p = \frac{h}{\Delta x}$  импульс олади, бу эса  $A$  экран жойланишининг ўзида  $\Delta x$  катталиқдаги ноаниқлик борлигини кўрсатади. Тирқиш кенглигининг ўзи электрон масштабида улкан катталиқ бўлиб қолганига ҳайрон бўлмасак ҳам бўлади. Чунки  $\Delta p$  макроскопик жисмга нисбатан ғоят кичик импульсдир. Жисм импульсини бундай катта аниқлик билан ўлчаш учун биз координатада муқаррар равишда сезиларли хато қиламиз.

А экран  $\Delta x$  га силжиса нима бўлади? С экрандаги соҳалар ўртасидаги масофа худди ана шу  $\Delta x$  га тенг. Буни энг оддий ҳол — В экран А ва С ларнинг ўртасида, уларнинг ҳар биридан  $a$  масофада жойлашган ҳол учун исбот қиламиз. С экрандаги бир ёруғ соҳа А экрандаги тирқишнинг тўғрисида ҳосил бўлади. Иккинчиси эса В экрандаги иккала тирқишдан ўтган нурларнинг йўл фарқи тўлқин узнлиги  $\lambda$  га тенг бўлган жойда ҳосил бўлади. Пастки тирқишдан чиқаётган нур йўналишига юқориги тирқишдан перпендикуляр туширамыз. Расмдаги  $b'b''$  кесма шаклдагига кўра  $\lambda$  га тенг, тирқишлар ўртасидаги масофа  $d = 2a\theta$ . У ҳолда  $\varphi$  бурчак  $\frac{\lambda}{d} = \frac{\lambda}{2a\theta}$  дан иборат бўлиб, экрандаги соҳалар орасидаги масофа эса  $a\varphi = \frac{\lambda}{2\theta}$ . Лекин  $2\theta = \frac{\lambda}{\Delta x}$ , шунинг

учун бир ёруғ соҳа иккинчисидан биринчи тирқишнинг  $\Delta x$  кенглиги қадар узоқликда туради. Бинобарин, агар А экрандаги биринчи тирқиш жойлашиши импульснинг ўлчаниши натижасида  $\Delta x$  ноаниқликка эга бўлса, С экрандаги ёруғ соҳалар аралашиб кетади ва ҳеч қандай тўғри кетмакетлик вужудга келмайди. Экрандаги икки тирқишнинг қайси биридан электрон ўтмаганлигини билиш учун биз иккиламчи соҳалар манзарасини бутунлай бузиб юборамиз.

Агар В экрандаги тирқишларни навбати билан кетма-кет беркитиб, электронни бир тирқиш орқали ўтказсак ҳам худди шу ҳодисанинг ўзи намоён бўлади. Электроннинг «ҳақиқий» йўлини А экраннинг тепки импульсини ўлчаш усули билан билвосита аниқлашга уриниш ҳам худди шундай натижага олиб келди. Лекин бир тирқишдан ўтаётган электрон учун одатдаги муносабатлардан бошқа нарса келиб чиқмайди.

Шундай қилиб, Эйнштейн томонидан таклиф қилинган мураккаб қурилма хатолиги  $\Delta p \Delta x \geq h$  муносабатни четлаб ўтиш имконини бермади. Электрон траекторияси тўғрисида аниқроқ бирор нарса билишнинг, яъни электрон В экрандаги икки тирқишнинг қайси биридан ўтганлигини аниқлашнинг иложи бўлмади.

Юқорида муҳокама қилинган мисол жуда муҳим аҳамиятга эга. У шуни кўрсатадики, квантомеханик объект устида ўтказиладиган ўлчашларда ўлчаш асбобининг ўзини ҳам шу системанинг таркибий қисми сифатида қараш зарур экан. Классик физикада эса асбобнинг таъсири ҳисобга олмаса бўладиган даражада кам

ва у бутун системанинг бирон-бир сезиларли қисмини ташкил қилмайди, деб ҳисобланади. Асбоб ролининг классик ва квант физикасидаги принципиал фарқи ана шундадир.

Баҳслашув энергияни ўлчаш масаласини ҳам эътибордан четда қолдирмади. Системанинг энергиясига келганда ноаниқлик принципи бир оз бошқачароқ маънога эга. Система энергияси  $h\nu$  бўлган ёруғлик квантини чиқараётган бўлсин. Энергиянинг сақланиш қонунига биноан унинг энергияси ўшанча ( $E_2 - E_1 = h\nu$ ) миқдорга камайиши керак. Лекин квантнинг маълум  $\nu$  частотаси ҳақида гапиришимиз учун ҳеч бўлмаганда бир тебраниш бўлиб ўтадиган  $\Delta t$  вақт оралиғи ўтиши керак, яъни

$$\Delta t \geq \frac{1}{\nu}.$$

Демак, ўзида радиацион ўтиш юз берадиган энергияси  $E_2$  бўлган ҳолат камида  $\Delta t$  вақт давомида яшаши керак. Масаланинг моҳияти бўйича, бу ҳолатнинг энергияси  $E_2 - E_1$  айирманинг қийматидан кичик бўлган ноаниқлик билан берилиши керак, акс ҳолда  $E_2$  ни  $E_1$  дан ажратиб бўлмайди. Демак, биз иккита қийматга эга бўламиз:

$$\Delta E \leq E_2 - E_1 \text{ ёки } \Delta E \leq h\nu \text{ ва } \Delta t \geq \frac{1}{\nu} = \frac{h}{h\nu}.$$

Махраждаги  $h\nu$  ни  $\Delta E$  катталики билан алмаштирсак, у ҳолда  $\Delta E \Delta t > h$  бўлади. Бу энергия учун ёзилган ноаниқлик муносабати. Унинг мазмуни шундан иборатки, бир ҳолат бошқа ҳолатга ўтгунга қадар қанча узоқ яшаса, унинг энергияси шунча аниқ бўлади; қисқа яшовчи ҳолатларнинг энергияси ҳамиша хатолик билан аниқланади.

Атом электромагнит майдон билан ўзаро таъсирлашганлиги учун унинг энергияси сақланиши шарт эмас. Классик назария бўйича энергия вақтнинг ҳар бир онда маълум қийматга эга бўлар эди. Квант назариясида эса аҳвол бошқача;  $\Delta t$  вақт ичида энергия  $\Delta E$  гача аниқлик билан берилган, яъни  $\Delta E \Delta t \geq h$ . Системанинг қисмлари, атом ва электромагнит майдон ўртасидаги ўзаро таъсир қанчалик заиф бўлса, ўтиш учун керак бўлган  $\Delta t$  вақт шунча катта, бироқ  $\Delta E$  шунчалик кичик бўлади, яъни атом асосий турғун ҳолатга шунча яқин бўлади. Бу ноаниқликлар муносабатининг энергия ва

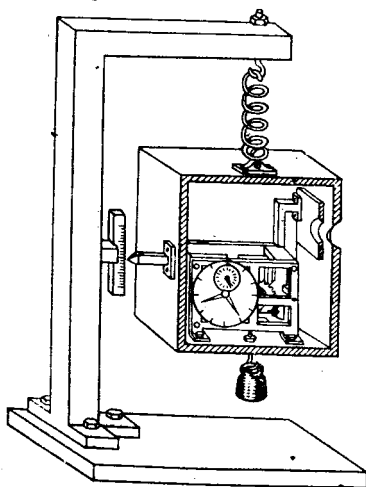
вақ учун тавсифининг худди ўзидир; кўриб турибмизки, у энергиянинг сақланиш қонунига ҳеч хилоф келмайди.

Эйнштейн  $\Delta E \Delta t \geq h$  муносабатни четлаб ўтиш ва энергияни аниқроқ ўлчаш мақсадида бошқа тажрибани таклиф қилди. У нисбийлик назариясининг  $E = mc^2$  ифодасига биноан масса тортиб кўриш усули билан мустақил равишда аниқланиши мумкинлигидан фойдаланмоқчи бўлди. Бошқача қилиб айтганда, Эйнштейннинг тортишиш назарияси ёки умумий нисбийлик назариясининг асосида ётган инерт ва гравитацион массалар тенглиги ҳақидаги тушунчадан фойдаланиш мумкин. Шундай қилиб, Эйнштейн рақибни ўз майдонида енгишни мўлжаллаган эди. Лекин Борнинг тарафида табиатнинг ўзи ҳам турарди.

Эйнштейн таклиф қилган тажрибанинг схемаси қуйидагича: бирор соат воситасида тирқиши жуда қисқа муддатга очиладиган қути ичида фотон манбаи бўлсин. Фараз қилайлик, вақтнинг қандайдир аниқ бир охида тирқиш орқали якка-ягона фотон (квант) учиб чиқсин. У ҳолда, қути оғирлигини фотон чиққанига қадар ва ундан сўнг тортиб кўриб, тирқиш қанча муддат очиқ турганидан қатъи назар, фотон энергиясини хоҳлаганча аниқликда ўлчаса бўлади.

Шуни таъкидлаш лозимки, бутун система ёпиқ бўлиши учун соат қутининг ичига жойлаштирилган. Акс ҳолда соат ва қутини ёпиқ система деб ҳисоблаш мумкин эмас эди.

Бор Эйнштейн таклиф қилган қурилмани чизди (2-расм). Бу хаёлий қурилма 2-расмда тасвирланган. «Лойиҳа» Эйнштейн томонидан маъқулланди. Тасвирланган соатнинг кузатувчи билан ҳеч қандай боғланиши йўқ, у «шайтон машина» ролини бажаради: олдиндан берилган аниқ моментда тўсиқни очиб ёпади ва шу йўл билан  $\Delta t$  вақт оралигини ҳосил қилади. Идишни  $\Delta m$  аниқликда тортиш учун стрелкани тарози шкала-



2- расм,

сидаги ноль нуқтага  $\Delta x$  аниқлик билан ўрнатиш керак. Бу импульснинг  $\Delta p$  ноаниқлигини ҳосил қилади. Бунга Эйнштейн «вақтинча» кўнди.  $\Delta p$  билан  $\Delta x$  ноаниқлик муносабати  $\Delta p \sim \frac{h}{\Delta x}$  орқали боғланган.

Бор яна бир карра ўлчаш асбоби системанинг бир қисми сифатида кўрилиши кераклигини уқтирди. Тўғри, тортиш жараёни системага қўйилган оғирлик кучи импульсидаги ноаниқлик хусусий  $p$  импульснинг табиий ноаниқлигидан катта бўлишини талаб қилади. Унда  $p$  катталикни ўлчашдаги хато унинг физикавий таърифидаги принципиал ноаниқликдан катта бўлиб, бу ҳол ҳар қандай ўлчаш жараёни учун ҳам табиийдир:

$$\Delta p \sim \frac{h}{\Delta x} < g \Delta m t,$$

бу ерда  $t$  — тортиш вақти;  $\Delta m g$  — оғирлик кучининг ноаниқлиги. Эйнштейн  $t$  ни етарли даражада катта олиб,  $\Delta x$  нинг ҳар қандай қийматида ҳам  $\Delta m$  ни истаганча камайтириш ва шундай қилиб, энергия ноаниқлиги муносабатини четлаб ўтиш мумкин, деб ўйлар эди. Лекин Бор бу ўринда ғоят ажиб эътироз билдирди. У умумий нисбийлик назариясига биноан вақтнинг ўтиши абсолют, универсал категория бўлмай, балки соатнинг тортишиш майдонда кўчишига қараб ўзгаришини таъкидлади. Эйнштейн назариясига мувофиқ вақт оралиғининг нисбий ўзгариши  $\frac{\Delta t}{t} = \frac{g \Delta x}{c^2}$  га тенг. Бундан

$$g \Delta x \cdot t = \Delta t \cdot c^2.$$

Илгари келтирилган  $\frac{h}{\Delta x} < g \Delta m \cdot t$  ифодага кўра

$$\Delta t \cdot \Delta m c^2 \geq h$$

ёки  $m c^2 = E$  эканлигини эътиборга олсак,

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq h.$$

Жумбоқнинг ҳал қилиниши ҳақиқатан ҳам ажойиб. Ахир Эйнштейннинг ўзи умумий нисбийлик назариясини яратмаганда эди, балки Бор қаноатланарли жавоб топмаган бўлар эди. Балки назариянинг тараққиёти

секинлашмаса ҳам ҳар ҳолда, физика китобларида бу қисм квант назариясининг заиф жойи сифатида ўрганилар эди.

Эйнштейннинг таклифи инерт ва гравитацион массаларнинг айнанлигига асосланган. Гравитацион майдонда вақтнинг камайишини кўрсатувчи умумий нисбийлик назарияси ҳам шунга асосланган. Классик физиканинг тугалланиши янги назариянинг негизи бўлиб қолди. Бундан сўнг принципиал асосларни ривожлантиришга ўрни қолмади.

Бу, албатта умуман физикага эмас, балки унинг классик қисмига, унинг сабаб ва оқибат ўртасида боғланиш мавжуд бўлган қисмига тегишли, чунки иккиси ҳам тажрибада аниқланган.

Эйнштейннинг нисбийлик назарияси классик назариянинг нотўғри эканлигини тасдиқлаган қандайдир янги тажриба далилларига асосан вужудга келгани йўқ. Л. Д. Ландаунинг ибораси билан айтганда, Эйнштейн уни ўз ақл-заковатидан, тўғрироғи физиканинг Ньютон замонидан кейинги уч юз йиллик тажрибасини умумлаштириб келтириб чиқарди. Умумий нисбийлик назариясидан тажрибада текширилиши мумкин бўлган баъзи бир натижалар келиб чиқди ва бир қанча вақтдан сўнг тасдиқланди.

Борнинг эътирозини кураш қоидасига кирмайдиган «тақиқланган зарба» деб ҳисоблаш керак эмас: бу эътироз унинг мунозарачи рақиби олға сурган ғоянинг худди ўзига — Ньютоннинг иккинчи қонунидаги масса ( $F=ma$ ) билан тортишиш қонунидаги (тортишиш кучи  $=mg$ ) массанинг тенглигига асосланган.

Лекин назарий тафаккурнинг мислсиз муваффақияти Эйнштейнни «атом ҳаракатлари соҳасида ҳам классик ғоялардан четга чиқмаган ҳолда ҳамма нарсани ўз ичига оладиган худди шундай назария яратиш мумкин, ноаниқлик принципи эса бизнинг билимимиз ҳозирча етарли эмаслигини кўрсатади»,—деб ишонтирган бўлиши ҳам мумкин. Ўз программасини амалга ошириш учун Эйнштейн 35 йил ишлади; бу вақт ичида квант назарияси ғоят катта натижаларга эришди ва бизнинг физикавий дунёқарашимизни тубдан ўзгартириб юборди.

Борнинг далиллари Эйнштейнни тўла қаноатлантирмади. Эйнштейн тортиб кўриш усули билан ўтказиладиган тажрибани, бутунлайинча олганда, икки йўсинда

амалга ошириш мумкинлигини айтди. Ёки биринчи тортиб кўришдан сўнг соатнинг кўрсатишини ташқи соат билан солиштириб, шу йўл билан хатони йўқотиш, ёки қутини очмасдан уни иккинчи марта тортиб кўриш ва шу йўл билан аниқ массани (ва энергияни) билиш мумкин. Юзаки қараганда, тажриба натижалари бизнинг хоҳишимиз бўйича тажриба қандай қўйилганлигига боғлиқдек кўринади.

Бунга Бор эътироз билдириб, гап битта тажрибанинг натижалари тўғрисида эмас, балки иккита ҳар хил ва бунинг устига бир-бирини истисно қиладиган тажрибалар ҳақида кетаётганлигини айтди. Бор бундай тажрибаларни қўшимча тажрибалар деб атади:  $\Delta E \Delta t \sim h$  муносабатга мувофиқ ёки вақт моментини, ёки энергиянинг аниқ қийматини ўчлаш мумкин. Ўлчаш асбоби ва объект ҳар бири алоҳида ҳолда бир бутунни ташкил қилади ва шунга мос натижа беради.

Шунинг учун Бор кўпинча ноаниқлик принципи ўрнида «тўлдирувчилик (қўшимчалик) принципи» иборасидан фойдаланади, лекин бу иккала ҳолида ҳам тенг қийматли бўлиб, микродунёдаги физикавий ўлчашларнинг ўзига хос хусусиятларини ифодалайди.

Тажриба шартининг ўзгариши, тажриба ўтказувчининг ихтиёридан қатъи назар, натижанинг ўзгаришига олиб келади: бу маънода квант ўлчашларининг ҳаққонийлик даражаси классик ўлчашларникидан ҳеч кам эмас. Классик физикада ўлчаш объектга таъсир қилмасдан ҳар қандай икки ўлчашни бир-бирдан мустақил равишда амалга ошириш мумкин эди; квант физикасида эса объект ва асбоб ягона тугал физикавий системани ташкил қилганлиги ва унга яна бир асбобни қўшимча қилиш мумкин бўлмаганлиги учун тажрибанинг ҳар хил ўтказилиши баъзи бир ҳолларда бир-бирини истисно қилади.

Тарихчи олимлар Борнинг Пристонга (АҚШ) қилган сўнгги сафарини тилга олишади. Бу данийлик улуғ олимнинг Америка университетларининг таклифига мувофиқ қилган одатдаги сафарларининг ичида бир оз бошқачароғи эди.

Ташқаридан қараганда, Борнинг Пристонда бир ҳафта туриши ҳаяжонли ва қизиқ ҳодисани пинҳон сақлар эди. Уни билиш учун ўтмишга назар ташлаш керак.

Бор ва Эйнштейн — физик олимларнинг кекса авло-



ди ичида энг машхур номлардир. Уларнинг қайси бири улугроқ, деган беҳуда саволга жавоб ахтариб ўтирмаймиз.

Эйнштейн ва Борнинг ҳозирги замон физикасига бўлган муносабатлари бир-биридан кескин фарқ қилади. Бор фаннинг тараққиётини сўнгги йилларда олға қараб катта қадам қўйган квант физикасининг ютуқлари тимсолида кўради. Эйнштейн бунга ишончсизлик билан қарайди, у фандаги статистик усулларнинг душмани ва физика тараққиётининг ҳозирги даврини ўткинчи поғона деб ҳисоблайди. Бу борада Эйнштейннинг деярли тарафдорлари йўқ. Унинг ўзи ҳам буни яхши билади. Бироқ, Эйнштейн ҳар хил муаммоларни самарали ҳал қилишда ёшларнинг иштиёқини тушунади. Шундай бўлса ҳам Эйнштейнни янги физиканинг сўнгги ютуқлари натижасида вужудга келган соҳаларда ишлашга жалб қилиш ҳеч кимнинг қўлидан келмади. Эйнштейннинг номи деярли ҳамма учун нисбийлик назарияси билан боғланган. Аммо Эйнштейн физиканинг бошқа соҳаларида, хусусан, радиация соҳасида жуда муҳим кашфиётлар яратди. У буни бевосита квантлар назариясидан фойдаланиб амалга оширди. Эйнштейннинг ўз ишлари ҳам квант назариясининг тараққиётида муҳим роль ўйнади. Ундан ташқари, унинг асосий кашфиётлари, ўзини статистик усулнинг душмани деб ҳисоблагани ҳолда, шу усулдан фойдаланиб яратилди. Эйнштейндан нима учун ўзи фойдаланаётган илмий усулни у рад этишини сўраганларида қуйидагича жавоб берди: «Ундан зарурат сифатида вақтинча фойдаланаман, лекин, баъзи бировлар сингари, унга ёпишиб олмайман»...

Бор ва Эйнштейн кўп йил дўст бўлишган. Эйнштейннинг тутган йўли Борни кўп ранжитар эди. У Принстонга фақат Эйнштейн билан баъзи бир мунозарали масалаларни муҳокама қилиш ва уни квант физикаси соҳасида ишлашга жалб қилиш учун келган эди. Икки машхур олимнинг учрашуви илмий ҳаётда жуда муҳим ҳодиса эди. Афсуски, уларнинг илмий баҳсларининг энг қизиқ қисми расмий ҳисоботларга кирмай қолди, чунки бу баҳслар мажлисларда ёки қабулхоналарда бўлмаган. Худди кутилганидек, учрашув ҳеч қандай натижа бермади: Бор ҳам, Эйнштейн ҳам ўз нуқтан назарларида қолишди. Бу баҳслар энди ўтмишда қолди. Бироқ, асосан Борнинг таҳлили туфайли, шу нарса равшан бўла-

дики, классик физиканинг механистик детерминизми реал объектларнинг кўп қирраллиги ва тугаллигига тўғри келмайдиган, зид дунёқарашдир; электронлар ҳам, ёруғлик ҳам бир вақтнинг ўзида ҳам зарра, ҳам тўлқин сифатида бўлиб, бу хусусиятлар классик физика нуқтаи назаридан бир-бирига бутунлай зиддир. Релятивистик квант механикасида мунозарали масалалар ҳали анча кўп бўлса ҳам, биз келгусида янги ғоялар бу масалаларни ёритишига ҳозирча фақат умид боғласак ҳам, лекин норелятивистик квант механикаси изчил, мантиқан уйғун, ўзининг тугаллиги билан Ньютон механикасидан қолишмайдиган ва ҳатто ундан ҳам юксакроқ турган назариядир. Бунинг учун биз Нильс Борга тан беришимиз керак.

## II ҚИСМ. МАХСУС НИСБИЙЛИК НАЗАРИЯСИ

### III боб

#### НИСБИЙЛИК НАЗАРИЯСИНING МАНБАЛАРИ

##### 1-§. Ньютон механикасининг асослари

Қадим замонлардан бошлаб астрономлар томонидан тўпланган улкан материал Кеплерга планеталарнинг Қуёш атрофидаги ҳаракати тўғрисидаги машҳур қонунларни яратишига имкон берди. Ньютон механикаси бу қонунларни умумлаштирди ва бир неча юз йил давомида аниқ билим манбаи бўлиб турди. Материя Ньютон қонуниятларидан бошқа қонунларга бўйсуниб ҳаракат қилиши мумкинлиги тўғрисидаги фикр ақл бовар қилмайдиган фикрдир.

Эйнштейн назариясининг бутун улуғворлигини, унинг принципаал янгилигини сезиш учун биз Ньютон механикасининг асосларини эслаб ўтайлик.

Илмий билимга чуқур кирмасдан, физиканинг классик бўлимларининг элементарлигига, уларнинг принципаал равшанлигига ва, айниқса, хулосаларнинг ҳақиқатга объектив мос келишига илмий ёндашиш техниканинг амалда қўлланилиши учун асос бўлади.

Биринчи қарашда Ньютон механикасидан соддароқ назария йўқдек кўринади. Мутахассисларнинг кўпчилиги керакли масалаларни Ньютон механикаси доирасида еча оладилар. Бу механика ўрта мактаблар ва олий ўқув юртларида ўрганилади. Замонавий техника ва авиациянинг, ракета техникасининг, денгиз флотининг ва умуман, саноатнинг ҳамма ютуқлари Ньютон механикаси методлари ва натижаларидан фойдаланишга асосланган.

Аммо мутахассисларнинг кўпчилиги Ньютон механикасини чуқур тушунади деб таъкидлай оламизми? Бу

ҳолни текшириш учун бир неча саволларни муҳокамага қўйиш кифоядир.

1. Ньютоннинг иккинчи қонунини қандай тушуниш керак? 2. Қуч нима? 3. Ньютоннинг иккинчи қонуни тенгламасидан мустақил равишда моддий нуқта учун кучни аниқлаш мумкинми?

$$ma = F, \quad (1)$$

бунда,  $a$  — моддий нуқтанинг («инерциал» координата системасига нисбатан) тезланиши,  $m$  — унинг массаси,  $F$  — таъсир этувчи куч.

Кўпчилик юқорида келтирилган саволлар жуда оддий ва кучнинг нималиги аллақачон ҳаммага равшан, буни тушуниш учун тошни кўтариш ёки ташлаб юбориш кифоядир, дейишади.

Бироқ қатъиятлик билан бу саволни муҳокама қилишни давом эттирамиз.

Ҳаммага маълумки, кўп ҳолларда (1) тенглама тажрибада ҳаракат бўйича топилган умумий кучни аниқлаш учун қўлланилади. Шундай қилиб, бундай ҳолларда (1) тенглама тезликни вақт бирлиги ичида босиб ўтилган йўл орқали фойдаланадиган формуласи каби кучни аниқлайдиган оддий формуладир. Албатта тезликнинг бундай таърифини ҳеч ким табиатнинг асосий қонуни сифатида олдинга сурмайди.

Бошқа томондан (1) тенгламадан ҳаракатни аниқлаш учун фойдаланиш мумкин, аммо бу ҳолларда  $F$  куч берилиши керак, лекин биз кучни қандай берамиз? Кучни бутун олам тортишиш қонуни (гравитация кучи) бўйича, электромагнит кучи, ишқалиш кучи, ташқи муҳит қаршилиқ кучи ва ҳоказолар сифатида бериш мумкин. Бу ҳолларнинг ҳаммасида кучни аниқлаш учун албатта қандайдир физикавий қонундан фойдаланиш керак. Бу қонунларнинг ҳар бири тажриба натижалари асосида топилган ва ўз моҳияти жиҳатидан (1) тенгламага асосланади. Бу тенглама ёрдамида юқорида келтирилган биринчи масала ечимлари анализ қилинади. Шуни эсда тутиш керакки, кучни топиш учун жисмлар хусусиятларига, уларнинг ҳолатлари ва ҳаракатларига боғлиқ бўлган табиатнинг ҳамма қонунлари тажрибада кўрилади ва ҳамма вақт куч фақат кучни аниқлаш учун қўлланиладиган (1) тенглама асосида аниқланади.

Кучни ўзаро таъсир характеристикаси сифатида қандайдир бирор тенглама билан эмас, балки айнан (1) тенглама билан аниқлаш Галилейнинг мавжудлик, теги ҳуқуқлили ва ҳамма инерциал саноқ системаларининг евклидлиги ҳақидаги умумий физикавий принциплари билан боғлиқ.

Махсус нисбийлик назарияси механикасининг Ньютон механикасидан фарқи (1) тенгламанинг тўрт ўлчовли инерциал системага ва бошқа тушунчаларга татбиқ қилиш учун ўзгартирилганлигидадир. Бу эса Ньютон механикасидаги Галилей алмаштиришларини махсус нисбийлик назариясида сохта Евклид фазосидаги Лоренц алмаштиришлари билан алмаштиришдан келиб чиқади.

Асосий (1) тенгламанинг бундан кейинги ўзгариши умумий нисбийлик назариясида ёритилган. Бу назарияда моддий нуқталар системасининг ўзаро тортишиш майдонидаги исталган эркин ҳаракатини инерциал деб қараш мумкин. «Тинч» турган юлдузларга нисбатан пастга тушувчи лифт ёки космик кеманинг илгариланма ҳаракати — умумий нисбийлик назариясида инерциал саноқ системасига мисол бўлади.

Табиатда жисмларнинг ўзаро таъсирини ифодаловчи физикавий қонунлар асосида ётувчи (1) тенглама физикавий фазо ва вақт билан яқин боғлангандир.

Ҳозирги замон физикасида бу боғланишни чуқурлаштириш, мураккаблаштириш ва ўзгартириш талаб қилинади, шунингдек тегишли равишда ўзаро таъсир кучини аниқлаш учун (1) тенгламани ҳам ўзгартириш керак, куч ҳақидаги тушунчанинг ўзи ҳам ҳар хил трансформацияга учрайди.

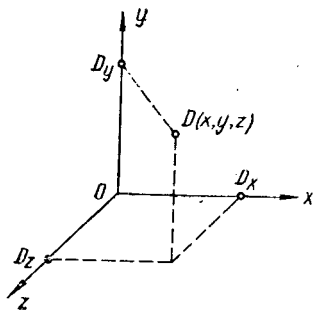
## 2-§. Координаталар системаси

Барча физикавий ҳодисаларни алоҳида ҳодисаларга ажратиш мумкин. Ҳодиса — фазо ва вақт ичида рўй беради. Агар ўлчашлар йўли билан жавоб бериш мумкин бўлса, ҳаммаша онгли равишда биринчи галда, ҳодиса қачон ва қаерда юз берди, деб сўрашимиз мумкин.

Ҳодисанинг фазодаги ўрнини белгилаш учун учта ўлчаш ўтказиш ва учта соinni кўрсатиш талаб қилинади. Масалан, кенглик, узунлик ва Ер сиртидан ўлчанган баландлик кўрсатилиши керак. Бу процесс одатдан

ташқари нарса эмас, уни бошқачасига: физикавий фазо уч ўлчовга эга, деб айтилади. Математикавий нуқтан назардан ўлчовлари сони учтадан кўп ёки кам бўлган фазоларни тасаввур қилиш мумкин. XIX аср математикларининг энг йирик муваффақиятларидан бири худди ана шу кўп ўлчовли фазо геометриясини ўрганишдан иборат бўлиб, у Гильбертнинг (1862—1943 йиллар) ишларида катта тараққиёт топди. Гильберт чексиз миқдордаги ўлчовларга эга бўлган фазоларда геометрия тузиш усулларини кўрсатди. Лекин бизга номаълум бўлган сабабларга кўра, табиат бу имкониятларнинг биронтасидан ҳам фойдаланмади. Физикавий ҳодисалар юз берадиган майдон сифатида у уч ўлчовга эга бўлган фазони танлади:

Ҳодисанинг фазодаги ўрнини белгилайдиган учта сон фазовий координаталар деб аталади. Физикавий фазонинг уч ўлчовлилиги ҳақидаги ҳозирги тушунча XVII асрда, дастлаб, математик Рене Декартнинг (1596—1650 йиллар) ишларида пайдо бўлган бўлса керак. У фазодаги ўринни аниқлаш учун тўғри бурчакли

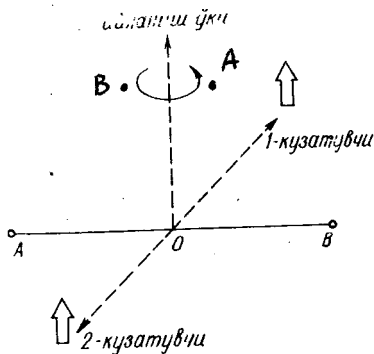


$X, Y, Z$  координаталар системасини яратди (3-расм). Шуниси қизиқки, қадимги замонларда координаталар ҳақида тушунча бўлмаганлиги сабабли фазонинг ўлчовга эга эканлиги ҳақидаги тушунча кенг равишда тан олинмаган, лекин шундай бўлса ҳам Евклид (эрамиздан олдинги 300 йилларда) ва унинг издошлари ҳозирги кунда уч ўлчовли геометрия деб аталадиган геометрияни яхши билганлар.

«Ҳодиса қачон юз берди?» деган савол эса бир марта ўлчашни ва демак, биттагина сонни кўрсатишни талаб қилади. Бошқача қилиб айтганда, вақт бир ўлчовлидир. Реал дунёнинг бу хусусияти бизнинг онгимизга шунчалик чуқур сингиб кетганки, вақт ўлчовлари 1 дан ортиқ бўлган ҳаёлий «дунё»ни тасаввур қилишимиз ҳам қийин. Вақт ўқини вақт йўналиши деб аталадиган йўналишни кўрсатувчи стрелка бўйлаб жойлаштириш мум-

кин. Бу туб хусусият вақт ўлчовининг фазо ўлчовларидан сифат жиҳатдан фарқ қилишини кўрсатади. Вақт йўналиши ҳақида гапирганимизда, биз кузатилаётган барча ҳодисалар маълум кетма-кетликда, яъни ўтмишдан келажакка қараб юз бериши ҳақидаги фактни таъкидлаймиз. Барча кузатувчилар учун ҳодисаларнинг бу кетма-кетлиги фазонинг мазкур нуқтасида бир хил. Агар кузатувчиларнинг биронтаси бирор-бир ўлчаш натижасида фазонинг муайян нуқтасида юз берган қандайдир  $A$  воқеа ўша нуқтада юз берган  $B$  воқеадан олдин содир бўлган деган хулосага келса, равшанки, худди ўшандай ўлчаш натижасида  $A$  ва  $B$  воқеалар тескари кетма-кетликда содир бўлган, деб даъво қилувчи бошқа кузатувчини топиш мумкин эмас. Реал дунёнинг бу ажойиб хусусияти бизнинг сабабнат тўғрисидаги тушунчамиз билан мустаҳкам боғлангандир. Ҳаминша, иккита  $A$  ва  $B$  ҳодиса орасида сабаб-оқибат боғланишлари мавжуд бўлса, биз бу ҳодисалардан қайси бири сабаб, қайси бири оқибат эканлигини айта оламиз, чунки қондага кўра, сабаб оқибатдан олдин келади. Биз реал дунё кўзига тескари йўналишда айлантирилган кинолентага ўхшаб кўринган биронта ҳам кузатувчини билмаймиз.

Фазовий ўқларга келсак, улар учун бирор-бир имтиёзли йўналишлар бўлмаса керак. Масалан, бир кузатувчи  $A$  ҳодиса  $B$  ҳодиса билан бир вақтда ва ундан чап томонда юз берди деб ҳисобласа, аини шу пайтда  $B$  ҳодиса  $A$  ҳодисадан ўнг томонда юз берди деб ҳисоблайдиган бошқа бир кузатувчини албатта топиши мумкин:



4-расм.

бунинг учун биринчи кузатувчига нисбатан  $AB$  чизиққа перпендикуляр ўқ атрофида  $180^\circ$  га бурилиш кифоя (4-расм).

Тушунарлики, вақт ўқиға нисбатан  $180^\circ$  га реал бурилишни амалга ошириш мумкин эмас. Келтирилган мулоҳазаларни қўйидагича таърифлаш мумкин: бир онлик ҳодисалар учун «ўнг» ва «чап» деган ту-

шунчалар нисбий тушунчалардир, улар кузатувчининг ўрни ва ҳолатига боғлиқ бўлади, фазонинг мазкур нуқтасидаги «ўтмиш» ва «келажак» тушунчалари эса абсолют тушунчалар бўлиб, улар ҳамма кузатувчилар учун бир хил.

— Сўнги юз йил давомида вақт йўналишининг табиатини ўрганиш кўпдан-кўп атоқли физиклар диққатини жалб қилиб келди. Бироқ барча уринишларга қарамай, буни қаноатланарди даражада тушунтиришнинг иложи бўлмапти, вақт йўналиши ҳали ҳал қилинмаган кенг кўламдаги муаммолар қаторига киради. Биз кейинроқ механика ва электромагнитизм қонунлари ажойиб хусусиятга эга эканлигини кўрамиз: улар учун вақт йўналишининг аҳамияти йўқ, яъни улар ўтмиш билан келажакнинг ўрин алмашишларига нисбатан симметрикдир. Бу жумбоқни ечиш учун бўлган баъзи уринишларни ҳам қўриб ўтамиз.

### 3-§. Инерциал саноқ системалари

Жисмнинг ҳар қандай механикавий ҳаракати нисбийдир. Унинг ҳаракатини фақат бошқа жисмларга қараб аниқлаш мумкин, холос. Биз Ойнинг ҳаракатини Ерга нисбатан, Марс ва Венеранинг ҳаракатини Қуёшга нисбатан аниқлаймиз ва ҳоказо.

Физикавий ҳодисаларни шарҳлаш учун кузатувчи саноқ системасига эга бўлиши керак. Саноқ системаси деганда, жисмларнинг фазодаги ўрнини аниқлайдиган ва вақтни аниқлаш учун қўйилган соат билан боғланган координаталар системаси тушунилади. Биргина ҳодиса бир қанча кузатувчилар томонидан кузатилиши мумкин. Бу кузатувчиларнинг ҳар бири ўз дунёсида яшаб, ўз саноқ системасида кузатишлар олиб боради.

Кузатувчилар сони кўп бўлиши мумкин, шунинг учун қуйидаги савол туғилади. Барча кузатувчилар орасидан кузатиш натижалари энг тўғри деб топиладиган кузатувчини ажратиш мумкинми? Жавобни Ньютоннинг биринчи қонунидан қидирамиз. Бу қонунга кўра ҳар бир жисм, унга ташқаридан бирор куч таъсир қилмагунча ўзининг тиц ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат ҳолатини сақлайди. Бу қонун инерция қонунидек ҳам юритилади.

Бу қонун жисмларнинг эркин ҳаракати ўзгармас тезликда юз берадиган саноқ системаси мавжудлигини на-



зарда тутади. Бундай санок системалар инерциал, яъни инерция билан ҳаракат қиладиган санок системалар дейилади. Инерциал санок системасидаги кузатувчи учун механика қонунлари жуда оддий кўринишга эга. Ньютоннинг бошқа ҳаракат қонунлари ҳам фақат инерциал системалар учун тўғридир. Инерциал системага нисбатан тўғри чизиқли ва текис ҳаракат қилувчи ҳар қандай санок системасида ҳам эркин ҳаракат тўғри чизиқли ва текис бўлади, яъни инерциал системалар сони чексиздир.

Энди, инерциал системаларнинг ўзи амалда борми, деган савол туғилади. Кўриниб турибдики, йўқ. Лекин инерциал системага яқин бўлган системалар кўп. Ҳар бир системанинг ўз инерциаллик даражаси бор. Масалан, поезд ва станция перронини олайлик. Бу ерда бир санок системаси перрон билан, иккинчиси — поезд билан боғланган. Сигнал чалинди ва поезд ўрнидан жилди. Йўловчилар энгил тебраниб, поезд ҳаракатига тескари йўналишда эгилдилар. Шубҳасиз, бу йўловчиларнинг поезд билан ўзаро таъсири натижасида ҳосил бўлгани йўқ, балки поезд ҳаракати характерининг оқибатидир. Лекин перронда турганлар билан бундай ҳодиса юз бермади-ку! Бундан, перронга боғлиқ санок системаси поездга боғлиқ санок системасига қараганда инерциалроқ экан деган хулоса келиб чиқади.

Агар биз перрон билан, яъни Ер билан боғлиқ системанинг инерциалликдан четланишини аниқламоқчи бўлсак, бу унчалик қийин эмас. Масалан, катта баландликдан тушаётган тошнинг траекторияси шарқ томонга бир оз бурилган бўлади. Бу бурилиш тошнинг Ер билан ўзаро таъсирлашув йўналишини кўрсатади. Бу таъсирлашув Ньютон механикасида оғирлик кучи деб аталади. Тошнинг траекторияси Ер ўз ўқи атрофида айланганлиги, яъни унинг ҳаракати инерциалликдан маълум даражада четга чиққандлиги туфайли оғирлик кучининг йўналишидан фарқ қилди.

Ньютон механикасида биз «тинч» юлдузларга нисбатан текис ва тўғри чизиқли ҳаракат қилувчи инерциал координата системалари мавжуд деб қабул қиламиз. Бу координата системаларини, Ер ва Қуёш системасидаги бошқа массаларнинг гравитацион майдонларини ҳисобга олмаганда, умумий нисбийлик назариясида тахминан инерциал деб ҳисоблаш мумкин. Бироқ, Ньютон

механикасида биз бу системаларни Ер сиртида ҳам инерциал деб ҳисоблаймиз.

Аммо инерция қонунларини текшириш бўйича ўтказилган тажрибалар жиддий қийинчиликларга дуч келди. Қонунда эркин jismlar ҳақида гап юритилади, табиатда эса биз битта ҳам эркин jismlar учрата олмаймиз. Ҳар бир jismlarга тортишиш, ишқаланиш ва ҳавонинг қаршилиқ кучи таъсир этади. Лекин ҳавонинг қаршилиқ ва ишқаланиш кучи бўлмаганда ҳаракатдаги автомашина билан қандай ҳодиса рўй беради, деган саволга бирданга жавоб бериш қийин.

Инерция қонунининг тўғрилигини на мантиқий фикрлаш ва на тажриба йўли билан тасдиқлаш мумкин. Шунга қарамай биз Галилей — Ньютон қонунини табиат қонуни деймиз. Бу натижага биз, тўғридан-тўғри бўлмаса ҳам, жуда кўп кузатишлар ва тажрибалар орқалигина эришдик.

Маълумки, планеталар Қуёш атрофида эллиптик орбиталар бўйлаб ҳаракат қилади. Математикавий ҳисоблашлар планеталар орбиталарининг эллипс шаклида бўлишидан Галилей — Ньютоннинг инерция қонуни келиб чиқишини кўрсатади.

1957 йилдан бошлаб эса инерция қонуни тажрибада ҳам юқори аниқлик билан тасдиқланди. Гап бу ерда Ернинг сунъий йўлдошлари ҳақида кетяпти. Сунъий йўлдошларнинг йиллаб учиб юра олиши ва ўнлаб миллионлаб километр йўлни ўтиши инерция қонунининг жуда ҳам аниқ ҳолда тасдиқланишидир. Бу нарсани на Галилей ва на Ньютон хаёлига келтирмаган. Агар ҳавонинг минимал қаршилиги ва бошқа сабаблар мавжуд бўлмаганда эди, сунъий йўлдошлар Ерга тушмасдан инерция бўйича чексиз кўп вақт учиб юрган бўлура эди.

#### 4- §. Галилейнинг нисбийлик принципи

Барча кузатувчилар орасидан кузатиш натижаларини энг тўғри деб топиладиган кузатувчини ажратиш мумкинми, — деган юқоридаги саволга жавоб беришга биринчи бўлиб Галилей (1564—1642) уриниб кўрган эди. Икки инерциал системада юз бераётган ҳар хил механикавий ҳодисаларни солиштириб кўриб, Галилей ўзининг классик нисбийлик принципини яратди. Бу прин-

ципга мувофиқ барча инерциал саноқ системаларида механиканинг барча қонунлари бир хилда ифодаланadi. «Кема палубаси остидаги хонага кириб олинг,— деб ёзади Галилей — Кема тўхтаб турган пайтда диққат билан пашшалар ва капалакларнинг хонанинг ҳамма томонига бир хил тезлик билан учишини кузатинг... Томчилар ҳам улар остидаги идишга тўғри тушади. Энди кема исталган тезликда бир текис ва тебранмасдан юрсин. У ҳолда сиз содир бўлаётган ҳодисаларда ҳеч қандай ўзгариш сезмайсиз ва уларнинг ҳеч бирига қараб кеманинг юраётганлигини ёки тўхтаб турганлигини аниқлай олмайсиз». Саноқ системаси тинч турибдими ёки тўғри чизиқли текис ҳаракатдами, ундан қатъи назар, системадаги механикавий ҳодисалар бир хилда юз беради. Галилейнинг нисбийлик принципи тажрибада текшириладиган принципдир.

Масалан, текис ҳаракат қилиб кетаётган поезднинг томонлари берк юмшоқ вагонда ўтириб поезд ҳаракатланаётган ёки ҳаракатланмаётганини сезиш мумкин эмас. Агар вагон ичида қўлингизга шарча олиб юқорига тик отсангиз у пастга ҳам тик тушади. Ойнадан ташқарига қараб ҳам комил ишонч билан атрофга нисбатан поезд юряптими ёки йўқми, айта олмайсиз. Агар биз, поезд билан Ер (ёки атроф) нисбатан ўзаро ҳаракатда десак, тўғри қилган бўламиз. Текис ҳаракатни қандайдир абсолют усул билан ўлчаш мумкин эмас, чунки абсолют тинч ҳолатда турган алоҳида система йўқ.

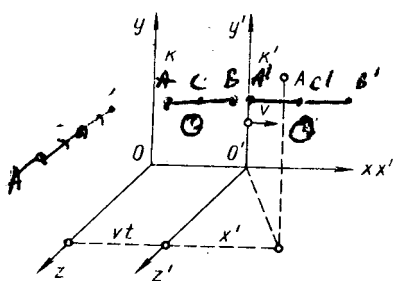
Алоҳида ёки имтиёзли саноқ системасини топиш мумкин эмаслиги ва механикавий ҳодисаларни тушунтириш учун текис ва тўғри чизиқли ҳаракатда бўлган ҳамма саноқ системаларининг тенг ҳуқуқлилиги Галилей нисбийлик принципининг асосида ётади. Бу принцип фақат инерциал системаларга тааллуқли.

Бошқача қилиб айтганда, имтиёзли саноқ системанинг мавжудлиги Галилей принципига тўғри келмаслигида ташқари, бундай саноқ система унга нисбатан текис ва тўғри чизиқли ҳаракат қилаётган ҳар қандай бошқа инерциал системадан фарқ қилмайди, яъни имтиёзли бўлиши мумкин эмас. Математикавий нуқтаназардан Галилейнинг нисбийлик принципи механиканинг тенгламалари бир инерциал системадан иккинчисига ўтганда координата ва вақт алмаштиришларига

нисбатан инвариант қолишини, яъни ўз кўринишини ўзгартирмаслигини талаб қилади.

### 5- §. Галилей алмаштиришлари

Бир инерциал саноқ системасидан иккинчисига ўтиш формулаларини биринчи марта Галилей таклиф қилган. Бу формулалар классик физикада Галилей алмаштиришлари ёки алмаштириш формулалари номи билан машҳур. Уша формулалар устида бир оз тўхтаб ўтамиз.



5- расм.

Фараз қилайлик, мос равишда  $XUZ$  ва  $X'U'Z'$  координата ўқларига эга бўлган иккита инерциал система мавжуд бўлсин (5- расм). Биринчи инерциал системани  $K$  билан, иккинчисини  $K'$  билан белгилайлик.  $K$  системада бирор  $A$  нуқта (ёки воқеа)нинг координатлари  $xuz$  бўлса, шу нуқта (ёки воқеа)нинг координатлари  $x' u' z'$  билан белгиланади.

Бу штрихланган ва штрихланмаган координаталарнинг бир-бири билан боғланиш формулалари геометриядан маълум.

Агар  $K$  (штрихланмаган) системада икки нуқта берилса, улар орасидаги масофа

$$s = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2} \quad (2)$$

ифода орқали аниқланади.  $S$  — интервал деб ҳам аталади. Бунда  $x_1, y_1, z_1$  — биринчи нуқтанинг координатлари.

$x_2, y_2, z_2$  — эса иккинчи нуқтанинг координатлари. Бу нуқталарнинг  $K'$  (штрихланган) системадаги координатлари  $K$  системадагидан фарқ қилади. Ундан ташқари, бу икки нуқтанинг  $K$  системадаги координаталар айирмалари  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  ва  $K'$  системасидаги координаталар айирмалари  $\Delta x', \Delta y', \Delta z'$  бир-бирига тенг бўлиши шарт эмас, ammo штрихланган  $K'$  системадаги икки нуқта орасидаги масофа (ёки интервал)

$$s' = \sqrt{(x_2' - x_1')^2 + (y_2' - y_1')^2 + (z_2' - z_1')^2} \quad (3)$$

штрихланмаган  $K$  системадаги ўша икки нуқта орасидаги масофага албатта тенг, яъни

$$s = s'.$$

Шуни айтиб ўтиш керакки, интервалнинг бир саноқ системасидан иккинчисига ўтганда ёки уни бурганда ўзгармай қолиши чуқур физикавий маънога эга: агар интервал саноқ бошининг қайси нуқтада бўлишидан қатъи назар ҳар қандай координата системасида бир хил бўлса, у ҳолда фазонинг ҳар бир нуқтаси тенг ҳуқуқли бўлади. Интервалнинг координаталар ўқининг қандай йўналиши (бурилиши)дан қатъи назар, ўзгармасдан қолиши фазода ҳамма йўналишлар тенг ҳуқуқлилигидан келиб чиқади.

Шундай қилиб, фазо бир жинсли ва изотроп (ҳамма йўналишлар тенг ҳуқуқли) деган муҳим фикрга келдик. Аммо бу ҳақиқатга тўғри келадими ё йўқми буни тажриба кўрсатиши керак.

Бутун классик физика ва механика асосида ётган ҳамма тажрибалар фазонинг бир жинсли ва изотроп эканлигидан далолат беради.

Махсус нисбийлик назарияси ҳам шу фикрга асосланган.

Энди бир-бирига нисбатан  $V$  тезликда текис ва тўғри чизиқли ҳаракат қилаётган икки координата системасини кўриб чиқайлик (5-расм). Юқорида кўрсатганимиздек координата ўқларини буриш механика қонусларини ўзгартирмаганлигидан,  $K$  ва  $K'$  системалар ўқларини параллел йўналтиришимиз ва  $t = 0$  вақт momentiда бу системаларнинг координата бошлари бир нуқтада деб ҳисоблашимиз мумкин.

Бу шартлар бажарилганда штрихланган системадаги нуқтанинг  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$  координаталари штрихланмаган системада  $x$ ,  $y$ ,  $z$  орқали шундай ифодаланadi:

$$\left. \begin{aligned} x' &= x - V_x t, \\ y' &= y - V_y t, \\ z' &= z - V_z t \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Бу ерда  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$  — иккинчи ( $K'$ ) системанинг биринчи ( $K$ ) системага нисбатан тезлигининг координата

ўқлари бўйича ташкил этувчилари. Бу тенгликлардан иккала системада ҳам интервал бир хил эканлигини кўрсатиб ўтиш мумкин. Ҳақиқатан ҳам,

$$s' = \sqrt{(x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2 + (z'_2 - z'_1)^2}.$$

(4) формулаларга асосан

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} = s,$$

яъни яна интервал ўзгармасдир ( $s = s'$ ).

Классик физикага хос бўлган барча саноқ системаларида вақт бир хил кечади, деган фундаментал фикрни қабул қилсак, яъни

$$t' = t \quad (5)$$

бўлса, бундан  $dt = dt'$  га асосан тезликларни алмаштириш формулалари учун

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}' &= v'_x = \dot{x} - V_x, \\ \dot{y}' &= v'_y = \dot{y} - V_y, \\ \dot{z}' &= v'_z = \dot{z} - V_z. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ифодаларни ёзиш мумкин, тезланишлар учун эса

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}' &= \ddot{x}, \\ \ddot{y}' &= \ddot{y}, \\ \ddot{z}' &= \ddot{z}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Агар иккинчи система биринчисига нисбатан  $V$  тезлик билан фақат  $X$  ва  $X'$  ўқлар бўйича ҳаракат қилаётган бўлса, у ҳолда (4), (5), (6) ифодалар қуйидаги содда кўринишга ўтади:

$$\left. \begin{aligned} x' &= x - Vt, \\ y' &= y, \\ z' &= z, \\ t' &= t, \\ v' &= v - V \end{aligned} \right\}, \quad (8)$$

бунда  $v, v'$  — нуқтанинг мос равишда  $K$  ва  $K'$  системадаги тезликлари.

(4) ва (8) формулалар *Галилей алмаштиришлари* деб аталади. Бир системада ифодаланган ҳаракат қо-

нунларидан иккинчи системада ифодаланган ҳаракат қонунларига ўтиш классик физикада айни шу формулалар орқали бажарилади. (7) формуладан ҳар қандай жисмнинг тезланиши иккала системада ҳам бир хил эканлиги келиб чиқади. Куч тезланишга пропорционал бўлганлигидан, механиканинг тенгнамалари ёки хусусан, Нютоннинг иккинчи қонуни ( $F = ma$  ёки  $F = m\ddot{x}$ ) Галилейнинг нисбийлик принципига тўла мос ҳолда бир инерциал системадан иккинчисига ўтганда координата ва вақт алмаштиришлари (4) ва (5) формулаларга нисбатан инвариант бўлади. Бу принцип Нютоннинг абсолют фазо ва абсолют вақт ҳақидаги фикрининг асосини ташкил қилади.

Биз Галилейнинг нисбийлик принципини қўйилган масалаларга қараб ҳар хил таърифлаган эдик. Бу принцип умумий ҳолда қуйидагича икки хил таърифлангани мумкин.

1. Нютон механикасининг тенгнамалари Галилей алмаштиришларига нисбатан инвариантдир.

2. Ҳамма механиканин ҳодисалар (бир хил бошланғич шароитларда) барча инерциал системаларда бир хил кечади.

Бу таърифлардан биринчиси конкретроқ, иккинчиси умумийроқ характерга эга бўлса ҳам, классик физикада иккала таъриф ҳам бир хил кучга эга деб тушунилар эди.

Аmmo нисбийлик назарияси Нютон тенгнамалари ва Галилей алмаштиришлари универсал характерга эга эмаслигини исбот қилди, яъни Галилей принципининг биринчи таърифини рад этди. Иккинчи таъриф эса нисбийлик назариясида ҳам ўз кучини сақлаб қолди.

Энди инвариантлик тушунчаси устида тўхталиб ўтайлик. Инвариантлик тушунчаси барча бир-бирига нисбатан текис ва тўғри чизиқли ҳаракатда бўлган (инерциал) системаларда механика қонунлари бир хил бўлади деган маънони бермайди. Маълумки, нуқтанинг координаталари (4) ва тезликнинг ташкил этувчилари (6) ҳам ҳамма инерциал системада бир хил бўлавермайди. Ҳатто тезликларнинг ўзи ҳам ҳар хил системаларда бир-бирига тенг эмас (8). Механика қонунларининг инвариантлиги, системаларнинг ҳар бирида ўтказилган тажриба бир хил натижага олиб келишини билдиради. Бир хил куч ҳамма инерциал системаларда тезликнинг ва

тезланишнинг бир хил ўзгаришига олиб келади. Бошқача қилиб айтганда, механиканинг координаталардан вақт бўйича иккинчи ҳосилаларини, яъни тезланишлар (7) ни ўз ичига олган қонунилари ҳамма инерциал системаларда бир хил кўринишда ёзилади (инвариантдир). Бир хил шароитларда бир хил кучлар инерциал системаларда бир хил ҳаракатга олиб келади. Шунинг учун бундай системаларнинг ичида ўтказилган ҳеч қандай тажриба асосида система ҳаракатини аниқлаб бўлмайди (Галилейнинг кемадаги ёки поездда ўтказилган тажрибаларини эсланг).

Галилейнинг алмаштириш формулаларини ўқувчи дурустроқ тушуниши учун бир мисол кўриб чиқамиз. Айтайлик,  $K'$  система  $K$  системага нисбатан (5-расм)  $X$  ва  $X'$  ўқлар бўйича  $V$  тезлик билан ҳаракат қилсин. Агар  $K'$  системада бирор жисм  $v'$  тезлик билан  $X$  йўналишида ҳаракатда бўлса,  $u$  ҳолда Галилейнинг тезликларни қўшиш формуласи (8) га асосан жисмнинг  $K$  саноқ системага нисбатан тезлиги қуйидагича бўлади:

$$u = v' + V.$$

Бу формула тезликларни классик қўшиш қонуни бўлиб, уни кишилар онгли ва онгсиз тарзда кундалик турмушларида ишлатадилар. Шунинг учун ҳам бу қонуннинг тўғрилигига ҳеч қандай шубҳа йўқ. Агар бир йўналишдаги, масалан,  $0,6 \text{ км/сек}$  ва  $0,4 \text{ км/сек}$  тезликларни қўшиш талаб этилса,  $u$  вақтда юқоридаги формулага кўра натижавий тезлик  $1 \text{ км/сек}$  бўлади. Худди шунингдек,  $150\,000 \text{ км/сек}$  ни  $100\,000 \text{ км/сек}$  га қўшиш натижасида  $250\,000 \text{ км/сек}$  ни ҳосил қиламиз ва ҳоказо. Бу ҳолда хатога йўл қўйилмасмикан?

Фикр юритувчи киши бир оз эҳтиёткор бўлади. У айтадики: биринчи натижа билан мен албатта розиман, уни табиатдаги ўлчашлар тасдиқлайди. Лекин иккинчиси келганда: билмадим, катта тезликларни ҳам худди кичик тезликларни қўшгандек қўшиб бўлармикан, деган савол туғилади.

Юзаки қараганда буларнинг ҳаммаси ўз-ўзидан кўриниб тургандай бўлади. Тезликларни қўшиш бўйича масалаларни ҳали механикани тўла ўрганмаган мактаб ўқувчилари ҳам ечади ва ечимлар жавобига тўғри чиқади!



Лекин жавобларнинг тўғрилиги шу сабабданки, масалалар шартда нисбатан анча секин юрадиган поездлар ва пароходлар туради. Эҳтимол, яқин вақтларда мактаб дарсликлариди тезлиги  $10 \text{ км/сек}$  бўлган космик кемалар ҳақидаги масалалар ҳам пайдо бўлар. Лекин ўшанда ҳам хатолар жуда кичик бўлади. Тезлиги ёруғлик тезлигига яқинлашадиган келажак космик кемалари учун Галилей алмаштиришларини қўллаш мумкин бўлмай қолади.

Албатта, фан фақатгина космик кемалар билан шуғулланиб қолмайди. Физика ёруғлик тезлигидан деярли қолишмайдиган юксак тезликларгача тезлаштирилган зарраларнинг ҳаракатини анча вақтдан бери ўрганмоқда. Биз ҳозир бундай зарраларга Галилей алмаштиришларини ва ундан келиб чиқадиган тезликларни қўшиш қонунини қўллаш мумкин эмаслигини кўрсатамиз.

#### **6-§. Галилей алмаштиришларининг катта тезликларга татбиқи**

Ишни Галилей алмаштиришларини, аниқроғи, бу алмаштиришлардан келиб чиқадиган оддийгина тезликларни қўшиш қонунини ёруғликнинг тарқалишига қўллаш мумкинми, деган саволга жавоб излашдан бошлаймиз. Маълум бўлишича, бу қонун ҳар қандай ҳаракатнинг нисбийлиги ҳақидаги умумий талабга зид келар экан.

Табийки, нисбийлик принципини ёруғлик учун қўллаш мумкин. У ҳолда типик электромагнит ҳодиса бўлган ёруғликнинг тарқалиш тезлиги бир-бирига нисбатан тўғри чизиқли ва текис ҳаракат қилаётган барча кузатувчилар учун бир хил бўлиши керак. Агар фақат биргина кузатувчи учун ёруғлик тезлиги барча йўналишларда бир хил, бошқа кузатувчилар учун уларнинг ҳаракат йўналишига қараб ҳар хил бўлса, у ҳолда биринчи кузатувчи абсолют тинчликда бўлади.

Агар махсус кузатувчи бўлса ва унинг учун ёруғлик ҳамма томонга бир хил тезликда тарқалса, у «эфир»га нисбатан қўзғалмай турган бўлади. Бунда эфир тушунчасининг ўзи физикавий реаллик касб этади. Эфирнинг эластик муҳит сифатида тасаввур қилинганда юзага келган зиддият фақат ҳаракатнинг нисбийлиги принципагига боғлиқ эмас эди. Аниқроқ айтганда, бу зиддият ҳақида олимлар ўйлаб ҳам кўрмаган бўлиб, улар

бу эластик муҳитда Ер қандай қилиб қаршиликсиз ҳаракат қилиши ҳақида бош қотирар эдилар.

Агар электромагнит майдоннинг ўзи реал нарса бўлса, унга ҳаракатнинг нисбийлик принципини қўллаш мумкин деб ўйлаш табиийдир. У вақтда тўғри чиқиқли ва текис ҳаракат қилаётган барча кузатувчилар тенг ҳуқуқли бўлади. Бошида бу мулоҳазалар оддий бўлиб кўришади. Лекин чуқурроқ ўйлаб қаралганда ҳеч қутилмаган хулосалар келиб чиқади. Барча кузатувчилар тенг ҳуқуқли бўлганлиги ва улар орасида абсолют тинч турган кузатувчи бўлмаганлиги учун уларнинг ҳар бири ҳам ўз системасига нисбатан ёруғлик тезлиги барча йўналишларда бир хил эканлигини кўради. Бу эса ёруғлик тарқалишининг асосий қонунидир, у механиканинг ҳар қандай қонуни сингари, барча кузатувчилар учун бир хил бўлиши керак. Қачон ёруғлик тезлиги барча йўналишларда бир хил бўлиши мумкин? Кузатувчи қайси томонга ҳаракат қилишидан қатъи назар, у бошқа ҳеч қандай тезлик билан қўшилмагандагина шундай бўлиши мумкин.

Бу хулоса физикага маантиқий мулоҳазалар йўли билан кириб келгани йўқ. Аксинча, тезликларни қўшиш қонуни ёруғликка татбиқ этилиши мумкинлигига, Ернинг ҳаракат йўналиши бўйлаб юборилган нур бу ҳаракатга перпендикуляр йўналишдаги нурга қараганда бошқачароқ тезликка эга эканлигига барча физиклар ишонар эдилар.

Лекин физика ҳеч нарсани далилсиз қабул қилмайди. Майкельсон тажрибаси (9- § га қаранг), ёруғлик тезлиги бошқа ҳеч қандай тезлик билан қўшилмаслигини исбот қилди. Ундан сўнг Эйнштейн нисбийлик принципини фақат механикавий ҳодисаларнигина эмас, балки электромагнит ҳодисаларни ҳам қамраб оладиган қилиб ўзгартирди (13- § га қаранг). У шундай қилиб ифодаланганда Эйнштейн назарияси жуда «беозор» кўринадди. Аслида эса унинг оқибатлари фазо ва вақт ҳақидаги физикавий тасаввурларни тубдан ўзгартириб юборди.

Зарралар учун бир нисбийлик принциpidан, майдон учун эса иккинчисидан фойдаланиш мумкин эмас. Шунинг учун иккаласи учун ҳам тўғри бўлган ягона нисбийлик принципини яратиш керак. Бу ягона нисбийлик принципи секин ҳаракатланаётган зарралар учун шак-

лан Ньютон механикасидаги принципга (Галилейнинг нисбийлик принципи)га мос келади ва тезликларни қўшишнинг оддий қонунини беради, катта тезликлар учун эса бўшлиқдаги ёруғлик тезлигини ўзгаришсиз қолдирадиган аниқроқ қўшиш қонунини бериши лозим.

Бу қонун амалда Эйнштейндан олдинроқ маълум эди. У ҳаракатланаётган жисмлар Майкельсон тажрибаси салбий натижа бериши учун етадиган даражада қисқариши ҳақидаги ғалати фароздан келиб чиқар эди. Лекин бу ерда аслида Галилей нисбийлик принципининг электромагнит майдон учун умумлашмаси иштирок этаётганини фақатгина Эйнштейн тушуниб етди.

Эйнштейн, шунингдек, бу умумлашмадан бир қанча хулосалар, биринчи навбатда, фазо ва вақтнинг хусусиятларига оид бўлган хулосалар чиқаришга муваффақ бўлди.

## 7- §. Ньютон фазо ва вақт ҳақида. Эфир масаласи

Ньютон ғоялари фазо ва вақтга нисбатан қандай хулосаларга олиб келишини кўрайлик. Ньютоннинг тасавури бўйича фазо каттакон бўш қутидан иборат бўлиб, унда моддий жисмлар жойлашган ва физикавий ҳодисалар рўй беради. Вақт ҳақида эса Ньютон қуйидагини ёзган эди: «Абсолют, ҳақиқий математикавий вақт ўз-ўзича ва ўз мазмуни бўйича, ҳеч қандай ташқи нарсага боғланмаган ҳолда бир текисда ўтади ва бошқача қилиб айтганда давомийлик деб аталади».

Шундай қилиб, Ньютоннинг фикрича фазо ҳам, вақт ҳам табиатдан ташқарида мавжуд бўлган абсолют нарсалардир. Фазо ва вақт ғояларини яратишда Ньютон нимага асосланган эди? Ҳар ҳолда, у тажрибага асослангани йўқ, балки Аристотель тушунчаларининг баъзи бир анъаналарини давом эттирди. Аристотель эса ўз навбатида ўзининг қадимги Юнон тараққиётидан анча илгари барча томонидан таъ олинган тасавурлар системасини яратган эди, кейинчалик бу система «соғлом ақл» нуқтаи назарига айланди.

Шу тариқа кўп минг йиллар давомида одат бўлиб қолган ана шу назария билан Майкельсон тажрибасига асосланган ва бу соҳада физиканинг қийинчиликларини тўғри тушунтириб берган нисбийлик назарияси ўртасида мунозара келиб чиқди.

Инерциал системаларнинг тенг ҳуқуқлигини тасдиқловчи Галилейнинг инерциаллик принципини ҳаракатланувчи муҳитлар электродинамикасига кўчириб ҳамма физикавий ҳодисалар эфир билан тўлдирилган фазода юз беради деб ҳисобланарди.

Машҳур олим Гюйгенс (1629—1695) ёруғликнинг тўлқин назариясини яратди. Бу назарияга кўра маълум модда — эфир мавжуд бўлиб, ёруғликни ўтказиб юборадиган барча жисмлар, масалан, шиша, ҳаво, сув, вакуум ана шу эфир билан тўлдирилган. Эфир, Гюйгенс фикрича, суюқликка ўхшаш бутун фазони тўлдирувчи ва барча моддий жисмлар кира олиши мумкин бўлган муҳитдан иборат. Ана шу эфирда ёруғлик тарқалади. Ньютон эса бундай назарияга бутунлай қарши эди. У: «Эфир ўзи нима? Мен уни кўра олмайман, сеза олмайман ҳам, унинг на ранги ва на ҳиди бор. У тинч турадимми ёки шамолга ўхшаб эсадими? У ишқаланишга эгами? Агар эга бўлса, у ҳолда айланма ҳаракатдаги Ер ва бошқа планеталарни секинлашишдан (худди айланма ҳаракатдаги пилдироққа ўхшаб) нима ушлаб туради?» деган қатор саволларни ўртага ташлайди. Ўзи эса ёруғликнинг корпускуляр назариясини яратади. Бунга кўра ёруғлик жисмнинг кичик зарраларидан ташкил топган бўлиб, барча йўналишлар бўйлаб тўғри чиқиш тарқалади. Шундай қилиб, Ньютон билан Гюйгенс ўртасида кескин кураш бошланади. Ўша давр «Ньютон даври» бўлганлиги туфайли, Ньютонга қарши чиқиш Ер юзидаги энг ҳурматли кишига қарши чиқиш билан барабар эди. Шунинг учун ҳам корпускуляр назария тарафдорлари тўлқин назарияси тарафдорларига қараганда кўпчиликни ташкил этар эди. Лекин ҳар қандай назариянинг ҳақиқатлиги уни таклиф этаётган «ҳурматли зот» билан аниқланмай, балки у барча ҳодисаларни акс эттира олиши ёки эттиролмаслиги билан аниқланиши ҳаммага маълум.

Корпускуляр ва тўлқин назариялари ўртасидаги келишмовчиликлардан бири — эфир масаласи эди.

Ҳаракатланувчи муҳит электродинамикасининг асосий масаласи жисм ҳаракатининг эфирга таъсири бўлиб, уни ҳал қилишда олимлар бошланғич ҳолатни ҳар хил қилиб олар, бу эса ҳар хил назарияларнинг яратилишига олиб келар эди. Масалан, Герц яратган назарияга асосан, жисмлар ҳаракат қилганда эфир бутун-

лай уларга эргашиб кетади; Лоренцнинг фараз қилишича, эфир қўзғалмас нарса ва у модданинг ҳаракатида қатнашмайди.

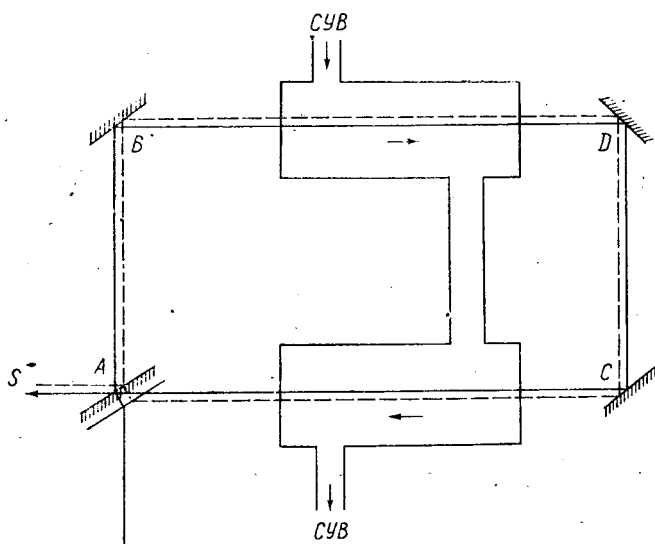
Жисмлар ҳаракатининг эфирга таъсирини фақат тажрибада ҳал қилиш мумкин. Шу мақсадда ўтказилган тажрибалардан баъзиларини кўриб ўтамиз.

#### IV боб

### МАХСУС НИСБИЙЛИК НАЗАРИЯСИНING ЭКСПЕРИМЕНТАЛ АСОСЛАРИ

#### 8- §. Физо тажрибаси

1851 йилда Физо шаффоф муҳитлар ҳаракатининг эфирга таъсирини аниқлаш учун тажриба ўтказди (6- расм). Ёруғлик нури  $S$  ярим шаффоф бўлган



6- расм.

$A$  пластинкага юборилади, у ерда нур  $AB$  ва  $AC$  дан иборат икки нурга бўлинади. Тушаётган нурга нисбатан  $45^\circ$  да жойлаштирилган  $B, C, D$  кўзгулар ёрдамида нур  $90^\circ$  га бурилади.

6- расмдан кўринишича, А нуқтада бўлинган нурлар, бири соат стрелкаси бўйича, иккинчиси эса унга тескари равишда қурилмани айланиб чиқади. Қурилмада нурлар йўлига шиша идишларда сув ҳам қўйилган. Нурлар кўрсатилган йўлни босиб ўтгач, яна А пластинкада учрашади. Агар сув ҳаракатсиз бўлса ёки  $v$  тезлик билан ҳаракатланса, бу нуқтада интерференция ҳодисасини кузатиш мумкин. Агар эфир сувга эргашса, у ҳолда ҳаракат қилаётган сувдан нурлар ўтаётгандаги вақт фарқига тегишли фазалар фарқи интерференция ҳаракатларини аниқлайди: эфирнинг эргашши коэффициентини полоса (йўл-йўл чизиқ)ларнинг силжиши орқали қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\alpha = 1 - \frac{1}{n^2},$$

бу ерда  $n$  — сувнинг синдириш кўрсаткичи, Физо сув учун  $\alpha = 0,438$  ни олди. Герц назариясида  $\alpha = 1$  бўлиб, тажрибага мутлақо мос келмади. 1886 йилда Майкельсон ва Морли Физо тажрибасини юқори аниқликда қайтариб,  $\alpha = 0,434 \pm 0,020$  қийматни олишди.

Шундай қилиб, кейинги вақтда ўтказилган тажрибалар ҳам Герцнинг эфирни ҳаракатланувчи жисмларга эргашishi ҳақидаги назариясини тасдиқламади.

Эрнинг эфир ичидаги ҳаракати ҳақидаги масала эса ечилмаганича қолди.

Энди Лоренцнинг эфир қўзғалмас парса ва у жисмнинг ҳаракатида қатнашмайди деган назариясини текшириб кўриш зарур эди. Агар тажриба вакуум ёки ҳавода ўтказилса, у ҳолда синдириш кўрсаткичи  $n = 1$  бўлганлигидан эфирнинг эргашши коэффициенти  $\alpha = 1 - 1/n^2 = 0$  бўлиб, ҳар қандай оптикавий ва электромагнит ҳодисаларда ягона саноқ системаси сифатида фойдаланиш мумкин бўлган қўзғалмас эфирни аниқлаш имкони туғилади. Аммо бу тажриба иккинчи даражали катталиклар, яъни  $v^2/c^2$  гача бўлган ниҳоят даражада катта аниқликда ўтказилиши зарур эди. Эфир масаласи билан қизиққан назарий электродинамиканинг асосчиси машҳур инглиз олими Ж. Максвелл (1831—1879 йиллар) 1868 йилда бундай тажрибалар ўтказилиши мумкинлигига шубҳа билан қаради. Лекин бу тажриба 1881 йилдаёқ Альберт Майкельсон томонидан амалга оширилиб, физикавий ғояларнинг ривожига катта аҳамият касб этди.

## 9- §. Майкельсон тажрибаси

Майкельсон тажрибаси жуда нозик бўлиб,  $v^2/c^2$  гача аниқликда бўлган эффектларни ҳам ҳисобга олиш имконини беради. Эффектни сезиш учун Майкельсон ёруғликнинг Ер ҳаракати бўйича ва унга перпендикуляр йўналишларда ўтиш вақтларини солиштириб кўрди. Бунинг учун у *Майкельсон интерферометри* деган ном билан машҳур бўлган махсус асбоб яратди. Интерферометр асосий иккита  $N$  ва  $N'$  кўзгулардан ва ярим шаффоф пластинкадан ташкил топган.

7- расмда Майкельсон тажрибасининг схемаси кўрсатилган. Интерферометр шундай жойлаштирилганки, унинг бир елкаси Ер ҳаракати йўналиши билан, иккинчиси унга тик бўлган йўналиш билан мос келади. Интерферометрни  $90^\circ$  га бурганда интерференция кўринишининг ўзгариши кутилади. Бу ўзгариш бўйича Ер ҳаракатининг тажрибага таъсирини, бу ҳаракатнинг эфирдаги абсолют тезлигини аниқлаш мумкин.

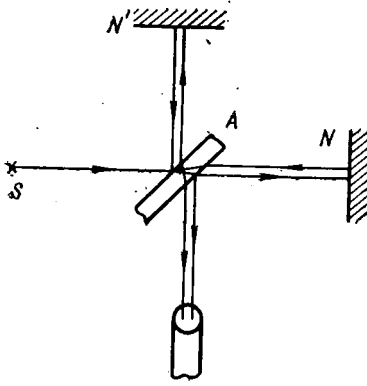
Бу тажрибани тушуниш учун Ер маълум бир йўналишда  $v$  тезлик билан эфирда ҳаракат қилади деб фараз қилайлик. Энди эфирда  $c$  тезлик билан тарқалаётган ёруғликнинг Ерда маълум бир  $l$  йўл босиб ўтиши учун керак бўлган вақтни ҳисоблаб чиқайлик. Агар ёруғлик йўналиши эфирда Ер ҳаракати йўналиши билан мос бўлса, бу вақт  $\frac{l}{c-v}$  га тенг, агар тескари бўлса  $\frac{l}{c+v}$  га тенг. Энди, фараз қиламиз, ёруғлик Ернинг эфирдаги ҳаракат йўналишига тик ҳолатда ҳаракатлансин. Бу ҳолда ёруғликнинг эфирдаги траекторияси  $ab'$  (8- расм) тўғри чизиқ билан ифодаланади.

Ёруғликнинг эфирда бу йўлни босиб ўтиши учун керак бўлган вақт:

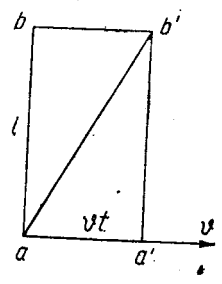
$$t = \frac{\sqrt{l^2 + (vt)^2}}{c} \quad (9)$$

Бу формуланинг суратида ёруғликнинг эфирда босиб ўтган йўли, махражида эса унинг тезлиги берилган. (9)дан  $t$  ни топамиз:

$$t = \frac{l}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{l}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$



7- расм.



8- расм.

бу ерда

$$\beta = \frac{v}{c}$$

Бундан маълум бўлдики, Ерда маълум бир масофани босиб ўтиш учун керак бўлган вақт шу масофа ~~...~~ Ернинг эфирдаги ҳаракат йўналишига нисбатан қандай жойлашганига боғлиқ. Майкельсон тажрибаси мана шу фикрга асосланган. S майдан чиқаётган ёруғлик нури, шу нур йўналишига нисбатан 45° бурчак остида жойлаштирилган ярми кумуш A пластинкага тушади. Бу пластинка нурни ўзаро перпендикуляр йўналишда бўлган икки нурга ажратади. AN ва AN' нурлар N ва N' кўзгулардан орқага қайтиб A га келади, бу ерда нур яна икки нурга ажралади ва ундан кейин кузатувчининг кўзига тушади; у ерда эса интерференция рўй беради. Интерференция манзараси геометрик жиҳатдан тенг бўлган l ни, яъни AN ва AN' йўллари босиб ўтиш учун керак бўлган вақтлар фарқи натижасида ҳосил бўлувчи иккита нур йўлининг айирмаси билан аниқланади.

Фараз қилайлик, қурилма Ерда шундай ўрнатилганки, унинг A елкаси Ернинг эфирдаги тезлигига параллел бўлсин. Бу ҳолда нур AN йўлини қарама-қарши икки йўналишда босиб ўтиши учун қуйидаги вақт сарф бўлади:

$$t_1 = \frac{l}{c-v} + \frac{l}{c+v} = \frac{2l}{c} \cdot \frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} = \frac{2l}{c} \cdot \frac{1}{1-\beta^2}$$



Иккинчи нур Ернинг эфирдаги ҳаракат йўналишига перпендикуляр бўлган  $AN'$  йўлини икки хил йўналишда босиб ўтиш учун (2) формулага асосан

$$7 \quad t_2 = 2t = 2 \cdot \frac{l}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

вақт сарф бўлади. Вақтлар айирмаси қуйидагига тенг:

$$\begin{aligned} t_1 - t_2 &= \frac{2l}{c} \left( \frac{1}{1-\beta^2} - \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \right) = \\ &= \frac{2l}{c} \left( \frac{1}{1-\beta^2} - \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{1-\beta^2} \right) \approx \frac{l\beta^2}{c}. \end{aligned}$$

Демак,  $\beta^2$  гача аниқликда

$$t_1 - t_2 \approx \frac{l\beta^2}{c}.$$

Агар бутун қурилмани  $90^\circ$  га шундай бурсакки, бунда  $AN$  нинг йўналиши  $AN'$  нинг дастлабки йўналишига мос келса, у ҳолда нурлар эфирга нисбатан ўз йўналишларини ўзгартиради ва вақтлар айирмасининг ишораси ўзгаради, яъни

$$t_1 - t_2 = -\frac{l\beta^2}{c}.$$

Демак, қурилмани буриш вақтлар айирмасини  $2 \frac{l}{c} \beta^2$

катталikka ўзгаришга олиб келади. Биринчи ҳолатда полосалар ўннга, иккинчи ҳолатда эса чапга силжийди. Тажрибада полосанинг юздан бир қисмини қайд қилиш мумкинлигига қарамадан, Майкельсон тажрибаларида полосаларнинг етарлича силжиши кузатилмаган. Майкельсон тажрибалари натижалари қўзғалмас эфир ҳақидаги гипотезага зиддир. Агар буни эфирнинг жисмларга эргашишининг исботи деб қарасак, у ҳолда у Физо тажрибаларининг натижаларига қарши чиққандай бўлиб қолади.

Бу қарама-қаршиликни ҳал қилиш учун немис олими Ритц баллистик гипотезани илгари сурди. Бу гипотезага асосан ҳаракатланаётган манбадан тарқалувчи ёруғликнинг тезлиги манба тезлиги ва ҳаракатсиз манбадан тарқалаётган ёруғлик тезликларининг геометрик йиғиндисига тенг. Баллистик гипотеза тўғри бўлган ҳолда Майкельсон тажрибаси салбий натижа бериши керак эди. Лекин жуфт юлдузларни астрофизик кузатишлар баллистик гипотезани инкор этди.

Тажриба бир неча марта жуда аниқ асбоблар ёрдамида такрорланди, лекин натижа ўзгармади. Бу жуда ҳам ажойиб натижа эди. Биринчидан, бу натижадан Ер тинч туради деган хулоса келиб чиқарди ва бундай хулоса чиқариш ҳеч бир ақл бовар қилмайдиган натижаларга олиб келар эди. Иккинчи томондан, эфирни мавжуд эмас деб хулоса чиқариш ҳам ақл бовар қилмайдиган нарса эди. Чунки бундай дейиш кемалар қатнаб турадиган дарёнинг суви йўқ деган маъно билан бир хил эди.

Бу тажриба натижалари олдинги натижаларни бирига аралаштириб юборди. Шундан сўнг олимлар ишни нимадан бошлашни билмай қолдилар. Ўлчаш аниқлигини оширган ҳолда тажрибалар яна бир неча марта такрорланди, лекин натижалар жуда юқори аниқлик билан ёруғлик тезлиги Ерга нисбатан барча йўналишлар бўйича бир хил деган хулосани тасдиқлади.

#### 10-§. Астрономия ҳодисаларини релятивистик изоҳлаш. Ёруғлик абберацияси

Нисбийлик назарияси яратилганга қадар Майкельсон тажрибасига тўғри келмайдиган бир ҳодиса бор деб ҳисобланар эди. Гап ёруғликнинг астрономик абберацияси деб аталадиган ҳодиса устида бораяпти. Бу ҳодисанинг моҳиятини қуйидаги мисол орқали тушуниш мумкин. Икки поезд Ерга нисбатан бир хил тезлик билан бир-бирига қараб келаётган бўлсин. Шамол йўқ, ёмғир бутунлай тўғри ёғаяпти, яъни томчилар ерга вертикал равишда тушаяпти. Поездларнинг дераза ойналарида томчилар вертикал из эмас, поездларнинг ҳаракат йўналишидан тесқари томонга қиялашган из қолдирмоқда. Бинобарин, ҳаракатланаётган иккала поезд ойналаридаги излар Ерга нисбатан қарама-қарши томонга қияланади. Равшанки, томчиларнинг қиялашуви уларнинг вертикал туши тезлиги билан поездларнинг горизонтал ҳаракат тезликларига боғлиқ.

Агар ўша поезднинг ўзи тўғри ёмғир остида айлана бўйлаб ҳаракат қилса, деразадаги томчилар поезднинг ҳаракат йўналишига тесқари томонга қиялашади, лекин айлананинг қарма-қарши нуқталарида бу излар Ерга нисбатан ҳар хил томонга қияланган бўлади.

XVIII асрда Брэдли худди шунга ўхшаган ҳодисани кашф қилди: Ер Қуёш атрофида ҳаракат қилганида Ер орбитасининг қарама-қарши нуқталарида юлдузларнинг нури Қуёшга нисбатан қарама-қарши томонларга қиялашар экан. Бу ёруғлик *аберрацияси* ёки ёруғликнинг *бурилиши* дейилади.

Қандай қилиб шундай бўлиши мумкин? Майкельсон тажрибасида Ернинг тезлиги ёруғлик тезлиги (ҳаттоки юлдуздан келаётган ёруғлик тезлиги) билан қўшилмас эди-ку, аберрация ҳодисаси эса, шубҳасиз, бу тезликларнинг қўшилишидан келиб чиққан.

Жавоб шундан иборат бўлади: аберрация вақтида ёруғлик тезлигининг тўла катталиги эмас, балки унинг фақат Ернинг ҳаракат йўналиши бўйича ташкил этувчиси қўшилади, холос. Масалан, юлдуз нури Ер орбитасининг диаметри бўйлаб кетган бўлсин. У, албатта, Ер орбитасини икки марта ҳам тўғри бурчак остида кесиб ўтади. Қуёш билан боғланган координаталар системасида ёруғлик тезлигининг орбита йўналишига проекцияси шунинг учун нолга тенг бўлади. У ҳолда юлдуз ёруғлиги Ер ҳаракати йўналишига проекцияси Ер билан боғланган системада  $v$  га тенг, орбитанинг қарама-қарши нуқтасида эса —  $v$  га тенг. Бинобарин, ёруғлик нури Ерга нисбатан (радиан бирликларида)  $\frac{v}{c}$  бурчакка ёки  $20''$  5 га бурилади.

Бу бурилиш нисбийлик назариясига ҳеч зид эмас, чунки фазода абсолют йўналиш йўқ, бурилган нур эса, сирасини айтганда, бурилмаган нурдан ҳеч ҳам «ёмон» эмас. Ёруғлик тезлигининг абсолют катталиги эса Майкельсон тажрибасида сақланганидек, аберрация ҳодисасида ҳам сақланиб қолади.

Майкельсон тажрибасидан сўнг физикада тушуниш қийин бўлган вазият вужудга келди. Бунда тажриба натижаларини турли хил усуллар билан тушунтиришга урицилар. Масалан, голландиялик физик Г. А. Лоренц абсолют фазода ҳаракат қилаётган жисмлар ўз ҳаракати йўналишида қисқаради, деган тахминни айтди. У мос келадиган қисқаришни таълаб олиш орқали ўзининг назариясини Майкельсон тажрибасига бўйсундирди. Лекин шунга қарамасдан, Лоренц назариясини муаммоларнинг ечилиши деб бўлмас эди, чунки у қандай сабабларга кўра абсолют фазода ҳаракат қилаётган жисм ўз

ҳаракати йўналишида қисқаришини тушунтириб бера олмас эди.

Француз математиги Анри Пуанкаре бу муаммони Лоренцга қараганда чуқурроқ тушунди. У классик нисбийлик принципини умумийроқ принципга алмаштириш кераклигини тушунди ва уни амалга оширди. Кейинчалик бу принцип махсус нисбийлик принципи деб аталди.

Шундай қилиб, 1904 йилга келиб Пуанкаре нисбийлик назариясини яратиш бўсағасида эди, лекин у бунинг уддасидан чиқа олмади. Бунга сабаб, унинг фалсафий қараши эди. Пуанкаре табиатдаги бир ҳодисани тенг кучли бир неча назария билан тушунтириш мумкин, деб ўйлади. Лекин у бу назариялардан бири табиатни акс эттирса, қолганлари сунъий қурилмалар ролини ўйнашини айтмади. Табиийки, бундай дунёқараш билан янги назарияни яратиш бўлмас эди. Тубдан янги назарияни Альберт Эйнштейн яратди.

## 11-§. Эйнштейнгача бўлган физикадаги қийинчиликлар

*Классик механика ва электродинамика орасидаги қарама-қаршиликлар.* XIX асрда кўпгина атоқли физиклар электр ва магнетизм ҳақидаги таълимотга катта ҳисса қўшдилар. Хусусан, Максвелл (1831 йил) электромагнит ҳодисалари Ньютон механикасининг схемаларига сигмаслигини аллақачон тушунган эди. Механиканинг қонунлари Галилей алмаштиришларига нисбатан инвариант эди. Лекин электромагнит назариясининг асосий тенгламалари бўлган Максвелл тенгламаларига ёруғликнинг бўшлиқдаги тарқалиш тезлиги — универсал доимий  $c$  киради. Шунинг учун Максвелл тенгламалари Галилей алмаштиришларида инвариант бўлиб қолмайди. Ҳар қандай тўлқин узунлигидаги электромагнит тебранишлари — радиотўлқинлари, ёруғлик, рентген нурлари учун ҳам бу универсал доимийнинг қиймати бир хил бўлиб, тахминан  $300\,000\text{ км/сек}$  га тенг. Шундай имтиёзли системани таплаш мумкинки, бу системага нисбатан ёруғлик доимо ўзгармас  $c$  тезликда ҳаракатланади (тариҳан бундай абсолют саноқ системасини товуш тарқалиши учун ҳаво қандай роль ўйнаса, электромагнит тебранишлари учун ҳам худди шундай роль ўйнайдиган хаёлий муҳит — қўзғалмас эфирга боғлашлар).

Ер ўзининг Қуёш атрофидаги орбитаси бўйлаб 30 км/сек тезлик билан ҳаракат қилади. Шунга кўра ёруғликнинг Ернинг ҳаракат йўналиши бўйлаб тезлиги қарама-қарши йўналишдаги тезлигидан фарқ қилиши керак. Аммо кўрдикки, 1881 йилда биринчи марта Майкельсон томонидан ўтказилган ўлчашлар ёруғлик тезлигининг унинг тарқалиши йўналишига бутунлай боғлиқ эмаслигини кўрсатди. Ёруғликнинг тезлиги кузатувчининг ёки манбанинг тезлигига боғлиқ эмаслиги экспериментал йўл билан аниқланди. Сўнгги текшириш айланаётган Қуёшнинг қарама-қарши томонидан келаётган нурдан фойдаланган совет астрономлари томонидан 1955 йилда ўтказилди. Қуёш дискининг бир чети доим бизга томон, қарама-қарши чети эса тесқарн томонда ҳаракат қилади. Лекин ёруғлик Ерга иккала четидан ҳам бир хил тезликда етиб келади. Ҳатто бизга нисбатан деярли ёруғлик тезлигида яқинлашаётган ҳаёлий поездни кўз олдимизга келтирганимизда ҳам барибир ундан чиққан ёруғлик платформада тинч турган прожекторнинг ёруғлигидан тезроқ тарқалмаган бўлар эди. Галилей алмаштиришларидаги тезликларни қўшиш қонуни (8) га хилоф равишда, ёруғлик поезд ёки платформа билан боғланган ҳар қандай инерциал саноқ системасига нисбатан бир хил тезлик ( $c = c'$ ) билан тарқалади. Таъкидлаб ўтамизки, агар ёруғлик тезлиги чексиз бўлганида эди натижа ўз-ўзидан маълум бўларди: чексизликка қандай катталикини қўшсангиз ҳам у доим чексизлигича қолаверади. Шундай қилиб, XX аср бошларига келиб физикада ғалати аҳвол вужудга келди. Бир томондан, Максвелл тенгламалари ичида универсал тезлик ( $c$ ) қатнашар ва шунинг учун улар Галилей алмаштиришларида инвариантлигича қолмас эди. Механикага нисбатан тўғри эканлиги шубҳасиз бўлган нисбийлик принципи электродинамикага қўлланилиши мумкин эмасдек бўлиб қолди. Имтиёзли абсолют қўзғалмас системанинг ва, бинобарин, унга нисбатан бўлган абсолют ҳаракатнинг бўлиши муқаррардек бўлиб қолди. Ундан ташқари «Майкельсон тажрибаларига қадар ҳам экспериментнинг аниқлик даражасида координата системаси ҳаракатининг физикавий ҳодисаларга ва уларнинг қонунларига таъсири кузатилмаганлиги маълум эди,— деб ёзган эди 1954 йилда Эйнштейн.— Умумий мулоҳазалардан мен ҳеч қандай абсолют ҳаракат йўқлигига ва

менинг вазирам фақатгина бу ҳолни электродинамикадан маълум бўлган аҳвол билан мослаштиришдан иборат эканлигига тўла ишонган эдим». Эйнштейн классик механика билан электродинамика ўртасидаги чуқур қарама-қаршилиқни йўқота олди. Бунинг учун унга фазо ва вақтга нисбатан бўлган традицион фикрлардан воз кечишга тўғри келди. Бу барча инерциал системаларнинг тенг ҳуқуқлилигини (яъни нисбийлик принципини) сақлаб қолиш билан бирга Максвелл назариясининг тўғри эканлигини исботлаш имконини ҳам берди.

## V боб

### БИР ВАҚТЛИЛИКНИНГ НИСБИЙЛИГИ

#### 12-§. Эйнштейннинг икки постулати

Нисбийлик назарияси орқали аниқланган жисмларнинг ҳаракат йўналиши бўйича қисқариши янгилик эмас эди. Эслатиб ўтганимиздек, 1892 йилда Лоренц бундай қисқаришлар ҳақида гапирган эди. У биргина қисқариш гипотезаси орқали Майкельсон тажрибаси натижаларини тушунтириб беришга муваффақ бўлган эди. Нима сабабдан биз жисмларнинг ҳаракат йўналиши бўйича қисқаришини тушунтиришда Лоренц гипотезасидан Эйнштейннинг нисбийлик назариясини афзал кўрамиз?

Асримиз бошларида физиклар томонидан яратилган дунё тасвири мантиқан мукамал бўлиб, олимларни ҳеч қандай қарама-қаршилиқларга дучор этмас эди. Олимлар энди олиб борадиган илмий тадқиқот ишлари фақат биз билган нарсаларни тўлдиради, лекин фундаментал ўзгартиришлар киритмайди, деган хулоса чиқаришга ошиқар эдилар. Мана шу ташқи кўринишдан мукамал, мантиқли «қурилма» ҳозирги вақтда классик физика деб юритилади.

Бу даврда физикадаги умумий гармонияни фақат айрим ташвишли далилларгина бузарди. Масалан, Физо ва Майкельсон тажрибаларини кўрсатиш мумкин. Бу натижаларни классик физика асосида тушунтириб бўлмас эди. Бу муаммони Лоренц жисмларнинг ҳаракат йўналиши бўйича қисқариши гипотезаси орқали тушунтиришга интилди, лекин бу гипотеза ихтиёрий бўлганлиги туфайли уни асослай олмади.

Лоренц ва Пуанкаренинг кейинги тадқиқотлари ҳам масалани ҳал этолмади. Шундан сўнг асосий йўналиш классик физикани янги далилларга мослаштиришдан иборат бўлиб қолди. Эйнштейн эса эски назарияга мослашмади. У маълум бўлган барча далилларни тушунтириб беришга қодир бўлган тамоман янги назария яратди.

Шундай қилиб, Майкельсон тажрибалари натижасида пайдо бўлган жумбоқни ечиш нисбийлик назариясининг вужудга келишига асосий сабаб бўлди. Маълумки, жумбоқ қўйидаги қарама-қарши фикрлардан келиб чиққан:

1) Классик механика бўйича бир-бирига нисбатан ҳаракатда бўлган икки жисмнинг ҳар қандай ҳаракат тезлиги Галилей алмаштиришлари орқали аниқланади ва ҳар хил қийматларга эга бўлади.

2) Тажрибага кўра, ёруғлик тезлиги кузатувчининг ҳаракатига боғлиқ бўлмайди.

Биринчи фикр — назарий фикр, иккинчиси эса фактларга асосланганлиги учун нисбийлик назарияси ёруғлик тезлигининг доимийлигини аксиома сифатида қабул қилди, бироқ бир онлилик тушунчасини ва мазкур жумбоққа олиб келувчи бошқа тушунчаларни ўзгартирди. Энди махсус нисбийлик назариясининг постулатларини муҳокама қилишга ўтамиз. Эйнштейн янги механиканинг асосига икки принципни қўйди.

**А. Нисбийлик принципи.** *Табиатнинг барча қонунлари барча инерциал саноқ системаларида бир хилдир* (яъни бир-бирига нисбатан текис ва тўғри чизиқли ҳаракат қилаётган икки кузатувчи учун бир хилдир). Бу шуни кўрсатадики, ҳеч қандай механикавий ёки электромагнит тажриба воситасида кузатувчи ўзининг тинч турганлигини ёки текис ва тўғри чизиқли ҳаракат қилаётганлигини аниқлай олмайди. Галилейнинг классик нисбийлик принципи ҳам худди шуни, лекин фақат механикавий ҳодисалар учун таъкидлар эди. Оптикавий ёки электромагнит тажрибалар воситасида кузатувчи ўз ҳаракатини аниқлай билади, деб ҳисобланар эди.

**Б. Ёруғлик тезлигининг доимийлиги принципи.** *Ёруғлик доимо бўшлиқда нур чиқарувчи жисмнинг ҳаракат ҳолатига боғлиқ бўлмаган ҳолда маълум тезликда тарқалади.* Кўп учраб турганидек, бу иккинчи постулатни ёруғлик тезлигининг текис ҳаракатдаги

кузатувчига нисбатан доимийлиги билан алмаштириб юб-  
риш ярамайди.

Ёруғлик тезлигининг доимийлиги принципи тезлик-  
ларни қўшишнинг классик қондасига мутлақо қарама-  
қаршидир. Ёруғлик тезлигининг манба тезлиги билан  
қўшилиши барибир яна ёруғлик тезлигини беради.  
Классик механикада натижавий тезлик ташкил этувчи  
тезликларнинг вектор йиғиндисига тенг бўлиб, исталган-  
ча катта бўлиши мумкин эди.

Иккинчи постулат икки фаразнинг мажмуасидан  
иборат. Уларнинг бири ёруғликнинг эфир назариясидан  
маълум — ёруғлик тезлигининг манба тезлигига боғлиқ  
эмаслиги. Иккинчиси эса биринчи постулатнинг натижа-  
си ҳисобланади ва қуйидагича таърифланади: манба-  
нинг абсолют тезлиги мазмунга эга эмас, фақатгина  
манбанинг ва кузатувчининг нисбий тезлиги ҳақида  
гапириш мумкин.

Иккинчи постулат, бўш фазо қандайдир эластик му-  
ҳит — эфир билан тўлдирилган деб фараз қилувчи ёруғ-  
ликнинг тўлқин назариясидан келиб чиқади, деб ҳисоб-  
лаш мумкин. Биринчи постулат эса унга зид ва бутун-  
лай табиий бўлган Ньютон дунёқарашини ифодалайди.  
Бу дунёқарашга кўра фазо бутунлай бўш бўлиши керак.  
Бунчалик хилма-хил характердаги принципларнинг  
бирлашуви бизнинг фазо — вақт ҳақидаги тасаввурла-  
римизни ўзгартириб юбориши таажжубланарли ҳол  
эмас.

Махсус нисбийлик назарияси яратилаётган пайтда  
ёруғлик тезлигининг манба тезлигига боғлиқ эмаслиги  
тўғрисида тажриба маълумотлари йўқ эди, иккинчи  
постулат ёруғликнинг тўлқин назариясига яқин бўлган-  
лиги туфайли қабул қилинган эди. Ёруғлик тезлиги ва  
манба тезлиги Галилей алмаштиришлари орқали боғ-  
ланган деб фараз қилиб, қўшалок юлдуз системасини  
кўриб чиқамиз. У ҳолда ёруғликнинг бу юлдузларнинг  
биридан Ергача етиб келиш вақти Ер билан юлдуз ора-  
сидаги масофага боғлиқ бўлади. Аммо де Ситтернинг  
таҳлили бундай боғланиш борлигини рад қилади, яъни  
юлдуздан келаётган ёруғликнинг тезлиги манбанинг  
ҳаракатига боғлиқ эмас.

Энди биз Эйнштейннинг постулатлари фазо ва вақт  
ҳақидаги қандай янги тушунчаларга олиб келишини кў-  
райлик. Биринчи постулат ньютонча нуқтаи назарнинг,



яъни фазо бўш бўлиши керак, деган тушунчанинг табиий натижаси бўлганлиги, иккинчиси эса қарама-қарши фикрнинг, яъни бутун фазо қўзғалмас эфир билан тўлдирилган деган фикрнинг натижаси бўлганлиги учун бу постулатларнинг биргаликда муҳокама қилиниши бизнинг фазо ва вақт ҳақидаги олдинги тушунчаларимизга тўғри келмайдиган хулосаларга олиб келади. Оддий бир мисолни кўрайлик. Айтайлик,  $S$  ёруғлик манбаи, унга томон ҳаракат қилаётган  $A$  система ва манбадан узоқлашаётган  $B$  система бўлсин. Бу система-лардаги ёруғлик тезлигини аниқлаш учун қандайдир маълум масофаларни ўлчаб қўйишимиз ва бу масофаларни ёруғлик нури қанча вақтда босиб ўтишини аниқлашимиз мумкин. Махсус нисбийлик назариясининг биринчи постулатига кўра бу икки системанинг абсолют тезликлари ҳақида гапиришнинг маъноси йўқ, бироқ уларнинг манбага нисбатан тезликлари ҳақида гапириш мумкин. Аммо иккинчи постулатга кўра, кузатувчи ўлчаётган тезлик кузатувчи ва манбанинг нисбий тезлигига боғлиқ бўлмайди.

У ҳолда биз ёруғлик манбага томон ҳаракат қилаётган  $A$  системадаги бир километр йўлни босиб ўтиш учун қанча вақт сарф қилса, манбадан узоқлашаётган  $B$  системадаги ўша бир километр йўлни босиб ўтиш учун ҳам шунча вақт сарф қилади, деган хулосага келамиз. Биринчи қараганда бу натижа соғлом ақлга тўғри келмайди. Лекин бу ерда ё постулатларни тан олишимиз, ё фазо ва вақтнинг табиати ҳақидаги одатдаги тасавурларимизни ўзгартиришимиз керак

### 13- §. Бир онлик ва бир вақтлилиқ тушунчаси

Махсус нисбийлик назарияси ғоялари соҳасида соғлом ақлнинг адашишларидан бирини кўриб чиқайлик. Ердаги  $A$  воқеа қуёшдаги  $B$  воқеа билан бир онда юз берди деб айтиш жуда равшан ва тушунарлидир. «Вақт моменти», «илгари», «бир онлик», «бир вақтлилиқ» типдаги тушунчалар бутун Олам учун тўғри бўлган умумий тушунчалар ҳисобланади. Ньютон ҳам ўзининг «ҳамиша бир хилда» ўтадиган абсолют вақтининг мавжудлигини ифодалаганда шу нуқтаи назарда турган эди.

Лекин XX аср физиги учун бундай вақт мавжуд эмас. У  $A$  ва  $B$  воқеаларнинг бир онлигини тасдиқлаш-

нинг мазмуни йўқлигини билади, чунки бу фикрнинг тўғрилигини тасдиқлайдиган ёки рад қиладиган воқеалар йўқ. Икки воқеа ҳар хил нуқталарда бир онда юз берганлигини билиш учун ҳар бир нуқтада соат қўйишимиз ва бу соатлар бир хилда юриб туриши лозим.

Масала қуйидаги шаклга келди: фазонинг ҳар хил нуқталарига жойлаштирилган иккита соат бир хил тезлик билан юраётганлигини исбот қиладиган восита борми?

Галилей алмаштириш тенгламаларининг тажрибадан келиб чиққан постулатлар билан қарама-қарши эканлиги аниқлагандан сўнг Эйнштейн вақт ва фазонинг ўлчаш усулларини таҳлил қилиб чиқди ва а) вақт аҷамиятга эга бўладиган барча мулоҳазалар бир вақтли воқеалар ҳақидаги тасаввурга асосланган; б) воқеанинг вақти шу воқеа билан бир вақтли бўлган соат кўрсатишларига қараб аниқланади, деган хулосага келди. Агар воқеалар бир нуқтада содир бўлса, бу воқеаларнинг бир онлиги ҳақидаги тушунча равшан бўлади. Агар улар бир-бири билан мос тушишса, бу воқеаларни бир онли деб ҳисоблаш мумкин. Масалан, поезд станцияга соат 7 да келди, деб айтиш поезднинг келиши станциядаги соатнинг стрелкалари маълум ҳолатда бўлиши билан мос келишини кўрсатади. Агар воқеалар фазода ажратилган бўлса, бундай усул ўринли бўлмайди. Ҳар хил  $A$ ,  $B$  ва ҳоказо нуқталарга соатлар жойлаштириб, биз бу нуқталарнинг ҳар биридаги вақтни алоҳида аниқлай оламиз, холос. Бироқ ҳар хил нуқталардаги соатларнинг кўрсатишлари бир-бирига тўғри келишини аниқлаш учун уларни синхронлаштириш усулини кўрсатишимиз лозим.

Бу мақсад учун  $A$  дан  $B$  га ва тескари йўналишда юбориладиган сигналлардан фойдаланишимиз мумкин. Ёруғлик сигнали  $t_A$  моментда ( $A$  соат бўйича)  $A$  нуқтадан чиқсин ва  $B$  нуқтага  $t_B$  моментда ( $B$  соат бўйича) етиб борсин ва яна орқага қайтиб,  $t'_A$  моментда ( $A$  соат бўйича)  $A$  нуқтага етиб келсин. Биз сигналнинг  $A$  дан  $B$  га етиб бориш вақти  $B$  дан  $A$  га етиб келиш вақтига тенг ва сигналнинг қайтиши оний равишда юз беради деб ҳисоблаймиз. Шунга асосланиб, агар  $t_B - t_A = t'_A - t'_B$  бўлса,  $A$  ва  $B$  соатларни *синхрон* деб атаймиз.

Синхронликниг бу таърифидан фойдаланиб, уни у ёки бу конкрет соатлар учун текшириб кўришимиз, агар лозим бўлса, соатларни мослаб қўйишимиз мумкин. Демак, Эйнштейн усулига кўра, ёруғлик сигналлари соатларни синхронлаш учун ва, бинобарин, ҳар хил нуқталардаги воқеаларнинг бир онлик бўлиши тушунчасини аниқлаш учун хизмат қилиши мумкин.  $A$  ва  $B$  нуқталардаги воқеалар юқоридаги усул билан синхронлаштирилган  $A$  ва  $B$  соатларнинг бир хил кўрсатган вақтларига мос келса, улар *бир онли воқеалар* бўлади.

Эйнштейн бир вақтlilik тушунчасини шунчалик равшан таърифлагандан сўнг, бир онлик нисбий тушунча эканлигини кўрсата олди, яъни бир инерциал система учун бир онли бўлган воқеалар бошқаси учун бир вақтли бўлмаслиги мумкин. Буни оддийгина мисолда тушунтириб ўтамиз. Бир-бирига нисбатан  $v$  тезлик билан ҳаракат қилаётган иккита  $K$  ва  $K'$  системани кўрамиз.  $K$  системада икки  $A$  ва  $B$  нуқтани ва  $AB$  чизиқнинг ўртасида жойлашган  $C$  нуқтани белгилайлик.  $C$  нуқтага соат ўрнатамиз.  $A$  ва  $B$  нуқталарда ёруғлик чақнаши юз берсин. Бу чақнашлар бир вақтли ёки бир вақтли эмаслигини қандай аниқлаш мумкин? Бундан олдинги айтилганларга биноан, агар улардан чиққан ёруғлик  $C$  нуқтага  $C$  соат бўйича бир вақтда етиб келса, бу чақнашларни бир вақтли деймиз. Энди иккинчи  $K'$  система биринчисига нисбатан  $v$  тезликда  $AB$  чизиқ бўйлаб ҳаракат қилаяпти, деб фараз қилайлик. Вақтнинг  $t=0$  momentiда ( $C$  соат бўйича)  $A$ ,  $C$ ,  $B$  нуқталар билан мос келадиган  $A'$ ,  $C'$ ,  $B'$  нуқталарни белгилаймиз. Равшанки,  $A'C' = C'B'$ .  $K'$  системадаги  $C'$  нуқтага соат ўрнатамиз. Юқоридаги чақнашлар  $K'$  система учун ҳам бир онли бўладими? Бу саволга жавоб бериш учун  $C'$  соат бўйича бу нуқтага сигналларнинг қачон келишини қайд қилиш керак. Бунда  $A'$  нуқтадан келадиган сигнал  $B'$  дан келадиган сигналга қараганда олдинроқ келишини кўриш қийин эмас, чунки ёруғлик тарқалаётган вақтда  $C'$  нуқта  $A$  сигналнинг чиқаётган жойига яқинлашади,  $B'$  сигнал чиқаётган жойдан эса узоқлашади. Шундай қилиб, биргина ҳодисанинг ўзи — икки сигналнинг чақнаши —  $K$  система учун бир онли,  $K'$  система учун эса бир онли эмасдир.

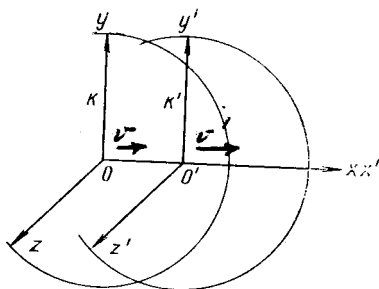
Албатта, тажрибани аксинча ўтказиш ҳам мумкин. У ҳолда бу воқеалар  $K'$  система учун бир онли бўлиб,  $K$  система учун эса бир онли бўлмас эди.

Нисбийлик принципига кўра,  $K$  ва  $K'$  системалар тенг ҳуқуқлидир, бир онлиликни аниқлашда, уларнинг бирортаси ортиқча имтиёзга эга эмас, чунки бир вақт-лиликнинг ўзи нисбий тушунчадир.

#### 14-§. Эйнштейннинг махсус нисбийлик назариясида фазо-вақт тушунчаси

Эйнштейннинг икки асосий постулати: 1) нисбийлик принципи; 2) ёруғлик тезлигининг доимийлиги — нисбийлик назариясининг асосини ташкил қилади. Бу постулатлар юзаки қараганда бир-бирига зиддек кўринади. Дарҳақиқат, қуйидаги тажрибани тасаввур қилиб кўрайлик. Иккита  $K$  ва  $K'$  система бир-бирига нисбатан  $x$  ўқи бўйлаб  $v$  тезликда ҳаракатланаётган бўлсин (9-расм). Уларнинг  $O$  ва  $O'$  бошлари бир-бири билан ўстма-уст тушадиган  $t = 0$  моментда ёруғлик чақнасин ва ёруғлик тўлқини фазога тарқалсин. Биринчидан, иккинчи постулатга биноан, ёруғлик тезлиги иккала координаталар системасида ҳам бир хил ( $c$ ) бўлади. Иккинчидан эса ёруғлик тўлқинининг шакли биринчи системадаги кузатувчи учун ҳам, иккинчи системадаги кузатувчи учун ҳам бир хил бўлиши керак (биринчи постулат). Бошқача қилиб айтганда,  $t_1$  пайтда ёруғлик тўлқини радиуси  $ct_1$  бўлган, маркази  $O$  нуқтада ва, шунингдек,  $O'$  нуқтада ҳам бўлган сферани ташкил қилиши керак. Лекин бир марказ икки нуқтада бўлиши мумкин эмас, чунки бу вақтга келиб бу нуқталар бир-бирдан

$(ct_1)$  масофага узоқлашган бўлади. Бироқ юзага келган тушунмовчиликнинг сабаби тажрибадан келиб чиққан икки принципа (нисбийлик принципи ва ёруғлик тезлигининг доимийлик принципида) эмас, балки иккала системада ҳам вақт бир хил деб қабул қилишдадир. Галилей алмаштириш тенгламаларида ўрин



9- расм.

олган бу фараз исбот қилинган эмас. Кўриб ўтилган мисол Эйнштейн постулатларининг бир-бири билан ўзаро зиддиятини эмас, балки уларнинг Галилей алмаштириш формулалари билан бўлган зиддиятини кўрсатади. Дарҳақиқат, К системада

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2$$

кўринишга эга бўлган ғалаёнланиш (маркази  $x=0, y=0, z=0$ , яъни  $O$  нуқтада бўлган сфера), агар Галилей алмаштиришлари ўринли бўлса,  $K'$  системада

$$(x' + vt')^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2$$

кўринишга эга бўлиши керак (маркази  $x' = -vt', y' = 0, z' = 0$ , яъни маркази яна  $O$  нуқтада бўлган сфера). Лекин бу нисбийлик принципини қаноатлантирмайди. Бу принципга кўра  $K'$  системадаги ғалаёнланиш ҳам

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2$$

шаклда маркази  $x'=0, y'=0, z'=0$  нуқтада, яъни  $O'$  нуқтада бўлган сфера бўлиши керак.

Энди бир хаёлий тажриба ўтказайлик. Бўшлиқда умумий  $xx'$  ўқ бўйлаб  $v$  тезлик билан ҳаракатланаётган икки инерциал системани оламиз. Бошланғич  $t=t'=0$  моментда — координаталар бошлари устма-уст тушган пайтда системаларда ёруғлик чақнашини ҳосил қиламиз. Иккинчи постулатга мувофиқ, ёруғлик барча йўналишларда бир хил  $c$  тезлик билан тарқалади. Бинобарин, тўлқин fronti (яъни тенг фазаларнинг сирти) иккала системада ҳам сферани ташкил қилади:

Шундай қилиб, бир инерциал системадан иккинчи инерциал системага ўтганда тўлқин сфера шаклини сақлаб қолиши учун К система, яъни  $x, y, z, t$  координаталар учун

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2$$

ва иккинчи  $K'$  система, яъни  $x', y', z', t'$  координаталар учун

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2$$

тенгламалар бажарилиши шарт.  $t \neq t'$  эканлигидан бу тенгламаларни шундай ҳам ёзиш мумкин:

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 t'^2 = 0.$$

Нисбийлик назариясида  $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2}$  миқдор оралик ёки интервал деб номланади.

Сўнгги тенглама асосида хаёлий тажрибамизнинг натижасини шундай таърифлашимиз мумкин: бир нуқтадан (O) ёруғлик сигнални юбориб, уни бошқа нуқтага (O') етиб келишида интервалнинг квадрати ҳар қандай инерциал саноқ системасида нолга тенг бўлиши керак.

Бу натижа нисбийлик назариясида катта аҳамият касб этади. Агар фазони бир жинсли ва унинг ҳамма йўналишларда хусусиятлари бир хил (изотроп) эканлигини ҳисобга олсак инерциал системаларнинг бирида  $x, y, z$  координаталар ва  $t$  вақт momentiда ҳамда бошқа бир инерциал системада  $x', y', z'$  координаталар ва  $t'$  вақт momentiда содир бўлган воқеа учун

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 t'^2 \quad (10)$$

муносабатни ёзиш мумкин. Яъни бир инерциал системадан иккинчисига ўтганда интервалнинг кўриниши ўзгармайди — и н в а р и а н т и д и р (invariance).

Эйнштейн постулатлари асосида олинган сўнгги формуладан фазо ва вақт ўзаро тўрт ўлчамли фазо — вақт ёрдамида бирлашганлиги кўриниб турибди.

## VI боб

### ЛОРЕНЦ АЛМАШТИРИШЛАРИ ВА УЛАРНИНГ ТАТБИҚИ

#### 15- §. Лоренц алмаштиришлари

Шундай қилиб, Эйнштейннинг мулоҳазалари Галилей алмаштириш тенгламаларининг (5-§ га қаранг) яроқсизлигини ва уларни бошқача алмаштириш формулалари билан алмаштириш зарурлигини кўрсатди. Энди ўша формулалар устида тўхтаб ўтайлик. Ҳозиргина кўриб ўтган интервалнинг инвариантлик хусусиятидан фойдаланиб, бир инерциал системадаги координатларни бошқа инерциал системадаги координатлар билан боғлайдиган янги алмаштириш формулаларини олиш мумкин. Бундай формулаларни Эйнштейннинг ўзи яратди.

Шуни айтиб ўтиш керакки, Эйнштейн томонидан яратилган формулалар ундан анча илгари ҳаракатланувчи жисмлар электродинамикаси соҳасида назарий тадқиқотлар олиб борган ва жисмларнинг ўлчами уларнинг ҳаракат йўналиши бўйича қисқаради деган гипотезанинг автори Лоренц формулаларига мос келди. Кейин бу формулаларни Лоренц Максвелл тажрибаларини тушунтириш учун нотўғри қўллади. Энди бу формулалар Лоренц алмаштиришлари номи билан машҳур.

Махсус нисбийлик назариясида бундай формулалар Эйнштейн постулатлари асосида осонгина олинади, жисмларнинг ҳаракат йўналиши бўйича қисқариши эса шу алмаштириш натижаларидан келиб чиқади. Шундай қилиб, Эйнштейн бир-бирига зид кузатишлар натижасини ва гипотезаларни ажойиб ва тўла тугалланган назарияга бирлаштира билди.

Энди ўзаро  $Ox$  ( $O'x'$  йўналиш бўйича  $v$  тезлик билан ҳаракатланаётган иккита  $K$  ва  $K'$  инерциал системани кўриб чиқайлик. Бошланғич ( $t=0$ ,  $t'=0$ ) вақтда координата бошлари  $O$  ва  $O'$  бир нуқтада бўлади. Йўналиш фақат  $x$  бўйича бўлганлигида  $Oy$  ва  $Oz$  ўқлар бўйича ҳаракат йўқ. Шунинг учун  $y$ ,  $z$  координаталар учун алмаштириш формулалари

$$y' = y, \quad z' = z$$

бўлади.  $x'$ ,  $t'$  ва  $x$ ,  $t$  лар учун эса алмаштириш формулаларини:

$$x' = a_1x + a_2t, \quad t' = b_1t + b_2x \quad (11)$$

умумий кўринишида ахтариш мумкин.  $O'$  ( $x'=0$ ) нуқтанинг ҳолати  $K$  системада  $x=vt$  билан аниқланади. Унда (10) га асосан  $a_2 = -va_1$ . Энди (11) ни (10) га қўйсак,

$$a_1x + a_2t^2 - c^2(b_1t + b_2x)^2 = x^2 - c^2t^2$$

ифодани ҳосил қиламиз. Қавсларни очиб  $x^2$ ,  $xt$ ,  $t^2$  — ўзгарувчилар олдидаги коэффициентларни тенглаштирсак,  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  лар учун алгебраик тенгламалар системасини оламиз. Бу системани ечиб, қуйидагини топамиз:

$$\left. \begin{aligned} a_1 = b_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ b_2 = -\left(\frac{v}{c^2}\right) a_1 \end{aligned} \right\} (12)$$

Энди бу ечимларни (11) тенгламаларга қўйсақ, ўзаро  $Ox(O'x')$  йўналиш бўйича  $v$  тезликда текис ва тўғри чизиқли ҳаракат қилаётган иккита инерциал системадаги координаталарни бир-бири билан боғловчи машҳур Лоренц алмаштириш формулаларига келамиз:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{t - \left(\frac{v}{c^2}\right) \cdot x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (13)$$

Бу формулалар  $K$  системадан  $K'$  системага ўтишда координаталарни алмаштириш формулаларини ифодалайди. Аксинча,  $K'$  системадан  $K$  системага ўтиш учун бу формулаларда  $v$  ни « $-v$ » га алмаштирамиз бунда  $x, y, z, t$  ларни штрихланган координаталар орқали қуйидагича ифодалаш мумкин бўлади:

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad y = y', \quad z = z', \quad t = \frac{t' + \left(\frac{v}{c^2}\right) x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (14)$$

Худди шу формулаларни (13) ни  $x, y, z, t$  ларга нисбатан ечиш йўли билан ҳам олиш мумкин.

Бу формулалар фақат  $\frac{v^2}{c^2} < 1$ , яъни  $c > v$  бўлгандагина маънога эга (6-§ га қаранг). Бошқача қилиб айтганда, системаларнинг бир-бирига нисбатан тезликлари ёруғликнинг вакуумдаги тезлигидан кичик. Агар чексиз катта тезликда тарқалувчи сигналга эга бўлсак, ундан соатларни синхронлаш учун фойдаланар эдик. У ҳолда бир вақтlilik тушунчаси абсолют маънога эга бўлиб, Лоренц алмаштиришлари Галилей алмаштиришларига ўтарди. Чунки (13,14) формулалар  $c = \infty$  бўлганда  $x' = x - vt$  ва  $t' = t$  кўринишга келади. Бу Галилей алмаштириш формулаларини саноқ системаларининг нисбий тезликлари ёруғлик тезлиги билан таққосланадиган даражада катта бўлган ҳоллар учун умумлаштириш мумкинлигини кўрсатади.

Бундан кейин (13) — (14) формулаларни фақат ёруғлик сигналларининг тарқалишигагина эмас, балки умуман ҳар қандай воқеаларнинг координаталари ва вақтига татбиқ этавериш мумкин.



Галилей алмаштиришларига асосан, бир инерциал саноқ системасидаги бир вақтнинг ўзида юз берадиган икки ҳодиса, қолган ҳамма инерциал саноқ системаларида ҳам бир вақтнинг ўзида юз бериши керак, яъни уларнинг бир вақтлилиги абсолютдир. Эйнштейннинг кўрсатишича, нисбийлик назариясидаги фазонинг ҳар хил нуқтасида юз бераётган икки ҳодисанинг бир вақтлилиги нисбийдир, чунки бир инерциал саноқ система-сидаги ҳодисаларнинг бир вақтлилиги, шу системага нисбатан ҳаракатланаётган бошқа инерциал саноқ системаларда сақланиб қолмайди. Эйнштейн ҳар қандай) инерциал системага боғлиқ бўлган электродинамика тенгламаларининг инвариантлигини кўрсатиш орқали ўзгарувчи  $t'$  га маълум бир физикавий маъно бера олди.  $t$  катталиқ қўзғалмас  $K$  системадаги реал вақт,  $t'$  эса ҳаракатланувчи  $K'$  системадаги худди шундай реал вақт.

(13)—(14) формулалар Лоренц алмаштиришлари деб аталади. Юқорида айтиб ўтилганидек, улар нисбийлик назариясидан олдин чиқарилган эди. Лекин уларни фақат Эйнштейн тўғри тушунди.

Лоренц алмаштиришлари жисмлар ҳаракатининг хоҳлаган бир тезлиги учун ўринлидир, кичик (ёруғлик тезлигига нисбатан) тезликларда улар Галилей алмаштиришларига ўтади.

## 16- §. Катта тезликларни релятивистик қўшиш усули

Эйнштейннинг улуғлиги шундаки, у Майкельсон тажрибасига асосланиб, нисбийлик принципини табиат ҳодисаларига ҳам қўллади, унгача эса фақат механикада қўллаш мумкин деб ўйлар эдилар.

Эйнштейн кейинчалик нисбийлик принципини умумлаштириб, текис ва тўғри чизиқли ҳаракатни тезланувчан ҳаракат билан алмаштириб, исталган система учун қўлланиши мумкин бўлган даражага етказди.

Махсус нисбийлик назарияси ва релятивистик тезликларни қўшиш қонунини нисбийлик назариясининг икки асосий бурилиш нуқтасини ташкил этади. Лекин янги нисбийлик принципини ўрнатиш билан махсус нисбийлик назариясини яратишда фақат ярим йўл ўтилган эди, холос. Майкельсон тажрибасининг натижаси уму-

ман тушунарли, у янги нисбийлик принципига мос, лекин аслида қарама-қаршиликлар ҳам йўқ эмас.

Майкельсон тажрибаси бўшлиқда ёруғлик тезлиги йўналишидан қатъи назар,  $c$  га тенг эканлигини кўрса-тади, деган хулоса барча инерциал системаларга тааллуқлидир. Ҳақиқатда биз нимага эгамиз? Тезликларни қўшишнинг классик қонунида шундай дейилади: агар бир инерциал системада ёруғлик тезлиги  $c$  га тенг бўлса, у ҳолда бунга нисбатан  $v$  тезлик билан ҳаракатдаги иккинчи инерциал системада унинг тезлиги  $c+v$  бўлади. Ўз-ўзидан кўриниб турибдики, бу натижа Майкельсон — Морли тажрибасидан келиб чиққан махсус нисбийлик принципи (ҳамма инерциал системаларда ёруғлик тезлиги  $c$  га тенг) бўлган қарама-қарши, яъни янги нисбийлик принципи тезликларнинг эски қонуни билан зид. Шунинг учун улардан бири нотўғри бўлиши керак.

Юқорида биз тезликларни қўшишнинг классик қонуни тажриба асосида фақат унча катта бўлмаган тезликлар учун бажарилишини кўрдик. Бу қонун қўшилувчиларидан бири жуда катта бўлган ҳол учун тўғри эканлигига ҳеч ким физикларни ишонтира олмайди. Агар бундай зиддият мавжуд экан, демак, эски қонун катта тезликларни қўшиш учун яроқсиз.

Эйнштейн тезликларни қўшишнинг классик қонунини тезликларни релятивистик қўшиш қонуни билан алмаштирди.

Айтайлик, ҳаракатланувчи  $x'y'z'$  санақ системасида жисм  $x'$  ўқи бўйлаб  $v' = \frac{x'}{t'}$  тезлик билан ҳаракатланаётган бўлсин.  $x'y'z'$  система шу йўналишда қўзғалмас  $xuz$  системага нисбатан  $v$  тезлик билан ҳаракатланади. Унда жисмнинг қўзғалмас  $xuz$  системага нисбатан тезлиги  $u = \frac{x}{t}$ . Лоренц алмаштиришларига асосан:

$$u = \frac{x}{t} = \frac{x' + vt'}{t' + \frac{v}{c^2} x'} \quad (15)$$

бўлади. Бу Лоренцнинг ўнг қисмини  $t'$  га бўлиб,  $u = \frac{v' + v}{1 + \frac{vv'}{c^2}}$  эканлигини топамиз. Бу тенглик бир хил йў-

налишда бўлган тезликлар қўшилишининг релятивистик (нисбийлик) қонунини билдиради. Кичик тезликларда  $v'$ ,  $v \ll c$  релятивистик механика қонуни классик механика (Галилей алмаштиришлари) қонунига ўтади:

$$u = v' + v \text{ чунки } \frac{v'v}{c^2} \ll 1.$$

Бу формулани аниқ мисолларда қараб чиқайлик. Иккита реактив самолёт бир-бирига қараб учаётган бўлсин. Ҳар бирининг Ерга нисбатан тезлиги 3 км/сек бўлсин. Улардан бири иккинчисига нисбатан қандай тезлик билан учади? Тезликларни қўшишнинг классик қонуни оддий жавоб беради, яъни  $u = 6$  км/сек. Юқоридаги формула бўйича ҳисобланса,  $u = 5,999999999$  км/сек ни оламиз, бу олдинги натижадан жуда кам фарқ қилади. Бизнинг ихтиёримиздаги асбоблар улар орасидаги фарқни аниқлашга имкон бермайди. Демак, иккала формула ҳам бир хил натижа берди. 3 км/сек тезлик кундалик ҳаётимизда жуда катта тезлик эканлигини эсдан чиқармаслик керак. Кундалик ҳаётимизда биз бундан анча кичик бўлган тезликлар билан иш кўрамиз. Шунинг учун классик формула билан релятивистик формула натижалари кичик тезликлар учун деярли фарқ қилмайди. Релятивистик формулага қараганда классик формула осонроқ бўлганлиги туфайли кундалик ҳаётимизда ундан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир.

Энди кўрайликчи, (15) формула катта тезликлар учун қандай натижа берар экан? Фараз қилайлик, космик фазода икки жисм бир-биридан узоқлашмоқда. Уларнинг Қуёшга нисбатан тезлиги 300 км/сек бўлсин. Классик механика нуқтаи назаридан бир жисмнинг иккинчисига нисбатан тезлиги 600 км/сек. Нисбийлик назарияси нуқтаи назаридан, бу қониқарсиз жавоб. Релятивистик формулани қўлланганда 599,999 км/сек келиб чиқади. Кўрамизки, шундай катта тезлик бўлган ҳолда ҳам иккала қонун натижалари бир-биридан жуда кам фарқ қилади. Энди фараз қилайлик, жисмларнинг тезлиги 100 000 км/сек дан бўлсин. Бу ҳол учун релятивистик формулага кўра нисбий тезлик учун 180 000 км/сек га эга бўламиз. Классик формула натижаси эса 200 000 км/сек. Бу иккала натижа бир-биридан сезиларли даражада фарқ қилади. Қўшилаётган тезликлар қанча катта бўлса, иккала қонун орасидаги фарқ ҳам шунча катта-

лашиб боради. Масалан, агар жисмларнинг тезлиги 200 000 км/сек бўлса, у вақтда релятивистик формулага кўра нисбий тезлик 277 000 км/сек, классик формула натижаси эса 400 000 км/сек бўлади. Агар жисмларнинг тезлиги 299 000 км/сек бўлса, у вақтда биринчи ҳол энди 299 788 км/сек ни беради.

Энди фараз қилайлик, тезликлардан бири ёруғлик тезлигига ( $c$  га) тенг бўлсин, иккинчиси ундан анча кичик. Бу ҳол учун биз натижавий тезлик  $c$  га тенг эканлигига иқрор бўламиз. Демак, қўшилаётган тезликлардан бири ёруғлик тезлиги  $c$  га тенг бўлса, у вақтда қўшиш натижасида ёруғлик тезлигига эга бўлар эканмиз. Бундан келиб чиқадики: агар ёруғлик тезлиги бир инерциал системада  $c$  га тенг бўлса, у ҳолда биринчиси га нисбатан  $v$  тезлик билан ҳаракатдаги иккинчи системада ҳам  $c$  га тенг бўлар экан.

Ўқувчида: «ёруғлик тезлигидан катта бўлган тезлик мавжудми?» деган савол туғилиши мумкин. Бу саволга жавоб бериш учун тезлиги ёруғлик тезлигидан катта бўлган хаёлий космик кема масаласини қараб чиқайлик.

Инсон узлуксиз 14 м/сек<sup>2</sup> тезланишга бардош бериши мумкин (бундай тезланишда 1 соатдаги тезликнинг ўзгариши 50 км/сек га тенг). Юқорида айтилганидек, тезликларни қўшишнинг классик қонуни бажарилса, у ҳолда бундай хаёлий учиш амалга ошиши мумкин бўлур эди: ҳар бир соатда кема тезлиги 50 км/сек га ортиб, 6000 соатдан сўнг ёруғлик тезлигига етиши мумкин, яъни 250 кунлик учишдан сўнг ёруғлик нури бизни қувиб ета олмас эди. Аслида бундай бўлмайди.

Фараз қилайлик, кема ичида Ерга нисбатан унинг тезлигини ўлчайдиган асбоб бўлсин. Аввалига ҳамма иш белгиланганидек боради. Кема тезлиги кутилганидек ортиб боради. 24 соатдан сўнг кема экипажи 1200 км/сек тезлик билан парвоз қилади. Яна бир суткадан сўнг унинг тезлиги 2400 км/сек га етади. Вақт ўтиб боради. Навбатчи космонавт кема тезлигини Ерга нисбатан 8000 км/сек эканлигини аниқлайди. Кейинги 24 соатдан сўнгги ўлчаш фақат 9199 км/сек ни беради. Кемадаги асбоб 100 000 км/сек тезликни кўрсатган кунда эса, тезликнинг кейинги суткалардаги ортиши ҳаммаси бўлиб 1065 км/сек га тенг бўлади. Ҳамма нарса жойидамикан? Агар кема ичида бирор буюм ташлаб юборилса, у фазода инерция билан, ўзгармас тезлик

билан ҳаракат қилади. 24 соатдан сўнг эса космик кеманинг унга нисбатан тезлиги 1200 км/сек га тенг бўлади. (Бу вақт ичида космик кема тезлиги Ерга нисбатан 1065 км/сек га ортади.) Бу кейинчалик ҳам давом эта беради. Кема тезлиги ёруғлик тезлигига яқинлашган сари Ерга нисбатан тезликнинг суткалик ортиши камаё боради. Кема қанчалик кўп вақт учмасин унинг тезлиги ҳеч қачон ёруғлик тезлигидек бўлмайди. Шундай қилиб, тезликларни релятивистик қўшиш қонуни ёруғлик тезлигидан катта тезликка эга бўлган космик кема парвози амалга ошириб бўлмайдиган хаёл эканлигини кўрсатди.

Юқорида келтирилганлардан кўринадики, табиатда ҳеч қандай жисм ёруғлик тезлигидан катта тезликка эга бўла олмайди. Табиатда тезлиги  $c$  га тенг бўлган ҳодисалар маълум, улар учун  $c$  дан кичик бўлган тезлик бўлиши мумкин эмас. Бу бўшлиқда ёруғликнинг ва гравитацион майдоннинг тарқалишидир ва ҳоказо.

## 17- §. Лоренц алмаштиришларининг татбиқи

### У з у н л и к

Лоренц алмаштиришлари узунлик, вақт, импульс, масса ва энергия сингари асосий тушунчалар учун қандай натижаларга олиб келишини кўрамиз. Ишни махсус нисбийлик назариясида кесмаларнинг узунликларини аниқлашдан бошлаймиз.

Бирор кесма, масалан, чизғич олайлик. Маълум  $K$  системада соатлар мослаштирилиб, чизғичнинг узунлиги ўлчанган бўлсин. Энди бу чизғич  $x$  ўқи бўйлаб  $v$  тезлик билан ҳаракатлансин. Бу ҳаракатланаётган чизғич билан  $K'$  системани боғлаймиз. Энди  $K'$  системада чизғичнинг узунлигини қандай қилиб ўлчаш керак? Тушунарлики, бунинг учун албатта  $K'$  системада чизғич учларининг координаталарини аниқлаш керак. Шундай қилиб, чизғич  $K'$  системада қўзғалмай турибди ва унинг учларининг координаталари, масалан,  $x'_1$  ва  $x'_2$  га тенг. Унинг хусусий узунлиги деб аталадиган  $K'$  системадаги узунлиги

$$l_0 = x'_2 - x'_1$$

га тенг бўлади. Лоренц алмаштиришларига мувофиқ, чизғич учларининг координаталари  $K'$  системада

$$x_2'' = \frac{x_2 - vt_2'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{ва} \quad x_1' = \frac{x_1 - vt_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

каби аниқланади. Чизғичнинг  $K'$  системадаги узунлигини топиш учун  $K'$  системада иккита бир онли воқеани — чизғичнинг иккала учининг  $K$  системада фазовий координаталар билан мос келишини кўриб ўтиш керак. Равшанки, бу воқеаларнинг бир онли бўлиши тўғри ўлчаш учун асос бўлади. Шунинг учун биз  $t_1 = t_2$  деб ҳисоблаймиз. Лекин, у ҳолда  $x_2'$  ва  $x_1'$  ларнинг фарқи учун  $x_2 - x_1 =$

$$= \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ ифодани оламиз.}$$

Бунда чизғичнинг  $K$  системада  $l$  орқали белгиланган учларининг фарқи шу системадаги чизғичнинг узунлигини беради:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (16)$$

Шундай қилиб, физикавий жисмнинг узунлиги ҳар хил инерциал саноқ системаларида турлича ва нисбийдир. Қайси системада у тинч турган бўлса, шу системада у энг катта узунликка эга бўлади. Агар чизғичнинг узунлигини ҳар қандай инерциал системаларда аниқлайдиган бўлсак, унинг узунлиги хусусий узунлигидан ҳамчун кичик бўлади. Узунликнинг бундай қисқариши нимани кўрсатади, «аслида» ҳам у қисқароқ бўлиб қоладими?

✓ Равшанки, узунликнинг ҳеч қандай реал қисқариши юз бермайди. Бу махсус нисбийлик назариясининг асосий принципи — барча инерциал системаларнинг тенг ҳуқуқлилиги принциpidан келиб чиқади. Чизғич узунлигининг ўзгариши фақат икки саноқ системасидаги узунликни ўлчаш усуллариининг хилма-хиллигидан келиб чиқади. Бинобарин, ҳеч қандай қисқариш рўй бермайди.

Чизғичнинг узунлиги «аслида» нимага тенг, деган савол ўринсиз ва маъносиздир. Ҳар бир саноқ системасида чизғичнинг ўз узунлиги бўлади. Ҳаракатдаги жисмлар узунлигининг ўзгариши бизга ғайри табиий бўлиб кўринадди, чунки турмушда биз етарлича катта тезликларни учратмаймиз. Масалан, биз учун энг тез ҳаракатлардан бири — Ернинг ўз орбитаси бўйлаб ҳаракатининг нисбий

тезлиги  $v = 30 \text{ км/сек}$  бўлиб,  $\frac{v}{c} \approx 10^{-8}$  бўлади ва  $l$  учун биз  $l = l_0 \sqrt{1 - 10^{-8}} \approx l_0 \left( \frac{1}{2} \cdot 10^{-8} \right) \approx l_0$  га эга бўламиз. Узунликнинг қисқариши ёруғлик тезлигининг чекли эканлигининг оқибатидир. Агар у чексиз бўлганда эди  $\frac{1}{c} \rightarrow 0$  бўлиб,  $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \rightarrow l_0$  бўлар эди.

Энди ҳажмларнинг ўзгаришини кўриб чиқамиз. Лоренц алмаштиришларига кўра,  $x$  ва  $x'$  ўқлар бўйлаб ҳаракат қилаётган системалар учун  $y' = y$  ва  $z' = z$ , яъни кўндаланг ўлчамлар ўзгаришсиз қолади. Шунинг учун ҳажм ўзгариши

$$V' = V_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (17)$$

кўринишда бўлади

### Вақт

Лоренц алмаштиришларининг ҳар хил саноқ системаларида вақт оралиғини ўлчаш учун зарур бўладиган қуйидаги натижасини кўриб чиқамиз. Яна иккита  $K$  ва  $K'$  системага мурожаат қиламиз.  $K'$  системадаги соат  $x', y', z'$  нуқтага жойлаштирилган бўлиб, бу системада  $t'_1$  ва  $t'_2$  моментларда икки воқеа содир бўлсин. Бу соат билан ўлчанган улар ўртасидаги вақт оралиғи

$$\Delta t' = t'_2 - t'_1$$

га тенг. Бу воқеалар  $K'$  системада фазонинг бир нуқта-сида юз беради.  $K$  системада эса улар бир нуқтада юз бермайди. Дарҳақиқат,  $K'$  системада ҳар хил вақтда, лекин бир нуқтада икки воқеа юз берсин:  $x'_1 = x', t'_1$  ва  $x'_2 = x', t'_2$ .  $K$  системада  $x_1$  ва  $x_2$  нуқталар учун Лоренц алмаштиришларига мувофиқ

$$x_1 = \frac{x' + vt'_1}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}}, \quad x_2 = \frac{x' + vt'_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

деб ёзамиз. Бинобарин:

$$x_2 - x_1 = \gamma v (t'_2 - t'_1) \neq 0$$

Биз бу ерда ифодани содалаштириш учун  $\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}$

катталиқни  $\gamma$  орқали белгиладик. Биз  $K'$  системада бир нуқтада юз берган воқеалар  $K'$  шу системага нисбатан ҳаракатда бўлган  $K$  системада  $x_2 - x_1 \neq 0$  бўлганлиги сабабли, ҳар хил нуқталарда рўй беришини кўрсатадиган формулага эга бўлдик.

Энди  $K$  системадаги мазкур воқеалар орасидаги вақт оралиғини топамиз. Аввало  $K$  системада бу воқеаларга тўғри келадиган вақтлар мос равишда:

$$t_1 = \gamma \left( t'_1 + \frac{v}{c^2} x'_1 \right),$$

$$t_2 = \gamma \left( t'_2 + \frac{v}{c^2} x'_2 \right).$$

Энди вақт оралиғини топамиз ( $x'_2 = x'_1$  эканлигини ҳисобга олишимиз керак):

$$t_2 - t_1 = \gamma (t'_2 - t'_1).$$

Шундай қилиб, биз вақт оралиқларини ўзгартиш учун муҳим бўлган муносабатни аниқладик:

$$T = \gamma T_0 = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (18)$$

бу ерда

$$T = t_2 - t_1, \quad T_0 = t'_2 - t'_1.$$

Кўриниб турибдики, ҳар хил инерциал саноқ системаларидаги биргина воқеалар жуфти орасидаги вақт оралиғи ҳар хил бўлар экан. Воқеалар бир нуқтада содир бўладиган, яъни битта соат билан ўлчанадиган системада воқеалар орасидаги оралиқ энг кичик бўлади.

Жисмнинг хусусий вақти деган тушунча киритайлик. Жисмнинг хусусий вақти жисм тинч турган системада ҳисобланади ва вақт оралиқлари битта соат билан ўлчанади. Соат юришининг узунлик ўзгариши сингари ўзгариши соатларнинг юриш тезлигига мутлақо боғлиқ эмас. Барча соатлар аниқ юради, лекин улар ўзаро солиштирилганда хусусий вақт оралиғи энг кичик эканлиги аниқланади. Бир мисолни кўрайлик. Иккита бир хил



соатнинг биттасини, масалан,  $A$  соатни  $Q$  системада ва  $A'$  соатни  $Q'$  системада кўрайлик.  $A$  соатни  $Q'$  системадан туриб кузатамиз, яъни  $A$  соатнинг юришини  $A'$  соат билан мослаштирилган соатнинг юриши билан солиштирамиз. Натижада  $A$  соат  $A'$  соатдан кўра секинроқ юраётганлиги равшан бўлади. Агар, аксинча,  $Q$  системадан туриб  $A'$  соатни кузатсак,  $A'$  соат  $A$  соатдан секинроқ юраётган бўлади. Бу натижалар бир-бирига зид эмас, чунки бу иккала ҳолда солиштириш усуллари ҳар хил. Бу таажжубланарли натижа барча инерциал саноқ системалари тенг ҳуқуқлилиги ҳақидаги махсус нисбийлик назариясининг постулатлари натижасидир.

### 18-§. Допплер ҳодисаси

Кўпчилигимиз темир 'йўл чорраҳасида турганимизда олдимиздан ўтиб кетган электровоз гудогининг овози пасайганлигини кўрганмиз. Шунга ўхшаш ва ҳатто ундан ҳам сезиларли эффект автомобиль пойгаларидан радио репортаж олиб берилаётганда, пойга машиналари микрофон ўрнатилган жойга яқинлашаётганида кузатилади. Товуш баландлигининг ўзгариши тезликка боғлиқ; бир милиционер тўғрисида қизиқ ҳикоя бор, у шунчалик ўткир музыка қобилиятига эга эканки, товушга қараб кишининг рухсат берилган тезликдан ортиқ тезликда юрганлигини исбот қилган.

Воқеа бундай бўлган. Милиционер пастда турган вақтда унинг олдидан рухсат этилганидан каттароқ тезлик билан мотоциклчи ўтиб кетади. Кейинчалик бу мотоциклчи суд олдида жавоб беради. Милиционер кўрсатмалар бераётиб мотоциклчи унинг олдидан соатига 80 км тезлик билан ўтиб кетганлигини айтади. Шу ондаёқ ҳимоячи туриб, милиционер ўз ўрнида турган бўлса, тезликнинг бунчалик аниқ қийматини қандай қилиб аниқлаганини тушунтириб беришни талаб қиладди. Бунга музикачи милиционер шундай деб жавоб беради: «Менинг хато қилишим мумкин эмас. Мотоцикл менга яқинлашаётганда унинг моторининг товуши менга «ре» бўлиб эшитилди, у мен билан барабарлашганда моторнинг товуши «до» бўлиб эшитилди». Бунда кўри-ниб турибдики, унинг тезлиги 80 км/соат атрофида бўлган. Милиционер ҳақ бўлиб, мотоциклчининг айбдорлиги исботланди.

Бу ҳодисани батафсилроқ муҳокама қилайлик, чунки у бизга XIX асрда Допплер томонидан очилган принципнинг акустикадаги намунасини беради. Бу принципни ҳар қандай турдаги тўлқинларга қўллаб кўрамиз.

Товуш баландлигининг катта тезлик туфайли юзага келган ўзгаришини тушунтириш осон. Агар милиционер бу мотоциклни тўхтатганида у мотоцикл моторининг товуши «до диез» нотага мос келишини кўрган бўлар эди. Бу, товуш секундига 280 марта тебранаётганлигини кўрсатар эди. Агар мотоцикл милиционер томонга тез яқинлашиб келаётган бўлса, у ўзи билан бирга тўлқинларни «олиб келади» ва милиционер секундига 280 та эмас, балки 297 та тебранишни қабул қилади, бу эса «ре» нотасига мос келади. Мотоцикл милиционердан узоқлашаётганида тебранишларни ўзи билан бирга «олиб кетади» ва энди милиционер секундига ҳаммаси бўлиб 264 та тебранишни қабул қилади, бу «до» нотасига мос келади. Бинобарин, мотоцикл милиционерга яқинлашаётганида товушнинг баландлиги ярим тонга ортади, узоқлашаётганда эса шунчага камаяди. Товуш баландлигидаги фарқ бир бутун тонни ташкил қилади. Албатта, агар мотоциклчи янада каттароқ тезлик билан юрганида тоннинг ўзгариши янада каттароқ бўлар эди. Акустикада Допплер эффекти шунинг учун ҳам шу даражада сезиларлики, товуш тезлиги нисбатан унча катта эмас. Товушнинг ҳаводаги тезлиги 330 м/сек га яқин, мотоцикл тезлиги, айтайлик, 33 м/сек бўлса, бу товуш тезлигининг сезиларли ҳиссасини ташкил қилади. Худди шунинг учун мотоциклнинг ана шу тезликларида ҳам товуш баландлигининг ўзгариши бутунлай сезиларли бўлади.

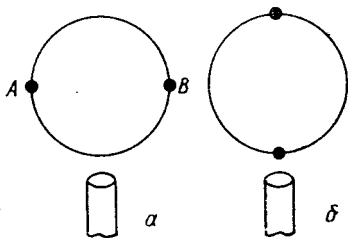
Допплер эффекти ёруғлик тўлқинлари учун ҳам ўринлидир. Лекин, равшанки, бу ҳолда у анча заиф намоён бўлади, чунки ёруғлик тезлиги улкан катталиқка — 300 000 км/сек га тенг; Допплер эффектини эса ёруғлик тезлигининг сезиларли ҳиссасига тенг бўлган тезликларда пайқаш мумкин бўлади. Ана шу чекланиш туфайли биз амалда ер шароитларида Допплер эффектининг намоён бўлишини кузата олмаймиз; бироқ осмон жисмларининг жуда катта тезликларга эга бўлиши бизга Допплер эффектини кузатишимиз учун имкон беради.

Милиционер мотор тонининг ўзгаришини мотоциклчи унга яқинлашиб келаётган вақтда эшитади; ёруғлик

манбаи бизга қараб ҳаракат қилиб келаётганда у чиқараётган ёруғликнинг частотаси биз учун ортади. Агар бизга томон ҳаракат қилаётган жисм маълум тўлқин узунлигидаги ёруғлик чиқарса, унинг частотасининг ўзгаришини биз ёруғлик тўлқин узунлигининг камайиши, яъни спектрнинг бинафша ранг томонга қараб силжиши каби қабул қиламиз (бу силжиш, балки жуда кичик ҳам бўлиши мумкин). Ва аксинча, агар ёруғлик манбаи биздан узоқлашса ёруғлик қизаради (албатта, жуда заиф).

Қуёшнинг диаметри 1300 минг километрга яқин; Қуёш ўз ўқи атрофида гигант пилдироқ каби айланиб, 27 кунда бир марта тўла айланади. Қуёш сиртининг айланиш тезлиги экватор яқинида тахминан 1,6 км/сек ни ташкил қилади. Айланиш туфайли қуёш дискиннинг бир чеккаси биз томонга, иккинчиси биздан тескари томонга ҳаракат қилади. Допплер эффектининг таъсирида дискнинг бир чеккасидан келаётган ёруғликнинг тўлқин узунлиги камаяди, иккинчи чеккасидан келаётган ёруғликнинг тўлқин узунлиги эса ортади; бу ўзгариш тахминан 1/200 000 га тенг. Бу эффектни қийналмасдан аниқлаш мумкин: Қуёшнинг айланиш тезлиги шундай ўлчашлар воситасида аниқланган.

Кейинчалик спектрал-қўшалок юлдузлар деб аталган юлдузларнинг топилиши яна ҳам қизиқ кашфиёт бўлди. Баъзи бир юлдузлар умумий оғирлик маркази атрофида айланадиган мустақкам жуфтлар ҳосил қилиши олдиндан маълум эди. Оддий кузатиш йўли билан бундай юлдузларни кўп топиш мумкин эмас. Лекин Допплер эффекти туфайли бундай юлдузлар кўплаб топилди. Агар икки юлдуз айланаётганида уларнинг ҳаракати рўй берадиган текислик ердаги кузатувчининг қараш чизигига нисбатан унчалик катта бўлмаган бурчак остида жойлашган бўлса, юлдузлардан бири биз томонга яқинлашади, иккинчиси биздан узоқлашади. Допплер эффекти натижасида спектрдаги чизиқлар иккига ажралади. Лекин эффект оддий бўлмайди (10-а расм). В юлдуз бизга томон ҳаракат



10- расм.

қилаётганида спектрал чизиқлар тўлқин узунлиги қисқароқ бўлган томонга силжийди, *A* юлдуз учун эса бу силжиш тескари томонга бўлади. Бироқ 10-б расмда кўрсатилган ҳолатда иккала юлдуз ҳам кузатувчининг кўзига нисбатан бир тўғри чизиқ устида ётади ва ёруғликнинг тарқалиш йўналишига перпендикуляр ҳаракат қилаётган бўлади. Бу шунга олиб келадики, Допплер эффекти кузатилмайди, чунки бу эффект ёруғлик манбаи фақат кузатувчи томонга (ёки қарама-қарши йўналишда) ҳаракат қилган вақтдагина вужудга келади. 10-а расмда тасвирлаган пайтдан бошлаб эффект борган сари кучайиб боради ва юлдуз 10-б расмда тасвирланган ҳолатга эришганда максимал қийматига эришиб, ундан сўнг яна заифлаша бошлайди. Шундай қилиб, юлдузлар айланаётганда спектрал чизиқлар навбат билан гоҳ иккига ажралади, гоҳ яна қўшилиб кетади.

Телескоплар ёрдамида қўшалоқ юлдузлар кўплаб топилади; албатта, доплерча ажралишнинг даврийлигини билган ҳолда юлдузларнинг аниқ айланиш даврларини аниқлаш мумкин.

Биз ҳозир замонавий фаннинг энг муҳим муаммоларидан бирига — Олам назариясига яқинлашдик. Бу назария узоқ туманликларни ўрганиш асосида вужудга келди.

Биз «узоқ туманликлар» деб атаган нарсалар, аслида миллионларча юлдузларнинг тўпламларидан иборат. Бизнинг Сомон йўлимиз бизнинг ўз туманлигимиз бўлиб, жуда кўп миқдордаги юлдузларни ўз таркибига олади, бизнинг Қуёшимиз ҳам шу юлдузларнинг биридир. Туманликлар худди Оламдаги оролларга ўхшаган бўлиб, бир-бирларидан жуда катта масофаларда турадилар. Айтиб ўтганимиздек, 9 600 000 000 000 км га тенг бўлган ёруғлик йили юлдузлар орасидаги масофаларни ўлчашда бирлик вазифасини ўтайди. Баъзи бир туманликлар биздан 350 000 000 ёруғлик йилига тенг узоқликларда жойлашган! Бу 3 360 000 000 000 000 000 км ни ташкил қилади! Бундай сонларга қараб кўзингиз қамашиб кетади, лекин шундай бўлса ҳам бу пуч хаёл эмас!

Табийки, ақл бовар қилмайдиган бундай масофалар қандай қилиб ўлчанган, деган савол туғилади; бу саволга жавоб ҳам ажабланарли ва ҳам ғаройиб бўлади. Уларгача бўлган масофаларни ўлчашга юлдузларнинг кўриниб турган ва ҳақиқий ёрқинликлари орасидаги фарқ имконият берди.

Осмондаги юлдузнинг кўринаётган ёрқинлиги ёки порлаши (унинг юлдуз катталиги) иккита сабабга: юлдузнинг ҳақиқий ёрқинлигига ва унинг кузатувчидан узоқлигига боғлиқ. Агар ёниб турган лампага яқиндан қарасак, у жуда ёрқин кўринади, 100 метр масофадан эса анча заиф кўринади. Агар бир километр узоқликдан қарасак, у зўрға кўринади, 10 км масофадан қаралганда бутунлай кўринмайди. Юлдуз мисолида ҳам худди шундай бўлади. Аслида жуда ёрқин бўлган юлдуз осмон гумбазида заифгина кўриниши мумкин, лекин унинг заиф кўриниши жуда катта масофада бўлиши туфайлидир. Агар биз юлдузнинг ҳақиқий ёрқинлигини билсак, унинг кўриниб турган ёрқинлигини аниқлаб, у биздан қанча узоқликда эканлигини ҳисоблаб чиқишимиз осон.

### 19- §. Допплер ҳодисасининг нисбийлик назарияси

Оптикада Допплер ҳодисаси деб, манба билан кузатувчи бир-бирига нисбатан ҳаракатланишидаги частота ўзгаришига айтилади. Монохроматик тўлқинлар манбаи ҳаракатланувчи система  $X'Y'Z'$  да турибди ва у шу система билан бирга кузатувчи жойлашган қўзғалмас  $XUZ$  системанинг  $X$  ўқи бўйлаб, шу системага нисбатан  $v$  тезлик билан ҳаракатланаётибди, деб фараз қилайлик.

Манбадаги электромагнит тебранишлар қуйидаги қонун бўйича ҳосил бўлади:

$$E = E_0 \cos \omega_0' t',$$

бу ерда  $\omega_0' = 2\pi \nu_0' (\nu_0' - \text{ҳаракатланувчи системадаги манбанинг хусусий тебранишлар частотаси})$ . Электромагнит тебранишлар абсиссаси  $x'$  бўлган маълум бир нуқтага етади ва маълум бир  $\tau' = \frac{x'}{c}$  вақтдан кейин фаза бўйича кечика бошлайди:

$$E' = E_0 \cos \omega_0' \left( t' - \frac{x'}{c} \right).$$

Релятивистик назарияга асосан Лоренц алмаштиришларида ҳодисалар ўзгармай қолади, яъни ёруғлик тўлқинининг фазаси ҳаракатланувчи ва ҳаракатланмайдиган системаларда ўзгармай қолади:

$$\omega \left( t - \frac{x}{c} \right) = \omega' \left( t' - \frac{x'}{c} \right).$$

Бу тенгликларни бирга ечиб охирида қуйидаги натижа-  
ни оламиз:

$$\omega = \omega'_0 \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}}$$

Худди шунга ўхшаш ифодани чизиқли частота учун ҳам  
олиш мумкин:

$$v = v'_0 \frac{1 \pm \frac{v}{c}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

(«+» белгиси манба билан кузатувчининг бир-бирига  
яқинлашишини, «-» белги эса, уларнинг бир-бирдан  
узоқлашишини билдиради).  $v \ll c$  бўлганда махраждаги  
квадратли ҳадни ташлаб юбориш мумкин, у ҳолда қуйи-  
даги формулани оламиз:

$$v = v'_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right).$$

Бу формула акустикадаги Допплер ҳодисаси учун чиқа-  
рилган формулага мос келади. Агар манба билан боғ-  
ланган координаталар системасидаги тезлик йўналиши  
ва кузатиш йўналишлари орасидаги бурчакни  $\varphi$  орқали  
белгиласак, у ҳолда Допплер ҳодисасини ифодаловчи  
формула қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$v = v'_0 \frac{1 - \frac{v}{c} \cos \varphi}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}. \quad (19)$$

Баъзан бу формула қуйидаги нисбат орқали ифодала-  
нади:

$$v = v'_0 \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}{1 + \frac{v}{c} \cos \varphi}, \quad (20)$$

бу ерда  $\varphi$  манбанинг кузатувчига нисбатан ҳаракат  
йўналиши орасидаги бурчак, у кузатиш чизиғи билан  
кузатувчи боғланган координаталар системасида ўлчан-  
ган. (19) ва (20) формулалар бир-бирига эквивалент-

дир,  $\psi$  ва  $\alpha$  бурчаклар ўзаро бир-бири билан қуйидаги нисбат орқали боғланган:

$$\cos \varphi = \frac{\cos \psi - \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c} \cos \psi}.$$

(20) формулани кўриб чиқайлик. Агар  $\varphi = 0$  (манба ва кузатувчининг ўзаро бир-бирдан узоқлашиши) бўлса, у ҳолда  $\gamma < \gamma'_0$  ва мос равишда  $\lambda > \lambda'_0$  — ёруғликнинг кўзга кўринадиган спектрининг қизил силжиши ҳосил бўлади. Агар  $\varphi = \pi$  (манба ва кузатувчининг ўзаро яқинлашиши) бўлса, у ҳолда  $\gamma > \gamma'_0$ ,  $\lambda < \lambda'_0$  — ёруғликнинг кўзга кўринадиган спектрининг бинафша силжиши ҳосил бўлади. Допплер эффекти ёрдамида, одатдаги телескоплар билан ажратиш мумкин бўлмаган қўшалоқ юлдузлар очилган. Кузатишлардан шу маълум бўлдики, бундай юлдузларнинг спектрал чизиқлари даврий равишда иккиланиб турар экан; бу ҳодиса ёруғлик манбаи кетма-кет бир-бирига яқинлашиб ва узоқлашиб турувчи, яъни умумий оғирлик маркази атрофида айланиб турувчи икки жисмдан иборат бўлиши керак деган тахмин ёрдамида тушунтирилиши мумкин.

Ҳозирги вақтда Допплер эффекти, ер атрофидаги орбита бўйлаб ҳаракатланувчи сунъий йўлдошларнинг ўрнини (қаердалигини) топишда қўлланилади. Астрофизикада Допплер принципи Қуёшда кузатиладиган водород массаларининг қайнаш тезлигини баҳолашда ишлатилади. Биз кейинроқ бу эффект татбиқи устида анча тўхталиб ўтамиз.

## 20- §. Импульс, масса, энергия

Биз юқорида кўриб ўтганимиздек, Эйнштейннинг постулатлари бизнинг узунлик, вақт, тезлик ҳақидаги тасавурларимизни ўзгартириб юборди. Энди Лоренцнинг тезлик алмаштиришлари (демак, тезланиш учун ҳам) Ньютон динамикаси қонунларини ҳам ўзгартириши керак. Бу қуйидаги умумий мулоҳазалардан кўриниб турибди. Ньютон қонунлари Галилей алмаштиришларига нисбатан инвариантдир. Динамика тенгламалари Лоренц алмаштиришларига нисбатан инвариант бўлиши учун бу тенгламаларни ўзгартириш керак.

Маълумки, классик механикада импульс жисм массасини унинг тезлигига кўпайтмасига тенг эди ( $p = mv$ ). Ундан ташқари, бирор ёпиқ системанинг импульси учун сақланиш қонуни ўринли эди. Агар массани тезликка боғлиқ деб ҳисобласак, сақланиш қонуни махсус нисбийлик назариясида ҳам ўринли бўлишини кўрсатишимиз мумкин. У ҳолда импульс

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (21)$$

кўринишда бўлади. Бу Ньютон қонунининг Эйнштейнча таърифи асосида ёзилишидир. Бундай ёзилганда импульс аввалгидек сақланиши керак, бироқ илгариги  $p = mv$  ифода эмас, балки ўзгарувчан массага эга бўлган ифода сақланиб қолади.

Энди импульс тезликка қандай боғлиқ эканлигини кўрайлик. Ньютон механикасида у тезликка пропорционалдир. Релятивистик механикада ҳам  $c$  дан кўп марта кичик тезликлар соҳасида бу пропорционаллик сақланади, чунки илдиз 1 дан кам фарқ қилади. Бироқ  $v$  деярли  $c$  га тенг бўлган ҳолда илдиз нолга тенг бўлиб қолади ва натижада импульс чексиз катталашиб кетади.

Жисмга узоқ муддат давомида ўзгармас куч таъсир қилиб турса нима бўлади? Ньютон механикаси бўйича жисм тезлиги узлуксиз ортади ва табиий равишда, ёруғлик тезлигидан ҳам каттароқ қийматларга эриша олади. Релятивистик механикада эса бу мумкин эмас. Нисбийлик назариясида жисмнинг тезлиги эмас, балки унинг импульси ортиб боради ва унинг бу ортиши масса ҳисобига юз беради. Вақти келиб тезлик амалда ўзгармайди, лекин импульс ортишда давом этади. Таъсир қилаётган куч тезликнинг ўзгаришига жуда кам ҳисса қўшаётганлиги учун, биз, табиий равишда, жисм фавқуллодда катта инерцияга эга деб ҳисоблаймиз. Буларнинг барчаси биз ёзган релятивистик формулага тўғри келади. Бу формула бўйича  $v$  тезлик  $c$  га яқинлашганда инерция жуда катта бўлиб кетади.

Мисол тариқасида тезлатгичларда зарраларни тезлатиш бўйича қилинадиган ҳисобларни келтириш мумкин. Бундай қўлланиладиган магнит майдон Ньютон қонунлари бўйича талаб қилинадиган майдондан 2 минг баравар кучли бўлиши керак, яъни масалан, электронларнинг



массаси уларнинг нормал қийматидан тахминан 2 минг қарра ортиқ бўлади.

Масса — жисмнинг инертлик ўлчови ёки кўпол қилиб айтганда, жисмдаги модда миқдоридир. Бундай инерт масса унга маълум тезланиш бериши учун зарур бўлган кучнинг катталиги билан аниқланади. Аммо вақт ва масофаларни ўлчаш жисм ва кузатувчининг нисбий тезликлари ўзгаришига қараб ўзгаради. Бинобарин, инерт массани ўлчашнинг натижалари ҳам ўзгаради. Жисмга нисбатан тинч турган кузатувчилар учун жисмнинг массаси унинг тезлигидан қатъи назар, бир хилда қолади ва бу масса жисмнинг *тинч ҳолдаги* массаси  $[m_0]$  дейлади.

Кузатувчига нисбатан ҳаракатда бўлган жисмнинг ҳаракат тезлиги қанчалик юқори бўлса, унинг массаси шунча катта бўлади. Жисмнинг ва саноқ системасининг нисбий ҳаракат тезлигига боғлиқ бўлган масса *релятивистик масса* деб аталади:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (22)$$

Массанинг тезликка бундай боғлиқлигидан Эйнштейн фавқулодда катта аҳамиятга эга бўлган масса ва энергия орасидаги пропорционаллик қонунини келтириб чиқарди. Ҳаракатдаги зарранинг  $m$  массаси шу зарранинг тинч ҳолдаги массаси  $m_0$  дан шу зарра кинетик энергиясининг  $c^2$  га нисбати миқдоридан катта эканлиги маълум бўлди. Масалан,  $\frac{v}{c} \ll 1$  бўлса, (22) формуладан тақрибан  $m = m_0 + \frac{m_0 v^2}{2c^2}$  эканлиги келиб чиқади. Бу ифодани  $c^2$  га кўпайтириб,

$$m c^2 \cong m_0 c^2 + \frac{m_0 v^2}{2} + \dots$$

ни оламиз. Бу ифодани диққат билан кўриб чиқамиз. Бундаги  $\frac{m_0 v^2}{2}$  ҳад  $v$  тезлик билан ҳаракат қилаётган жисм  $T$  кинетик энергиясининг норелятивистик ифодасидир,  $m_0 c^2$  эса қандайдир доимий (const). Бинобарин,

$$m c^2 - m_0 c^2 = T \quad (*)$$

деб ёзиш мумкин. Бундай ёзув классик механика учун тўғри бўлган система тўла массасининг сақланиш қонуни,

Энди шу системанинг релятивистик соҳадаги тўла энергиясининг сақланиш қонуни билан мос келади, деб ҳисоблашга имкон беради. Бироқ нисбийлик принципи агар бир инерциал саноқ системасида қонун ўринли бўлса, у ҳолда бошқа барча инерциал саноқ системаларида ҳам бунинг бажарилишини тақозо қилади. Шунинг учун (\*) формула ҳар қандай саноқ системасида (ёйилма  $\frac{v^2}{c^2}$  гача аниқликда олинганда ҳам) жисмнинг кинетик энергиясини ифодалаши керак.  $mc^2$  ни  $E$  орқали белгилаб, бу муҳим муносабатнинг ёзилишини бир оз ўзгартирамиз:

$$E = mc^2 + T \text{ ёки } E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (23)$$

Бу жиддий ифодадир, чунки норелятивистик назарияда энергия ихтиёрый доимийгача бўлган аниқлик билан топилади. Математикавий мулоҳазалардан бу ўзгармаснинг аниқ қиймати  $E_0 = mc^2$  га тенглиги равшандир. Физикавий нуқтаи назардан қараганда бу шуни билдирадики, зарра ҳатто тинч турган ҳолатда ҳам энергияга эга бўлади.

Бу модда билан боғлиқ бўлган энергияниг нурланиш билан боғланган энергияга ўтиш имкониятини вужудга келтирган ва бутун физиканинг асосида ётган машҳур  $E = mc^2$  формулага биринчи ишора эди. Хусусан, бу формула тинч турган зарранинг энергияси нолга айланаб кетмаслигини кўрсатади. Тинч ҳолдаги  $E_0 = mc^2$  массага тинч ҳолдаги  $E = mc^2$  энергия тўғри келади. Жисмнинг тўла энергияси  $E$  унинг релятивистик  $m$  масаси билан  $E = mc^2$  муносабат орқали боғланган.

Бу формуланинг маъноси қандай? Жисм массаси ва унинг релятивистик энергияси пропорционалдир, пропорционаллик коэффиценти бўлиб ёруғлик тезлиги квадрати  $c$  хизмат қилади. Бу масса билан энергия орасидаги боғланишни биз эркин жисм релятивистик энергиясининг хусусий ҳоли учун топдик. Лекин маълум бўлишича, худди шундай муносабат исталган кўринишдаги энергия учун ҳам кучга эга. Табиатнинг умумий қонуни мавжуд экан, бунда  $E$  эркин жисм энергиясидан ташқари, потециал энергияни, иссиқлик, химиявий ва бошқа кўринишдаги энергияларни ҳам ифода этиши мумкин.

Бу формула жисмнинг тўлиқ энергияси  $E$  ҳамма вақт масса билан боғлиқ ҳолда ўзгаришини кўрсатади. Энергия ўзгариши билан унга пропорционал ҳолда масса ҳам ўзгаради ва, аксинча. Бу боғланиш табиатдаги ҳамма ҳодисалар учун бажарилади. Бу — табиатни таъсир этишда ҳеч вақт массани энергиядан ва энергияни массадан ажратиб бўлмайди деган маънони англатади. Бу боғланишга кўра релятивистик физика ўзида энергия тушунчасини акс эттирмаслиги ҳам мумкин. Иккинчи томондан, релятивистик физика шундай тузилиши ҳам мумкинки, унда масса тушунчаси тушириб қолдирилиб ҳамма ерда фақат энергия тушунчаси ҳақида гапирилади. Классик физикада бундай қилиб бўлмайди.

Масса билан энергия орасидаги боғланиш кашф этилиши билан олимлар тинч ҳолатдаги энергияни олиш — инсон хаёлига келмаган улкан энергия манбаига эга бўлиш мумкинлигига тушундилар.

Ядро энергиясини олиш муаммоси нисбийлик назарияси туфайли ҳал қилинди.

Эйнштейн яратган масса ва энергия орасидаги боғланишни XX аср физикасининг энг муҳим формуласи деб ишонч билан айтса бўлади.

Массаси нолга тенг бўлмаган зарранинг тезлиги ёруғлик тезлигига интилганда, энергияси чексиз қийматга интилади. Бинобарин, бундай заррани ёруғлик тезлигигача тезлатиш учун чексиз катта иш бажариш лозим бўлади. Бошқача қилиб айтганда, массаси нолга тенг бўлмаган зарра бундай тезлик билан ҳаракат қилолмайди. Бироқ массаси нолга тенг бўлган зарралар ҳам бор: улар фақат ёруғлик тезлигида ҳаракат қилишлари мумкин, холос. Буни кўрсатиб ўтамиз.

(21) ва (23) формулалардан  $v$  ни йўқотиш, яъни  $E$  энергияни  $p$  орқали ифодалаш мумкин,

$$E = \sqrt{m^2 c^4 + c^2 p^2} \quad (24)$$

$m = 0$  бўлганда бу ифодадан

$$E = cp \quad (25)$$

муносабат ҳосил бўлади.

(23) тенгламани (21) га бўлсак,

$$E = \frac{c^2 p}{v} \quad (26)$$

формула келиб чиқади. Бу ифода (25) билан фақат  $v = c$  бўлгандагина, яъни бундай зарра ёруғлик тезлигида ҳаракат қилгандагина мос келади. Бошқа зарралар билан ўзаро таъсирлашган вақтда нолга тенг массага эга бўлган зарра уларга ўз энергиясини ва ҳаракат миқдорини бериши мумкин. Бошқача қилиб айтганда, массага эга бўлмаган зарра бошқа шаклдаги материя турлари билан ўзаро таъсирлаша олар экан, бундай зарранинг физикавий реал эканлигига ҳеч қандай шубҳа йўқ.

Ньютон механикасига кўра, бундай зарраларнинг бўлиши мумкин эмас. Массага эга бўлмаган зарралардан бири — ёруғлик кванти, иккинчиси — ядроларнинг бета-парчаланишида ажралиб чиқадиган нейтринодир. Квант билан нейтринонинг табиати бутунлай хилма-хил бўлиб, улар орасидаги умумий хусусият — иккитасининг ҳам ёруғлик тезлиги билан ҳаракат қилишидир.

Гравитацион майдон кванти гравитон ҳам ёруғлик тезлигида ҳаракатланади, лекин буни ҳозирча фақат назарий физиканинг тенгламаларида кўриш мумкин, холос. Уни алоҳида зарра сифатида тажрибада қайд қилишнинг бирор усулини ҳозирча аниқ айтиш мумкин эмас.

«Масса» деган термин тажрибадан олинadиган маълум хусусиятларга берилади. Кундалик турмушда «модданинг ўзгармас миқдори» деб тушуниладиган масса физикада аниқ ўлчанадиган иккита хусусиятга мос келади. Улардан бири инертлик, яъни жисмларнинг тезланишига қаршилик кўрсата олиш қобилияти, иккинчиси — гравитация.

Аввало масса тушунчасининг инертлик томонини кўриб ўтамиз. Ньютоннинг  $F = ma$  тенгламаси (бунда  $F$  — куч,  $a$  — тезланиш,  $m$  — жисм массаси)га биноан жисмга маълум бир тезланиш берадиган куч жисм массасига пропорционал бўлади. Таъриф тўлароқ бўлиши учун  $m = \text{const}$  шартини қўшиб қўямиз.

Объект массасининг физикада иккинчи бор муҳим равишда намоён бўлиши — унинг тортишиш қонунинда коэффициент сифатида иштирок этишидир:

$$F = G \frac{M}{r^2} \cdot m.$$

бу ерда  $G$  — гравитацион доимий,  $r$  — жисмлар орасидаги масофа. Шунини таъкидлаб ўтамизки, ҳозирги вақт-

гача ўтказилган барча тажрибалар инерт ва гравитацион массаларнинг пропорционал эканлигини кўрсатади.

Катта тезликлардаги релятивистик соҳада масса ўзгармас коэффициент бўлиб қолмаслигини биз кўрдик. Шундай қилиб, «масса — модданинг ўзгармас миқдори» деган кундалик тушунчамиз фақатгина Ньютон назарияси доирасидагина мазмунга эга, холос.

Энди «энергия» тушунчасига ўтайлик. Даставвал, энергия «модда миқдори» деб таърифланар эди. Системалар бир-бирлари билан ўзаро таъсирлашганда улар ўртасида энергия ва импульс алмашилишлари юз беради. Аммо ажратилган алоҳида физикавий системанинг тўла энергияси сақланиб қолади. Кейинчалик энергияни системада оқиб турадиган, суюқлик сингари қандайдир ўзгармас субстанция деб тасаввур қилинган. Лекин массалар (яъни зарралар) аннигиляциялашуви ва эквивалент миқдордаги энергия ажралиб чиқиши кашф қилингандан сўнг энергияни қандайдир суюқлик, қандайдир зарраларнинг хоссаси сифатида талқин қилиш нотўғри эканлиги маълум бўлади.

Эйнштейн назариясида энергия ва масса ҳар хил тушунчалар сифатида талқин қилинмайди. Улар ягона ҳаракат жараёнининг иккита ҳар хил, лекин ўзаро боғланган томонлари деб ҳисобланади. Агар бу ҳаракатда иш бажариш қобилияти пайдо бўлса, ўзаро таъсир вужудга келса ва баъзи бир системалар бошланғич бирор системанинг ҳаракати ҳисобига ҳаракатга келса, биз энергия ҳақида гапирамиз. Шу системанинг тезланишга қаршилиқ қилиш қобилияти эса «масса» тушунчаси билан аниқланади. Бироқ Эйнштейн ўзининг умумий нисбийлик назариясида кўрсатгани каби, система зарраларининг ички ҳаракати инерт массага ҳам, гравитацион массага ҳам ҳисса қўшади. Бинобарин, система энергиясидаги ўзгариш унинг массасида ҳам  $\Delta E = \Delta mc^2$  қонун бўйича ўзгариш бўлишини талаб қилади.

Энергиянинг барча турлари массага ўз ҳиссасини қўшади. Аммо тинчликдаги энергия алоҳида роль ўйнайдичунки ҳаттоки жисм мутлақо ҳаракат қилмаса ҳам, унда албатта ички ҳаракат жараёнлари — нурланишлар, атомларнинг, ядроларнинг, молекулаларнинг тебранишлари давом этади. Худди ана шу энергиялардан  $E_0$  тинчликдаги энергия ташкил топади ва унга  $m_0 = \frac{E_0}{c^2}$  тинчликдаги масса мос келади.

Шундай қилиб «энергия — масса» боғланиш материя ҳаракатининг бир турдан бошқа турга ўтишини билдиради.

Тинчликдаги массага эга бўлмаган, яъни ёруғлик тезлигида ҳаракат қиладиган объектлар (фотон ва бошқалар) учун ички ҳаракатлар мавжуд эмас. Бундай зарралар фақатгина ташқи ҳаракатларга эга, яъни фазода силжийди, холос. Шунинг учун ёруғлик фақат  $c$  тезликка эга бўлган фазодаги қандайдир ҳаракат сифатида мавжуд.

Бу Лоренц алмаштиришларидан кўриниб туради: ёруғлик тезлиги барча системалар учун бир хил, яъни ёруғлик учун тинчликдаги системани топиш мумкин эмас,  $c$  дан кичик тезликлар учун эса бундай имконият ҳамиша бор.

## 21- §. Интервал (оралиқ)

Алмаштиришларнинг хусусиятлари ва физикавий мазмунини муҳокама қилиб бўлдик, энди яна интервал тушунчасига қайтамыз..

Ёруғлик сигналларини юборишдан иборат бўлмаган икки ихтиёрий воқеа учун интервал

$$s_{1,2} = [c^2(t_2 - t_1)^2 - (x_2 - x_1)^2 - (y_2 - y_1)^2 - (z_2 - z_1)^2]^{\frac{1}{2}}$$

кўринишда бўлади. Лекин энди ёруғлик сигналидан фарқли равишда, ихтиёрий воқеа учун интервал нолга тенг бўлмайди.

Кўпинча чексиз яқин нуқталарда вақтнинг чексиз яқин онларида юз берадиган воқеаларни муҳокама қилиш қулай бўлади. Унда интервалнинг квадрати

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

кўринишда бўлади, бу ерда

$$ds = s_{1,2}, \quad dt = t_2 - t_1, \quad dx = x_2 - x_1$$

ва ҳоказо.

Ёруғлик сигналини юбориш (қабул қилиш) бўйича хаёлий тажрибамиздан келиб чиқадигани, агар бирор инерциал системада  $ds^2 = 0$  бўлса, бошқа ҳар қандай инерциал системада  $(ds')^2 = 0$  бўлади. Иккала  $ds$  ва  $ds'$  катталиклар ҳам бир хил тартибдаги чексиз кичик

сонлар бўлганлиги учун бир-бирига пропорционал бўлиши керак, яъни  $ds^2 = ads'^2$  деб ёзиш мумкин. Бу ерда  $a$  — пропорционаллик коэффиценти. Бу муносабат ҳар қандай воқеалар жуфти орасидаги интерваллар учун бажарилиши лозим. Дарҳақиқат,  $ds$  ва  $ds'$  интерваллар орасида боғланиш бўлиши учун бизда ҳеч қандай шарт йўқ, хусусий кўринишдаги — ёруғлик сигнаolini юбориш ва қабул қилиш сингари воқеалар учун эса худди шундай боғланиш бўлиши керак.

$a$  коэффицент  $x$ ,  $y$ ,  $z$  координаталарга ва вақтга боғлиқ бўлолмайди, чунки акс ҳолда, бу фазонинг ҳар хил нуқталари ва вақтнинг ҳар хил моментлари тенг ҳуқуқли эмаслигини кўрсатган бўлур эди. Фазо ва вақтни бир жинсли деб ҳисобласак, у ҳолда  $a$  коэффицентнинг 1 га тенг эканлигини осонгина кўрсатиш мумкин. Бундан эса

$$ds^2 = ds'^2.$$

Аммо чексиз кичик интервалларнинг тенглигидан чекли интервалларнинг тенглиги келиб чиқади:

$$s = s',$$

яъни интервалнинг Лоренц алмаштиришларига нисбатан инвариант эканлиги ҳосил бўлади. Шундай қилиб,  $c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2$  ифода бир системадан иккинчи системага ўтганда ўзгармай қолиши керак. (Ёруғлик сигнали тарқалган ҳолда  $s_{1,2} = s'_{1,2} = 0$ .) Интервалларнинг тенглик шартини  $c^2t^2 - r^2 = inv$  кўринишда ёзиш мумкин. Бу ерда

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2.$$

Бу биз кўрганимиздек, Эйнштейн постулатларига мос келувчи координата ва вақт алмаштиришларига қўйилган ва у қаноатлантириши лозим бўлган умумий талабдир. Лекин бу шарт физикавий фазонинг янги геометриясини тақозо қилади. Бунинг нима эканлигини тушунтириб ўтайлик. Одатдаги уч ўлчовли фазо ва нуқтанинг  $x$ ,  $y$ ,  $z$  декарт координаталари ҳақида гапирилганда бу координаталарнинг мустақиллиги таъкидланади. Лекин улар бу фазодаги нуқталар орасидаги масофалар аниқлангунга қадар мустақилдир, холос. Ўз мазмунини бўйича нуқталар орасидаги масофа координата алмаштиришларида ўзгармай қолади, яъни инвариант катталиқдир.

Маълумки, фазонинг характери бу фазодаги нуқталар орасидаги масофа қандай аниқланиши билан белгиланади. Бизнинг одатдаги уч ўлчовли фазомизда масофа Пифагор теоремаси орқали аниқланади:

$$r_{1,2} = [(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2]^{\frac{1}{2}}.$$

Бундай фазо Эвклид фазоси деб аталади. Бу ерда  $x^2 + y^2 + z^2$  катталик инвариант бўлиб, ҳисоб бошидан нуқтагача бўлган масофани белгилайди.

Эйнштейн постулатларига асосланиб биз физикавий ҳодисалар «дунёсида»

$s^2 = c^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2$  катталик инвариантдир деган хулосага келдик. Бундай боғланиш энди тўртта  $x, y, z$  ва  $t$  ўзгарувчилар бир бутунга бирлашганлигини кўрсатади. Физикавий ҳодисалар дунёси фақат тўртта координаталар воситасида ифодаланибгина қолмайди. Эйнштейннинг постулатларидан реал физикавий дунёда декарт координаталари билан вақт орасида боғланиш борлиги кўриниб туради.

Бироқ, биз тўрт ўлчовли дунёда яшаймиз деб ҳисоблаш, яъни классик механиканинг одатдаги уч ўлчовли дунёсидан махсус нисбийлик назариясининг тўрт ўлчовли дунёсига ўтиш худди планиметриядан стереометрияга ўтишга ўхшайди, деб ўйлаш нотўғри. Тўртинчи координатанинг пайдо бўлиши фазо — вақт геометриясининг ўзгарганлигини билдиради.

Буни геометрик қиёслаш усули билан тушунтирайлик. Биз Эвклид геометриясини ҳақ деб ҳисобласа бўладиган уч ўлчовли фазода яшаймиз. Бизнинг фазомизда текислик учун  $x^2 + y^2$  шакл ва фазо учун  $x^2 + y^2 + z^2$  шакл инвариантдир. Тўрт ўлчовли фазога ўтишни худди шунингдек  $x^2 + y^2 + z^2 + u^2$  инвариант шакл сифатида тасаввур қилиш мумкин. Лекин бундан олдинги барча муҳокамалардан маълумки махсус нисбийлик назариясида фазо — вақт  $c^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2$  инвариант билан ифодаланади. Кўриб турибмизки, агар  $u^2 = c^2 t^2$  деб ҳисобласак, бу ифодалар ишораси билан бир-биридан фарқ қилади. Шунинг учун ҳам махсус нисбийлик назариясининг дунёси яна, битта координата — вақт ўқи  $t$  ни оддийгина қўшиб қўйишдан иборат эмас. Айтиб ўтганимиздек, масофани аниқлаш фазонинг геометриясини билишнинг усулидир. Шунинг учун махсус нисбийлик



назариясининг  $s^2 = c^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2$  инварианти махсус геометриянинг пайдо бўлишига олиб келади. Бу геометрия Гаусс ва Лобачевскийнинг ижоди натижасида вужудга келди, ўзининг тўла ифодасини эса Минковскийнинг ишларида топди.

Лоренц ўзгартиришларига қайтайлик ва  $\left(1 - \frac{v}{c}\right)^{1/2}$  катталикни кўрайлик.  $v > c$  бўлса илдиз остида мавҳум сон бўлади ва алмаштириш ўзининг физикавий мазмунини йўқотади. Бу натижа махсус нисбийлик назариясининг мазмунига тўла мос келади, яъни, системаларнинг нисбий тезлиги бўшлиқдаги ёруғлик тезлигидан катта бўлиши мумкин эмас. Нисбий тезликлар анча кичик, яъни  $\frac{v^2}{c^2} \ll 1$  бўлганда Лоренц алмаштиришлари Галилей алмаштиришларига айланади. Бу ёруғлик тезлигидан кичик бўлган тезликлар соҳасида Галилейнинг классик алмаштиришлари яроқли эканлигини кўрсатади.

## 22- §. Тўрт ўлчовли дунё

Шундай қилиб, нисбийлик назариясида

$$s = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$

фазовий масофанинг ва  $t = t_2 - t_1$  вақт оралиғининг ўрнини ягона фазо — вақт интервали

$$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2 - c^2(t_1 - t_2)^2}$$

эгаллади. Бу интервал бир санок системасидан унга нисбатан тўғри чизиқли ва текис ҳаракатланаётган иккинчи санок системасига ўтилганда инвариант бўлади. Минковский худди шу ҳолдан фойдаланди. Формуладаги  $-c^2(t_1 - t_2)^2$  ҳаднинг ўрнига  $u(u_2 - u_1)^2$  ҳадни киритди, яъни  $\sqrt{-1}ct$  ни тўрт ўлчовли  $R_4$  фазонинг янги координатаси  $u =$  га тенглаштирди. Бу энди вақт секундларнинг ўрнига сантиметр ( $ct$  — кўпайтма) билан ўлчанишини кўрсатади, лекин бу ҳолда  $u = \sqrt{-1}$  мавҳум бирликка кўпайтирилади. Бинобарин, илгари вақтнинг  $t$  онида уч ўлчовли  $R_3$  фазонинг  $x, y, z$  нуқтасини эгаллаб турган ҳар қандай  $P$  моддий нуқта энди тўрт ўлчовли  $R_4$  фазо—вақт-

нинг ўрни  $x, y, z, u$  координаталар билан бериладиган  $P$  нуқтаси орқали берилади. Бу фазо — вақтни Минковский тўрт ўлчовли дунё деб,  $P(x, y, z, t)$  моддий нуқтани эса воқеа деб атади. Равшанки, фазо—вақт интервалининг

$$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2 + (u_1 - u_2)^2}$$

ифодаси энди икки  $P_1$  ва  $P_2$  нуқталар (воқеалар) орасидаги масофанинг ифодаси бўлиб қолди.

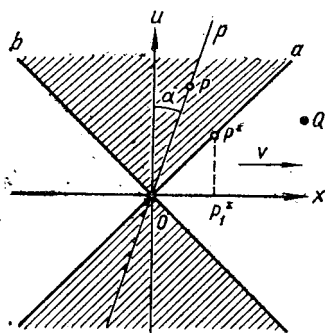
Бу масофа Евклид фазосидаги масофага ўхшаш ёзилганлиги ва тўртинчи координата мавҳум бўлганлиги учун Минковскийнинг тўрт ўлчовли дунёси Евклидча фазо деб эмас, балки тўрт ўлчовга эга бўлган псевдоевклидча фазо деб ҳисобланади. Ундан ташқари, махсус нисбийлик назарияси Лобачевский геометрияси билан боғлангандир.

Минковскийнинг геометрик изоҳи икки нарсани «кўрсатади». Биринчидан, фазо ва вақт алоҳида олинганда абстракт нарсалардир, объектив реаликда эса улар бир бутундир. Иккинчидан, вақт сифат жиҳатдан фазодан фарқ қилади; бу шундан кўриниб турибдики, вақтнинг координатаси реал фазонинг уч координатасидан мавҳум катталиқ билан ажралиб туради.

Воқеада рўй берадиган ўзгаришлар тўрт ўлчовли  $R_4$  фазода чизиқ билан ифодаланади. Бу чизиқнинг ҳар бир нуқтаси фақат нуқтанинг уч ўлчови  $R_3$  фазодаги ўрининигина эмас, балки нуқта ўтаётган вақтни ҳам кўрсатиб туради. Бу чизиқни Минковский «дунёвий чизиқ» деб атади. Шундай қилиб, тўрт ўлчовли  $R_4$  фазо дунёвий чизиқларга тўла, унинг қонуниятларини ўрганиш эса ушбу  $R_4$  нинг геометриясини ўрганишга айланади.

Конкрет мисол келтирайлик. Тушунтириш қулай бўлиши учун иккинчи саноқ системасининг тўғри чизиқли текис ҳаракати  $v$  тезлигининг йўналиши биринчи саноқ системасининг  $x$  ўқиға мос келади, деймиз. У ҳолда  $y$  ва  $z$  координаталарга эътибор бермаймиз ва  $R_4$  нинг ўрнига  $R_2$  текисликни, яъни боши  $O$  да бўлган ҳамда  $x$  (фазовий) ва  $u$  (вақт) ўқларга эга бўлган системани муҳокама қиламиз (11-расм). Координаталар боши дегани «шу ерда» ва «ҳозир» деганидир.  $x$  ўқи — шу ўқ бўйлаб чексиз катта тезлик билан ҳаракат қилувчи барча нуқталар (воқеалар)нинг дунёвий чизигидир, бироқ биз бундай тезликнинг бўлиши мумкин эмаслигини би-

ламиз. Шунингдек,  $x$  ўқини вақти  $O$  нуқтадаги вақтга тенг бўлган ўзгармас вақтли барча нуқталар (воқеалар)нинг дунёвий чизиғи сифатида ҳам талқин қилиш мумкин. Бошқача қилиб айтганда,  $x$  ўқида ҳеч нарса содир бўлмайди.  $u$  ўқи вақт ўтиши билан қўзғалмас  $O$  бошланишда бўладиган ўзгаришларни ифодалайди. Агар бирор  $P$  моддий нуқта  $x$  ўқи бўйлаб текис ҳаракат қилаётган бўлса, унинг  $v$  тезлиги доимий бўлади. Бироқ  $v$  босиб ўтилган йўлнинг вақтга нисбатига тенг бўлиб, вақт эса  $u$  орқали ўлчанади, бинобарин,  $x/u$  — нисбат доимийдир. Бу шуни кўрсатадики,  $P$  нуқтанинг



11- расм.

дунёвий чизиғи  $O$  бошланиш орқали ўтадиган  $P$  тўғри чизиқ бўлади, бунда унинг  $u$  ўқи билан ҳосил қилган  $\alpha$  қиялик бурчагининг тангенси  $v$  га тенг, яъни:  $\operatorname{tg}\alpha = v$ .

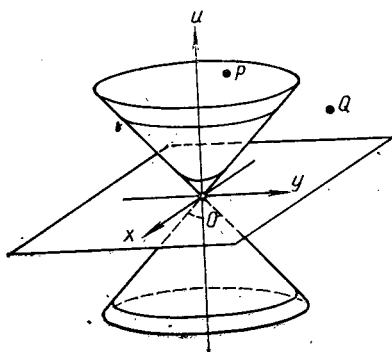
Лекин  $v$  тезлик  $c$  дан кичик бўлиши лозимлигидан фақат  $\operatorname{tg}\alpha < c$  бўлган  $P$  дунёвий чизиқларгина мавжуд бўлиши мумкин. Аммо биз  $x$  ва  $u$  ни ўлчаш учун масштабни шундай танлаб олишимиз мумкинки, у ҳолда ёруғлик тезлигини бирлик ўрнида қабул қилса бўлади. Унда  $\operatorname{tg}\alpha < 1$ , яъни  $\alpha < 45^\circ$  бўлади ва қабул қилиниши мумкин бўлган барча  $P$  дунёвий чизиқлар  $R_2$  текисликнинг  $a$  ва  $b$  тўғри чизиқлар билан чегараланган, штрихланган қисмида жойлашади.

$a$  ва  $b$  тўғри чизиқлар — электромагнит сигналларнинг, масалан ёруғлик сигналларининг дунёвий чизиқларидир. Бу сигналлар вақтнинг бошланғич онидан  $O$  нуқтадан юборилган. Агар бундай сигнал бирор муддатдан кейин  $x$  тўғри чизиқда ётган  $P^*$  нуқтага етиб келса, бу воқеа  $a$  (ёки  $b$ ) тўғри чизиқдаги  $P^*_1$  нуқта билан ифодаланади. Бунда  $P^*_1$  нуқта  $P^*$  нуқтанинг проекцияси бўлади.  $R_2$  нинг пастки штрихланган қисмида ўтмиш воқеалар, аниқроғини айтганда,  $O$  бошланишга нисбатан келажакдаги воқеалар тасвирланади. Штрихланмаган қисмда ётган  $Q$  нуқталарга эса  $O$  дан ҳеч қандай дунёвий чизиқ келмайди, яъни бу нуқталарга  $O$  дан ҳеч қандай моддий сигнал (зарралар ёки тўлқинлар) етиб келолмайди шу-

нинг учун  $Q$  ва  $P$  воқеалар ўзаро сабабий боғланишга эга эмас; уларнинг қайсисини қайси биридан олдин келишини аниқлаш мумкин эмас. Лекин бирор шароитда қандайдир иккита  $P_1$  ва  $P_2$  воқеанинг бири иккинчисидан олдинроқ юз берганлигини аниқлаш мумкин, бироқ улардан қайси бири сабаб бўла олади? Айтайлик, мазкур саноқ система-сида бу воқеалар орасидаги фазовий масофа  $s = x_2 - x_1$  га тенг, вақт оралиғи эса  $t = t_2 - t_1$  га тенг бўлсин. Агар  $P_1$  дан  $P_2$  га ёруғлик сигнали юборилса у  $P_2$  га етиб келиши учун  $\frac{s}{c}$  га тенг бўлган вақт керак бўлади. Бунда икки ҳол бўлиши мумкин. Биринчи ҳолда бу вақт  $P_1$  ва  $P_2$  воқеалар орасидаги вақт оралиғидан кичик, яъни  $\frac{s}{c} < t_2 - t_1$  бўлиши мумкин. Бу кундалик турмушда бўлиб турадиган воқеадир. Биз ( $P_2$  воқеа) узоқроқда (масалан, 200 метрга тенг бўлган  $s$  масофада) чироқ ёнганини ( $P_1$  воқеа) кўрдик. Равшанки,  $\frac{s}{c}$  вақт бу воқеалар орасидаги вақт оралиғидан кичик. Бинобарин бу ерда олдин чироқ ёқилганига ва бир оз муддат ўтгач, биз уни кўрганлигимизга ҳеч қандай шубҳа йўқ. Буни биз геометрик талқин қилганимизда  $P_1$  ва  $P_2$  воқеалар  $R_2$  нинг штрихланган қисмидаги  $P$  дунёвий чизиқ устида ётганлигини билдиради. Иккинчи ҳол эса қуйидагича бўлади.  $Q_1$  ва  $Q_2$  воқеалар орасидаги  $s$  масофа шунчалик каттаки, ёруғлик сигнали  $Q_1$  да  $Q_2$  гача етиб келиши учун талаб қилинадиган  $\frac{s}{c}$  вақт  $Q_1$  ва  $Q_2$  воқеалар орасидаги вақт оралиғидан катта бўлади, яъни  $\frac{s}{c} > t_2 - t_1$ . Бундай ҳоллар астрономияда учрайди. Ерга энг яқин жойлашган Центаврадан чиққан нур 4,26 йил ичида бизга етиб келади. Шу сабабли  $t_2 - t_1 = 4,26$  йил бўлган бу юлдуздаги  $Q_1$  воқеа амалда  $Q_2$  билан бир вақтда юз бериши равшандир (бунда  $t_2$  вақт  $Q_2$  воқеа содир бўлган вақтдир, яъни бизнинг кузатиш вақтимиз,  $t_1$  — юлдузда  $Q_1$  воқеа содир бўлган вақт. Саноқ системасини кўрсатмасдан туриб бу воқеалардан қайси бири олдин содир бўлганлигини айтиш мумкин эмас. Шунга ўхшаш квази бир вақтлилиқ  $Q_1$  ва  $Q_2$  воқеалар орасидаги масофа унчалик катта бўлмай, улар орасидаги  $t_2 - t_1$  вақт оралиғи ниҳоятда кичик бўлган ҳолларда ҳам учрайди. Бундай ҳоллар микродунёда учрайди. Квази

бир вақтлилик  $Q_1$  ва  $Q_2$  воқеаларнинг  $q$  дунёвий чизиғи  $R_2$  нинг штрихланмаган қисмида жойлашади.

Пировардида ўзимиз киритган чекланишлардан воз кечамиз ва тўғри чизиқ бўйича қилинадиган ҳаракатдан *Оху* текисликдаги ҳаракатга ўтамиз (12-расм). У ҳолда  $R_2$  нинг ўрнига биз уч ўлчовли  $R_3$  фазони муҳокама қилишимиз мумкин. Учинчи (мавҳум) ўқ  $u$  вақт ўқи бўлади,  $z$  ўқини эса олдингидай эътиборга олмаймиз. Тўғри бурчакли *Оху* координаталар системаси учун биз реал фазода модель яратишимиз мумкин, лекин бу моделнинг икки ўлчовли (аксонометрик) проекцияси ҳам маълум тасаввур беради. Уни муфассал тушунтириб ўтирмаймиз, аммо шуни айтишимиз керакки, энди текисликдаги штрихланган қисмнинг ўрнини ўқи  $u_3$  ўқидан



1 2-расм.

дан иборат бўлган, ташкил қилувчилари эса ёруғлик сигналларининг бошланишдан чиқадиغان дунёвий чизиқлардан иборат бўлган конуснинг ички қисми эгаллайди. Бу конус ёруғлик конуси деб аталади. Ниҳоят, яна «бир қадам қўйиб», ўзимизни Минковский дунёсида кўрамиз. Унда ёруғлик конусининг ўрнини ёруғлик ўтаконуси эгаллайди ( $R_4$  фазодаги уч ўлчовли ўтасирт). Бу ўтаконус  $Q$  бошланиш

билан салбий боғланган ўз ичидаги  $P$  воқеаларни  $Q$  бошланиш билан салбий боғланмаган ўзидан ташқар  $Q$  воқеалардан ажратиб туради.

Минковскийнинг тўрт ўлчовли дунёсининг умумий нисбийлик назариясида қўлланилишини китобнинг учинчи қисмида кўриб чиқамиз.

## НИСБИЙЛИК НАЗАРИЯСИНING ЖУМБОҚЛАРИ

## 23- §. Эгизаклар ҳақидаги жумбоқ\*

Узунлик, вақт, бир вақтlilik сингари асосий тушунчаларда «соғлом ақл» устидан кулган назария кўпинча бир қараганда кутилмаган натижаларга олиб келиши таажжубланарли эмас. Уларнинг баъзи бирлари ҳаттоки, жумбоқлар деб ном олган. Бундай жумбоқларни ечиш ишида Уилер, Мардер, нисбийлик назариясининг яратувчиси — Эйнштейннинг ўзи ва бошқа атоқли олимлар иштирок этди.

Биз ҳозир бу жумбоқлардан энг машҳурини — эгизаклар ҳақидаги жумбоқ ёки соатлар жумбоғини кўриб чиқамиз.

Масала қуйидаги қўйилади. Эгизакларнинг бири — ака ердаги ракетодромда қолади, иккинчиси эса юксак тезликларга эриша оладиган космик кемада олис юлдузга саёҳатга жўнади. Ерда қолган аканинг нуқтаи назаридан вақт тез ўтади, яъни, ўн, йигирма, ўттиз йил ўтади. Сочлари оқаради, кўзи хиралашади, қадди букилади, хуллас йиллар ўз ишини қилади. Ниҳоят у ўз укасининг қайтиб келаётганлигини эшитади. Космик кема ҳам кўриниб қолди, бир неча кундан сўнг у омон-эсон ерга қўнди. Ака-укалар ҳаяжон билан қучоқлашадилар. Аммо акасига укаси ўттиз йил илгари қандай бўлса, ҳозир ҳам худди шундай бўлиб кўринади: сочлари қоп-қора, қадди-қомати келишган. У деярли кексаймаган, эҳтимол бирор беш ёшларга улғайгандир, лекин ҳозир ўттиз йиллик айрилиқдан сўнг, у олдингидан ҳам ёшроқ кўринади. «Сўнгги беш йил ичида сен нима қилдинг?» — деб сўрайди космонавт акасидан. «Ҳеч нарса. Узинг кейинги ўттиз йил ичида нима қилдинг?» — деб сўрайди ака унга жавобан. Бундай ҳолинг бўлиши мумкинми? Биз мумкин, деб ўйлаймиз.

Буни амалга ошириш ниҳоятда қийин, балки ўта қийиндир, лекин қачонлардир бир кун эгизаклардан бирини етарлича катта тезликда учадиган космик кемада саёҳатга юборишга муваффақ бўла олсак, бу кемадаги

\* Л. Купер. «Физика для всех» китобидан.

соат (соат деганда ҳар қандай физикавий даврий жараёнлар, масалан, юракнинг уриши ва ҳоказолар тушунилади), Ерда қолган эгизакларнинг иккинчиси ака нуқтаи назаридан қараганда ердаги соатга нисбатан секинроқ юришига ишонамиз. Бунинг натижасида ерда қолган ака тезроқ кексади. Унинг укаси эса Ерга қайтиб келганда ёшроқ кўринади, чунки у ўзининг соатига кўра камроқ йил яшади. Қосмик кемадаги вақт оралиғи Ердаги вақт оралиғи билан қуйидаги формула орқали боғланади:

Қосмик кемадаги вақт оралиғи =  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  × (Ердаги вақт оралиғи).

Агар кеманинг  $v$  тезлиги  $0,99 c$  га тенг бўлса, у ҳолда

$$\sqrt{1 - v^2/c^2} \approx \frac{1}{7},$$

яъни Ердаги ўттиз йиллик вақт оралиғи космик кемадаги тўрт ярим йилга яқин вақт оралиғига эквивалент бўлади; бу эса Ердаги ака яшаган ўттиз йил вақт давомида космик кемадаги ука ҳаммаси бўлиб тўрт ярим ёшга улғаяр экан.

Биз юқоридагига ўхшаш деб ҳисобланадиган ҳолатларни кузатганимиз (масалан, бизга нисбатан ҳаракат қилаётган зарранинг ҳосил бўлиши ва парчланиши орасидаги вақт оралиғининг ортиши), шунинг учун Ерга қайтиб келган эгизак ука ўзининг эгизак акасидан ёшроқ бўлишига ишонишимиз мумкин.

Ердаги кузатувчи нуқтаи назаридан қараганда космик кемада саёҳат қилаётган эгизак ука ҳаракатдаги саноқ системасида жойлашган, унинг соати секинроқ юради. Шу сабабли, Ерга қайтиб келгунча ўтган вақт ичида космонавтнинг юраги камроқ уради ва натижада у ёшроқ кўринади. Лекин нима учун биз космик кемадаги ука нуқтаи назаридан қарамаймиз? У ўзини тинч турибман деб ўзига Ерни олдин узоқлашади кейин эса яқинлашади деб ҳисоблаши мумкин. Унда унинг фикрича, вақт Ерда секинлашиши керак, акасининг юраги эса камроқ уруши керак, яъни учрашишган вақтларида акаси ёшроқ бўлиши керак. Бу талқин тажриба маълумотларини изоҳлаш учун ҳар қандай саноқ системалари бир хилда қулай, деб даъво қилишини тақозо этади. Эйнштейн бундай талқинларни олға сурмаган эди, чунки у тажрибага хилоф келади.

«Фақат механикадагина эмас, балки электродинамикада ҳам ҳодисаларнинг ҳеч қандай хусусияти абсолют сокинлик тушунчасига тўғри келмайди ва ҳаттоки, бунинг устига улар механиканинг тенгламалари яроқли бўлган барча координаталар системалари учун ўша электродинамика ва оптика қонунлари ўринли, деган фаразга олиб келади».

Агар sanoқ системаларида Ньютон механикасининг қонунлари бажарилса, улар эквивалент ҳисобланади. Бироқ бу қонунлар барча координата системаларида ҳам бажарилавермайди.

Ньютоннинг биринчи қонунини кўриб чиқайлик. Жисмга кучлар таъсир қилмаса, у ўзининг тинч ёки тўғри чизиқли текис ҳаракатдаги ҳолатини сақлайди. Бу қонун ихтиёрий sanoқ системасида бажарилавермайди. Агар кўчанинг муюлишида туриб кузатаётганимизда жисм бир текис, яъни тўғри чизиқ бўйлаб ўзгармас тезлик билан ҳаракат қилаётган бўлса, биз кўчанинг бошқа томонида турсак ҳам, жисмдан тескари томонга қарасак ҳам, ёки уни иккала қўлимизда туриб кузатсак ҳам у барибир бизга нисбатан текис ҳаракат қилаверади. Ундан ташқари, агар биз ўзимиз кўчанинг муюлишига нисбатан бир текис ҳаракат қилсак ҳам, жисм бизга нисбатан текис ҳаракатда бўлади.

Бироқ, агар биз кўчанинг муюлишига нисбатан ўз ҳаракатимизни тезлаштирсак, гарчи жисмга ҳеч қандай куч таъсир қилмаган бўлса ҳам у ўзининг текис ҳаракатини ўзгартирганини тескари йўналишда тезлашганини кўрамиз. Бирорта кузатувчига нисбатан тинч турган жисмни кўз олдимизга келтирайлик. Агар биз бу жисмга томон йўналишда тезлашсак, бизнинг назаримизда жисм биз томонга тезланувчан ҳаракат билан яқинлашаётгандек туюлади. Агар биз жисмга кучлар таъсир қилмаётганлигини билсак, Ньютоннинг иккинчи қонуни асосида, гарчи унга кучлар таъсир қилмаётган бўлса ҳам, жисм ўзгарувчан ҳаракат қилаётганлиги сабабли жисмнинг ҳаракати биринчи қонунга бўйсунмайди деб қабул қилишга мажбур бўламиз. Бинобарин, ҳамма sanoқ системаларини эквивалент системалар деб ҳисоблаш мумкин эмас.

«Инерциал системалар» деб, Ньютон механикасининг қонунлари бажариладиган sanoқ системаларига айтилади. Ньютон динамикасининг мазмунини ифодалашнинг



усулларидан бири — Ньютон қонунлари бажариладиган шундай саноқ системасининг мавжудлигини тан олишдир. Бошқа барча саноқ системалари унга нисбатан текис ҳаракат қилади.

Эгизаклар ҳақидаги жумбоққа қўшимча қилиб шуни айтиш мумкинки, агар Ер ва ракета бир-бирига нисбатан текис ҳаракат қилса (айтайлик, космик кема мувозанатли тезлик билан кетаётганда), у ҳолда иккаласи ҳам инерциал бўлганлиги учун бу иккала система эквивалент бўлади. Бироқ, ракета Ерга қайтиб келиши учун аввал секинлашуви, тўхташи ва тескари томонга ҳаракат қила бошлаши лозим. (Космонавтнинг назарида Ер секинлашади ва тескари томонга қараб учади.) Ракета тормоқлана бошлаган пайтда у инерциал саноқ системаси бўлмай қолади, унда Ньютон механикасининг қонунлари бажарилмайди. Шу сабабли механикавий ва электродинамик қонунларга қўшимча тузатмалар киритмасдан туриб, биз бу жумбоқни космонавт нуқтаи назаридан муҳокама қилолмаймиз.

Бундай тузатмаларнинг зарурлиги кўриниб турибди: тормозланиш пайтида қўшимча кучлар пайдо бўлади. Бу кучлар маятникнинг тебраниш даврини ўзгартиради ва ҳоказо. Шу сабабли, амалда фақат ракета секинлашганлиги ва орқага қайтганлиги учун вақт оралиқларини инерциал саноқ системасида турган ердаги кузатувчи нуқтаи назаридан ҳисоблаш қулайроқдир. Агар биз бу вақт оралиқларини космонавт нуқтаи назаридан ҳисоблаб чиқмоқчи бўлсак, механика қонунларига зарур тузатмалар киритишимиз керак. Эгизаклар ҳақидаги мазкур жумбоқ биз барча саноқ системалари эквивалент ва ҳар қандай координаталар системасида ҳисоблашлар бир хил тарзда ўтказилиши керак деб ҳисоблаб, ҳаракатга жуда юқори симметрия беришимиз натижасида вужудга келади.

Нега бу жумбоқ ҳаттоки олимлар ўртасида ҳам баҳсларга сабаб бўлади? Бунинг асосий сабаби, бизнинг кундалик фикримизга сингиб кетган ва бир оннинг ўзида, «энди» деб аталадиган одатий тушунчалардир. Худди шунингдек, тунги осмондаги юлдузларни биз «ҳозир» нур таратиб турибди деб қабул қиламиз, аслида эса уларнинг кўпчилиги бу вақтда ўта янги юлдуз бўлиб портлаши ёки бутунлай сўниб кетиши мумкин.

Шуни айтиш мумкинки, катта тезликлар дунёси биз-

га келгуси юз йилликларни (ёки минг йилларни, бунинг ҳаммаси  $v$  нинг  $c$  га нисбатига боғлиқ) кўрсатиши мумкин, лекин ўтмишни эмас. Вақт ўқи манфий чексизликдан мусбат чексизликка қараб йўналган. Шунинг учун ўтмишга саёҳат қилиб биринчи динозаврни ёки биринчи маймунни ўлдириш биронта ҳам кишига насиб қилмайди. Эгизаклар ҳақидаги жумбоқ 1911 йилда француз олими — коммунист П. Ланжевен томонидан ечилди.

### СТЕРЖЕНЬ ЖУМБОҒИ

Қуйидаги хаёлий тажрибани кўрайлик. Абсолют қаттиқ стерженнинг  $A$  ва  $B$  учларига иккита соат ўрнатилган ва юришлари мосланган бўлсин. Агар стерженнинг  $A$  учига урсак, шу оннинг ўзидаёқ  $B$  учидан зарба пайдо бўлади. Биз оний сигналга эга бўлдик, яъни бу сигналнинг тезлиги чексиз катта, демак, ёруғлик тезлигидан ҳам катта. Бу ерда зиддият кўриниб турибди. Лекин тажрибада абсолют қаттиқ стержень ҳақида гап кетаётганлигини, табиатда эса бундай стержень йўқлигини — бу оддий идеаллаштириш эканлигини ҳисобга олсак, бу зиддият дарҳол йўқолади. Лауэ исбот қилганидек, ҳақиқатан ҳам стержень бўйлаб акустик тўлқин тарқалади ва табиийки, ёруғликни қувиб етолмайди. Бу мулоҳазалардан равшанки, махсус нисбийлик назарияси бўйича абсолют қаттиқ жисмлар мавжуд эмас, шунинг учун нореал объектлар билан ўтказилган тажрибаларнинг натижалари ҳақида гапиришнинг маъноси йўқ.

### 24- §. Дисперсия ва ёруғлик тезлиги

Эслатиб ўтайликки, жисмнинг синдириш коэффициенти деб, вакуумдаги ёруғлик тезлигининг шу жисмдаги ёруғлик тезлигига нисбатига айтилади. Аномал (нормал эмас) дисперсия ҳодисасида бу катталиқ 1 дан кичик, яъни жисмдаги ёруғлик тезлиги  $c$  дан катта. Лекин табиатда ёруғлик тезлиги энг катта тезлик деган эдик-ку?

Синдириш коэффициенти ҳақида гапирилганда фазавий тезлик кўзда тутилади. Агар бир текис синусоидал тўлқинлар бўлса, тўлқин тугуни (тўлқин тугуни — минимал амплитудага эга бўлган нуқта) шундай тезлик билан ҳаракат қиладики, бунда ҳақиқатан ҳам, унинг тезлиги ёруғликнинг вакуумдаги  $c$  тезлигидан катта

бўлади. Тўлқинларнинг бир текислиги бузилмагунча бу қоида бузилмайди. Лекин, агар биз сигнал юбориш учун бир текисликни бузсак, ҳамма ҳаракатимиз чипакка чиқади ва коэффициент ғалаёнланган тўлқинларнинг қандай усулда тарқалаётганлигини кўрсатмайди. Группавий тезликда ҳам аҳвол худди шундай. Бу тезлик сигнал тарқалишига боғлиқ бўлмайди.

Бу ерда Вавилов — Черенков эффектини эслаб ўтиш ҳам мумкин. Унинг мазмуни шундайки, гамма-нурлар билан нурлатилган суюқликнинг атомларидан ажралиб чиққан электронлар энергиянинг катта бўлагини ўзларига оладилар ва ўзларининг модда ичидаги (Черенков тажрибасида суюқлик) йўлида атомларни уйғотадилар, уйғонган атомлар эса ўз навбатида нур чиқара бошлайдилар. Лекин бу нурни биз фақат электроннинг тезлиги шу модда ичидаги ёруғлик тезлигидан катта бўлгандагина сезамиз.

Бу жумбоқнинг асл мазмуни ана шундай.

## 25- §. Янги тажрибалар, янги ғоялар

Хар қандай физикавий назария сингари, махсус нисбийлик назарияси ҳам тажрибага суянади ва ўз постулатларини тажрибада текширишга имкон беради. Эйнштейн ўзининг асосий постулатларини чиқаришда Максвелл тенгламаларининг Лоренц алмаштиришларига нисбатан инвариант бўлиши кераклиги ҳақидаги умумий талабларга асосланганлигига қарамай, назариянинг яратилиш давридаёқ Майкельсон тажрибаси, де Ситтер тажрибаси ва бошқа тажрибалар мавжуд эди.

Нисбийлик назарияси яратилгандан буён 70 йил ўтди. Бу вақт ичида ҳаракатдаги объектларда вақтнинг секинлашув эффектига асосланган жуда кўп тажрибалар ўтказилди. Улардан баъзи бирларини кўриб ўтамиз.

1. 1938 йилдан 1941 йилгача ўтган давр ичида Айвс ва Стилуэллнинг «кўндаланг» доплер—эффект (аниқроғи, иккинчи тартибли доплер-эффект) бўйича ўтказган тажрибаларининг натижалари босилиб чиқди. Классик назарияга кўра, оптикавий доплер эффект ёруғлик манбаи кузатувчи томонга ёки ундан тескари томонга ҳаракат қилаётган вақтда рўй беради (лекин уларнинг кўндаланг нисбий ҳаракатида эмас). Олимлар қуйидагича хаёлий тажриба қилиб кўрдилар: ёруғлик манбаи кузатувчининг кў-

риш чизигига перпендикуляр йўналишда ҳаракат қилмоқда. Классик тасаввурга кўра сигналлар кузатувчига етиб бо-риши учун доимо бир хил вақт керак, шунинг учун қа-бул қилиш частотаси чиқариш частотаси билан мос кела-ди. Бироқ махсус нисбийлик назариясининг ғоялари доира-сидаги мулоҳазалар бутунлай бошқача натижалар беради. Инерциал саноқ системасидаги кузатувчига нисбатан  $v$  тез-ликда кетаётган манба учун вақт  $\sqrt{1-v^2}$  марта секинла-шади ( $c=1$ ), кичик  $v$  лар учун эса кўпайтувчи  $1 - \frac{1}{2}v^2$  бўлади. Кўндаланг нисбий ҳаракат вақтида бу қабул қи-лиш частотасига таъсир қилувчи ягона фактордир. Спектр чизиқларининг спектрнинг қизил томонига силжиши ку-зитилиши керак. Бундай эффект *Допплернинг кўндаланг эффекти* деб аталди. Бу жуда заиф эффект, лекин уни канал нурларида сезиш мумкинлигини Эйнштейн ҳам айт-ган эди. Натижада Айвс ва Стилуэлл ҳаракатланаётган атом манбаининг частотаси  $(1 - v^2/c^2)^{1/2}$  кўпайтувчига ўз-гаради, деган хулосага келди. Бу тажриба соатларнинг юриш тезлиги сусайиши ҳақидаги релятивистик хулосани тасдиқлайди.

2. Тезлаткичларнинг пайдо бўлиши махсус нисбий-лик назариясининг натижаларини текшириб кўриш учун янги имкониятлар яратиб беради, чунки тезлаткичларда элементар зарралар ердаги масштабларга қараганда ниҳоятда катта тезликларга эга бўлади. Мисол тариқа-сида 1950 йилда Берклида (Калифорния) ўтказилган *Мартинелли ва Панофски* тажрибаларини кў-риб ўтамиз. Улар углероддан қилинган нишонни циклотрондан чиқаётган протонлар дастаси билан бом-бардимон қилиб, мезонлар ҳосил қилишди. Мусбат зар-рядланган мезонлар циклотроннинг магнит майдонида ҳаракат қилиб, уларнинг ўртача яшаш вақтини аниқлаш ҳар бир айланишдан кейин зарралар сонини ўлчашдан иборат. Инерциал саноқ системасида тинч турган ме-зонлар сони учун парчаланишни ҳарактерлайдиган қуйи-даги формула бор:

$$N = N_0 e^{-\frac{t}{T}},$$

бу ерда  $N$  — мезонларнинг  $t$  пайтдаги сони,  $T$  —  $\pi$  — мезонларнинг ўртача яшаш вақти,  $N_0$  — мезонларнинг  $t = 0$  пайтдаги сони.

Тажрибанинг мақсади  $T$  ни ўлчашдан иборат эди. Лекин тажриба давомида шу нарса маълум бўлдики, ҳар бир янги айланишдан сўнг мезонларнинг сони айланишни бошлаган мезонлар сонининг  $e^{-\frac{t_1'}{T}}$  қисмини ташкил қилади.

Бу ерда  $t_1'$  мезон «соатининг» хусусий вақти бўлиб, у  $t_1' = t\gamma$  экан, бунда  $\left[\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-v^2}}, (c=1)\right]$ . Агар  $\gamma < 1$  бўлса, бу тажрибада яққол кўринади. Худди шу нарса экспериментда кузатилди.

3. Мессбауэр томонидан 1958 йилда ядроларда  $\gamma$ -нурларнинг сочилиши эффекти очилгандан сўнг, яна бир имконият вужудга келди. Бу эффект экспериментал физиканинг энг ажойиб усулларидан бири бўлиб қолди. Бу кашфиёт натижасида ўзгармас частотали нурлар олиш имконияти пайдо бўлди. Эффектнинг мазмуни шундан иборатки, кристалл жисмга оид бўлган радиоактив ядро ўзидан  $\gamma$ -нур чиқарганда, агар тепки олишга кам энергия сарф қилинса, кристаллнинг панжараси ядронинг ҳаракат қилишига тўсқинлик қилади. Бундай ҳолда тепки импульси бутун кристаллга ўтади ва ажралиб чиққан энергиянинг ҳаммаси  $\gamma$ -нурларга берилади.

Вақтнинг секинлашишини текшириб кўриш учун Мессбауэр эффектидан икки хил усулда фойдаланиш мумкин: биринчисида унинг температурага боғлиқлиги ҳисобга олинади, иккинчиси эса кўндаланг Допплер-эффект билан боғлиқ.

Температура эффекти қуйидагиларни олдиндан айтиб беради. Агар  $\gamma$ -нурлар манбаи ва ютувчиси мавжуд бўлиб, уларнинг температураси ҳар хил бўлса, илиқроқ манба учун частота  $\frac{\Delta\nu}{\nu_0} = 2 \cdot 10^{-15}$  катталиқка фарқ қилади (бу ерда  $\nu_0$  — частота,  $\Delta\nu$  унинг ўзгариши). Бу ифодадан илиқ жисм кичикроқ частотага эга бўлиши, яъни *секинлашув* юз бериши кўриниб турибди.

Допплернинг кўндаланг эффекти қуйидаги тажрибада кузатилди. Манба сифатида кобальтдан ясалган лента олиниб, ўққа ўралди. Ютувчи лента эса ҳалқасимон манба билан концентрик бўлган, диаметри каттароқ ҳалқа эди. Сўнгра манба жойлаштирилган ўқ айлантирилди. Бу манбанинг ҳам, ютувчининг ҳам частотасини камайтирди. Лекин бу камайиш ҳар хил даражада бўл-

ди, чунки уларнинг чизиқли тезликлари ҳар хил эди. Бу тажриба тез ҳаракат қилаётган системадаги соатнинг секинлашувига асосланган ҳисобларга яқин натижа берди.

4. Энергия ва импульснинг сақланиш қонунини элементар зарраларнинг тўқнашувлари жараёнида текшириб кўриш жуда қулайдир. Агар учиб кетаётган зарранинг массаси унинг тинчликдаги массасига тенг бўлган қўзғалмас зарра — нишонга келиб урилса, энергия ва импульснинг сақланиш қонунига кўра, тўқнашишдан сўнг зарралар ўткир бурчак остида учиб кетади. (Бурчак бомбардимон қилувчи зарранинг тезлигига тескари пропорционал.) Лекин норелятивистик механика бўйича тўқнашишдаги тезликдан қатъи назар, бу бурчак аниқ  $90^\circ$  га тенг бўлиши керак. Бу сингари тажрибалар элементар зарралар физикасига хос бўлиб, уларнинг ҳаммаси релятивистик формулаларга яхши мос келади.

## 26- §. Тахионлар масаласи

Энди биз тахионлар вакуумда ёруғлик тезлигидан тезроқ ҳаракат қилувчи зарралар — масаласини кўриб чиқамиз. Бундай зарраларга бағишланган ишлар атрофида кўтарилган шов-шувнинг сабаби шундаки, махсус нисбийлик назарияси бу каби ҳаракатнинг бўлишини қатъиян тақиқлайди деган тушунча бизга сингиб кетган. Бундай тақиқлашлар Эйнштейн номи билан ҳимоя қилинади. Лекин у 1907 йилдаги ҳар ишида  $v > c$  имкониятни муҳокама қилатуриб, бу соф мантиққа зид эмаслигини, бироқ бу ҳол оқибат сабабдан олдин келадиган аҳволни вужудга келтиришини айтиб ўтган эди. Бу — умуминсоният тажрибасига зид бўлганлиги учун  $v > c$  тенгсизлик йўқотилган эди.

Ёруғлик тезлигидан тез ҳаракатлар назариясини 1967 йилда ёзган мақоласида мавҳум массага ва ёруғлик тезлигидан катта тезликка эга бўлган зарралар учун «тахион» деган терминни киритган америкалик назарийчи — физик Д. Фейнбергнинг номи билан боғлашади. Бироқ, 50-йиллардан бошлаб Блохинцев, Қиржниц, Гинзбург, Танака ва бошқа олимларнинг ишларида бу муаммога бағишланган талайгина натижалар бор эди.

Агар махсус нисбийлик назариясида ёруғлик тезлиги барча ифодаларда  $\left[1 - \frac{v^2}{c^2}\right]^{\frac{1}{2}}$  катталиқ сифатида намоён бўлишини ҳисобга олсак, тахион деб номланган зарраларда масса ва энергия пайдо бўлиш шароитлари каби характеристикалар бўйича жуда қизиқ хоссалар кутиш мумкин. Энергия ва масса ҳақиқий бўлиши (мавҳум бўлмаслиги) лозимлигидан Тахионнинг тинчликдаги массасининг мавҳумлигидан унинг тезликка қуйидагича боғлиқ эканлиги келиб чиқади:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{v^2/c^2 - 1}},$$

бу ерда  $m$ —тинчликдаги массасининг абсолют қиймати. Тахионлар ҳамиша  $c$  дан катта тезликларда ҳаракат қилганликлари учун уларнинг тинчликдаги массаси кузатиб бўлмайдиган катталиқдир ва унинг мавҳумлиги аччиқ кулгига сабаб бўлмаслиги керак. Тахионлар жуда қизиқ энергиявий хусусиятга эга, баъзи бир кузатувчилар учун уларнинг энергияси манфий бўлади. Бу ерда тахионлар мавжудлигининг тарафдорлари қуйидаги қарорга келдилар. Манфий энергияли зарралар мусбат энергияли зарраларнинг ўзи бўлиб, фақатгина улардаги барча жараёнларда вақтнинг йўналиши тескарисидир.

Тахионларнинг мавжудлигига билдириладиган асосий эътироз сабабият принципнинг бузилиши билан боғланган, яъни  $v > c$  бўлганда оқибат сабабдан олдин келади. Тахионлар мавжудлигини ҳимоя қиладиган кўпдан-кўп далиллар бўлса ҳам, лекин муаммо ҳозирча ечилиш даражасидан узоқда. Тахионларни қидириш вақтида шу фактни ҳисобга олиш керакки, секинлашганда «нормал» зарралар энергия йўқотса, тахионларнинг энергияси эса ортади. Стокгольмдаги Нобель институтида 1963—1965 йилларда бир қанча тажрибалар ўтказилди. Т. Альвагер ва П. Эрман тулийнинг  $\beta$ - парчаланиши вақтида тахионларни ажратиб олишга уриниб кўрдилар. Лекин натижа салбий бўлди. Шунга қарамасдан, бундай тажрибаларнинг ҳар қандай натижаси табиатни билиш ва бўйсундиришга хизмат қилади.

## 27- §. Иккинчи қисмга умумий хулосалар

1. Ўз вақтида хусусий нисбийлик назариясининг ёруғлик тезлигини тинч турган кузатувчи ўлчаётганлиги

ёки ҳаракатдаги кузатувчи ўлчаётганлигидан қатъи назар, у бир хил қийматга эга эканлиги ҳақидаги хулосасига ишониш жуда қийин бўлган эди. Кузатувчига томон ҳаракат қилаётган манбадан чиқаётган ёруғликнинг тезлиги тинч турган манбадан ёки ҳаттоки, кузатувчидан узоқлашаётган манбадан чиқаётган ёруғликнинг тезлиги билан бир хил эканлиги айниқса сирли туюлар эди. Бу фактнинг иккинчи ифодаси шундан иборатки, ёруғлик тезлиги табиатдаги энг сўнгги тезликдир; бошқа ҳар қандай тезликнинг (масалан, манба тезлигининг) унга қўшилиши унинг қийматини ўзгартирмайди. Бўш фазодаги ёруғлик тезлиги барча йўналишларда бир хил катталиқка эга эканлигини тушуниш қийин эмас, бу фазонинг изотроп эканлигининг натижасидир. Агар ёруғлик тезлиги кузатувчининг ёки манбанинг тезлигига боғлиқ бўлганида эди, абсолют тинч турган системани топиш мумкин бўлиб, бизнинг дунёмиз Ньютон тасаввур қилганидек, барча физикавий ҳодисалар рўй берадиган каттакон бўш қутидан иборат бўлар эди. Худди шундай қутини Ньютон фазо деб атаган эди.

Лекин бу ҳолда Максвелл тенгламалари ўринсиз бўлиши керак эди, чунки бизга маълум бўлган системалардан ҳеч қайсини тинч турган система деб ҳисоблай олмаймиз. Максвелл тенгламаларига кўра эса электромагнит тўлқинларнинг тарқалиш тезлиги  $c$  га тенг ва бу исталган кузатувчи учун ўринли.

2. Ньютон ва Галилейнинг норелятивистик, классик физикасида фазовий масофа (моддий жисмнинг узунлиги) ва давомийлик (воқеалар орасидаги вақт оралиғи) абсолют катталиқлар деб, яъни улар саноқ системасига боғлиқ эмас деб ҳисобланар эди. Энди эса узунлик ва давомийлик нисбий тушунчалардир, улар жисмнинг ёки жараённинг саноқ системасига нисбатан қандай муносабатда бўлишига боғлиқ. Лекин Лоренцнинг алмаштириш формулаларидан келиб чиқадики бу релятивистик эффектларни — узунликларнинг ҳаракат йўналишида қисқариши ва вақт ўтишининг секинлашувини фақатгина  $v$  тезлик ёруғлик тезлиги  $c$  га яқин бўлган ҳолларда, яъни жуда катта тезликлар соҳасидагина ҳисобга олишга тўғри келади. Бундай тезликлар эса фақат микродунёда ва шунингдек, космосда учрайди. Агар  $v$  тезлик ёруғлик тезлиги  $c$  га нисбатан кичик бўлса (ҳаттоки,  $333 \text{ м/сек}$  бўлган товуш тезлигидан икки барвар тезроқ



учадиган самолётнинг тезлиги ҳам шундай кичик тезликлар қаторига киради),  $v^2/c^2$  катталикларни ҳисобга олмаса ҳам бўлади. У ҳолда Лоренц алмаштириш формулалари:  $x' = x - vt$ ,  $y' = y$ ,  $z' = z$ ,  $t' = t$  Галилей алмаштириш формулаларига ўтади, бошқача айтганда, узунликлар сезиларли равишда қисқармайди, вақтнинг ўтиши сезиларли даражада сусаймайди. Лоренц формулаларидан келиб чиқадики,  $v$  тезлик ортиб, миқдор жиҳатидан  $c$  тезликка интилганда формула махражидаги квадрат илдиз нолга интилади ва демак,  $x'$  ва  $t'$  қийматлар чексизликка интилади. Бошқача қилиб айтганда, моддий жисм  $c$  тезликка ҳеч қачон эриша олмайди. У энергия тарқалишининг сўнгги тезлигидир.

3. Классик физикада ўзаро таъсирларнинг тарқалиш тезлиги чексиз бўлиши мумкин эди. Қизиқ, агар ёруғлик тезлиги ҳақиқатан ҳам чексиз катта бўлганида, физика қонунлари қандай бўлиши мумкин эди? Гап фақат механика устида кетса, биз Ньютон тенгламаларигагина эга бўламиз. Бу тенгламалардаги кучлар фақатгина зарраларнинг вақтнинг бир оқидаги координаталарига (ва тезликларига) боғлиқ. Лекин электродинамика тенгламаларида  $c$  ни чексизликка тенг деб уриниб кўришимиз биланоқ вақтга боғлиқ бўлган барча эффектлар йўқолади — тоқлар йўқолади, нурланишлар йўқолади ва фақат Кулон қонунига қолади, холос. Ҳеч қандай усул билан жисмларнинг мавжудлигини ҳам, улар орасида юз бераётган физикавий жараёнлар манзарасини ҳам изоҳлаб бўлмайди. Бундай назарияда дунё ҳаракатдан маҳрум, ўлик бўлади. Албатта, классик физика доирасида ёруғлик тезлигини чекли деб ҳисоблаб ҳам дунёни тасвирлашга уриниб кўриш мумкин. Лекин бу ҳолда ҳам назариянинг аҳволи оғир бўлади. Бу назарияга кўра тез ҳаракат қилаётган жисмнинг атомлари орасидаги ўзаро таъсир жисмдан ортда қолади (агар ўзаро таъсирнинг узатилиш тезлиги жисмнинг ҳаракат тезлигидан кичик бўлса) ва жисм сўзсиз емирилади.

Физикада сабабият принципи мавжуд бўлиб, уни оддийроқ қилиб қуйидагича таърифлаш мумкин. Ўзаро таъсир шундай узатилиши керакки, ҳар қандай жисм бирор объектнинг ҳаракат ҳолатидаги ўзгаришини бу ўзгариш содир бўлган ондан кейин сезсин. Бу принцип ҳар қандай кузатувчи нуқтаи назаридан қараганда ҳам ўринли бўлиши керак: биронта ҳам кузатувчи оқибатни

сабадан олдин кўриши мумкин эмас! Маълум бўлишича, бу принцип ёруғлик тезлигидан катта бўлган тезлик тақиқланган ҳолдагина бажарилар экан. Чекли тезлиkning мавжудлиги ҳозирги замон физикаси учун фавқуллодда муҳим экан.

4. Юқорида ҳикоя қилинганлардан кўриниб турибдики, нисбийлик назарияси алоҳида тажриба фактлари орасидаги сохта зиддиятларни йўқотишдан ташқари, бизнинг фазо ва вақт ҳақидаги тасаввурларимизни бутунлай қайтадан кўришга олиб келган мукамал системадан иборат. Бундан ташқари у

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ ва } E = mc^2$$

муносабатлар орқали ифодаланадиган иккита муҳим янги натижага олиб келади. Бу муносабатлар айниқса ядро физикасида катта самаралар берди, чунки улар жуда катта тезликлар ва жуда катта миқдордаги элементар энергия порцияларини ифодалайди. Нисбийлик назарияси билан юзаки танишиш бизнинг барча физикавий тушунчаларимиз ўзининг реаллик хусусиятини йўқотади, улар нисбий бўлганлиги учун ҳар хил кузатувчилар томонидан ҳар хил таҳлил қилинади ва улардан бирортасини танлаб олиш мумкин эмас, деган хулосага олиб келиши мумкин. Бундай хулоса бутунлай нотўғри. Қиёслаб айтиш мумкинки, декарт координаталар системасини қандай танлашга боғлиқ равишда  $x$ ,  $y$ ,  $z$  координаталарнинг сон қиймати ўзгариши мумкин. Аммо бу нарса фазовий катталикларни нормал деб ҳисоблашга асос бўлмайди-ку! Бу координата кесмаларининг ҳар бири нисбий характерга эга бўлса ҳам, икки нуқта орасидаги масофа узунлик мазмунига эга эканлигини ва бу узунлик (интервал) реал катталик эканлигини инкор қилолмайди. Чунки

$$\begin{aligned} \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} &= \\ &= \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2} \end{aligned}$$

ифодага тенг бўлган бу узунлик координаталарни танлашга боғлиқ эмас, унга нисбатан инвариантдир. Бу реал узунлиkning фақат ташкил этувчиларигина нисбийдир. Худди шунинг сингари, нисбийлик назариясида

ҳам вақт ва узунликнинг нисбийлик характери бирор физикавий катталиқнинг алоҳида ташкил этувчиларининг нисбийлигини ифодалайди, холос. Бу катталиқ координаталар системасининг танланишига боғлиқ бўлмаган ҳолда бутунлай реал мазмунга эга. Биз ўзимизнинг геометрик қиёслаш усулимиздан фойдаланиб, бу физикавий катталиқнинг мазмунини қуйидагича аниқлашимиз мумкин. Фазода нуқтанинг ҳолати учта  $x$ ,  $y$ ,  $z$  координаталарнинг бирлашмаси орқали ифодаланади, икки нуқта орасидаги масофа қиймати эса координаталар системасининг танланиш усулига боғлиқ бўлмаган объектив узунликдир. Физикада воқеа реалликка эга, бу воқеани аниқлаш учун ўрин ва вақт, яъни тўртта  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $t$  координаталар (дунёвий нуқта) берилган бўлиши керак. Икки воқеа орасидаги масофа, яъни «интервал» ҳам реал мазмунга эга. Интервал деб аталадиган бу катталиқ объектив қийматга эга, чунки у координаталар системасининг танланишига боғлиқ эмас. У инвариант катталиқдир.

### III ҚИСМ. УМУМИЙ НИСБИЙЛИК НАЗАРИЯСИ

#### VIII боб

#### ЭЙНШТЕЙННИНГ УМУМИЙ НИСБИЙЛИК НАЗАРИЯСИ

##### 28-§. Инсон идрокининг улкан ғалабаси

Эйнштейн томонидан умумий нисбийлик назариясининг яратилиши — инсон идроки эришган улкан ғалабадир. Умумий нисбийлик назарияси билан боғлиқ бўлган ҳол физиканинг тараққиёти тарихида ўзига хос ягона воқеа бўлди. Ҳеч қандай фактлар янги назария ҳақида ўйлашга мажбур қилмас эди. Ҳамма нарса ўз йўли билан борар, ҳамма нарса очиқ-ойдин, табиий эди. Бу ҳол дунёда фақат биргина кишига — Альберт Эйнштейнгагина очиқ-ойдин эмасдек кўринар эди. У барчага очиқ-ойдин бўлиб кўринган нарсалар устида мулоҳаза юритиб, ҳамма физикавий назариялар ичида энг чуқур ва муҳим назария яратди.

Эйнштейннинг мулоҳазалари устида ўйлаб кўрайлик. Барча жисмларга олам тортишиш кучи таъсир қилади. Натижада барча жисмлар ерга тушаётиб, массаларига боғлиқ бўлмаган тезланишга —  $g$ -эркин тушиш тезланишига эга бўлади. Нима учун шундай эканлиги мактабдаёқ ўрганилади. Ньютоннинг иккинчи қонунига кўра, жисмнинг ҳар қандай куч таъсирида олган тезланиши шу кучнинг катталигига тўғри ва жисмнинг массасига тескари пропорционал. Олам тортишиш кучининг катталиги эса Ньютон қонунига кўра, жисм массасига пропорционалдир. Шунинг учун масса камаяди, эркин тушиш тезланиши эса чанг заррасидан тортиб тегирмон тошигача, яъни ҳамма жисмлар учун бир хилдир — бу Галилей аниқлаган қонундир.

Эйнштейн бу келтирилган мулоҳазаларда қандайдир тушунмовчилик борлигини пайқади. У Ньютоннинг иккинчи қонунига кирадиган масса билан Ньютоннинг

олам тортишиш қонунига кирадиган масса, аслини олганда, иккита ҳар хил масса эканлигига эътибор берди.

Биринчи масса жисмнинг «инерция ўлчамини» бу жисм ташқи таъсирга қанчалик «сезгир» эканлигини аниқлайди, бошқача айтганда, жисмнинг ташқи таъсирга нисбатан қандайдир ички хусусиятини белгилайди. Иккинчи масса жисмнинг «гравитационлик» ўлчамини: у бошқа жисмлар билан қанчалик кучли таъсирлашишини, масалан, иккита бир хил жисмнинг гравитацион ўзаро таъсири қанчалик катта эканлигини ифодалайди.

Демак, ҳеч қандай масса камайиши ҳақида гап ҳам бўлиши мумкин эмас экан. Бинобарин эркин тушиш тезланишининг доимийлиги Ньютоннинг икки қонунининг натижаси бўлмасдан балки бутунлай мустақил янги физикавий қонун экан. Иккала масса ҳам «камаймайди» балки бу қонунга биноан, бир-бирига мос келади. Бироқ бу массалар барча жисмларнинг характеристикасини белгилайдиган асосий, энг муҳим катталиклардандир. Наҳотки, уларнинг  $10^{-10}$  гача нисбий аниқлик билан бир-бирига мос келиши табиатнинг оддийгина ҳазили бўлса?

Агар бу ҳазил бўлмасдан, физиканинг туб қонуни бўлса-чи? У ҳолда бу биргина қонунга асосланиб, балки олам тортишиш назариясини яратиш мумкиндир? Лекин бунчалик оғир муаммони ечишни Ер юзида ҳали ҳеч ким ўз олдига мақсад қилиб қўймаган эди.

Шундай қилиб, Эйнштейн аниқ-равшан мулоҳазалар тимсолида янги қонунни кўрди ва уни физиканинг энг туб қонунларидан бири деб қабул қилди. Лекин энди нима қилиш керак? Назарияни нимага асосланиб тузиш керак?

Олам тортишиш кучларининг асосий хусусияти — улар вужудга келтирадиган тезланиш барча жисмлар учун доимий эканлигидир. Шундай савол туғилади: қачон тезланиш жисм массасига боғлиқ бўлмайди? Бу саволга бериладиган жавоб қанчалик оддий бўлса, шунчалик кутилмагандир: бу тезланиш «сохта» бўлса, амалда барча жисмлар тинч турган ёки текис ҳаракат қилаётган бўлади. «Кузатувчи»нинг ўзи тезланувчан ҳаракат қилаётган бўлсагина шундай ҳодиса кузатилади.

Масалан, Ернинг ўз ўқи атрофида айланиши туфайли биз бутун осмон гумбазининг суткалик айланишини,

барча сон-саноксиз юлдузлар учун бутунлай бир хил бўлган айланишни кузатамиз.

Тортишиш майдоидаги жисмларнинг ҳаракати, бу жисмларга нисбатан тезланиш билан ҳаракат қилаётган кузатувчининг «нуқтаи назари»дан қараганда тортишиш майдони бўлмаган ҳолдаги сингари ҳолат юз беради! Эйнштейннинг машҳур эквивалентлик принципи ана шундан иборат. (Албатта, «кузатувчи» тушунчаси тушунтириш осон бўлиши учун керак.)

Умумий нисбийлик назарияси ажабланарли даражада табиатни, кўпдан-кўп осмон механикаси, астрофизика ва оламшумул аҳамият касб этувчи ҳодисаларни ўз ичига олади.

Махсус нисбийлик назарияси Ньютон классик механикаси ва янги электродинамика масалалари орасидаги қарама-қаршиликларни ҳал қилиш натижасида пайдо бўлди. Умумий нисбийлик назариясини Эйнштейн махсус нисбийлик назариясини яратгандан кейин, фақатгина гравитацион ва инерт массаларнинг эквивалентлик принципи асосида яратди.

## 29- §. Ньютон механикаси. Инерция кучлари

Энди Ньютон механикасида *та* га тенг бўлган инерция кучи қандай табиатга эга эканлиги устида тўхтаб ўтайлик. Бунда *a* — инерциал координата системасига нисбатан тезланиш. Бу куч реалми ёки сохтами? Инерция кучлари ҳақидаги саволлардагидек чалкашликка эга бўлган бошқа бирор мисол кўрсатиш қийин.

Урта мактаб программаларининг кўп вариантларида инерция кучлари ҳақида тушунча умуман йўқ. «Инерция» сўзи фақат инерциал координата системаси ҳақидаги тушунча тушунтирилганда кўшимча сўз сифатида киритилади. Инерция кучлари реалдир, улар мавжуд, уларни ўлчаш мумкин, улар физикавий ва биологик таъсирлар кўрсатади, бундан ташқари яна ўз табиати бўйича, улар гравитацион кучлардан фарқ қилмайди ва тезланиш билан ҳаракатланувчи жисмларга оғирлик кучи каби таъсир қилади. Уқтириб ўтамизки, инерция кучлари боғланишларга эмас, балки кучлар каби жисмларнинг ўзига таъсир қилади. Бу қонун асосан, кучнинг ўлчами — унинг жисмларга берадиган тезланишидир. Агар бирор катталиқдаги куч ҳар хил жисмларга бир хил тез-

ланиш берса, бу жисмлар бир хил массага эга дейилади. Жисмнинг массаси жисмга қандай кучлар ва қай вақтда таъсир қилишига боғлиқ эмас. Бу аниқ кўриниб турган ҳақиқат бўлмай, тажриба маълумотларини умумлаштириш натижасида келиб чиқади. Биламизки, жисм ҳаракатланаётганда массасининг ўзгармаслиги унча катта бўлмаган тезликлар учун тўғри бўлган тақрибий қонундир. Еруғлик тезлигига яқин тезликларда бу қонун бажарилмайди.

Инерциал системалардаги тезланишлар фақат жисмларнинг ўзаро таъсири натижасидагина вужудга келмайди. Агар системанинг инерциаллиги натижасида ҳосил бўлган тезланишни жисм массасига кўпайтирсак, инерция кучининг катталигига эга бўламиз.

Биз инерция кучи билан темир йўл вағони ичидаги ўзаро таъсир кучи орасидаги фарқни сеза оламиз. Вагон деворларига иккита бир хил пружина билан иккита — катта ва кичик шарлар осиб қўйилган бўлсин. Агар пружиналарни бир хил узунликкача чўзиб, қўйиб юборсак шарларнинг тезланишлари уларнинг массаларига тескари пропорционал бўлади. Лекин ўша икки шар деворга илинмаган бўлса, поезд тўсатдан юрганида ёки тўхтаганида улар бир хил тезланиш олади. Инерция кучларининг ўзаро таъсир кучларидан асосий тафовути ана шундадир. Бироқ, массаларидан қатъи назар, барча жисмларга бутунлай бир хил тезланиш берувчи ўзаро таъсир кучи ҳам мавжуд. Бу гравитация — жисмларнинг ерга тортилиш кучидир.

Оғирлик кучининг бу ажойиб ва ҳеч ким тушунтиролмаган хусусиятини Пиза шаҳридаги (Италияда) эгилган минора тепасидан жисмларнинг тушишини ўрганган Галилей, биринчи марта тажрибада аниқлади. Эластиклик, электр, магнит кучлари, ҳар хил муҳитларнинг жисмлар ҳаракатига қаршилиги каби бошқа ўзаро таъсир кучларининг ҳеч бири бундай хусусиятга эга эмас.

Инерция кучларининг табиати, кўриб ўтганимиздек, умумий нисбийлик назариясида «эквивалентлик принципи»нинг асосини ташкил қилади ва ундан техникада машина деталларининг мустаҳкамлигини ва бошқа жуда кўп нарсаларни ҳисоблашда фойдаланилади. Техникада инерция кучлари ва оғирлик кучининг муҳимлиги туфайли уларга етарлича эътибор билан тенг ҳуқуқли кучлар деб қаралади.

Қосмонавтларнинг космик фазодаги учишида вазнсизликка сабаб—космик траектория бўйлаб тезланиш билан ҳаракат қилинганда оғирлик кучлари ва инерция кучларининг тўлиқ тенглашганлигидир. Қосмонавтлар фақат ер атрофидаги траектория бўйлаб учгандагина эмас, балки умуман космик фазода планеталараро исталган учишида ҳам вазнсизлик ҳолатида бўлиши мумкин.

Инерция кучлари ҳақидаги нуқтаи назарларнинг ҳар хиллиги осонгина йўқотилмайди, чунки бу фарқ аниқ, равшан кўзга кўринарли даражада бирор зарар келтирмайди. Гап шундаки, Ньютон механикаси бўйича ҳисоблашларда ҳамма кишилар математик нуқтаи назардан бутунлай тенг ҳуқуқли бўлган ва қуйидаги кўринишларда ёзилган бир хил тенгламалардан фойдаланадилар:

$$\bar{F} = ma \text{ ва } \bar{F} + (-ma) = 0.$$

Эркин тушишда ёки космик фазодаги ҳаракатда тўлиқ бир-бирига мувозанатлашган тортишиш кучларини ва инерция кучларини йўқ қилиб юборадиган ҳеч қандай куч йўқ деб қараш мумкин. Умумий нисбийлик назариясида бу нуқтаи назар физика асосига қўйилган.

### 30-§. Тортишиш ва инерция кучларининг ўхшашлиги

Тортишиш кучининг инерция кучига ўхшашлиги — улар томонидан жисмга бериладиган тезланишларнинг жисм массасига боғлиқ бўлмаслиги — классик механиканинг умумлаштирилган ва Эйнштейннинг умумий нисбийлик назарияси деб аталадиган умумлашмасининг калитидир.

Биз вагон лабораториямизда инерция кучлари ва тортишиш кучларини бир-биридан ажратиб бўлмайдиган шароит ҳосил қилишимиз мумкин. Агар ёпиқ вагон горизонтал темир йўл полотносида ўзгармас тезланиш билан ҳаракатланса, унинг шифтига осиб қўйилган юк перронда вертикал деб ҳисобланадиган йўналишдан четлашади. Вагон тоққа ўзгармас тезлик билан кўтарилаётганда вагондаги барча предметлар қандай ҳолатда бўлса, у ҳам худди шундай ҳолатда бўлади. Бу ҳолда оғирлик кучи ҳақиқий оғирлик кучи билан горизонтал полотнода тезланиш билан ҳаракатланаётган вагондаги инерция кучининг йиғиндисидан иборат бўлади. Иккала ҳолда ҳам барча предметлар бир хил тезланиш олади.



лар. Шунинг учун, вагон ичида фақатгина тарозидан фойдаланиб ва тортишиш кучининг ҳақиқий қийматини билмай туриб биз оламда нима бўлаётганлигини: вагон текис ҳаракат қилиб юқорига кўтарилаётганини ҳам, ёки горизонтал йўналишда тезланувчан ҳаракат қилаётганини ҳам билолмаймиз.

Агар жисмлар ҳаракатини инерция системаларда кўрсак, табиат қонунлари бир хилда ифодаланади, Галилейнинг релятивистик принципининг мазмуни шундадир. Бу принципни Эйнштейн махсус нисбийлик назариясида электромагнит ҳодисаларга ҳам қўллади. Бизнинг вагонимизга ўхшаш етарли даражада кичик ҳажмда инерция кучлари билан тортишиш кучларининг ўхшашлиги Эйнштейнга умумлаштиришни кенгайтириш имконини берди. Шунинг учун ҳам агар оғирлик кучи билан инерция кучларини айний деб ҳисобласак, у ҳолда ҳаракат қонунлари ҳам инерциал ва ноинерциал саноқ системаларида бир хилда ифодаланади. Бу ерда энди умумий нисбийлик назарияси бошланади, унинг учун кучларнинг ҳар қандай исталганча кичик ҳажмда ўхшаш бўлиши етарлидир.

Оғирлик кучлари билан инерция кучлари орасида тўла ўхшашлик йўқ. Айланаётган жисм мисолида биз айланиш ўқидан узоқлашганимиз сари марказдан қочма инерция кучи ортиб боришини кўришимиз мумкин. Оғирлик кучи учун модда билан тўлдирилмаган фазода унинг координатларга бундай боғлиқлигига эришиб бўлмайди.

Инерциал ҳаракат қилувчи системалар массаси исталганча катта бўлиши мумкин. Маълум қандайдир массалар ҳаракати инерциаллигининг бузилиши бошқа физикавий табиатга эга бўлган кучларнинг, масалан, электромагнит кучларнинг таъсирини ҳисобга олганда бўлиши мумкин. Ер сиртидаги тинч координата системаси пастга тушувчи лифтга нисбатан тезланиш билан ҳаракат қилади. Ерга нисбатан тинч турган жисмларнинг тушувчи лифтга нисбатан тезланиш билан қилган ҳаракатидаги инерция кучи оғирлик кучи экан. Ерга нисбатан тинч турган жисмларнинг оғирлик кучлари Ер координата системасида, ўз навбатида, бошқа табиатга эга бўлган кучлар билан мувозанатлашади.

Умуман олганда, гравитацион майдон ва бизнинг физикавий фазо коинотнинг бутун ҳамма массасининг ҳаракати ва ўзаро жойлашиши билан аниқланади. Фазо-

нинг ясталган нуқтасига маҳаллий инерциал декарт координатасини киритиш мумкин; бу координата системасига нисбатан маълум йўналишга эга бўлган ҳаракатлар инерция кучларини туғдиради, бу кучлар Ер ёки планета ва юлдузлар сиртида тортишиш кучи сифатида юзага келади. Бу ҳолларда Ер, планета ва юлдузларнинг массалари асосий аҳамиятга эга. Шунинг учун биз Ерга тегишли, планетага тегишли ёки юлдузларга тегишли тортишиш кучлари ҳақида гапирамиз. Умумий нисбийлик назариясида «тинч» юлдузларга бириктирилган координата системаси Ер яқинида инерциал эмас, инерциал система эса Ерга нисбатан тезланиш билан ҳаракат қилади, у система тушувчи лифт билан ёки космонавт кабинаси билан бириктирилган бўлиши мумкин, ваҳоланки, айнан шундай системаларда вазнсизлик ўринли бўлади.

Амалий нуқтаи назардан инерция кучларини муҳокама қилишда фақат бу кучларнинг мавжудлигини билиш муҳимдир, бироқ назарияда бу кучларнинг манбаи нима?—деган қизиқ савол туғилади.

Ньютоннинг учинчи қонунига биноан ҳар қандай таъсирни ўзаро таъсир сифатида қараш керак. Таъсир ва акс таъсир кучлари ҳамма вақт мавжуд, катталиклари бўйича тенг, йўналишлари бўйича қарама-қарши.

Тортишиш кучлари ва инерция кучларининг манбаи физикавий фазонинг гравитацион майдонидир, бу майдон эса ўз навбатида масса тақсимланиши, энергия тақсимоти ва умуман электромагнит майдон тақсимоти билан боғлиқ. Кундалик ҳаётда Ньютон механикаси нуқтаи назаридан тортишиш кучлари бутун олам тортишиш қонунлари билан аниқланади, инерция кучлари эса инерциал саноқ системаларига нисбатан тезланишга эга бўлган ҳаракатдан ҳосил бўлади, бу системалар эса ўз навбатида «тинч» юлдузлар системаси билан аниқланади. Иккала ҳолда ҳам бу кучларни ҳисоблаш учун формулалар мавжуд.

### 31- §. Умумий нисбийлик назарияси нима?

Шундай қилиб, инерциал ҳаракат ва инерциал системаларни афзал кўришга ҳақ қандай ўрин йўқ. Демак, табиатда бўлаётган ҳодисаларни тасвирлашда барча саноқ системалари тенг кучли бўлиши шарт.

Умумий нисбийлик назарияси қуйидагини талаб қилади: табиатнинг ҳамма қонунлари шундай таърифланиши керакки, уларни исталган саноқ системасида қўллаш мумкин бўлсин. Бошқача қилиб айтганда, кузатувчи қандай ҳаракат қилишидан қатъи назар, бу қонунларни тажриба натижалари билан мос келишини англасин.

Умумий нисбийлик назарияси ҳар қандай ҳаракатларни ҳам тенг кучли деб ҳисоблайди, шунинг учун уни умумий маънода ҳаракатнинг нисбийлик назарияси — тезланишнинг нисбийлик назарияси деб аталади (тезланишдан қатъи назар, ҳамма ҳаракатлар тенг кучли). Махсус нисбийлик назарияси фақат тезликларнинг нисбийлик назарияси бўлиб, унда тезланиш абсолют ҳисобланган.

Бу икки назария ўртасида қандай фарқ бор?

Махсус нисбийлик назариясида биз абсолют тезликни топа олмаганимиз туфайли тезлик нисбий эди. Тезланиш натижасида ҳосил бўладиган эффектларни, масалан, қўшимча кучнинг қандай ҳосил бўлишини биз англаймиз, лекин куч тезланиш орқали ҳосил бўладими ёки бошқа жисмлар орасидаги тортишиш кучи натижасида ҳосил бўладими, бу ҳақда кузатиш фазонинг кичик бир қисмида кам вақт ичида олиб борилаётгани сабабли ҳеч нима айта олмаймиз. Тезланиш фақат гравитацион ҳодисалар асосида нисбийдир. Шунинг учун умумий нисбийлик назарияси махсус нисбийлик назарияси эътиборга олмаган жисмлар орасидаги табиат ҳодисаларининг гравитацион назариясидир. Бундан кўринадики, умумий нисбийлик назарияси махсус нисбийлик назариясига зид бўлмай, балки уни тўлдиради. Оғирлик кучи таъсир кўрсатмайдиган процессларни махсус нисбийлик назарияси ёрдамида ўрганиш лозим. Оғирлик кучи таъсири ҳисобга олинса, у доим умумий нисбийлик назариясига олиб келади. Шундай қилиб, табиатда электромагнит ҳодисалар билан биргаликда бошқа хилдаги майдонлар — тортишиш майдони ёки гравитацион майдонлар ҳам мавжуд. Гравитацион майдонларнинг нисбийлик назариясига асосланган назарияси *умумий нисбийлик назарияси* дейилади.

Бу назария физиканинг ҳамма назариялари орасида энг ажойибдир.

## 32- §. Эквивалентлик принципи

Галилейнинг нисбийлик принципига ёки махсус нисбийлик назариясининг нисбийлик принципига мувофиқ барча физикавий ҳодисалар барча инерциал санақ системаларида бир тарзда юз беради. Бу ҳолда биз бир системадан бошқасига ўтганда қонунларнинг инвариантлиги (мослиги) ҳақида гапирамиз. Умумий нисбийлик назариясида табиат қонунларининг барча санақ системаларида бир хилда ифодаланиши ҳақида гап боради ва бу ҳолда биз қонунларнинг инвариантлиги ҳақида гапирамиз. Бунда мос физикавий ҳодисалар турли системаларда турлича юз беради.

Дарҳақиқат, ташланган тош ерга  $9,8 \text{ м/сек}^2$  тезланиш билан тушади. Лекин ер атрофида орбитал парвоз қилаётган космонавтнинг кабинасида оғирлик кучи бутунлай йўқолади. Унинг қўлидаги тош ҳеч қаерга тушиб кетмайди. Космонавтнинг кузатишлари Ньютоннинг иккинчи қонунини тасдиқламайди. Тошнинг тезланиши  $9,8 \text{ м/сек}^2$  эмас, балки нолга тенг.

Эйнштейн инерция кучларининг ҳаракатдаги жисм массасига аниқ пропорционал эканлигини қайд қилди. Лекин Ньютоннинг тортишиш кучлари ҳам шу хусусиятга эга (тўғри, биринчи ҳолда инерт масса ҳақида, иккинчи ҳолда эса оғир масса ҳақида гап кетади, лекин улар тенг-ку). Тортишиш кучи реал куч бўлмасдан биз тезланишли ҳаракат системаларида ўлчаш ўтказётганимизда юзага келадиган инерция кучларидан бири эмасмикан?

Биз ўзимизни барча томондан бўш фазо ўраб турибди, барча массалар биздан чексиз узоқликда жойлашган тортишиш кучлари йўқ, деб фараз қилайлик. Бу эса, жисмлар оғирликка эга эмас, маятникли соат юрмайди, стакандаги сув тўкилмайди, хуллас, тўла вазнсизлик ҳолати демакдир. Лаборатория оламнинг ана шу қисмида жойлашган, дейлик. Ундан кейин қизиқ ҳодиса юз беради. Афсонавий паҳлавон лабораторияни юқорига қараб  $9,8 \text{ м/сек}^2$  тезланиш билан тортади. Бизнинг кўз ўнгимизда лабораторияда таажжубланарли ҳодисалар юз беради. Соат юра бошлайди, стакандаги сув тўкилади, қўлдан чиқиб кетган тош  $9,8 \text{ м/сек}^2$  тезланиш билан тушади. Физик ўзини Ерда деб ҳисоблаши ва одатдаги оғирлик кучини ҳис қиляпман, деб ўйлаши мумкин.

Аслида эса ҳеч қандай тортишиш майдони йўқлиги ва унинг лабораториясини паҳлавон тортиб кетаётганлиги унинг хаёлига ҳам келмайди. Худди мана шу ҳол умумий нисбийлик назариясининг асосида ётган машҳур эквивалентлик принциpidир. Қатъийроқ қилиб айтганда, жисмнинг инерт ва оғирлик массаларининг тенглиги жисмларнинг тортишиш майдонидаги ҳаракати билан нонинерциал саноқ системаси нуқтаи назаридан қарагандаги эркин ҳаракати ўртасида муҳим ўхшашлиқ борлигини кўрсатади. Ҳақиқатан ҳам, инерциал саноқ системасида барча жисмларнинг ҳаракати текис ва тўғри чизиқли бўлади ва қандайдир бир моментда жисмлар тезлиги бир хил бўлса, улар донм бир хил бўлиб қолади. Кўришиб турибдими, энди биз бу эркин ҳаракатни бирор нонинерциал системадан туриб кузатсак, унга нисбатан ҳам барча жисмлар бир тарзда ҳаракатланади. Ўз автобиографиясида Эйнштейн эквивалентлик принципини қуйидагича таърифлаган эди: «Тортишиш майдонидаги (кичик фазовий ўлчамларда) инерциал система ўрнига унга нисбатан тезланишли система киритсак, барча ҳодисалар тортишиш майдони бўлмаган фазодаги каби юз бераверади».

Бошқача қилиб айтганда, тезланувчан ҳаракат ва тортишиш (гравитация) кучи бир хил эффектларга олиб келади. Машҳур эквивалентлик принципининг ҳам маъноси шунда: бир жинсли тортишиш майдонидаги инерциал системада ва текис-тезланишли ҳаракатдаги инерциал системаларда ҳамма физикавий жараёнлар бир хил кечади.

Физика дарсида тортишиш кучи энг енгил шарчага ҳам, қўргошиндан қилинган шарчага ҳам бир хил эркин тушиш тезланиш беришини кўп эшитганмиз, тажрибаларда кўрганмиз. Дарҳақиқат, бутун олам тортишиш қонунига мувофиқ

$$F = G \frac{Mm}{r^2}, \quad (27)$$

бунда  $M$  ва  $m$  — мос равишда Ер ва берилган жисмнинг массалари,  $r$  — Ернинг радиуси. Бироқ Ньютоннинг иккинчи қонунига мувофиқ тортишиш кучи жисмга

$$F = ma$$

формула ёрдамида топилиши мумкин бўлган  $a$  тезланишни беради. Иккала ҳолда ҳам бир хил куч устида гап бораётибди. Шунинг учун

$$G \frac{Mm}{r^2} = ma.$$

Бундан  $a = g = G \frac{M}{r^2}$ , яъни  $g$  эркин тушиш тезланиши  $m$  массага боғлиқ эмас.  $m$  масса иккала формулага ҳам киради ва ҳар бир формулада унинг физикавий маъноси турлича:

$m$  тортишиш формуласида гравитацион масса, Ньютоннинг иккинчи қонуни формуласида эса инерт масса маъносига эга. Энг қўпол ўтказилган тажрибалар ҳам иккала массанинг тенг эканлигини кўрсатади.

Энг юқори аниқликда ўтказилган тажрибалар иккала масса абсолют тенг эканлигини исбот қилди. Хўш, бу тенглик тасодифми? Бу табиатнинг фундаментал қонунидир.

### 33- §. Эркин тушиш қонуни

Махсус нисбийлик назарияси шундай шартларни вужудга келтирдикки, бунда Ньютон назарияси бутунлай нотўғри бўлиб қолди. Мисол кўриб чиқайлик. Ер тортиш кучининг таъсирида метеорит Ерга тушаётганда (ҳавонинг қаршилиги ҳисобга олинмаса), маълумки, у ушбу тезликка эга бўлади:

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \approx 11 \text{ км/сек}, \quad (28)$$

бу ерда  $M$  ва  $R$  Ернинг массаси ва радиуси,  $G$  эса Ньютоннинг гравитацион доимийси, унинг қиймати  $6,67 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3 \cdot \text{сек}^{-2} \text{ гр}^{-1}$  га тенг.  $11 \text{ км/сек}$  иккинчи космик тезликдир.

Агар метеорит нейтрон юлдузга тушаётган бўлса, қандай ҳол рўй бериши мумкин? Унинг массаси Ер массасидан тахминан 100000 марта катта; радиуси эса 300 марта кичик бўлганлигидан метеорит тезлиги  $60\,000 \text{ км/сек}$  га яқин бўлади, яъни тахминан  $c = 300\,000 \text{ км/сек}$  фундаментал тезликнинг  $1/5$  қисмига тенг бўлади. Бироқ ҳозирги қарашлар бўйича нейтрон юлдуз турғун бўлмаслиги ва у яна сиқилишда давом этиши мумкин.

Тушиш тезлиги, Ньютон назарияси бўйича, фундаментал тезликка тенг бўлган ҳолда юлдуз радиуси гравитацион радиус деб аталади. Биз уни  $R_{гр}$  орқали белгилаймиз. Тушиш тезлигининг формуласи (28) дан фойдалансак, қуйидагига эга бўламиз:

$$R_{гр} = \frac{2GM}{c^2}. \quad (29)$$

Юлдуз радиуси гравитацион радиусдан кичик бўлганда, метеоритнинг тушиш тезлиги фундаментал тезликдан ошиб кетган бўларди. Аммо биз биламизки, бундай бўлиши мумкин эмас, яъни Ньютон назарияси бу ҳолда мутлақ нотўғри хулосага олиб келади.

Бундай нотўғри хулоса осмон жисмлари истаганча, масалан, унинг радиуси гравитацион радиусга тенглашгунга қадар сиқила олади деган фаразия билан боғлиқ-масмикан? Йўқ, боғлиқ эмас. Маълумки, Ньютон назарияси ҳеч нарса билан чекланмаган сиқилиш мумкинлигини олдиндан айтиб беради. Бундай сиқилиш гравитацион коллапс номи билан юритилади. Буни биринчи марта 1932 йилда Л. Д. Ландау (1908—1968) кўрсатиб берди. Шундай қилиб, ҳақиқатан ҳам Ньютон назарияси нотўғри хулосага олиб келади.

Кўрсатиш мумкинки, жисмларнинг тортишиш таъсирида оладиган тезлиги унинг асосий тезлигидан анча кичик бўлганда Ньютон назарияси кузатиладиган фактларни яхши тасвирлаб беради. Бу ҳақда шуни айтиш мумкинки, қуёш системасида биз фақат заиф тортишиш кучига дуч келамиз, холос. Қуёш ва планеталарнинг тортишиш таъсирида жисмлар эга бўла оладиган тезлик ёруғлик тезлигига нисбатан жуда кичикдир. Бундай шароитларда Ньютоннинг тортишиш ҳақидаги назарияси кузатиладиган фактларни яхши ифодалаб берганлиги сабабли, уни худди шундай фактлар билан мос келувчи бошқа исталган тортишиш назарияси билан таққослаш жуда қийиндир. Текширилиши осон бўлган олдиндан айтиб бериладиган назарий фикрлар тенг даражада иккала назариянинг ҳам тасдиқланишини кўрсатади.

Биз умумий нисбийлик назариясини тасдиқловчи эксперимент ва кузатишларни баён қилишни Галилейнинг эркин тушиш қонунидан бошлаймиз. Бу қонун, биз биламизки, Эйнштейн назариясида махсус роль ўйнайди. Бу қонун бузилди деган сўз, назария асосий мазмунини йўқотди деган маънони билдиради.

Экспериментлар моҳиятини классик қарашлар асо-  
сида осонгина тушуниш мумкин. Ньютоннинг бутун олам  
тортишиш қонуни ўз кўринишига кўра Кулоннинг ўзаро  
электростик таъсирлашув қонунини эслатади. Бу қо-  
нун бўйича бўшлиқда  $q_1$  ва  $q_2$  зарядларнинг ўзаро таъ-  
сирлашиш кучи тубандагича белгиланади:

$$F = \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (30)$$

бу ерда  $r$  — зарядлар орасидаги масофа;  $q_1$  заряд май-  
дониди  $q_2$  заряд ушбу тезланишга эга бўлади:

$$a = \frac{F}{m_2} = \frac{q_1}{r^2} \cdot \frac{q_2}{m_2}, \quad (31)$$

бу ерда  $m_2$  иккинчи заряднинг массаси.

Бутун олам тортишиш қонунига биноан, икки жисм-  
нинг ўзаро таъсирлашиш кучи

$$F = G \frac{m_1^* m_2^*}{r^2}, \quad (32)$$

бу ерда  $G$  — Ньютоннинг гравитацион доимийси;  $m_1^*$ ,  
 $m_2^*$  — жисмларнинг массалари. Биз (31) формулада мас-  
са ҳақида гапирсак ҳам, аммо бу формулада улар (32)  
формуладаги  $m_2$  каби инерция ўлчови ролини ўйнамай-  
ди, балки (30) формуладаги  $q_1$  ва  $q_2$  зарядлар каби  
ролни ўйнайди. Бундай масса *гравитацион масса* деб  
аталади, тўғрироғи уни *гравитация заряди* деб аташ ҳам  
мумкин эди. Жисмнинг инерция ҳолатини характерлов-  
чи массага эса *инерт масса* дейилади,  $m_1$  массали жисм  
майдониди  $m_2$  массали бошқа жисм ушбу тезланишга  
эга бўлади.

$$a = G \frac{m_1^*}{r^2} \cdot \frac{m_2^*}{m_2}, \quad (33)$$

бу ерда  $m_2^*$  — иккинчи жисмнинг инерт массаси.

(31) ва (33) формулаларнинг тўла ўхшашлиги кўриниб  
турибди (сонли коэффициент  $G$  ни ҳисобга олмаса ҳам бў-  
лади, чунки у фақат ўлчов бирликларига боғлиқдир). (31)  
формулада  $q_2/m_2$  нисбат турлича зарядланган жисмлар учун  
турличадир. Бу заряд ва массанинг табиати турлича экан-  
лигини кўрсатади. Худди шунингдек, бутун олам торти-  
шиш қонуни ва тезланишни куч билан боғловчи қонунлар  
ҳам бошқа-бошқа қонунлардир. Ҳеч қайси мулоҳазадан



гравитацион массани инерт массага эквивалентлиги ва шу сабабдан  $\frac{m_2^*}{m_2}$  нисбат ҳамма жисмлар учун бир хил бўлиши керак эканлиги келиб чиқмайди. Аслида Галилей қонуни фақат шундай шароит учун тўғридир, яъни ҳамма жисмлар ўз хусусиятларига боғлиқ бўлмаган ҳолда маълум тезланиш билан тушади. Бу ҳақиқатда кузатиладиган тортишишнинг универсаллиги (умумийлиги)—Ньютон назарияси билан боғлиқ бўлмаган ташқи фактдир. Бу назарияда инерт ва гравитацион массаларнинг эквивалентлиги (32) қонуни Галилейнинг эркин тушиш қонуни билан мослаш учун фараз қилинади. Массаларнинг бундай ажабланарли эквивалентлиги нимадан келиб чиқиши тушунарли эмас. Агар бу эквивалентлик ҳақиқатга фақат қўпол яқинлашишдан иборат бўлганда ҳам Ньютон назариясига зарар етмаган бўларди.

Бундан фарқли равишда, биз билганимиздек, умумий нисбийлик назарияси тортишишнинг универсаллигига асосланади. Таърифланишича, жисмларнинг эркин тушиши ҳақида эркин ҳаракат бўлиб, тушувчи жисмнинг нисбий тезланиши эса фазо-вақтнинг хусусияти билан боғлиқдир. Гравитацион ва инерт массалар эквивалентлигининг бузилиши Ньютон назариясида ҳал қилувчи аҳамиятга эга бўлмагани ҳолда умумий нисбийлик назариясининг асосий ғояларини нотўғри деб кўрсатган бўларди. Аксинча, аниқ эквивалентлик бу асосий ғоянинг ҳеч бўлмаганда тўғрилигини ифодалаган бўларди. Шунинг учун гравитацион ва инерт массалар эквивалентлиги, яъни Галилей қонуни такрор-такрор текширилади.

Афсуски, бу аниқ ўлчашлар техникасини батафсил кўрсатиб, таърифлаб ўта олмаймиз. Фақат натижаларинингига кўрсатиб ўтамиз. Эркин тушиш қонуни Галилей томонидан унинг Падуадаги даврида (1592—1610) ихтиро қилинди.

Ньютон инерт ва гравитацион массаларнинг эквивалентлигини  $10^{-3}$  гача аниқлик билан тасдиқлади: Бессель (1784—1846) ўлчаш аниқлигини  $10^{-5}$  гача етказди. Этвеш (1848—1919) гравитацион экспериментларга ўттиз йил вақтини сарфлаб, эквивалентлик аниқлигини  $5 \cdot 10^{-9}$  гача етказди. Унинг экспериментларида электромагнит нурланиш ҳам гравитацион массага эга эканлиги тасдиқланди. 1959—1964 йилларда Дикке, Ролл ва

Кротков ўлчаш аниқлигини  $3 \cdot 10^{-11}$  гача етказдилар. 1970—1971 йилларда В. Б. Брагинский ва И. Панов ўлчаш аниқлигини яна 40 марта ошириб, инерт ва гравитацион массаларнинг эквивалентлигини  $10^{-12}$  дан ошмайдиган хатолик билан исботладилар.

Шундай қилиб, умумий нисбийлик назариясида катта аҳамият касб этган эркин тушиш қонуни ва массаларнинг эквивалентлик принципи катта аниқлик билан текширилди.

#### 34- §. Эйнштейн фазо — вақт ҳақида

Шундай қилиб, физика тарихида биринчи марта, қўпол қилиб айтганда, фазо ва вақт лаборатория столи устига қўйилди.

Бундан сўнг, бошни айлантирадиган геометрик постулатларга асосланиб бўлмас эди. Геометриянинг мулкига ҳукмрон тажриба кириб келди. Евклид геометриясининг мактабдан таниш бўлган постулатлари янги мазмун касб этди. Улар фазо — вақтнинг кичкина соҳасида умумлашган тажриба фактлари сифатида намоён бўлдилар. Катта соҳаларда галактика миқёсида улардан фойдаланиб бўлмайди. Бу ерда гравитацион майдон қонунлари билан узвий боғланишда бўлган ва улар билан бир бутунни ташкил қиладиган аниқроқ ва умумийроқ геометрик қонуниятлар керак.

Агар гравитацион майдондан бошқа майдонлар бўлмаса, жисмларнинг эркин ҳаракати фақатгина дунё геометриясига боғлиқ бўлиб қолади. Эйнштейннинг тортишиш қонуни худди шу дунё геометрияси билан катта массалар — юлдузлар ва галактикалар ҳаракати ўртасидаги боғланишни ифодалайди.

Фазо ва вақтнинг хусусиятлари жисмлар ҳаракатига қандай таъсир этишини билишга уриниб кўрайлик. Булар синов жисмлари бўлиб, жуда муҳим ва ажойиб хусусиятга эга — улар гравитацион майдон таъсирига учрайди. Лекин ўзлари жуда кичик бўлганлиги учун майдонни сезиларли даражада ўзгартиролмайди.

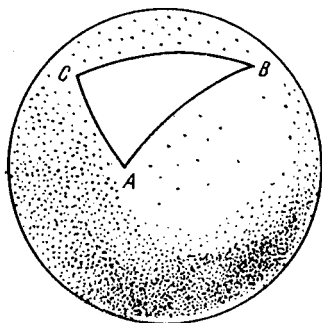
Одатда, умумий нисбийлик назариясини соддароқ қилиб тушунтириш учун уни қандайдир ақлли икки ўлчовли мавжудотга таққосланади. Бу мавжудот ҳаттоки «юқори» ёки «паст» деган йўналишларни тасаввур

ҳам қилолмайди. Бу япалоқ саёҳатчи фанер сингари текис дунёда сайр қилиб юради. Саёҳатчи ташлаб чиқиб кетолмайдиган бу текис дунё Евклиднинг уч ўлчовли фазосига ўхшашдир.

Агар биз текис дунёга эластиклик ато қилсак уни эгиш ва чўзиш мумкин бўлади. Бизнинг тажрибамиз икки ўлчовли юза уч ўлчовли фазода эгилишини тасдиқлайди, лекин ундан ташқарида ҳеч нарса бўлмаган эгри юзани ҳам тасаввур қилиш мумкин. Текис бўлмаган тик юзага оғир шарчани қўяйлик. Шарчанинг атрофида эгилиш юз беради. Бошқа сайёҳ буни ҳатто сезмайди ҳам. Агар шу юзага яна бир шарча ташласак, у биринчи шарча атрофидаги чуқурликка думалаб кетади. Сайёҳга эса шарчалар худди бир-бирига тортилаётгандек кўринади. Бу Эйнштейннинг фикрича, фазода икки нуқта ўртасидаги энг қисқа масофа тўғри чизиқ бўлмай, балки эгри — геодезик чуқурдир. Текис фазода энергия қонунига мувофиқ эркин ҳаракат тўғри чизиқли бўлиши керак.

Эгри фазода эса ўша қонуннинг ўзи эркин ҳаракатни геодезик чизиқ бўйича юргизади. Агар икки ўлчовли сайёҳ текис фазода эмас, шарсимон сиртда юрса, унинг учун икки нуқта орасидаги энг қисқа масофа катта доира ёйининг кесмасидан иборат бўлади. Зарраларнинг шар сиртидаги эркин ҳаракати худди шундай ёйлар бўйича юз беради. Лекин сайёҳ бу ёйларни «тўғри чизиқ» деб ҳисоблайди. Аммо икки ўлчовли сайёҳ ўз дунёсининг эгрилигини аниқлаш учун шардан ташқарига чиқиши керак эди. У — икки ўлчовли сайёҳ яшаётган дунёсининг хусусиятлари катта соҳаларда кичик соҳалардагидан фарқ қилади деб хулоса қилиши учун бутун дунё саёҳатини ўтказиши ёки учбурчак бурчакларининг йиғиндисини  $180^\circ$  дан катта эканлигига ишонч ҳосил қилиши етарлидир (13-расм).

Тўғри чизиққа ўхшаш энг қисқа чизиқлар ҳар қандай сиртга ҳам хосдир. Масалан, тухум сиртида тенг томонли учбурчак бурчакларининг йи-



13- расм.

гиндиси тухумнинг ўткир учида энг катта бўлади. Тухум сиртида юрган икки ўлчовли сайёҳ унинг «фазоси» бир жинсли эмаслигини билиши мумкин. Худди шунингдек, биз ҳам бизнинг тўрт ўлчовли фазо — вақтимиз текис эгри эканлигига ишонишимиз мумкин. Бунинг учун унинг ички геометриясини ўрганишимиз ва уни Евклид постулатлари билан ёки янада умумийроқ Лобачевский — Риман постулатлари билан солиштириб кўришимиз керак.

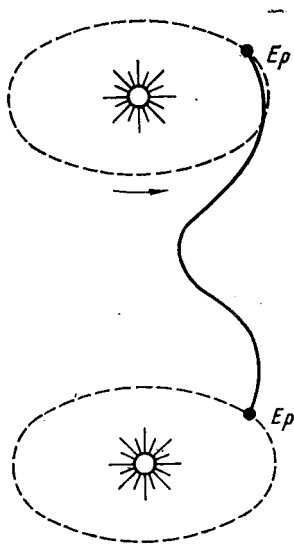
Агар тўрт ўлчовли дунёда жисмлар бу фазо — вақтининг энг қисқа масофалари бўйлаб ҳаракатланади деб қабул қилсак, унда планеталарнинг Қуёш атрофидаги ҳаракати ҳам бу қондага бўйсунishi лозим. Аммо, наҳотки Қуёшнинг тортиш кучи фазони шу қадар эгрилаб юборадиган даражада кучли бўлса? Ёки Ер атрофида айланаётган Ой, наҳотки шундай эгри фазода ҳаракатланса?

Лекин бундай саволлар ўринсиздир. Улар уч ўлчовли фазода муҳокама қилинаётганда мантиққа эга бўлади, лекин умумий нисбийлик назарияси ҳаракатни тўрт ўлчовли фазо — вақтда кўради. Вақт фазо билан биргаликда қаралади.

Тўрт ўлчовли дунёдаги энг қисқа чизиқ тўғри чизиқдан планеталар орбитасига қараганда анча кам фарқ қилади. Ер Қуёш атрофида бир марта айлангунча унинг фазодаги ўрни вақт бўйича бир йиллик масофага ўзгаради. Бу масофани километрларда ифодалаш учун махсус нисбийлик назариясининг қонунларига мувофиқ ёруғлик тезлигини бир йилдаги секундлар сонига кўпайтириш керак. Бунда биз Ер орбитасининг диаметридан 30 000 марта катта бўлган сонга эга бўламиз. У ҳолда Ернинг оламдаги йўл қадамнинг радиусига нисбати жуда катта бўлган винтсимон чизиққа ўхшаб кетади. Бундай винтсимон чизиқ унинг учларидан ўтказилган тўғри чизиққа яқинроқ бўлади. Жуда узоқдаги планеталар учун винтсимон чизиқнинг эгрилиги янада кичик ва ундаги дунё янада текисроқ бўлади (14- расм).

Шундай қилиб, тортишишни фазо хусусиятларининг ўзгариши орқали ифода этиш учун тезланишни эгри чизиқли ҳаракатнинг хусусий ҳолига айлантириш керак эди. Бунинг учун вақтни фазонинг ўлчамларидан бири деб қараш керак. Бу умумий нисбийлик назариясида амалга оширилди.

Герман Минковский бу назарияни оддий фазо ва вақтнинг ягона тўрт ўлчовли ўтафазога, яъни биз юқорида айтганимиздек фазо — вақтга бирлашуви деб шарҳлади. Утафазода  $x, y, z$  лар ҳақиқий сонлар билан, вақт эса ёруғлик тезлигига кўпайтирилган мавҳум сон билан ифодаланади. Математиклар таъбири билан айтганда, бундай вақт ўқи чўзилган бўлади. Шунинг учун ҳам релятивистик эффектлар ёруғлик тезлигига яқин тезликлардагина сезиларли бўлади. Саноқ системасининг ўзгариши унинг тўрт ўлчовли фазода айланиши каби тасвирланиши мумкин. Бунда ёруғлик тезлиги ўзгармай қолади. Одатдаги узунлик ўзгаради (релятивистик қисқариш), вақт ҳам ўзгаради. Лекин инвертал — ҳодисалар орасидаги тўрт ўлчовли масофа ўзгармайди.



14- расм.

Тўрт ўлчовли фазо — вақтнинг бундай эгриланиши тортишишнинг барча эффектларини тўла изоҳлайди. Уқувчи махсус ва умумий нисбийлик назарияси орасидаги фарқни аллақачон тушунган бўлса керак. Биринчиси жисмларнинг текис фазо — вақтдаги, иккинчиси эгри фазо — вақтдаги ҳаракатларини ўрганеди. Академик В. А. Фок таклиф қилганидек, умумий нисбийлик назариясини тортишиш назарияси деб аташ тўғрироқ бўлар эди.

Тортишиш жисмларнинг фазо — вақт хусусиятларига таъсири кўринишда намоён бўлади. Жисмлар унинг тузилишини ўзгартиради, уни эгрилайди. Фазо — вақт энди «абсолют математик» фазо эмас, балки бутунлай равшан, ноевклид геометрия билан таърифланадиган фазодир. Модданинг зичлигига, яъни унинг массасига қараб фазо — вақт геометрияси ё Евклид геометриясига ё Лобачевский — Риман геометриясига яқин бўлиши, ё сфера геометриясидан иборат бўлиши мумкин.

## УМУМИЙ НИСБИЙЛИК НАЗАРИЯСИНING МАШХУР ЭФФЕКТЛАРИ

### 35- §. Эйнштейн назарияси олдиндан айтиб берган эффектлар. Уларни тажрибада текшириш

Нисбийлик назариясининг яратилиши уч хил ҳодиса бўлиши мумкинлигини кўрсатиб берди. Бу ҳолларда унинг назарияси ва Ньютон назарияси олдиндан айтиб бериладиган турлича ҳулосаларга олиб келади. Булар Меркурий орбитасининг бурилиши, Қуёш яқинидан ўтувчи ёруғлик нурларининг бурилиши ва массаси катта жисмлар сиртидан нурланувчи ёруғлик спектр чизиқларининг қизил силжишларидан иборатдир.

Ньютон назариясига биноан, планеталар эллипс бўйлаб айланади. Эйнштейннинг кўрсатишича, бу эллипслар эса орбита текислигида айланади. Биз ҳисоблашларни бажаролмасак ҳам, аммо бундан келиб чиқадиган четлашишларни баҳолаб айтишимиз мумкин. Физикада кўпинча шундай усул қўлланиладики, унда аниқ назарий ҳисоблашларни деярли бажармай туриб, эътиборга сазовор бўлган миқдорларнинг қиймати баҳоланади. Бу усул шундан иборатки, назарий мулоҳазалар ёки эксперимент натижаларига асосланиб, кузатиладиган процесснинг муҳим йўналишини характерловчи қийматлар белгиланади.

Шундан сўнг, бу қийматлардан бир ҳадли алгебраик ифода тузилади, унинг ўлчови изланувчи қиймат ўлчови сингари бўлади. Бу ифода шу ўлчовга тенглаштирилади. Физикавий боғланишни топишнинг бундай содда усули ишончли эмасга ўхшаб кўринади. Бироқ ҳақиқатда бундай эмас. Кўпчилик физикавий процесслар учун уни характерловчи барча ўлчовли миқдорлардан тузилган ўлчовсиз миқдорлар бирга яқин бўлади. Баҳолашнинг мумкинлиги ҳам худди ана шунга асослангандир. Кўриниб турибдики, баҳолашни бажариш характерли миқдорларни ажратиш учун процесс ҳақида етарли даражада тўла тасаввур бўлишини талаб қилади. Гарчанд баҳоларнинг ишончли эканлигини таъминлай олмаса ҳам бошланғич маълумотлар мавжуддир. Баҳоларнинг кўпинча тўғри бўлиб чиқиши ажабланарли эмас.

Қараб чиқиляётган ҳол учун характерли миқдорлар сифатида қуйидагиларни танлаб олиш мумкин:

а) қуёшнинг гравитацион радиуси  $R_{Гр} = 3 \cdot 10^5$  см. Бу (29) формула ёрдамида ҳисобланади;

б) планетанинг Қуёш марказидан ўртача узоқлиги —  $R$  Меркурий учун  $0,58 \cdot 10^{13}$  см, Венера учун  $1,05 \cdot 70^{13}$  см, Ер учун  $1,5 \cdot 10^{13}$  см;

в) планетанинг Қуёш атропоида айланишининг ўртача бурчак тезлиги:

$$\omega = \left( \frac{GM}{R^3} \right)^{1/2}$$

бу ерда  $m = 2 \cdot 10^{33}$  г Қуёшнинг массаси. Орбитанинг бурилиш бурчак тезлиги  $\omega_n$  ни баҳолаш учун эса ушбу ифодадан фойдаланиш мумкин:

$$\omega_n = \omega \frac{R_{Гр}}{R} \quad (34)$$

(бу ҳолда ўлчовсиз миқдор  $\frac{\omega}{\omega_n} \cdot \frac{R_{Гр}}{R} = 1$  бўлади). Бурчак тезлиги  $\omega_n$  ўрнига орбитанинг 100 йил ичидаги бурилиш бурчаги  $\varphi$  ни ҳисоблаш қулайроқдир. Бунинг учун  $\omega_n$  ни  $3,16 \cdot 10^9$  сек (100 йилнинг секундларда ҳисобланган қиймати) га кўпайтирамиз. Ундан ташқари, радианларда ифодаланган бурчак ўлчовидан бурчак секундларига (вақтнинг ўлчов бирлиги сек билан чалкаштирмаслик учун шундай деймиз) ўтиш учун яна  $2''$ ,  $0,6 \cdot 10^5$  (радиандаги секундлар сони) кўпайтувчини киритамиз. У ҳолда планетанинг 100 йил давомидаги секундларда ифодаланган бурилиш бурчаги

$$\varphi = 6'',5 \cdot 10^{14} \omega \frac{R_{Гр}}{R} = 6'',5 \cdot 10^{14} \left( \frac{c^2 R_{Гр}^3}{2R^4} \right)^{1/2}$$

бўлади. Меркурий, Венера ва Ер учун мос равишда  $39''$ ,  $8''$ ,  $4''$  га тенг бўлган қийматларга эга бўламиз.

Бу юз йил ичидаги бурилишдир. Бурчак секунди — бу шундай бурчакки, у орқали бир тийинлик чақа 2 км масофадан кўринади. Шундай қилиб, кутиладиган эффект ниҳоят даражада кичикдир. Шунга қарамай, астрономия планеталар ҳаракатини бир неча юз йиллар давомида кузатиши сабабли [Меркурий орбитасининг бурилишини Леверье (1811—1877) топган эди] бу

ҳодиса узоқ йиллар давомида Ньютон назарияси доира-сида ғалати жумбоқ бўлиб келди. Бу ҳодиса фақат Эйнштейн томонидан тушунтириб берилди.

Сўнгги вақтларда Клеменс, Морган ва Дунком планеталар ҳаракати ҳақидаги маълумотларни янгидан пухта таҳлил қилдилар ва қайта ишлаб чиқдилар. Улар томонидан қуйида 100 йил ичидаги бурилишнинг топилган қийматлари кўрсатилган. Жадвалнинг ўнг устунида бурилишнинг умумий нисбийлик назарияси бўйича (аниқ формулалар ёрдамида) ҳисобланган назарий қийматлари берилган.

Планеталар	Кузатиш	Олдиндан ҳисоблашлар
Меркурий	$42'', 56 \pm 0'', 91$	$42'', 9$
Венера	$8'', 4 \pm 4'', 8$	$8'', 6$
Ер	$4'', 6 \pm 2'', 7$	$3'', 8$

Яқинда худди шунингдек, Икар астероидининг силжиши текширилди. (1968, 1971 йилларда Шапиро ўз ходимлари билан текширди.) Бу силжиш катталиги ўлчаш аниқлиги чегарасида (20%) назария билан мос келади (100 йил ичида  $10''$ ).

Ёруғлик нурининг Қуёш гардиши яқинида бурилишини фотоннинг Қуёшга тушиш натижаси деб қараш мумкин. Агар Қуёш радиусини унинг гравитацион радиуси  $R_{гр}$  га тенг деб қабул қилсак, бу эффектни (ёруғлик нурининг бурилишини) тахминан баҳолаш мумкин, бу ҳолда нур «гравитацион қамраб олинарди» ва  $180^\circ = 6'', 5 \cdot 10^5$  га бурилган бўлади. Қуёшнинг ҳақиқий радиуси  $R_{к} = 7 \cdot 10^{10}$  см бўлгани сабабли нурнинг кутиладиган бурилиши  $6'', 5 \times 10^5 \frac{R_{гр}}{R_{к}} = 2'', 7$  тартибда бўлиши мумкин. Ёруғлик нурининг қуёш гардиши чегарасида бурилишининг аниқ назарий қиймати умумий нисбийлик назариясига кўра  $1'', 75$  га тенг.

Ёруғлик нурининг бурилиши 1919, 1922, 1929, 1936, 1947 ва 1952 йилларда Қуёш тугилганда ўлчанади. Бу ўлчашларга кўра ёруғлик нурининг Қуёш гардиши чегарасидаги бурилишнинг ўртача қиймати  $1'', 93$  га тенг. Ўлчаш аниқлиги машҳур экспериментатор ва назарий-



чи Диккенинг фикрича 20% дан ошмайди. Еруғлик нури бурилишининг назарий қиймати шу чегарада ётади. Ньютон назарияси икки марта кичик бўлган бурилиш миқдорини олдиндан айтиб беради, равшанки бу нотўғридир.

### 36- §. Улкан жисмлар яқинида вақтнинг секинлашиши

Айланувчи диск ёрдамида умумий нисбийлик назариясининг тортишиш майдонлари вақтга секинлаштирувчи таъсир кўрсатади, деган натижасини тушунтириш мумкин. Иккита бир хил соат олиб, уларни  $\omega$  бурчак тезлик билан айланаётган дискнинг марказидан ҳар хил  $r$  масофаларга қўямиз. Соатларнинг  $\omega r$  чизиқли тезлиги ташқарида турган кузатувчи учун ҳар хил бўлиб айланувчи диск устидаги соатлар унинг соатига қараганда орқада қолади. Бу орқада қолиш соатлар диск марказидан қанча узоқда бўлса, шунча кўп бўлади. Бинобарин, гравитацион майдонда ҳам соатлар орқада қолар экан (эквивалентлик принципи). Шуниси ҳам борки, майдон қанчалик катта бўлса, соатлар шунчалик кўп орқада қолади. Катта радиусли айлана бўйлаб ҳаракат қилаётган соатларнинг марказга интилма тезланиши каттароқ ( $a \approx \omega^2 r$ ) ва демак, шунга мос равишда гравитацион майдон ҳам катта бўлиши керак.

Ўз вақтида Эйнштейн таклиф қилган бу хаёлий тажриба яқинда амалга оширилди. Мессбауэр эффекти ёрдамида диаметри 15 см бўлган айланувчи дискнинг чеккасига жойлаштирилган «ядро соати» ўз юришини бирмунча секинлаштирилганлиги қайд қилинди. Бу тажриба эгизаклар жумбоғининг тўғридан-тўғри текширилишидир — айланаётган соатни ўз инерциал саноқ системасини узлуксиз ўзгартириб турган эгизак бола сифатида кўриш мумкин.

Ташқи кузатувчига тортишиш майдонида вақтнинг секинлашуви натижасида катта массали жисмлар яқинида юз бераётган тебранма процессларнинг частотаси унинг инерциал саноқ системасида юз бераётган худди шундай процесслар частотасидан кичикдек кўринади. Ҳақиқатан ҳам, масалан, Қуёшдаги водород атомларининг нурланиш спектрал чизиқлари ердаги водород атомлари спектрларига қараганда бир оз паст частоталар томонга силжиганлиги маълум бўлди. Частоталар-

нинг бундай ўзгариши *гравитацион қизил силжиш* деб айтилади. 1960 йилда Мессбауэр эффекти ёрдамида Р. Паунд ва П. Ребке лабораторияда Ернинг гравитацион майдони вужудга келтирган силжишни ҳам кўрсатишга муваффақ бўлишди. Темирнинг уйғотилган ядроси — квантлар манбаи 20 м баландликда жойлаштирилди. Бу нурланишнинг қайд қилувчи (детектор) сифатида темирнинг ер сиртида жойлашган уйғотилмаган ядроларидан фойдаланилди. Агар манбадан детекторгача бўлган (20 м) масофани ўтиш вақтида квантнинг частотаси ўзгармаса, бу квант пастга жойлашган уйғотилмаган ядро томонидан ютилган бўлар эди. Бирор жисм (манба) томонидан чиқарилган нурланишнинг бошқа бир жисм (детектор) томонидан ютилиш процессини Мессбауэр кашф қилган эди. Аммо частотанинг ғоят кичик ( $10^{-15}$ ) ўзгариши (Ер марказига 20 м яқинлашганлиги натижасида ернинг тортишиш майдони ортганлиги ҳисобига) детектордаги темир ядролари квантни ютмаслиги учун етарли эканлиги маълум бўлди. Частотанинг силжиши детекторни айлантириш йўли билан компенсация қилинди. Допплер эффекти натижасида детектордаги темирнинг уйғотилган ядролари учун мос келадиган ўтишнинг частотаси ортади. Айланиш тезлиги маълум даражага етганда Допплер эффекти натижасида бўладиган силжиш гравитацион силжиш билан тенглашади ва темир ядролари келадиган квантларни ютади. Шунини айтиш керакки, ёруғлик частотасининг тортишиш майдонларида ўзгаришини қизил-ҳаворанг гравитацион силжиш деб аташ тўғрироқ бўлар эди.

Спектрал чизиқнинг қизил силжишга эга эканлиги ёруғлик частотасининг камайишини кўрсатади. Кўк ва бинафша нурнинг частотаси қизил нурникига қараганда деярли икки марта катта ва агар спектрал чизиқ қизил томонга силжиса, бу частотанинг камайишига тенг кучлидир.

Хаббл галактикаларнинг қизил силжиши биздан галактикаларгача бўлган масофага пропорционал равишда ортишини аниқлади. Масалан, 10 ёруғлик йили масофада турган галактикалар учун частотанинг камайиши 0,1% ни ташкил қилади; агар масофа  $10^8$  ёруғлик йилига тенг бўлса, частота 1% га камаяди. Бу эффект галактиканинг қайси йўналишда турганлигига боғлиқ эмас.

Галактик қизил силжиш космология учун ғоят катта аҳамиятга эга бўлган ҳодиса бўлиб, уни тушунтириш учун анча уриниб кўришган.

### 37- §. Гравитацион қизил силжиш

Юқорида кўрганимиздек, қизил силжишни Допплер эффекти билан боғлаш мақсадга мувофиқдир. Бу эффектнинг мазмуни қуйидагидан иборат. Агар автомобиль биз томонга келаётган бўлса, унинг товуш сигнали бизга тўхтаб турган автомобилникига қараганда юқори-роқ частота билан келади. Биз ингичкароқ товуш эшитамиз. Частотанинг нисбий ўсиши автомобиль тезлигининг товуш тезлигига нисбатига тенг. Агар автомобиль биздан узоқлашаётган бўлса, товуш тони пасаяди. Ҳаракатдаги манбанинг ёруғлик частотаси ҳам худди шундай ўзгаради. Масалан, агар ёруғлик манбаи биздан ёруғлик тезлигининг 1% ига тенг тезлик билан узоқлашса, ёруғлик частотаси ҳам 1% га камаяди (қизил силжиш). Агар галактик қизил силжиш Допплер эффектига боғлиқ бўлса, галактикалар биздан уларгача бўлган масофага пропорционал тезликда узоқлашади. 200 000 км/сек тезликка тўғри келувчи қизил силжиш ҳам кузатилган. Бу фантастик катталиқ ёруғлик тезлигининг ярмидан кўпини ташкил қилади.

Модданинг бундай катта тезликда ҳаракат қилиши, умуман, таажжубланарли ҳол эмас. Электронларни ёки атом ядроларини бу тезликларга қадар тезлатиш ҳозирги замон фани учун унча мураккаб вазифа эмас. Аммо катта массаларнинг бундай тезлик билан ҳаракатланиши биз учун одатдан ташқари ҳодисадир. Йўлдошнинг тезлиги катталиқ жиҳатидан 10 км/сек га тенг. Ер Қуёш атрофида 30 км/сек тезликда айланади. Бизнинг галактикамиз юлдузларининг ҳаракат тезлиги тахминан 300 км/сек га тенг. Бироқ агар биз галактик қизил силжишни Допплер эффекти билан тушунтирсак, унда галактикалар юз ва минг марта катта тезликлар билан ҳаракатланишлари керак.

Лекин қизил силжиш Допплер эффекти билан боғлиқми? Допплер эффектидан ташқари, қизил силжишни ҳосил қиладиган яна бир ҳодиса маълум. Умумий нисбийлик назариясига мувофиқ гравитацион майдонда тарқалаётган ёруғликнинг частотаси тортишиш кучларининг таъсири остида ўзгариши мумкин. Бу

фотонлар (ёруғлик квантлари) массага ва, бинобарин, оғирликка эга эканлигига боғлиқ. Шунинг учун тортишиш майдонида фотонни «кўтариш» учун энергия сарфлаш керак, бу энергия эса фотоннинг ўз энергиясидан олинади. Лекин фотоннинг энергияси частотага пропорционал, шу сабабли частота камайиши, яъни қизил силжиш рўй бериши керак. Қуёш сиртидан чиқаётган ёруғлик ҳам қизил силжишга учрайди, чунки қуёшни «тарк қилаётган» фотонлар унинг гравитацион майдонида иш бажаради. Лекин ёруғлик Ерга «тушаётганида» у «бинафша силжишга» учрайди, чунки ернинг тортиши ҳисобига фотонлар энергияси ортади. Ернинг гравитацион майдонининг таъсири фавқулодда кичик (бу Мессбауэр эффекти ёрдамида тажрибада исботланган), Қуёшнинг тортишиш майдонининг таъсири ҳам кичикдир.

Балки галактикаларнинг қизил силжиши гравитацияга боғлиқдир? Метагалактика — радиуси бир неча миллиард ёруғлик йилига барабар бўлган гигант сферадан иборат, деб фараз қиламиз. Бу сфера сиртида жойлашган бирор галактика фотонлар чиқариб, бу фотонлар Метагалактиканинг биз турган — «бурчагига» етиб келсин. Фотонларни сфера ичида жойлашган модданинг бутун массаси тартади, шунинг учун уларнинг энергияси ортиб бориши керак. Шундай қилиб, Метагалактикада тарқалаётган ёруғлик, умуман айтганда, қизил силжишга эмас, фақатгина бинафша силжишга учраши керак. (Кузатилаётган қизил силжиш барча йўналишларда бир хил бўлганлиги учун симметрия нуқтани назаридан, сферадан ташқаридаги ҳеч қандай масса қизил силжишни вужудга келтиролмайди.) Шундай қилиб, биз, галактик қизил силжиш гравитацион эффект эмас, деган хулосага келамиз.

Демак, бизга маълум бўлган физикавий ҳодисалар ичида Допплер эффекти кузатилаётган қизил силжишни тушунтира оладиган ягона ҳодиса бўлиб қолади. Табиийки, қизил силжиш бизга номаълум бўлган бошқа ҳодиса натижасида ҳам вужудга келиши мумкинлигини инкор этмаймиз.

Қизил силжишни тушунтиришга уринадиган икки хил тасаввур бор. Иккиси ҳам биз кузатаётган ёруғлик нури жуда илгари чиқарилганлигини тан олади. Агар галактика биздан миллиард ёруғлик йилига тенг масофада турган бўлса, биз ҳозир кўраётган нур бу галак-

тикани бундан миллиард йил илгари тарк қилган. Лекин биз атомларнинг хусусиятлари қандай бўлганлигини айтолмаймиз. Масалан, Милннинг фаразига кўра, биз кузатаётган фотонларнинг аввалги частотаси ҳозирги замонда атомлар чиқарадиган нурлар частотасидан кичик бўлган. Агар ёруғлик тебранишларининг частотаси вақтга пропорционал равишда ўзгарса, у ҳолда қизил силжишни шу усул билан тушунтириш мумкин.

Атомларнинг хусусиятлари табиатнинг баъзи бир доимийлари билан аниқланади. Масалан, агар ёруғлик тезлиги, Планк доимийси, протон ва электроннинг массаси ва заряди маълум бўлса, Бор назариясига биноан водороднинг спектрал чизиқларининг частоталарини аниқ ҳисоблаш мумкин. Агар атомлар бир замонларда ҳозиргига қараганда бошқача хусусиятларга эга бўлган бўлса, Борнинг атом назарияси ҳозир тўғри бўлиб илгариги ҳоллар учун нотўғри бўлиши ҳам эҳтимолдан холи эмас. Албатта бу фараз, холос. Бундан кўра табиатнинг қандайдир доимийси ёки доимийлари вақт ўтиши билан ўзгариб туради, дейиш маъқулроқ. Масалан, ёруғлик тезлиги ёки Планк доимийси ўзгариб туради, деб фараз қилиш мумкин. Агар биз қизил силжишни бу йўсинда тушунтирмоқчи бўлсак, турли доимийларни вақт ўтиши билан ўзгариб туришини кўрсатадиган қонунларни ҳам яратишимиз мумкин эди.

Ҳозирги пайтда доимийларнинг ўзгариши ҳақида тажриба маълумотлари йўқ; аммо бу ўз-ўзидан гипотезани рад қиладиган ҳал қилувчи далил бўлолмайди, чунки қизил силжишни тушунтириш учун «доимийларнинг» жуда кичик ўзгаришлари ҳам кифоя қилади, аниқ ўлчашлар эса бир неча ўн йиллар давомида ўтказилади, холос. Агар миллиард йил ичида «доимий» 10% га ўзгарган бўлса, унинг 100 йил ичидаги ўзгариши юз миллиондан бир қисмини ташкил қилади, холос. Буни сезиш учун эса юксак аниқлик талаб қилинади.

Доимийларнинг ўзгариши ҳақидаги гипотезадан бошқа ҳодисаларга тегишли бўлган натижалар чиқариш мумкин. Аммо бу натижаларнинг бирортаси ҳам тўла тасдиқлангани йўқ. Шу билан бирга улар ишончли равишда рад қилингани ҳам йўқ.

Милннинг доимийларнинг ўзгариши ҳақидаги фарази худди шу ҳол учун яратилган гипотезадир. У фақат бир ҳодисани — қизил силжишни шарҳлайди, холос.

Қизил силжишни тушуўтиришга уринушлардан яна бири шундан иборатки, атомлар доим худди ҳозиргидек спектрал чизиқлар чиқариб турган, лекин узоқ ҳаракати давомида ёруғлик ўз «рангини» ўзгартирган. Бўшлиқдаги миллионларча йиллик саёҳат давомида «чарчаган» нурни ва бу «чарчаш» қизил силжиш сифатида намоён бўлишини кўз ўнгимизга келтиришимиз мумкин. Биз бундан анча илгари ёруғлик массага ва энергияга эга бўлган фотонлар оқими эканлиги ва бу катталиклар частотага пропорционал эканлиги ҳақида гапирган эдик. Бинафша спектрал чизиқларга мос келувчи фотонлар қизил ёруғликдаги фотонларга қараганда каттароқ масса ва энергияга эга. Унда қизил силжишни фотон ўзининг узоқ йўлида энергия йўқотганлиги билан тушунтириш мумкин. Биринчи қараганда бу ҳақиқатга анча яқин фаразга ўхшайди, лекин уни диққат билан муҳокама қилсак, жиддий қийинчиликларга учраймиз. Қизил силжишни фотонларнинг олам фазосидаги модда билан ўзаро таъсирга боғлаб тушунтириш мумкин эмас, чунки бу модданинг зичлиги жуда кичик. Ёруғликнинг космик фазода миллион ва миллиард йиллар давомида ўтган йўлидаги модданинг тўла хоссаси ер атмосферасининг бир неча сантиметрлик қатламига тўғри келади. Биз эса ёруғлик нури тўлқин узунлигини заррача ҳам ўзгартирмай ер атмосферасидан километрлаб масофани ўтишини биламиз. Энди, қизил силжиш вакуум билан ўзаро таъсир натижасида вужудга келган деб ҳисоблаш қолди, яна бунинг устига бу ўзаро таъсир янги, илгари маълум бўлмаган характерга эга. Қизил силжиш фотонларнинг энергия йўқотишини ифодалагани учун, бу энергия нимага сарфланади, деган савол туғилади. Бу ерда биз ёки энергиянинг сақланиш қонунидан юз ўгиришимиз, ёки энергия йўқотиш қандайдир номаълум механизм билан боғлиқ деб ҳисоблашимиз керак. Иккала фикр ҳам физиканинг асосий тушунчаларини шубҳа остига олувчи тафтишни билдирар эди. Шунинг учун биз фақат битта имкониятга эгамиз: қизил силжиш Допплер эффекти билан боғланган. Шундай қилиб, биз галактикалар биздан ўзларигача бўлган масофага пропорционал тезликда узоқлашади, деб ҳулоса қиламиз.

Ёруғликнинг бир жинсли бўлмаган гравитацион майдонда синишини Эйнштейн 1915 йилда олдиндан айтиб берган эди, тўрт йилдан кейин эса бу нарса тажрибада аниқланди. Умумий нисбийлик назариясига кўра гравитацион майдон фазонинг хусусиятларини ўзгартиради. Катта массага эга бўлган осмон жисмларининг яқинида фазонинг бир жинслиги бузилади ва натижада ёруғликнинг тўғри чизиқ бўйлаб тарқалиш қонуни ҳам бузилади. Ёруғлик нури эгриланади, унинг траекторияси ботиқлиги марказ томонга қараган эгри чизиқдан иборат бўлади, яъни ёруғлик нурлари экранловчи юлдузга томон «тортилади». Бу факт гравитацион майдоннинг йиғувчи линза сифатида таъсир қилишини кўрсатади.

Гравитацион майдонда синиш | бурчагининг нишонголиш параметрига боғлиқлиги жуда оддий—синиш бурчагининг катталиги нишонга олиш параметрига тескари пропорционал:  $\varphi = \frac{2R_{гр}}{P}$ . Пропорционаллик коэффициенти  $R_{гр}$  узунлик ўлчамлилигига эга бўлиб, жисмнинг гравитацион радиуси деб аталадиган катталикка тўғри келади:  $u \frac{2GM}{c^2}$  га тенг ( $G$  — гравитацион доимий,  $M$  — жисмнинг массаси  $c$  — ёруғлик тезлиги). Қуёш учун  $R_{гр} = 3$  км.

Сайёраларнинг атмосфераларидаги рефракцияга қараганда гравитацион синиш эффекти жуда заиф, шунинг учун уни фақатгина қуёшнинг гравитацион майдонида кузатиш мумкин бўлди, холос. Ўлчашлар Қуёш тутилган вақтда ўтказилди, чунки бу вақтда юлдузларни бевосита Қуёш диски яқинида кузатиш мумкин. Синиш бурчаги  $\alpha$  назарий қийматга жуда яқин, яъни 1,75" га тенг бўлиб чиқди. Гарчи биринчи кузатишлардан бери 50 йилдан кўпроқ вақт ўтган ва тажриба маълумотлари кўп марта текширилган бўлса ҳам ўлчаш хатолиги ҳали ҳам 10% атрофидалигича қолмоқда. Сўнгги йилларда гравитацион майдонда фақатгина ёруғлик тўлқинларининг эмас, балки радиотўлқинларнинг ҳам синиш бурчаги ўлчанди (бурчакнинг назарий қиймати аввалгича қолади, чунки бу бурчакнинг катталиги тўлқиннинг узунлигига боғлиқ эмас).

Тажриба иккита «нуқтавий» радиоманба — квазарлар орасидаги бурчак масофани ўлчашдан иборат. Бу

квазарларнинг бири ҳар йили кўзда, октябрь ойида Қуёшнинг орқасида тўсилиб қолади. Радионурлар Қуёшнинг гравитацион майдони таъсирида бурилади, бунинг натижасида манбалар орасидаги бурчак масофа бирмунча ўзгаради. Радиоўлчашлар тажриба хатолигини 10% дан 1% гача камайтиради деб тахмин қилинапти. Бу даражадаги аниқликнинг аҳамияти катта бўлиши мумкин, чунки умумий нисбийлик назариясидан ташқари бошқа яна тортишиш ҳақидаги назариялар ҳам мавжуд бўлиб, улар ҳам синиш бурчаги учун деярли шундай (ҳар ҳолда бир оз бошқачароқ!) қиймат бермоқда. Синиш бурчаги оптикавий кузатишлардагига қараганда анча катта аниқлик билан ўлчангандагина бу назариялардан биронтасини танлаш мумкин бўлади.

Худди шунингдек, умумий нисбийлик назарияси олдиндан айтиб берилган ва нурларнинг синиши билан бир вақтда кузатилиши лозим бўлган яна бир эффект бор. Биз юқорида гравитацион майдон фазонинг хусусиятларини ўзгартиради, деб айтган эдик, лекин аслида фазо вақтнинг хусусиятларини ўзгартиради деб айтишимиз керак эди. Шунинг учун гравитация майдонида фақат нурлар эгриланибгина қолмай, балки сигналнинг тарқалиш тезлиги ҳам ўзгаради. Асримизнинг бошида Эйнштейн олдиндан айтган бу эффект фақат 60- йилларнинг охирларига келиб, сайёраларни радиолокациялаш вақтида топилди. Бунинг қандай амалга ошганлигини батафсилроқ ҳикоя қиламиз.

Сайёраларни радиолокациялашнинг мазмуни шундаки, фазога аниқ, пухта бошқариб туриладиган радиосигналлар юборилади. Сайёраларнинг сиртидан қайтиб келган сигналлар синчиклаб ўрганилади ва уларда қандай ўзгаришлар юз берганлиги аниқланади. Қайтиб келган сигналнинг ўзгаришларида сайёранинг ўзи ҳақида ва ўнларча миллион километр масофага бориб қайтиб келаётган сигнал қандай ҳодисаларга дуч келганлиги ҳақида кўпдан-кўп информация бўлади. Қайтган сигналнинг ниҳоят даражада заиф бўлиши бу информацияни билиб олишда жуда катта қийинчилик туғдиради. Уни хилма-хил «шовқинлар» орасидан ажратиб олиш жуда мушкул иш.

Акс-сигнал энергиясининг зичлиги босиб ўтилган масофанинг тўртинчи даражасига тескари пропорционал равишда камаяди (тўлқин радиолокатордан сайёрагача



бўлган масофани бир марта олдинга ва орқа томонга босиб ўтади ва ҳар сафар энергия зичлиги масофанинг квадратига тескари пропорционал тарзда камаяди). Шунинг учун ҳам, масалан, Ойни радиолокация қилишдан Венерани радиолокация қилишга ўтиш ўлчаш системасининг сезгирлигини 10 миллион барабар оширишни талаб қилади. Гарчи сайёраларни оптикавий усулда кузатиш деярли юз йиллардан бери ўтказилаётган бўлса ҳам, бир неча йиллик радиолокацион текширишлар сайёраларнинг ҳаракат қонунларини батафсилроқ аниқлашга имкон берди. Бу қандай қилиб амалга ошди? Гап шундаки, радиолокацион маълумотлар оптикавий пассив кузатишларга қараганда иккита янги информацияга эга. Бу информациянинг бири акс-сигналнинг кечикиш вақти бўлиб, у сигналнинг тарқалиш тезлиги ва сайёрагача бўлган масофага боғлиқ. Иккинчиси — частотанинг силжиши. Бу силжиш сайёранинг радионур бўйлаб қилаётган ҳаракатининг тезлигига боғлиқ.

1961 йилга қадар узунликнинг астрономик бирлиги 0,1% аниқлик билан маълум эди: (1 *а. б.* = Ердан Қуёшгача бўлган ўртача масофа = 150 млн. км). 60-йилларда астрономик бирликни ўлчаш аниқлиги ортиб борди ва 1967 йилга келиб АҚШ ва СССРда ўтказилган радиолокацион кузатишлар асосида унинг узунлиги ёруғлик секундларида  $10^{-8}$  гача аниқлик билан маълум бўлди. Бахтга қарши, ёруғлик тезлиги ҳақидаги ҳозирги маълумотларнинг хатоликлари (бундаги нисбий хато  $10^{-6}$  га яқин) туфайли, 1 *а. б.* нинг километрлардаги қиймати кичикроқ аниқлик билан ўлчанган. 1 *а. б.* нинг узунлиги ва сайёралараро масофаларни аниқ билиш фақат космонавтика учунгина амалий аҳмиятга эга бўлиб қолмасдан, туб физикавий қонунларни текшириб кўришга ҳам имкон беради.

Кўп сонли радиолокацион кузатишлар натижасида Ер орбитасининг параметрлари шундай аниқлик билан ўлчанадики, энг яқин сайёралардан қайтган акс-сигналларнинг кечикиш вақтини 10 *мк сек* гача аниқлик билан олдиндан ҳисоблаш мумкин бўлди. Бу эса масофани ўлчашда 1,5 км ли хатолик беради, холос! Бундай аниқлик Қуёшнинг гравитацион майдонида радиотўлқинлар тарқалиш тезлигининг камайишини сезиш учун етарлидир.

Умумий нисбийлик назариясига кўра, Меркурийдан Ерга келаётган радионур Қуёш сиртининг яқинидан

ўтса, тахминан 200 *мк сек* га кечикади. Гарчи бу кечикиш умумий кечикишнинг ўн миллиондан бир қисмини ташкил қилса ҳам, барибир юқорида айтилган хатолик (10 *мк сек*) дан анча катта бўлганидан, уни ўлчаса бўлади. Сайёра сиртининг ҳар хил қисмларидан қайтган сигналлар таъсирида ҳосил бўладиган ноаниқликдан қутулиш усуллари ҳақида гапириб ўтирмаймиз. Бунда фақат частотанинг доплерча силжишидан фойдаланилишини айтиб ўтамиз, холос.

Венерани 1966 йилда юқори бирлашиш яқинида ва Меркурийни 1967 йилда учта юқори бирлашиш яқинида радиолокация қилиш маълумотларига асослаиб (юқори бирлашишда Қуёш Ер билан сайёранинг ўртасида бўлади), ҳақиқатан ҳам, Қуёшнинг гравитацион майдонни электромагнит тўлқинларнинг тарқалиш тезлигини 20% га яқин хатолик билан умумий нисбийлик назарияси олдиндан айтиб берадиган катталиқка камайтиради, деган хулосага келинди.

Уша ўлчашларнинг ўзидан умумий нисбийлик назариясини текшириб кўришнинг яна бир классик усули — Меркурий перигелийсининг бурчак ҳаракатини аниқлашда фойдаланиш мумкин. Кўп йиллар давомида йиғиладиган маълумотлар асосида Қуёш сиқилаяптими ёки йўқми, гравитацион кучлар вақт ўтиши билан ўзгараптими ёки йўқми, деган саволларга жавоб бериш мумкин бўлади деб умид қилиш мумкин. Масалан, гравитацион доимий ўз катталигининг ўн миллиондан бир қисмига ўзгарса, беш йилга яқин кузатишлар давомида бу ўзгаришни сезиш мумкин бўлади.

## Х боб

### УМУМИЙ НИСБИЙЛИК НАЗАРΙΑСИНING ТЕНГЛАМАЛАРИ

#### 39- §. Дунё геометрияси

Умумий нисбийлик назариясининг асосий қондаларини таърифлашдан олдин назариянинг математик асоси билан танишиб чиқишимиз керак. Деярли тўла равишда ўрта мактаб математикаси тили билан айтиб берилиши мумкин бўлган махсус нисбийлик назарияси-

дан фарқли равишда, умумий инсонийлик назарияси олий математиканинг бир қанча мураккаб геометрик тушунчаларини билишни талаб қилади.

Геометрик ғояларни кўриб ўтайлик. Ньютон ўзининг «Натурал фалсафа асослари»да фойда фазо ва вақтни мутлақ тушунчалар сифатида киритди. Ньютоннинг дунёқарашларини танқид қилишди, лекин бу танқидлар ҳар хил позицияларга асосланган эди. Инглиз файласуфи материалист Д. Толанд фазо — вақтнинг мутлақлиги хусусида шундай деган эди: «... мен, материядан ажралган ва уни ўзида жойлаштирган мутлақ фазо ва вақтга ишонч билан қараёлмайман». Лекин материалист файласуфларнинг ҳам, идеалист (Беркли сингари) файласуфларнинг ҳам танқидий мулоҳазалари бу тушунчаларга нисбатан бўлган илмий, геометрик ёндашишларда ҳеч қандай ўзгариш туғдирмади. Ньютоннинг фазо ва вақтга бўлган муносабати Кантнинг ишлари туфайли, гарчи Кант бу масалага идеализм позициясидан туриб ёндашган бўлса ҳам, олимлар орасида янада кучлироқ мустақамланди.

Кантнинг фикрича фазо ва вақт ҳиссий сезишнинг, «нарса ўзида»ни қабул қилишнинг шаклларида иборат. Уларнинг хусусиятлари онгнинг ўзгармас хоссаларига боғлиқ; шу сабабли фазо ва вақт ҳақидаги Эвклид геометрияси ва Ньютон механикаси туфайли вужудга келган ва мавжуд бўлган тасаввурлар мумкин бўлган ягона тасаввурлардир, чунки, улар бизнинг онгимизнинг ўзгармас хусусиятлари билан аниқланади.

Ноевклид геометрия кашф қилингандан сўнг аҳвол тубдан ўзгарди. Бир нуқтадан ўтувчи параллел тўғри чизиқлар ҳақидаги евклиднинг бешинчи постулатини исбот қилиш имкониятининг йўқлиги бу постулатнинг исбот қилинмаслиги ҳақидаги ғоянинг келиб чиқишига, бинобарин, бошқа постулатларга асосланган геометрияни яратиш имконияти борлигига олиб келди.

Биринчи бўлиб бу ғоя Гауссда пайдо бўлди. У XIX асрнинг бошларидаёқ бошқа, ноевклид геометриянинг яратилиши мумкинлиги ҳақида ўйлай бошлаган эди. У, фазонинг хусусиятлари ҳақидаги тасаввурлар ҳаёлий бўлмай балки тажрибадан келиб чиққанлиги ҳақидаги фикрни айтди. Лекин замондошларининг кулгисига сабаб бўлишдан қўрқиб Гаусс ноевклид геометриялар ҳақидаги масала бўйича ҳеч нарсани эълон қилмади.

1826 йилда Қозон университети физика-математика факультетининг мажлисида бизнинг ажойиб математигимиз Н. И. Лобачевский ноевклид геометрияни кашф қилганлиги ҳақида доклад қилди. Бир неча йилдан сўнг яна бир киши венгер математиги Я. Больяи бундан бе-хабар ҳолда ўзининг ноевклид геометрия тўғрисидаги ишини эълон қилди.

Немис математиги Риманнинг бу ҳақдаги ғоялари эса Лобачевский ғояларидан бир оз фарқ қилади. Риман фазонинг умумлашган тушунчасини киритиб уни  $n$  — тартибдаги узлуксиз хилма-хилликлар —  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  сонлар системаси билан аниқланадиган объектлар, нуқталар мажмуаси сифатида талқин қилади. Гауссинг сиртлар геометрияси ғояларидан фойдаланиб, Риман  $n$  — ўлчовли фазо учун чексиз яқин жойлашган икки нуқта орасидаги  $ds$  масофа тушунчасини ва бу фазонинг ҳар бир нуқтаси учун эгрилик тушунчасини киритади. Ундан ташқари, Риман фазонинг хусусиятлари моддий жисмларга боғлиқ бўлиши керак, деб ҳисоблар эди.

Лобачевский, Больяи ва Риман геометрияси фалсафий ва ҳаётий тушунчаларга зид бўлганлиги учун узоқ вақтларгача кулгиларга сабаб бўлиб юрди. Бироқ, XIX асрнинг 60- йилларидан бошлаб ўзгариш юз берди. Эски маълумотларга қизиқиш пайдо бўлди, ноевклид геометрия аппаратидан фойдаланган янги назариялар яратилди. Бу Клифорд, Нейман ва айниқса Махнинг ишлари эди.

Риман назариясининг асосий тушунчалари билан та-нишиб чиқайлик. Бу назарияга кўра тўғри чизиқда жойлашмаган нуқтадан шу тўғри чизиқни кесиб ўтмайдиган бошқа тўғри чизиқ ўтказиш мумкин эмас, яъни иккита ихтиёрий параллел «тўғри чизиқ» давом эттирилганда албатта бир-бирини кесишади. Бундай геометрияда уч-бурчак бурчакларининг йиғиндиси икки тўғри бурчак йиғиндисидан катта бўлади. Риман геометриясида нуқталар орасидаги масофа эвклид геометриясидагига ва Лобачевский геометриясидагига қараганда бошқача ифодаланади. Риманнинг текислик учун муносабатлари сфера геометриясига мос келади. Сфера сиртида биз тўғри бурчакли декарт координаталаридан эмас, балки ўзаро кесишадиган меридианлар ва параллеллар системасидан, яъни эгри чизиқли координаталардан фойдаланамиз. Лобачевский геометрияси амалга ошадиган

эгри сирт граммофон трубасига ўхшайди, ундаги бурчаклар йиғиндиси икки тўғри бурчакдан кичик бўлади.

Сфера ва псевдосферанинг (граммофон труба) сиртида тўғри чизиқлар вазифасини эгри чизиқлар ўтайди. Улар текисликдаги тўғри чизиқлар билан бир умумий хоссага эга — улар шу сиртларнинг устидаги ҳар бир нуқталар орасидаги энг қисқа масофадир. Бу чизиқлар геодезик чизиқлар дейилади.

Текисликдаги масофани декарт координаталари орқали ифодалайдиган формулани шундай умумлаштириш мумкинки, уни эгри сиртларга нисбатан ҳам қўллаш мумкин бўлади ёки икки ўлчовли Риман ва Лобачевский геометрияларига ўтилганда ўз аҳамиятини сақлаб қолади.

Маълумки, текисликдаги кесма узунлигининг квадрати координаталар айирмаларининг квадратлари йиғиндисига тенг:

$$\Delta s^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2.$$

Эгри сирт учун бу ифода қуйидаги шаклда бўлишини кўрсатишимиз мумкин:

$$\Delta s^2 = g_{xx} \Delta x^2 + g_{xy} \Delta x \Delta y + g_{yx} \Delta y \Delta x + g_{yy} \Delta y^2 \quad (35)$$

индекслари бўлган  $g$  коэффициентлар ҳар хил сиртлар учун фарқни ҳосил қилади. Эвклид геометриясида бу ифодалар жуда содда кўринишда бўлади:

$$g_{xx} = g_{yy} = 1,$$

$$g_{xy} = g_{yx} = 0$$

ва масофанинг квадрати  $\Delta s^2$  бизга таниш  $\Delta x^2 + \Delta y^2$  шаклга келади. Агар сирт эгри бўлса  $g$  коэффициентлар 1 га ёки 0 га тенг бўлмайди. Бинобарин,  $g$  катталиклари сиртнинг характерлайди. Агар сиртнинг эгрилиги доимий бўлса уларнинг қийматлари ҳам доимий бўлади. Сиртнинг эгрилиги нуқтадан-нуқтага ўзгариб борса катталик ҳам ўзгариб боради.

Бу коэффициентларнинг геометрик табиатини аниқлайлик. Маълумки координаталар системаларида нуқтадан-нуқтага ўзгармайдиган ва биргина сон билан характерланадиган катталик скаляр деб айтилади. Бундай катталик инвариант дейилади. Вектор деб, координаталар системасининг ўзгаришларига боғлиқ бўлган ва сирт устида иккита сон билан, фазода эса учта сон билан характерлана-

Диган катталikka айтилади. Вектор уни ташкил этувчилар орқали—координаталар ўқларидаги проекциялари орқали ёки йўналиши ва катталиги орқали берилади. Кейинги тушунча тензор ҳақида бўлиб, бу векторни ўзига хусусий ҳол сифатида қабул қилади. Тензор деганда координаталарнинг ўзгаришига боғлиқ бўлган ва сирт устида энг камида 4 та координата (сонлар), фазода эса 9 та координаталар орқали аниқланадиган катталик тушунилади. Кўп миқдордаги ташкил этувчиларга эга бўлган янада мураккаброқ тензорлар ҳам бўлади. Олдинроқ киритилган  $g_{xx}, g_{xy}, \dots$  ва ҳ. к. коэффициентлар ҳам тензорни ташкил қилади. Бу тензор нуқта-лар орасидаги масофани, яъни сиртнинг ёки фазонинг метрикасини белгилаганлиги учун уни метрикавий тензор ёки туб метрикавий тензор деб айтилади. Энди кесманинг узунлигини уч ўлчовда ёзамиз. Қулайлик учун  $x, y$  ва  $z$  ни  $x$  орқали белгилаймиз, бунда  $i$  нинг қийматлари 1 дан 3 гача бўлади. Худди шунингдек, метрикавий тензорни  $g_{ik}$  орқали белгилаймиз, бунда иккала индекс ҳам бир-биридан мустақил равишда 1 дан 3 тагача қийматга эга бўлади.

Уч ўлчовли фазода масофа умумий ҳолда

$$\Delta s^2 = g_{xx} \Delta x^2 + g_{yy} \Delta y^2 + g_{zz} \Delta z^2 + g_{xy} \Delta x \Delta y + g_{yx} \Delta y \Delta x + g_{zx} \Delta x \Delta z + g_{zx} \Delta z \Delta x + g_{yz} \Delta y \Delta z + g_{zy} \Delta z \Delta y$$

кўринишда бўлади. Лекин бу узундан-узоқ ёзувни индекс-лар ёрдамида қисқагина ёзиш мумкин:

$$\Delta s^2 = \sum_{ik} g_{ik} \Delta x_i \Delta x_k. \quad (36)$$

Бу ёзувни шундай тушуниш керак:  $i$  ва  $k$  индекслар 1 дан 3 гача бўлган ҳар қандай қийматларни қабул қилганда  $\Delta x$  элементларнинг ҳар хил кўпайтмалари қўшилади.  $\Sigma$  белги  $\langle i \rangle$  ва  $\langle k \rangle$  индекслар билан бирга бўлганда  $\Delta x_i \times \Delta x_k$  кўпайтмалар қўшилиши лозимлигини билдиради.

Уч ўлчовли эвклид фазоси учун  $g_{ik}$  коэффициентлар  $g_{11} = g_{22} = g_{33} = 1$  кўринишга эга, бошқа барчаси нолга тенг.

Уч ўлчовли фазонинг эгрилиги ҳақидаги тушунчани кўргазмали равишда тасаввур қилиб бўлмайди. Тўғри чизик билан эгри чизик, текислик билан қандайдир эгри сирт (сферанинг бўлаги, цилиндрнинг, эгарнинг бир қисми ва ҳоказо) орасидаги фарқни ҳамма осонгина сезади ва тушунади. Бу ерда эса кўргазмаликдан воз кечиш-

га ва уч ўлчовли (ёки  $n$  ўлчовли) фазонинг эгрилиги деб эвклид метрикасида четлашишни тушунишга тўғри келади. Аслини олганда  $g_{11}, g_{12}, g_{13}, \dots, g_{33}$  коэффициентларни топиш керак.

Табийки юқорида айтилганларнинг ҳаммасини ҳар қандай ўлчовли фазо учун умумлаштириш мумкин, у ҳолда « $i$ » ва « $k$ » индекслар 1 дан  $n$  гача қийматларни қабул қилади. Биз учун эса, албатта,  $n = 4$  бўлган ҳол жуда муҳимдир. Бу, илгари муҳокама қилиб ўтилган (II бобга қаранг) МННнинг геометрик асоси бўлган. Минковскийнинг тўрт ўлчовли фазо — вақтига тўғри келади. Билиш йўлида яна бир қадам қўямиз. Махсус нисбийлик назариясига бағишланган II бобда биз фазо ва вақтни умумий тўрт ўлчовли фазо — вақтга бирлаштириш кераклигига ишонч ҳосил қилдик. Унинг нуқталари (воқеалари) орасидаги масофа

$$ds^2 = -c^2 \Delta t^2 + \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2$$

ифодадан иборат эди. Ёки бизнинг янги ёзувимиздан фойдалансак

$$\Delta s^2 = \sum_{ik} g_{ik} \Delta x_i \Delta x_k$$

бўлиб, унда  $i$  ва  $k$  1 дан 4 гача қийматга эга бўлади.  $c \Delta t$  ни биз  $\Delta x_4 = (ict)^2$  билан алмаштирдик, лекин махсус нисбийлик назариясида эвклид фазоси учун  $g_{ik}$  коэффициентлар 1 га ёки нолга тенг эди. Энди, гравитация назарияси ғояларининг дунёсига қадам қўяётиб биз  $g_{ik}$  коэффициентларни умумий равишда қабул қиламиз; бу коэффициентлар доимий бўлмай эгриликка боғлиқ бўлади.

#### 40- §. Тортишиш. Умумий нисбийлик назариясининг асосий ақидалари

Энди, умумий нисбийлик назариясининг математик аппаратининг асосий тушунчалари билан танишиб чиққанимиздан сўнг геометрия ва физиканинг ўзаро алоқаларини муҳокама қиламиз. Умумий нисбийлик назариясининг асосий ғояларини қуйидаги тарзда ифодалаш мумкин:

а) дунё, геометрик нуқтаи назардан, Риман метрикасига эга бўлган тўрт ўлчовли фазо — вақтдан иборат;

б) моддий нуқта гравитация таъсири остида (бошқа массалар эффеќти) инерция бўйича ҳаракат қилади;

в) дунёвий тенгламалар туб материкавий тензор  $g_{ik}$  билан материяни характерлайдиган катталиќлар орасидаги боғланишларни ифодалайди.

Бу асосий қоидалар билан танишиб чиќамиз. Уларнинг биринчиси бундан олдинги параграфдан тушунарлидир. Иккинчи қоида шуни билдирадики, тортишиш майдонида турган моддий нуқтанинг дунёвий чизиги бизнинг уч ўлчовли дунёмиз учун тўғри чизиқдан иборат. Учинчи қоида материяни характерлайдиган катталиќлар кўрсатилишини тақозо қилади. Бунақа мукамал таъриф жуда мураккаб математик аппаратни — тензор ҳисобини ишлатишни талаб қилади. Шунинг учун бу тенгламаларни юзаки шаклда таърифлаб қўяверамиз.

Дунёвий тенгламалар — бу дифференциал тенгламалар бўлиб, улардаги номаълум функциялар  $g_{ik}$  коэффициентлар ва материяни характерлайдиган катталиќларга боғлиқ бўлади. Умумий ҳолда, фазонинг эгрилиги нуқтадан нуқтага ўзгариб борса, эгрилик тензори деган катталиќ киритилади ва туб тензорнинг ҳар бир нуқтада, ҳамма йўналишларда ўзгариши ўлчанади. Равшанки, ҳар қандай катталиќнинг ўзгариши шу катталиќнинг ҳосиласи орқали берилади. Метрикавий тензорнинг ҳосилалари Кристоффель тимсоллари деб аталадиган тимсолларни ташкил қилади. Бу тимсоллардан ва уларнинг ҳосилаларидан эгрилик тензори ёки Риман—Кристоффель тензори ҳосил бўлади. Агар бу тензор нолга тенг бўлса, фазо «теќис» бўлади, туб метрикавий тензор  $g_{ik}$  даги барча катталиќлар доимий бўлади. Метрикавий тензор  $g_{ik}$  нинг ва эгрилик тензорининг қийматлари билан гравитацион майдоннинг потенциали ва кучланганлиги солиштириб кўрилади. Тортишиш мавжудлиги сабабли дунёвий чизиқлар эгриланадиган тўрт ўлчовли фазо—ваќтда  $g_{ik}$  тензорнинг ташкил этувчилари дунёвий чизиқлар эгриланмайдиган, гравитацион майдон бўлмаган жойда доимий бўлади. Жисмни тезланишли ҳаракат қилишга мажбур қиладиган гравитацион майдонлар бор жойда эса  $g_{ik}$  нинг ташкил этувчилари ўзгаради. Уларнинг фазо—ваќтда ўзгариш тезлиги, уларнинг ҳосилалари, гравитацион майдон кучланганлигига—бирлик массага таъсир қилувчи кучга тўғри келади. Ньютон назариясида гравитацион потенциал  $\phi$  ни модда зичлигининг  $\rho$  тақсимотига боғлиқлиги қуйидаги



Пуассон тенгламаси билан берилишини кўрсатишимиз мумкин:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 4 \pi \rho,$$

бу ерда  $\varphi$  гравитацион доимийдир.

Энди умумий ҳол учун Эйнштейн тенгламасини ёзайлик:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \lambda g_{\mu\nu} = -\gamma T_{\mu\nu}. \quad (37)$$

Бу ерда  $R_{\mu\nu}$  — эгрилик тензори,  $R$  — эгрилик,  $\lambda$  — космологик доимий,  $\gamma$  — одатдаги гравитацион доимийга пропорционал бўлган доимий,  $T$  — энергия — импульс тензори. Бу тенгламага кирадиган катталикларни оддийгина санаб чиқишнинг ўзидан ҳам кўришиб турибдики, умумий нисбийлик назарияси бир тенгламанинг ўзида фазо—вақтни ва материя—энергияни бирлаштирди. Эйнштейн Риман—Кристоффель тензорини гравитацион майдоннинг кучланганликлари билан, туб метрикавий тензор  $g_{ik}$  ning ташкил этувчиларини гравитацион майдоннинг потенциаллари билан айнийлаштирди (қиёслади). Бу янги гравитация назариясининг асосидир.

Бу тенглама мураккаб бўлганлиги учун тенгламанинг физикавий мазмунини аниқлашга яна бир бор уришиб кўриш фойдадан ҳоли эмас. Бу назария Минковскийнинг тўрт ўлчовли фазо—вақт хилма-хиллиги ҳақидаги геометрик ғоясини умумлаштиради; тортишиш назариясида гравитацион майдонлар хилма-хиллик эгрилигининг намоён бўлиши сифатида талқин қилинади. Масалан, жисмнинг ихтиёрий ҳисоб системасига нисбатан тезланиши геометрик нуқтаи назардан қараганда геодезик ўқларнинг координата ўқларидан четлашувидир. Бу четлашувлар координаталар системасининг танланишига боғлиқ, бу эса физикавий нуқтаи назардан қараганда инерциал ва гравитацион тезланишларнинг айнийлиги деб ҳисобланади. Риман тензори, яъни фазо—вақтнинг эгрилиги билан гравитация манбаи бўлган массалар орасидаги энергия импульс тензори орқали боғланиш барча координата системаларида ўз шаклини (ифодасини) ўзгартирмай сақланади.

#### 41- §. Эйнштейн тенгламаларининг ечими. Шварцшильд сфераси

Юқорида кўрсатилганидек, реал физикавий фазо ва вақтнинг хусусиятлари Евклид геометриясига эмас, балки Риман геометриясига мос келади. Геометрик хусусиятларнинг Евклид геометриясидан четлашишлари табиатда тортишиш майдонлари шаклида намоён бўлади. Бу хусусиятлар материя тақсимооти ва унинг ҳаракати билан чамбарчас боғлангандир. Бу ўзаро боғланишдир. Биринчидан, геометрик хусусиятларнинг Евклид геометриясидан четлашишлари тортилувчи массалар мавжудлигидан вужудга келади, иккинчидан, тортишиш майдонидаги массаларнинг ҳаракати бу хусусиятларнинг Евклид геометриясидан четланиши билан характерланади.

Массалар фазо ва вақт геометриясини белгилайди, геометрия эса — массаларнинг ҳаракат характерини белгилайди. Математик томондан бу ғоя умумий нисбийлик назариясининг йиғилган мазмунини ифодаловчи Эйнштейн тенгламалари воситасида тушунтирилиши мумкин. Эйнштейн тенгламалари метрик тензор  $g_{\mu\nu}$  деб аталувчи катталиқни материянинг тақсимооти ва ҳаракати билан боғлайдиган мураккаб дифференциал тенгламалар системасидан иборат.

Умумий нисбийлик назарияси эълон қилинганидан бир неча ой ўтгач, К Шварцшильд (1873—1916) энг оддий ҳолат — бир сферик массанинг гравитацион майдони учун Эйнштейн тенгламаларининг биринчи ечимини топди. Етарли узоқлашишда Шварцшильднинг ечими Ньютоннинг тортилиш кучи масофа квадратига тесқари пропорционал деган қонунидан кам фарқ қилади. Агар гравитацион майдоннинг манбаи сифатида зичлиги унча катта бўлмаган самовий жисм хизмат қилса, Шварцшильднинг ечими Ньютон ечими билан мос келади.

Умумий нисбийлик назариясининг тажрибада исботланиши ҳақида гапирганда биз бу тажрибаларнинг фазо ва вақт эгрилиги жуда кичик бўлганлиги туфайли, мураккаб эканлигини қайд қилган эдик. Ёруғлик нури Қуёш яқинидан ўтаётганда радиуси Қуёш радиусидан 700 марта катта бўлган кўзга кўринмас сфера бўйлаб эгилади. Бу сфера радиусини Қуёш яқинидаги фазо — вақтнинг эгрилик радиуси деб айтиш мумкин. Маълумки, эгрилик радиуси қанча-

лик кичик бўлса, нур шунчалик кўп эгилади, фазонинг эгрилиги шунчалик катта бўлади ( $R$  радиусли сферанинг эгрилиги  $\frac{1}{R^2}$  га тенг).

Агар эгрилик радиуси муҳокама қилинаётган объектнинг геометрик ўлчамларидан жуда катта бўлмаса, тортишиш майдони «кучли» ҳисобланади. Бу маънода Ер ва Қуёшнинг тортишиш майдонлари кучсиздир.

Аммо Ернинг бутун массасини радиуси 1 см ли сферага тўпласак, эгрилик радиуси манба яқинида манбанинг ўз ўлчамларига тенг бўлган кучли майдонга эга бўламиз. Бу радиус гравитацион радиус дейилади. (29) дан маълумки,  $M$  массали сферик жисмнинг  $R_{Гр}$  гравитацион радиуси  $R_{Гр} =$

$= \frac{2GM}{c^2}$  формула билан аниқланади. Катта масса атрофида

чизилган  $R_{Гр}$  радиусли сфера Шварцшильд сфераси дейилади. Агар гравитацияланувчи масса унинг Шварцшильд сфераси шу массадан ташқарида бўладиган даражада сиқилса, бошқа жисм Шварцшильд сферасига яқинлашиши мумкин эди. Жисмнинг бу сферадаги Ньютоннинг классик  $V =$   
 $= \left( \frac{2GM}{R} \right)^{1/2}$  формуласи бўйича ҳисобланадиган тушиш тезлиги  $c$  га интилади, шунинг учун бу ерда Ньютон назарияси бутунлай яроқсиздир.

Умумий нисбийлик назарияси нуқтан назаридан бу сиқилган массадан анча узоқда жойлашган ва тинч турган ташқи кузатувчига бу тушиш қандай тарзда кўрнинишни қараб чиқайлик. Жисмнинг тушиш тезлиги даставвал одатдагидек ортади. Бироқ Шварцшильд сферасидан бирор масофа узоқликда тушиш тезлиги пасаяди: тушаётган жисмнинг ҳаракати ташқи кузатувчининг вақтига қараганда секинроқ ўтадиган вақтга боғлиқ бўлади. Жисмнинг тезлиги шунчалик сусаядики, у ҳеч қачон Шварцшильд сферасига етиб бормаيدи, яъни чексиз узоқ муддатда тушади.

Агар юқоридан тушаётган бирор жисм ўзидан ёруғлик чиқарса, у гравитацион радиусга яқинлашган сари ёруғликда қизил силжиш ортади. Шварцшильд сферасига етганда (чексиз вақт ичида) унинг тебраниш частотаси шу даражада камаядики охирида бутунлай тўхташи мумкин. Фақатгина зарралар секинлашиб қолмай, ҳатто ёруғлик тезлигининг ўзи ҳам камаяди. Тушаётган жисмни «радиолокация» қилаётган ташқи кузатувчи

қайтган нурнинг етиб келишини борган сари узоқроқ кутар эди. Худди шу сабабларга кўра, кузатувчи ҳеч қачон Шварцшильд сферасининг ичида нималар бўлаётганини кўролмаган, у ердан чиққан ёруғлик сигнали унга ҳеч қачон етиб бормаган бўлар эди. Лекин ўзи Шварцшильд сферасига тушадиган ва унинг ичига ўтадиган кузатувчи нималарни кўради? Қанчалик таажжубланарли бўлмасин, бу кузатувчи сферага чекли вақт ичида етиб олади ва уни кесиб ўтади; унинг қўлидаги соат чекли вақтни кўрсатиб туради. У Шварцшильд сферасининг ичига кириб кетганда ҳам ҳеч қандай мўъжизани кўрмайди. Сферанинг ичида туриб ташқарига сигнал бера олмаслик ҳодисасини учратмайди. Кузатувчи нуқтаи назаридан у юбораётган сигналлар нормал тезликда тарқалади. Ташқарида қолган ҳамкасбининг соатига қараганда кузатувчининг соати борган сари секинлашганини кўрамиз. Иккинчи томондан эса ташқи кузатувчининг соатига нисбатан саёҳатдаги дўстининг соати борган сари секинлашиб, у Шварцшильд сферасини кесиб ўтадиган вақтни ҳеч қачон кўрсатмайди.

Буларнинг ҳаммаси ғоятда ғайри табиий кўринади. Бизнинг турмушимиз фазо вақт эгрилиги сезилмас даражада бўлган кучсиз гравитацион майдон шароитида ўтади ва тортишиш майдонларидаги кучли релятивистик эффектларни муҳокама қилиш назарийчиларнинг ҳақиқий ҳаётга ҳеч қандай алоқаси бўлмаган эрмакларига ўхшаб кўринади.

Лекин аслида ундай эмас! 1968 йилда зичлиги 100 млн. т/см<sup>3</sup> бўлган ва нейтронлардан тузилган юлдузлар кашф қилинди. Бу юлдузларнинг ёритиши даврий равишда жуда кичик давр билан ўзгариб туради, шунинг учун улар пульсарлар деб аталади. Бундан ташқари, 1963 йилда топилган квазарлар (квазиюлдузлар) ва квазигалактикалар массаси  $10^8$  Қуёш массасига етадиган ўта оғир юлдузлардир. Бундай юлдузлар ақлга тўғри келмас даражада ёруғдир, улар юзларча миллиард юлдузларга эга бўлган бизнинг Галактика-мизнинг умумий ёритишидан минг барабар қудратлироқ нурланишга эга.

*Янги эффект.* Экспериментал имкониятларнинг ортиб бориши билан умумий нисбийлик назариясини текширишнинг барча янги усуллари осонлашиб боради.

1964 йилда Шапиро умумий нисбийлик назарияси башорат қилган ёруғлик тезлигининг катта массали жисмлар яқинида камайиш эффектидан фойдаланишни тавсия қилди. Агар Венерага ва Меркурийга бу планеталарнинг маълум ҳолатида, Ердан радиолокация импульси юборилса ва бу импульс Қуёш гардиши яқиндан ўтадиган бўлса, умумий нисбийлик назариясининг кўрсатишича, қайтган импульснинг Ерга етиб келиши Минковский геометрияси бўйича мўлжалланган келиш вақтидан  $2 \cdot 10^{-4}$  сек кечикади. 1966—1967 йилларда Шапиро группаси бу эффектни ўлчади. Ўлчаш аниқлиги тахминан 20% эди. Бу чегарада олинган натижа олдиндан айтилган назарий ҳисоблашлар билан мос келди. 1971 йилда бу группа томонидан янги ўлчаш натижалари матбуотда босиб чиқарилди. Вақт бўйича кечикиш муаллифлар томонидан  $\lambda$  миқдори билан характерланди, умумий нисбийлик назарияси учун  $\lambda = 1$  бўлиши керак. Бранс ва Диккнинг таклифига биноан эса бу назариянинг кўринишини ўзгартириш учун  $\lambda = 0,93$  бўлиши керак. Ўлчашларнинг кўрсатишича,  $\lambda = 1,02 \pm 0,05$ ; бу эса оддий ёки «стандарт» умумий нисбийлик назариясига мос келади.

#### 42- §. Кузатишларда назариянинг тасдиқланиши

Биз кўрдикки, Қуёш системасида умумий нисбийлик назариясининг олдиндан айтиб берадиган хулосалари билан классик назарияни фарқ қилувчи эффектлар жуда кичик экан. Умумий нисбийлик назариясига мурожаат қилмай, бу эффектларни тушунтириш мумкин эмасмикан?— деган савол туғилиши мумкин. Бу саволга ишончли жавоб бериш осондек кўринади. Эффектнинг жуда кичиклигидан классик қонун озгина ўзгартирилса ёки орбиталарни оҳистагина ўзгартирувчи кўринмас жисмлар бор деб тахмин қилинса, гўё етарлидек кўринади ва ҳаммаси тартибга тушади.

Бироқ бундай қилиш ҳозирча ҳеч кимга насиб бўлмади. Бунга, масалан, Меркурий орбитасининг силжишини тушунтириш учун бўлган уринишлар мисол бўла олади.

Юқорида эслатиб ўтилганидек, орбиталарнинг кузатиладиган силжиши билан бутун олам тортишиш назарияси орасидаги фарқ машҳур Леверрье (1811—1877)

томонидан топилган эди. Бу астроном Уран планетаси ҳаракатининг нотўғрилигини ўрганиш натижасида номаълум планета мавжудлигини «қалам учиди» олдиндан айтиб берди. 1846 йилда унинг кўрсатмасига биноан Нептуний топилди. Леверрье Меркурий ҳаракатининг нотўғрилиги ҳам номаълум планета билан боғланган бўлиши керак деб ишонган эди ва уни олдиндан Вулкан деб атади. Уша даврдан бери юз йил вақт ўтди, бироқ олиб борилган пухта изланишларга қарамай, Вулкан топилгани йўқ.

Зеелигер (1849—1924) Меркурий ҳаракатининг нотўғрилигини космик чанглр таъсирида бўладиган бурилиш билан тушунтиришга ҳаракат қилди. Бундай чанг ҳақиқатда кузатилади. У тунги осмоннинг ёритилишига сабаб бўлади, бу ёруғлик, одатда, зодиак ёруғлиги дейилади. Зеелигер чангнинг қандай тақсимоти ҳаракатининг кузатиладиган туюлма нотўғрилигини келтириб чиқаришини фақат Меркурий учун эмас, шунингдек, Венера, Ер ва Марс учун ҳам ҳисоблаб чиқишга муваффақ бўлди. Бироқ кузатиладиган маълумотларни тушунтириш вақтида Зеелигер томонидан чангнинг атайлаб танлаб олинган тақсимотининг ҳақиқатга алоқаси бўлмай чиқди.

Холл (1829—1907) Ньютоннинг қонунидан фарқ қилувчи тортишиш қонунини татбиқ қилди. Бу фарқ шундан иборат эдики, тортишиш кучи оралиқнинг квадрати ( $r^2$ ) га эмас балки  $r^a$  га тескари пропорционал бўлади (бунда  $a \approx 2$ ). Меркурий ҳаракатининг нотўғрилигини тушунтириш учун  $a = 2,000001574$  деб олиш керак. Бироқ бу ҳол Ой ҳаракатини олдиндан айтиб беришда нотўғри хулосага олиб келади.

Лаплас томонидан тавсия қилинган тортишиш қонуни

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} e^{-hr} \quad (38)$$

ҳам мақсадга олиб келмади. Бу Ньютон қонунидан  $e^{-hr}$  кўпайтувчи билан фарқланади, бу ерда  $r$  ва  $h$  мусбат сонлар. Лаплас қонуни тортишиш кучининг оралиқ бўйича Ньютонникига нисбатан катта заифлашишга олиб келади. Коэффициент  $h$  ни шундай танлаб олиш мумкинки, унда Меркурий ҳаракатининг нотўғрилигини тушунтириш мумкин бўлади, бироқ бу ҳолда бошқа планеталар ва Ой ҳаракатини олдиндан айтиб бериш тўғри бўлмайди. Шу са-

бабларга биноан, ушбу қонунлар ҳам қониқарсиз бўлиб чиқди:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \left( 1 + \frac{k}{r} \right) \text{ ва } F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \left( 1 + \frac{k}{r^2} \right) \quad (39)$$

(бу ерда  $k$  тўғриловчи коэффициент).

Лаплас (1749—1827) Қуёш системасидаги самовий жисмларнинг ҳаракатини тушунтириш учун фазони Эвклидча деб ҳисоблаб, Ньютоннинг тортишиш кучининг тарқалиши оний бўлиши ёки ҳеч бўлмаганда ёруғлик тезлигига нисбатан анча катта тезлик билан тарқалиши кераклигини аниқлади. Гиппергер 1888 йилда олиб борган ишида тортишиш кучининг тарқалиш тезлиги чеклидир, деган назарияни асос қилиб олди. Планеталар ҳаракатининг ўзига хос хусусиятларини тушунтириш учун тортишишнинг тарқалиш тезлиги ёруғлик тезлигидан 500 марта катта деб олишга тўғри келди. Бироқ бу ҳолда Ой ҳаракатини тушунтириб бўлмайди. Хулоса қилиб айтганда, биз шундай характерли аҳволга учрадикки, фундаментал қонунлар учун мумкин бўлган «номзодларни» оддий танлаш бирор қизиқарли натижага олиб келмади. Бундай йўл билан Эйнштейн топган ва математик жиҳатдан такомиллашган тортишиш қонунига келиш мумкин бўлмас. Шунга қармай, тортишишнинг геометрик табиати ҳақидаги гоё бу қонунга деярли олиб келади. Биз энди, кузатишлар умумий нисбийлик назариясини тасдиқлайдими, деган саволга жавоб беришимиз мумкин: умумий нисбийлик назарияси — ягона назария, у ҳамма кузатишларни тушунтиришни уддасидан чиқа олади. У биргина умумий принципга асосланади ва ҳеч қандай махсус тахминлар қилмайди.

## XI боб

### УМУМИЙ НИСБИЙЛИК НАЗАРИЯСИ ВА КОИНОТНИНГ ҲОЗИРГИ ЗАМОН ФИЗИКАВИЙ МАНЗАРАСИ

#### 43- §. Нейтрон юлдузлар. Пульсарлар

Таркибига Қуёш кирадиган юлдуз системаси Галактика  $\approx 10^{11}$  тага яқин юлдузга эга; юлдузлар орасидаги ўртача масофа бир неча ёруғлик йилига тенг. Оламнинг

кўзга кўринадиган қисмида бизнинг Галактикага ўхшаш кўп сонли ( $\approx 10^{12}$  та) галактика бор. Улар орасидаги ма-софа миллион ёруғлик йилига яқин; юлдузлар ва бошқа объектларнинг умумий сони  $\approx 10^{23}$  га тенг. Галактикалар орасидаги фазода жуда сийраклашган газ ва космик нурлар бор. Бу нурлар асосан ёруғлик тезлигига яқин тезликда ҳаракатланаётган водород ядролари, яъни протонлардан иборат. Унда газ ва космик нурлардан ташқари, радиация ҳам мавжуд.

Тортишиш кучлари юлдузни сиқишга ҳаракат қилади-лар. Бунинг натижасида юлдузнинг ичида бу кучларни мувозанатлайдиган босим юзага келади. Қуёшга ўхшаш оддий юлдузлар қаърида энергия манбаи бўлган термо-ядро реакциялари боради. Юлдуз марказида юзларча миллион градусгача қизиган плазманинг ва бу плазмани тешиб ўтувчи нурланишнинг босими оғирлик кучини мувозанатлайди ва юлдузнинг жуда кичик ўлчамларгача сиқилишига қаршилик кўрсатади. Бироқ ядро ёқилғиси ёниб тугагани сари реакциялар секинлашади, юлдуз совийди ва оғирлик кучлари уни янада кучлироқ сиқади. Ниҳоят шундай вақт келадикки, юлдуздаги барча атомларнинг электрон қобиқлари сиқилади ва юлдуз моддаси жуда кучли сиқилган плазма (атом ядролари ва электронлар) дан иборат бўлиб қолади. Агар юлдуз массаси  $M$  тахминан  $1,2 M_{\odot}$  (бу ерда  $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{33}$  гр. — Қуёш массаси) дан кичик бўлса, сиқилишдан тўхтайдик, чунки оғирлик кучлари электрон газининг босими билан мувозанатлашади. Ҳосил бўлган жуда зич кичкина юлдуз (диаметри 20 000 км дан 8000 км гача) оқ митти деб аталади. Оқ миттилардаги модданинг ўртача зичлиги  $1 \text{ т/см}^3$  дан 10 000  $\text{т/см}^3$  гача бўлади (юлдуз массаси  $M = 1,2 M_{\odot}$  критик массага қанча яқин бўлса, зичлиги шунча катта бўлади). Ернинг ўртача зичлиги  $5,5 \text{ г/см}^3$ , Қуёш марказида эса  $100 \text{ г/см}^3$  эканлигини айтиб ўтиш керак.

Аммо юлдузнинг  $M_{\odot}$  массаси  $1,2 M_{\odot}$  дан катта бўлса, электрон босими оғирлик кучларига қарши турулмайди, юлдуз оқ миттига айланиб яна сиқила бошлайди. Агар юлдуз массаси  $M$  унча катта бўлмаса (тахминан  $2M$ ), у ҳолда юлдузнинг бошқа мувозанат ҳолати мавжуд бўлади (яъни сиқилиш чексиз давом этмайди); бу нейтрон ҳолатидир. Нейтрон юлдузларда электронлар гуё протонларга тиқиб киритилгандай бўлади ва юлдуз моддаси шундай бирлашиш натижасида ҳосил бўлган нейт-



ронлардан иборат бўлади. Протонларнинг ( $p$ ) электронлар ( $e$ ) билан бирлашуви натижасида нейтрон ( $n$ ) ҳосил бўлиб, нейтрино  $\nu$  ажралиб чиқади:  $p + e^- = n + \nu$ . Нейтрон ҳолатидаги юлдузларнинг зичлиги  $1 \text{ см}$  да  $1$  миллиард тоннагача ( $10^{15} \text{ г/см}^3$ ) етади, яъни атом ядросининг зичлигидайди ( $2 \cdot 10^{14} \text{ г/см}^3$ ). Шундай қилиб, нейтрон юлдуз — деярли фақат нейтронлардан тузилган гигант атом ядросидир. Қуёш радиусидан ( $R_s = 7 \cdot 10^5 \text{ км}$ ) деярли  $100$  минг марта кичик бўлган бу «ядро» нинг радиуси  $R \sim 10 \text{ км}$ , унинг гравитацион радиуси  $R_{\text{гр}} = \frac{M}{M_s} \cdot R_{\text{гр}_s}$  (бунда қуёшнинг гравитацион радиуси  $R_{\text{гр}_s} = 3 \text{ км}$ ). Шундай қилиб, нейтрон юлдуз сиртида бўлаётган процесслар бевосита Шварцшильд сфераси яқинида бўлаётган процесслардир.

Агар юлдуз Қуёшдан  $2$  мартадан ортиқроқ оғир бўлса-чи, унда нима бўлади? Бу масалага биз кейинроқ қайтамиз. Ҳозир сўнгги йилларнинг йирик кашфиётлари — пульсарлар устида сўз юритамиз.

Нейтрон юлдузларнинг мавжудлик эҳтимоли  $1937$  йилдаёқ атоқли совет физиги Л. Д. Ландау ( $1908—1968$  й) томонидан муҳокама қилинган эди. Бундай юлдузларни топиш даставвал деярли мумкин эмасдек кўринар эди. Нейтрон юлдузнинг радиуси Қуёшникидан  $5$  тартибга, сирти эса  $10$  тартибга кичик. Юлдуздан сочилаётган ёруғлик унинг сиртига (фотосферасига) тўғри пропорционал. Агар Қуёш нейтрон юлдузга айланиб қолганда эди (бизнинг давримизда бу мумкин эмас), ўша температуранинг ўзида у ҳозиргига қараганда деярли миллиард марта кам нур сочар эди. Бундай юлдузни кўришга амалда имкон бўлмас эди.

Нейтрон юлдузларни, уларнинг ажойиб даврий радио нурланиши туфайли,  $1967$  йилдагина топишга муваффақ бўлинди. Дастлаб, ҳатто Ердан ташқаридаги мавжудотлардан сигналлар келяпти, деб ҳам ўйлашди!

Ҳозирги вақтда — биринчи пульсар очилганлиги ҳақидаги хабар эълон қилинганидан ( $1968$  йил, февраль) беш йил кейин  $50$  дан ортиқроқ пульсар қайд қилинган. Пульсарлар —  $0,1$  метрдан  $10$  метргача бўлган тўлқинли даврий сигналлар чиқариб турувчи космик радиоманбалардир. Пульсарларнинг радионурланиш даври  $0,01 \text{ сек}$  дан бир неча секундгача бўлиб, қуввати ниҳоятда каттадир. Пульсарнинг алоҳида радионурланиш импульси-

нинг давомийлиги ( $t_0$ ) одатда, 0,05 сек дан ва нур чиқарадиган соҳанинг ўлчамлари, умуман айтганда,  $ct_0 = 3 \cdot 10^8 \cdot 0,05 \text{ см} = 15\,000 \text{ км}$  дан ошмаслиги керак. Ундан ташқари, импульсларнинг такрорланиш даври 4 секунддан ошмайди. Ҳозирги вақтда пульсарнинг қуйидаги модели энг қулай деб қабул қилинган. У айланаётган нейтрон юлдуз бўлиб, унда «иссиқ доғ» — тор радиотўлқинлар дастаси чиқарадиган манба бор. Бундай айланадиган «маяк» моделида пульсарнинг  $T$  даври юлдузнинг айланиш даврига тенг. Бу ҳолда фақат айланаётган нейтрон юлдузлар ҳақидагина гапириш мумкин. Оқ митти юлдузлар учун бундай тез айланиш (айниқса  $T \approx 1 \text{ сек}$  бўлганда) мумкин эмас.

Ернинг бир суткада эмас, балки бир секундда ўз ўқи атрофида айланишини тасаввур қилиб кўринг-а. Экваторда бундай айланишнинг тезлиги 40 000 км/сек га етган ва марказдан қочирма кучлар Ерни парчалаб юборган бўлар эди. Пульсарлар асосан  $T$  давр билан айланадиган нейтрон юлдузларга ўхшайди. Шу билан бирга юлдуз кичикроқ  $T$  давр билан пульсланиб туради. Бу икки даврий процесснинг қўшилиши пулсарлар импульсининг мураккаб тузилишини тушунтиришга имкон беради. Деярли қатъий даврий ( $T_1$  давр) экаплигига қарамай, импульсларнинг амплитудаси ва кўриниши бир импульсдан иккинчисига ўтганда ўзгариб туради.

Нейтрон юлдузнинг секундига бир неча ўн айланишга етадиган юксак айланиш тезлиги юлдузнинг жуда кучли сиқилиши билан боғлиқдир. Бунинг натижасида бошланғич юлдуз секин айланган ва кичик магнит майдонга эга бўлса ҳам ҳосил бўлган ва кичик инерция моментига эга бўлган янги нейтрон юлдуз катта бурчак тезлигига ва кучли магнит майдонга эга бўлади. Қисқичбақасимон туманликда Nr 0532 пульсар ҳосил бўлганидан кўп вақт ўтмай, у 50 айл/сек тезликка эришди, унинг магнит майдон кучланганлиги эса миллиард эрстедга етган бўлса керак. Вақт ўтиши билан юлдузнинг айланиши секинлашади ва унинг айланиш даври  $T_1$  ортади. Бунда радионурланиш қуввати камаяди ва шунинг учун даври  $T_1 \gg 4 \text{ сек}$  бўлган пульсарни замонавий радиотелескоплар воситасида кузатиш амалда мумкин эмас. Бизнинг Галактикамиздаги пульсарларнинг умумий сони 1 миллионга яқин бўлиб, улардан кузатилаётганларининг ўртача «яшаш даври»  $\approx 10^7$  йилга тенг.

Нейтрон юлдузларнинг кашф қилиниши астрономиянинг кейинги ўн йил ичидаги энг ажойиб ютуқларидан бири ҳисобланади. Бу кашфиётнинг аҳамияти умумий нисбийлик назарияси учун ва бутун физика учун ҳам каттадир. Нейтрон юлдузлар бағридаги модда табиатда учрайдиган энг юксак зичликка эга бўлиб, бу модданинг хусусиятлари ҳозирча номаълумдир.

#### 44- §. Гравитацион коллапс. Квазарлар

Энди массаси иккита Қуёш массасидан катта бўлган совиётган юлдузнинг тақдирини масаласига қайтамыз. 1939 йилда америкалик физик Р. Оппенгеймер (1904—1967) бундай юлдузлар совуқ ҳолатда мувозанатда қололмаслигини кўрсатди. Юлдуз оғирлик кучлари таъсирида сиқилади. Бу ҳолда Нейтрон юлдуз ичидаги босим ҳам бунга қаршилиқ кўрсата олмайди. Юлдуз гравитацион тортишиши ҳисобига ўз ўлчамларини кичрайтириб сиқилишда давом этади. Бориб-бориб бу сиқилиш Шварцшильд сфераси остидаги катаклитик коллапсга ўтади. Зичлик ортганида босимнинг ҳар қандай ортиши ҳам мувозанатни таъминлай олмайди ва коллапс чексиз давом этади. Ҳисоблашлар айланмай турган сферик симметрик жисмлар учун ўтказилди. Жисм етарлича тез айланганда марказдан қочирма кучлар коллапснинг олдини олиши мумкин. Бироқ жисм жуда тез айланганда у алоҳида қисмларга парчаланиб кетиши мумкин. Лекин айлантириш усули билан ихтиёрий катта масса ни турғун қилиш мумкинми?

Ҳозирча бу саволга жавоб йўқ.

Аммо бу саволга қандай жавоб бўлишидан қатъи назар, етарли даражадаги катта масса турғун мувозанатда бўлолмайдиган ҳоллар бор. Бунинг учун бу массанинг сезиларли даражада айланиши, ташқи қатламларининг ичкарига тушишига қаршилиқ кўрсатадиган босим бўлмаслиги зарур. Бундай масса борган сари қисқаради ва кўриш майдонидан йўқолиб боради (ўзига бошқа массаларни торта боради). Пировардида бу юлдузлар *ҳодисалар горизонти* деб аталадиган муҳитга тушиб қолади. 1968 йилда юзларча миллион Қуёш массасига эга бўлган ўта массив юлдузлар кашф қилингандан сўнг, космосда коллапсланган массалар борлиги эҳтимоли ўзига яна диққатни жалб қилди.

Бундан бир неча йил олдин ўлчамлари нисбатан кичик бўлган галактикадан ташқари махсус радиоманбалар топилди. Бу радиоманбалар ўз марказий қисмида ўта юлдузлар ёки квази юлдузлар — квазарлар деб аталган янги типдаги оптикавий манбаларга — ёруғ «юлдузчалар»га эга экан. Квазарларнинг радиодиапазони кучли радиогалактикаларникидан одатда бир оз кучсизроқдир. Лекин спектрнинг оптикавий қисмида квазар ақл бовар қилмайдиган даражада қудратли нур беради — улар оламдаги энг ёруғ нур манбаларидир. Бизга энг яқин турган квазар биздан 1,5 миллиард ёруғлик йили масофасида туради ва юзлаб миллиард юлдузларга эга бўлган бутун бизнинг Галактикамизга нисбатан 100 баравар кўпроқ ёруғлик чиқаради!

Радиогалактикалар ҳамда квазарларнинг пайдо бўлиш масаласи ва табиати ҳозирча ҳал қилингани йўқ. Квазарлар сийраклашган газ қобиғи билан ўралган, турғунмас улкан ўтаюлдуз деб тахмин қилинади. Квазарнинг марказий қисмида (ядросида) массив плазма жисм — радиуси ўндан бир ёруғлик йилга тенг бўлган, массаси миллиард Кюёш массасига яқин бўлган деярли шарсимон газ массаси бор. Агар бу даҳшатли газ массаси айланмаганда эди, тортишиш кучларининг таъсирида у ҳалокатли равишда чексиз сиқилар эди (гравитацион коллапс). Айланиш, катта ички айланма ҳаракатлар ва магнит майдонлар газ булутини (квазарни) деярли барқарорлаштиради ва у секин сиқилади. Булутнинг бундай секин сиқилишида унинг гравитацион энергияси камаяди ва бундан ажраладиган энергияни квазар нур сифатида чиқаради.

Квазарлар ҳозирги вақтда фақат астрономик нуқтаназардан эмас, балки физикавий нуқтаназардан ҳам энг қизиқ объектлар ҳисобланади. Квазарлар маълум физикавий қонунлардан (умумий нисбийлик назарияси, квант назарияси, барионлар сонининг сақланиш қонуни ва ҳоказо) четланишлар борлиги шубҳа қилинаётган соҳадир. Ундан ташқари, квазарлар оламнинг узоқ ўтмишидан ҳикоя қилувчи муҳим гувоҳлар бўлиб, у 8 миллиард йил илгари «ўтган вақтга» назар ташлашга имкон беради (ҳозиргача топилган юздан кўпроқ квазарларнинг энг узоғи биздан 8 млрд. ёруғлик йили масофасида жойлашган). Квазарлар табиатнинг энг йирик

объектлари бўлиб, улар табнатдаги энг улкан ҳодиса — олам кенгайишининг асосий қатнашчиларидир.

Квазарлар анча вақтгача ўнларча ва юзларча миллисекундли бурчак ўлчамларига эга бўлган, ёниб турган гигант шарлар сифатида тасаввур қилинар эди. Тўғри, баъзи бир квазарларнинг деталлари ҳам аниқлана бошланди. Масалан, ЗС273 квазарда улкан (бурчак ўлчамлари 18—19 секунд бўлган) материя ажралиб чиқиши («дум») кузатилди. Сўнгра, қитъалараро интерферометрлар квазарларнинг анча кичик деталларини ҳам кўришга имкон берди. Квазарни вақт-вақти билан кузатиб (бу кузатишлар баъзан бир неча ой, баъзан бир неча ҳафталарни ташкил қилар эди), унинг деталлари силжиётганлигини, сочилиб кетаётганлиги қайд қилинди. Квазаргача бўлган масофани эътиборга олиб ҳисоблаб чиқилганда бу сочилишларнинг тезлиги ёруғлик тезлигидан анча қатта бўлиб чиқди. Ушбу ёруғлик тезлигидан юқори силжишларнинг ҳар хил изоҳлари мавжуд бўлиб, уларнинг қайси бири тўғри эканлигини квазарларни муфассал ўрганиш ишлари кўрсатади.

Глобал радиоинтерферометрлари воситасида аллақачон ажойиб кашфиётлар қилинди (ҳатто тасаввур қилиш ҳам қийин — Оламнинг энг чеккасида, миллиардларча ёруғлик йили масофасида жойлашган квазарларнинг деталлари ўрганилди), лекин шундай бўлса ҳам квазарларда ёруғлик тезлигидан катта тезликлар топилганлиги маълум вақт астрономияга яқин бўлган доираларда кучли ҳаяжон уйғотди. Ҳар ҳолда гап фаннинг асослари ҳақида кетаяпти-да! Лекин ҳеч нарса ўзгармади, ҳозирги замон физикасининг асосий катталиги — вакуумдаги ёруғлик тезлиги  $c = 300000 \text{ км/сек}$  лигича қолди. Бунинг устига, ёруғлик тезлигидан катта тезликларнинг мавжуд бўлиши мумкинлиги нисбийлик назарияси бўйича мутахассислар учун кутилмаган ҳодиса эмас эди. Улар қандайдир ёруғлик тезлигидан каттароқ бўлиб «туюлувчи» ҳаракат борлигини ва бу ҳаракат ҳеч вақт қандайдир физикавий жисм ёруғликдан тез ҳаракат қилишини кўрсатмаслигини бу «ҳодиса кузатишгунга қадар» ҳам билар эдилар. Бу «туюлувчанликнинг» мумкин бўлган бир нечта изоҳи кўриб чиқилди ва уларнинг баъзи бирлари квазарларда кузатилаётган ҳодисаларни бемалол тушунтириши мумкин.

Бу изоҳлардан бирини қўйидаги хаёлий тажрибага

қиёс қилиш мумкин: пулемёт оқ девор бўйлаб узоқ муддат отади ва ўқлар деворда пунктирсимон из қолдиради. Агар пулемётчи девордан етарлича узоқда бўлса ва пулемётни етарли тезлик билан бурса бу пунктларнинг чизилиш тезлигини принцип жиҳатдан ихтиёрий даражада қилиш, бинобарин, ёруғлик тезлигидан ҳам ошириб юбориш мумкин. Шунга ўхшаш ҳолни квазарда ҳам тасаввур қилиш мумкин: ташқи улкан газ булут («девор») бўйлаб ёруғликдан тез «шарпа» (ўқларнинг изи) кезади. Бу «шарпа» қизиган квазар ядроси («пулемёт»)нинг ички томондан нур чиқариши натижасида вужудга келади.

Мана «туюлувчанлик»нинг яна бир эҳтимолий изоҳи: квазарнинг икки детали иккала томонга қараб ёруғликка яқин тезлик билан учиб кетади ва бу ҳолни ердаги кузатувчи улар 2 с га яқин тезлик билан узоқлашмоқда, деб қабул қилади. Агар яна бир деталь бизга қараб учаётган, бошқаси тескари томонга қараб учаётган бўлса, у ҳолда бир қатор релятивистик эффектлар туфайли, бу тезликлар ёруғлик тезлигидан кўп марта ортиқ бўлиб кўринади.

Ҳаракатнинг ёруғлик ҳаракати тезлигидан каттароқ бўлиб «туюлиши» нинг мумкин бўлган сабаблари батафсил текшириб чиқилган ва адабиётда ёритилгандир, бироқ албатта, уларни конкрет радиоастрономик фактлар билан боғлаш, у ёки бу квазарда нималар юз бераётганлигини тушуниш учун ҳали кўп иш қилиш керак. Эҳтиёткор кишилар, ҳали фактларнинг ўзини текшириб кўриш керак, дейишяпти. Квазар — бу қайнаб турган қозондир, шунинг учун радиоинтерферометр маълум муддат танаффусдан сўнг, эски деталнинг силжишини эмас, балки олдинги ўриндан катта узоқликда янги деталнинг пайдо бўлганлигини қайд қилганлиги ҳам эҳтимолдан узоқ эмас, дейишади улар. Оддий қилиб айтганда, ёруғлик тезлигидан катта тезликлар ҳақидаги хулосалар анча ноёб радиоастрономик «фотосуратлар» асосида чиқарилган, бу хулосаларни радиоастрономик «кино» тасдиқлаши керак.

Кези келганда фактлар ҳақида айтиб ўтайлик. Яқинда «Викинг»нинг сигналларини узлуксиз кузатишнинг бир қанча серияларини ўтказган америкалик астрофизиклар нозик релятивистик эффектни — Қуёш массасининг таъсири остида радионурларнинг кечикишини аниқ

ўлчадилар. Бу сингари ўлчашлар илгари ҳам ўтказилган эди, бироқ бу сафар ўлчашларнинг аниқлиги олдинги рекорд натижалардан ҳам анча катта бўлди. Бу аниқлик 1% ни ташкил қилади. Яна бир янги ишонч пайдо бўлди — нисбийлик назарияси физикавий реалликка жуда аниқ мос келади. Бу жасур гений томонидан ўйлаб топилган ва мукаммаллаштирилган, «ақлсиз гоё» деб аталган, бироқ мустаҳкам фактларга асосланган ўша нисбийлик назариясидир. Бу — ҳеч қандай физикавий жисм вакуумдаги ёруғлик тезлигидан ортиқ тезлик билан ҳаракат қилолмаслигини тасдиқлайдиган ўша нисбийлик назариясидир.

#### 45- §. Оламнинг моделлари. Космология

Космология оламнинг тўла, катта масштабларда ва узоқ муддат давомидаги хусусиятларини ўрганади. Космология учун характерли вақт (масофа) миллиард йилларни (ёруғлик йилини) ташкил қилади.

Ҳозирги космология Эйнштейннинг 1917 йилдаги илмий ишида туғилди. Умумий нисбийлик назариясининг биринчи натижаларидан Қуёш яқинидаги фазо — вақт геометриясини ўрганишда фойдаланилган эди. Бу соҳа оламнинг жуда кичик бир қисми бўлиб, Ньютоннинг классик тортишиш назариясини текшириш учун ҳам объект бўлиб хизмат қилган.

Эгри фазо тўғрисидаги тасаввур фаннинг барча соҳаларида кучли акс-садо берди. У Оламнинг геометрик хусусиятлари тўғрисида қизиқ, баҳсларга тўла гоёларга асос бўлди. Нисбийлик назариясини бутун Коинот — Оламга қўллаш учун биринчи уринишни Эйнштейннинг ўзи бошлади. У модданинг кучли даражада тўпланган жойлари фазони қанчалик эгрилашига қизиқиб қолди.

Ҳисоблашлар учун фазодаги модданинг зичлиги ҳақидаги маълумотлар зарур эди. Шунини айтиш керакки, ҳозирги вақтга қадар фазонинг эгрилигига боғлиқ бўлган масалалар энг оддий ҳол учун — бутун фазодаги модда зичлиги бир текис бўлган ҳол учунгина назарий аниқликка эга эди. Модда билан бир текис тўлдирилган чексиз фазода Ньютон механикаси чексиз тортишиш кучи ҳосил бўлишини талаб қилади. Бу маънога эга эмас. Бу ерда Ньютон механикасини қўллаб бўлмайди.

Эйнштейн энг оддий усулни танлади: у бутун Олам-

да материя бир текис, ҳеч қандай бўшлиқларсиз ва қуюқлик (туғун)ларсиз тақсимланган, деб фараз қилди. Биринчи марта қараганда бу бизнинг Олам тўғрисида тўпланган ҳамма билимимизга тескардир. Аксинча, бизнинг тажрибамиздан маълумки, Олам — ниҳоятда хилма-хил жисмдир. Модданинг деярли ҳаммаси бир-биридан ақл етмас узоқликларда жойлашган юлдузларда тўпланган. Юлдузларо бўшлиқлардаги зичликлар ниҳоятда кичикдир, бўшлиқлар сийраклашган космик газ ва чангдан иборат, холос. Миллиардларча юлдузлар бирлашиб юлдуз тўпламлари — галактикаларни ҳосил қилади. Улар бир-биридан яна ҳам узоқ, ўнлаб ва юзлаб ёруғлик йили билан ўлчанадиган масофаларга жойлашган.

Албатта, бунинг ҳаммаси Эйнштейнга маълум эди. Лекин у оқилона, бундан ҳам юксакроқ даражада фикр юритар эди. Ахир, галактикалар, галактикаларо масофалар ва ҳажмлардан анча катта масштабда туриб гапирсак модданинг ҳар хил тақсимоти тўғрисида гапиришнинг маъноси йўқ-ку! Қўлимизга қўрғошин парчасини олиб, биз уни илма-тешик деб, яъни у ҳақиқатда қандай бўлса, шундайлигича тасаввур қилмаймиз. Электрон қобиқлари ва ядролар орасидаги, атомлар ва молекулалар орасидаги масофалар макродунё масштабларида шунчалик кичикки, биз предметни шубҳасиз, бутун ва узлуксиз деб ҳисоблаймиз.

Худди шунингдек, бошқа ўтагалактик масштабларда Олам ҳам узлуксиз бўлиб кўринади; ҳажмларни янада катталаштирсак, Оламдаги модда зичлиги бутунлай бир хил бўлиб қолади.

Бу, етарли даражада катта масштабларда фазо ўзгармас эгриликка эга, деб ҳисоблашга имкон беради. Фазонинг эгрилиги тўғрисида гапириш жуда ғалати кўриниши мумкин. Бир томондан фазо чегарасиз деб уқтирилса, иккинчи томондан унинг ўзгармас эгрилиги ва, демак, радиуси бор, дейилади. Қарама-қаршилик пайдо бўлганда донмо янги хусусият ахтариш керак. Эгриланган фазо учун «чексиз» ва «чегарасиз» деган тушунчалар айний эмас. Биз икки ўлчовли фазо билан ўхшатишимизни давом эттирамиз. Агар бизнинг эластик сиртимиз (уни яна чексиз кенг деб тасаввур қиламиз) ҳар бир нуқтада бир хилда эгилса, бу нарса уни шарга айланишига олиб келади. Шарнинг сирти ёпиқ, унинг



чегаралари йўқ, лекин катталиги бўйича у чекли Шарнинг сирти каби доимий мусбат эгриликка эга — у ҳамма ерда бир хилда қавариқдир. Риман геометрияси худди шу ёпиқ уч ўлчовли фазонинг метрикасини ифодалайди. Бундай фазонинг чегараси йўқ, лекин у чекли. Аксинча, доимий манфий эгриликка асосланган, бутунлай тенг кучли геометрия ҳам бўлиши мумкин. Бу геометрияда ифодаланадиган фазо ҳамма жойда эгарсимон характерга эга. Бу — Лобачевский фазоси бўлиб, фақат чексизгина бўлиб қолмай, балки чегарасиз ҳамдир.

Оламни турғун, яъни материя тақсимоли вақт ўтиши билан ўзгармайди деб ҳисоблаб, Эйнштейн бу тахминларнинг ўз тенгламаларига зид келишини кўрди.

Умумий нисбийлик назарияси нуқтаи назарида оламнинг турғун модели нотўғрига ўхшаб қолди. Лекин аслида ундай эмас, чунки Эйнштейн тенгламалари фақат оддий умумлаштиришгагина имкон беради. Тенгламаларга  $\lambda g_{ik}$  ҳадни қўшиш ҳам мана шу асосида ётади. Бунинг билан назарияга янги  $\lambda$  ҳад қўшилади; тортишиш тенгламаларидаги янги ҳад ёки космологик  $\lambda$  ҳад номини олди  $\lambda$  ҳадли  $g_{ik}$  майдоннинг тенгламалари энди вақтга боғлиқ бўлмаган ёчимга эга. Фазонинг эгрилик радиуси  $R_3 = 1/\sqrt{\lambda}$ , материянинг ўртача зичлиги эса  $\rho_3 = c^2\lambda/(4\pi G)$ , яъни

$$R_3 = c / \sqrt{4\pi G \rho_3}$$

Эйнштейн дунёси ўзгармас мусбат эгриликка эга бўлган уч ўлчовли фазо, уч ўлчовли сфера. Кўриниб турибдики, Эйнштейн дунёсининг ҳеч қандай «чегараси» йўқ, лекин икки ўлчовли сферанинг сирти чекли бўлганидек унинг ҳажми ҳам чекли ( $V_3 = 2\pi^2 R^3$ ).

Оламнинг эгрилик радиусини ўлчаш учун миллиард ёруғлик йилига тенг бўлган масофани ўлчаб чиқиш керак. Шунинг учун оламнинг эгрилик радиуси ўлчанмаганлиги ва умуман унинг ҳажми чекли эканлиги исбот қилинмаганлиги ажабланарли ҳол эмас. Лекин оламнинг ҳажми чекли бўлса (бундай бўлиши мумкин), бизнинг давримизда дунёнинг эгрилик радиуси  $\approx 10^{10}$  ёруғлик йилига тенг. Оламдаги материянинг бунга мос келувчи ўртача зичлиги  $\rho \approx 10^{-29}$  г/см<sup>3</sup>. Шундай қилиб, Эйнштейн модели ёпиқ, чекли ҳажмга эга бўлган, ўрта ҳисобда бир жинсли ва вақт ичида ўзгармайдиган дунё

дан иборат. Аммо бу моделнинг ҳақиқатга тўғри келмаслиги аниқланди, чунки олам турғун эмас — унинг хусусиятлари вақт ўтиши билан ўзгариб туради, олам кенгайди. Турғунмас моделлар биринчи марта 1922 ва 1924 йилларда совет олими А. А. Фридман (1888—1925) томонидан яратилди.

#### 46- §. Эйнштейн тенгламаларининг янги ечимлари. Фридманнинг олам моделлари

1922 йилда ленинградлик математик Фридман Эйнштейннинг тортишиш назариясига асосланиб модда билан бир текис тўлдирилган чегарасиз Оламнинг бутунлай тенг кучли икки моделини яратди. Фридманнинг ёпиқ модели шар сиртига ўхшайди. Чексиз оламни икки та ҳар хил модель билан қандай қилиб тасвирлаш мумкин?— деган савол туғилади. Дарҳақиқат, қўзғалмас, статик Оламни икки модель шаклида тасаввур қилиш қийин. Лекин динамик, узлуксиз ўзгариб турган Оламни эса — мумкин. Фридман дунёнинг ўзгармаслиги тўғрисида сўз ҳам бўлиши мумкин эмаслигини исбот қилди. Фазонинг эгрилиги ҳаминша ўзгариб туради, чунки модданинг зичлиги ўзгариб туради. Берилган вақт ораллигида икки моделдан қайси бири амалга ошиши худди шу модданинг зичлигига боғлиқ. Агар зичлик бир кубометрда 10 та протондан ошса фазо гиперсферага ўралади, акс ҳолда эса Оламнинг очиқ модели қўлланади.

Олимлар учун ҳеч бўлмаганда Оламнинг биз кузата оладиган ва астрономик Олам деб аталадиган қисмидаги модда зичлигини тақрибан аниқлаш ҳам қизиқарли эди. Қизиғи шундаки, инсон унга у ёки бу қиёфа беришидан Олам бош тортгандек эди. Модда зичлиги чегаравий қийматга яқин, яъни бир кубометрда 10 та протон бор экан. Агар бутун Оламда модда зичлиги шундай бўлса, аксинча ўйлашга бизнинг асосимиз йўқ ва биз Олам ёпиқми ёки очиқ эканлигини ҳал қилолмай қоламиз.

Биз яна назарий боши берк кўчага кириб қолибмиз, деган таассурот ҳосил бўлиши мумкин, лекин масала анча мураккабдир. Бир текис зичлик ҳақидаги фараз бутунлай хаёлий ва Оламнинг ҳақиқий геометрияси хоҳлаганча мураккаб бўлиши мумкин.

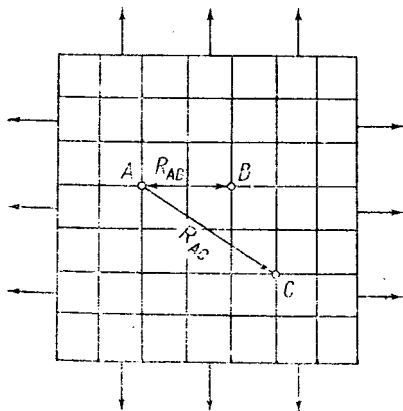
Фридман моделларининг энг қизиқ хусусияти шундаки, улардаги жисмлар орасидаги барча масофалар вақт

Ўтиши билан ўзгариб туриши керак. Фазо пульсланиб (уриб) туради: ёки кенгайди, ёки сиқилади. Епиқ моделда бунни тасаввур қилиш осон. Унинг икки ўлчовли ўхшаши — футбол тўпидир. У шишади ва пучаяди. Агар унинг сиртида икки ўлчовли жониворлар «яшаса», тўп шишганда уларнинг ҳар бирига бошқа ҳамма нарсалар улардан узоқлашаётгандек, «қочаётгандек» кўринади. Бу — дунёнинг доимий камаётган эгрилигига мос келади. Эгрилик билан бирга Оламдаги модда зичлиги ҳам борган сари камайиб боради. Материя тарқалади, у худди ҳар томонга сочилиб кетгандай бўлади, модданинг ўртача зичлиги ҳам камаяди.

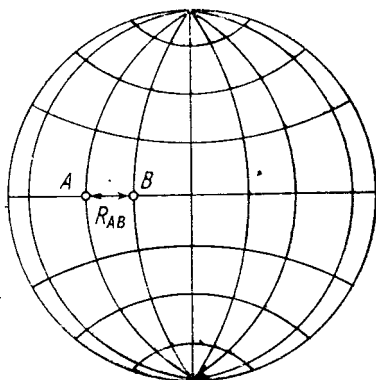
Бу тўғрида муфассалроқ гаплашайлик. Евклид фазосининг кенгайишини тасаввур қилиш осон — икки ўлчовли моделда у ҳар томонга бир текис тортиладиган резина плёнкани эслатади (15-расм). Бу ҳолда плёнкадаги ихтиёрӣ  $A$  ва  $B$  нуқталарнинг узоқлашиш тезлиги, яъни бу нуқталар орасидаги  $R_{AB}$  масофанинг вақт бирлигида ўзгариши нуқталар орасидаги масофага пропорционалдир:

$$v_{AB} = HR_{AB} \text{ ва } v_{AC} = HR_{AC}.$$

( $H$  катталик бутун фазода бир хил бўлиб, у вақтга нисбатан  $\frac{1}{t}$  боғланишда камаяди.) Уч ўлчовли сферанинг кенгайиши шишириляётган футбол тўпининг икки ўлчовли сиртининг кенгайишига ўхшайди. Кичик участкада бу сферик плёнка текис плёнкадан кам фарқ қилади (Ер сирти—сфера, лекин у бизга текисдай кўринади) ва  $v_{AB} = HR_{AB}$  (16-расм).

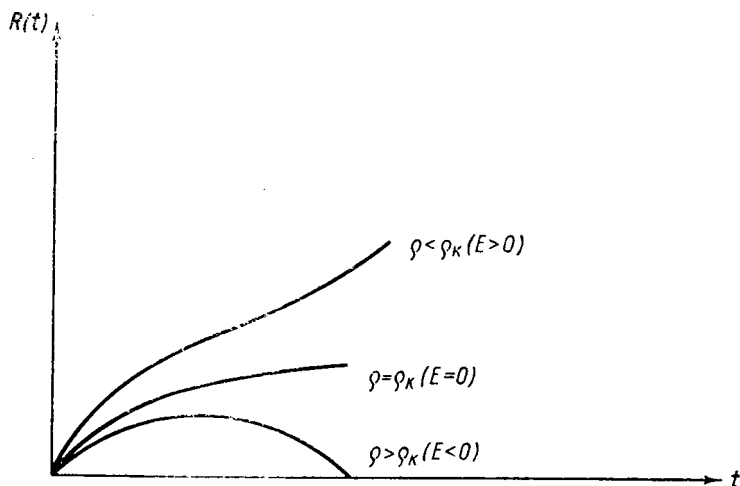


15- расм.



16- расм.

Фридманнинг турғунмас космологиясида уч хил ечим мавжуд. 1932 йилда Эйнштейн ва де Ситтер томонидан кўрилган энг оддий Фридман модели (Фридманнинг ўзи бу моделни муҳокама қилмаган) галактикалар орасидаги масофа шишаётган тўпдаги белгилар орасидаги масофалар ортгани сингари ортадиган кенгаювчи Евклид фазосидан иборат. Муҳокама қилинаётган Эйнштейн — де Ситтер мо-



17- расм,

делидаги модданинг ( $H$  нинг берилган қийматидаги) зичлиги  $\rho_K = 3H^2/8\pi G$ . Агар оламдаги модданинг ўртача  $\rho$  зичлиги  $\rho_K$  га тенг бўлмаса, Фридманнинг ёпиқ ва очик моделлари ўринли бўлади. Агар  $\rho > \rho_K$  бўлса, унда гап доимий мусбат эгриликка эга бўлган фазо, яъни уч ўлчовли сфера ҳақида кетади (ёпиқ модель). Фазонинг эгрилик радиуси ва бошқа йирик масштабли масофаларнинг вақтга боғлиқлиги 17- расмдан кўришиб турибди; дунё олдин кенгаяди, сўнгра сиқилади. Агар  $\rho < \rho_K$  бўлса, биз чексиз кенгайдиган, доимий манфий эгриликка эга бўлган Лобачевский фазосига эга бўламиз (очик модель); унинг икки ўлчовли ўхшаши — гиперболоиднинг сирти. Фридманнинг ёпиқ моделида ҳам, очик моделида ҳам узоқлашган галактикалар орасидаги  $R$  масофанинг ўзгариш тезлиги  $v$  Хаббл қонуни

билан ифодаланади:

$$v = H \cdot R. \quad (40)$$

Бу ерда  $H$  катталиқ 1929 йилда галактикалар тўплamlари бир-бирларидан барча йўналишларда бир хил ва ораларидаги масофага пропорционал равишда жуда катта тезлик билан узоқлашувини аниқлаган астроном Хаббл номи билан Хаббл доимийси дейилади. Таърибада тасдиқланган олам кенгайиш қонуни (40) Метагалактиканинг бир жинслилиги ва изотроплигининг оқибатидир.

Учала модель ҳам нуқтадан — нолга тенг бўлган  $R$  масофадан бошланади. Маълумки, модданинг  $\rho$  зичлиги «бошланишда» чексиздир ( $\rho \rightarrow \infty$ ). Модданинг ўтмишда учала моделда ҳам мавжуд бўлган ва келажакда ёпиқ моделда албатта бўладиган кучли сиқилган кўриниши *махсус нуқта ёки сингулярлик* деб айтилади.

Космологик кенгайишнинг сабабларини аниқлаш ҳозирги замон физикасининг энг асосий муаммоларидан бири ҳисобланади. Бу масала ўз ечимидан ҳали жуда узоқда. Инглизлар Милн ва Мак Кри тортишиш кучи Метагалактика кенгайишини муқаррар секинлаштириши кераклигига диққатни жалб қилишди, бу куч кенгайишни ҳатто тўхтатиши ва ундан сўнг сиқилишга мажбур қилиши мумкин. Бунинг натижаси учиб тарқалаётган галактикаларнинг сингулярлик яқинида қандай бошланғич тезликка эга бўлганлигига боғлиқ. Агар бошланғич тезлик етарли даражада катта бўлмаса, кенгайиш тўхташи ва сўнгра сиқилиш бошланиши мумкин (ёпиқ модель).

Бу ҳолда Фридман моделлари кенгайишнинг миқдорий тафсилотини олишимиз ҳам мумкин. Метагалактика ичида  $R$  радиусли шундай катта сферик ҳажмни ажратиб олайликки, унинг ичидаги муҳитни бир жинсли деб ҳисоблаш мумкин бўлсин. Бу ҳажм ичида  $M$  масса бўлиб, унинг чегараларининг кенгайиш тезлиги  $v$  бўлсин. Ажратиб олинган ҳажмнинг чегарасида жойлашган бирор жисмнинг тўла энергияси унинг кинетик энергияси  $\frac{mv^2}{2}$  ва ажратилган ҳажмда жойлашган  $M$  массанинг гравитацион майдонда ҳосил бўлган  $-\frac{GmM}{R}$  потенциал энергиясидан иборат.

—  $\frac{GmM}{R}$  ҳад иккита нуқтавий масса ўртасидаги тортишиш қонунига (бунда  $R$  нуқталар ўртасидаги масофа) ёки иккита сферик массалар тортишишига (бунда  $R$  массалар марказлари ўртасидаги масофа) тўғри келишишини эслатиб ўтамиз. Оламнинг ажратилган ҳажмига нисбатан ташқаридаги сиртига тортилиш кучи моделнинг изотроплиги натижасида нолга айланади.

Шундай қилиб, ажратилган ҳажм черагасида жойлашган жисмнинг тўла энергияси:

$$E = \frac{v^2}{2} - \frac{GM}{R}. \quad (41)$$

$R$  радиусли шарнинг массаси  $M = \frac{4\pi}{3}\rho R^3$  бўлганлигидан, бир жинсли ва изотроп моделда барча тезликлар масофаларга пропорционал бўлганлиги ва, хусусан, шар чегарасида тезлик марказга нисбатан  $v = HR$  эканлигини ҳисобга олиб, бу қийматларни (41) га қўйсақ қуйидагини оламиз:

$$\frac{8\pi G}{3} \left( \frac{3H^2}{8\pi G} - \rho \right) R^2 = 2E. \quad (42)$$

Кўриниб турибдики,  $E$  тўла энергиянинг ишораси шарнинг ўлчамига боғлиқ эмас. Агар  $\rho > \rho_K$  бўлса (бунда  $\rho_R = \frac{3H^2}{8\pi G}$  — Оламдаги модда зичлигининг критик қиймати), у ҳолда  $E < 0$ . Кенгайишда жисмнинг тўла энергияси сақланади ва максимал  $R_{\max} = GM/|E|$  масофага етганда (бунда  $v = 0$ ) жисм шар марказига туша бошлайди (ёпиқ модель). Агар  $\rho \leq \rho_K$  бўлса, яъни жисмнинг кинетик энергияси потенциал энергиясининг абсолют қийматидан катта бўлса, у ҳолди  $E \geq 0$ , яъни кенгайиш чекланмасдан давом этади.

1929 йилда Хаббл (1888—1953) узоқ галактикалар ва туманликларнинг спектрал чизиқлари узун тўлқинлар томонга қараб силжишини, яъни қизил силжиш рўй беришини қайд қилди. Бу қизил силжишни энг табиий усулда Доплер эффекти воситасида тушунтириш мумкин. Фридман дунёсида бир-бирдан жуда тез узоқлашаётган юлдузлар ва галактикалар чиқарадиган нурнинг частотаси ўзгаради. Бундай силжиш космологик қизил силжиш дейи-

лади. Агар ёруғлик манбаи сизга тез яқинлашса ёки сиздан тез узоқлашса, ёруғлик тезлиги ўзгармас қолиб, унинг частотаси ўзгаради. Агар манба яқинлашса тўлқин узунлиги камаяди, узоқлашса унинг  $\lambda$  тўлқин узунлиги  $\frac{\lambda}{\lambda_0} = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}}$  га ортади, яъни частотаси камаяди. Ердан 1 миллиард ёруғлик йили узоқлигида жойлашган галактикалар учун (Хаббл ўз қонунини худди шундай объектлар устида яратган эди) космологик қизил силжишнинг катталиги  $\approx 10\%$  ни  $\left(\frac{\lambda}{\lambda_0} \approx 1,1\right)$  ташкил қилади. Бундай галактикаларнинг узоқлашиш тезлиги жуда катта  $v = 0,1 c$ . Ҳозирги пайтда максимал қизил силжиш квазарларнинг спектрида кузатилмоқда. 1965 йилда квазарларнинг биридаги нурланиш спектрининг тўлқин узунлиги уч марта ортганлиги кузатилди  $\left(\frac{\lambda}{\lambda_0} = 3\right)$ , яъни бундай квазар томонидан чиқарилган бинафша нур Ерда қизил нур бўлиб кўринади, демакдир. Бундай квазарлар биздан  $0,9 c$  га етадиган тезликда узоқлашади (кузатилган максимал қиймат  $\frac{\lambda}{\lambda_0} = 3,88$ ) ва  $\sim 8$  миллиард ёруғлик йили қадар узоқда туради.

Ҳозирги маълумотларга кўра Хаббл доимийси  $H \approx (2 \div 3) 10^{-18} \text{ сек}^{-1}$ . Хаббл коэффициентининг бу қийматидан фойдаланиб, критик зичликни топамиз:

$$\rho_K = \frac{3H^2}{8\pi G} \approx (1 \div 2) \cdot 10^{-29} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Оламдаги модданинг ҳақиқий ўртача зичлигини биз ҳали аниқ билмаймиз, шу сабабли у критик зичликдан катта ёки кичик эканлиги номаълум. Аммо  $\rho < \rho_K$  деган фикрлар кўп. Демак, Метагалактика чексиз кенгайди. Хаббл доимийсини билган ҳолда, биз Метагалактиканинг жуда кичик ўлчамлардан бошлаб кенгайган вақтини, яъни Метагалактиканинг мавжудлик вақтини аниқлашимиз мумкин. Космологик вақт деб аталадиган бу вақт тахминан 100 миллиард йилга тенг

$$t = \frac{1}{H} \approx (3 \div 2) \cdot 10^{17} \text{ сек} \approx 10 \text{ млрд. йил.}$$

Шундай қилиб, олам кенгаймоқда. Фридманнинг бу башорати ҳозир тажрибада узил-кесил тасдиқланган деса бўлади.

Яна бир қизиқ янги нарсани айтиб ўтайлик. Кузатишларнинг кўрсатишича ўн саккизта энг заиф ёруғликка эга бўлган галактикалар группаси биздан узоқлигига пропорционал тезлик билан узоқлашмоқда. Боғланиш қатъий чизиқли. Аммо энг узоқ галактикалар группалари тўғри чизиқли қонундан четлашмоқда. Биздан тахминан бир миллиард ёруғлик йили олисда турадиган галактикалар учун тезлик чизиқли боғланиш бўйича келиб чиқадиган тезликдан 10 000 км/сек каттароқдир.

Бундан баъзи бир астрофизиклар, миллиард йилча илгари олам ҳозиргига қараганда тезроқ кенгайган экан, деган хулоса чиқардилар. Агар ўлчашлар ва уларга асосланган хулосалар тўғри бўлса, биз тўхтаб қолган Оламда эмас, балки тараққий қилаётган Оламда яшаймиз.

Лекин галактикалар тезлигининг чизиқли боғланишдан четлашишидан оладиган маълумотларимиз шу билан тугамайди. Биз энди Оламдаги материянинг ўртача зичлиги тўғрисида мулоҳаза юритиш имконига эга бўлдик. Кенгайишларнинг секинлашуви (агар бу секинлашув бор бўлса) материянинг ўртача зичлигига боғлиқ, зичлик қанча катта бўлса, тормозланиш ҳам шунча катта бўлади, чизиқли қонундан четлашишнинг ўлчашлардан олинган катталигига қараб, ўртача зичлик тахминан  $1 \text{ см}^3$  да  $3 \cdot 10^{-22}$  грамм масса ( $5000 \text{ см}^3$  да биттага яқин водород атоми) эканлигини ҳисоблаб чиқиш мумкин.

Энди биз оламнинг геометрияси, унинг эгрилиги ҳақида ҳам жиддий гапиришимиз мумкин. Биз Оламнинг учта асосий моделига эга эканлигимизни эслатиб ўтайлик: тўғри чизиқли Евклид шакли, очиқ ва чексиз фазо; эгри чизиқли, ёпиқ ва чекли фазо (сферанинг сирти каби); эгри чизиқли очиқ ва чексиз фазо (эгарсимон сиртга ўхшаш).

Оламнинг галактикалар ҳам, квазарлар ҳам бўлмаган, фақат плазма ва юксак температурали нурланиш мавжуд бўлган энг олдинги ҳаёти тўғрисида маълумот олиш мумкинми? Умуман, олам тараққиётининг бундай галактикаларгача бўлган даври мавжуд бўлганми?

Бу саволга фақат 1965 йилдагина жавоб олинди. АҚШнинг Белл телефон компанияси лабораториясида сантиметрли тўлқинларда ишлаётган юксак сезгир антенна қандайдир нурланишни қабул қилди. Дастлаб уни шовқин деб ўйлашди. Аммо антенна Ердан ташқа-



ридаги нурланишни қабул қилаётган экан. Бу нурланиш абсолют 3 градусга яқин ( $2,7^{\circ}\text{K}$ ) даражадаги қора жисм нурланишига ўхшаб, иссиқлик характерига эга, яъни асосан миллиметрли радиодиапазондаги электромагнит тўлқинлар мажмуасидан иборат экан. Бу нурланиш реликт нурланиши, яъни оламдаги модданинг ўртача зичлиги  $\rho \approx 10^{-29} \text{ г/см}^3$  бўлган даврдан келган қолдиқ нурланиш деб талқин қилинди. Бундай зичлик Метагалактика кенгайиши «бошланиши»дан тахминан 300 000 йил кейин мавжуд эди, яъни реликт нурланишининг топилиши натижасида кенгайишнинг «бошланиши»га 2 млрд. йилдан 300 000 йилгача яқинлашдик. Бундан 10 млрд. йиллар олдин бу иссиқлик нурланишининг температураси тахминан 1000 барабар ортиқроқ эди. Идиш кенгайганда газ температураси пасайгани каби олам кенгайиши билан нурланишнинг температураси пасайган.

Шундай қилиб, оламнинг бир жинсли Фридман модели олам тараққиётини таърифлашда яхши тахмин бўлди.

#### 47- §. Гравитацион тўлқинлар

Гравитацион тўлқинларнинг олдиндан айтиб берилгани умумий нисбийлик назариясининг космологияни яратгани билан бир қаторда энг қизиқ натижаларидан бири бўлди. Бу тўлқинларнинг баъзи хусусиятлари электромагнит нурланишнинг хусусиятларига ўхшашдир. Гравитацион тўлқинлар массага эга бўлган ва тезланиш билан ҳаракат қилаётган жисмлар томонидан чиқарилади ва электромагнит тўлқинлари каби с тезлик билан тарқалади. Гравитацион тўлқинлар фазо-вақтнинг геометрик хусусиятларининг ўзгаришидан, яъни тортишиш майдонининг фазода тўлқинсимон тарқаладиган ўзгаришидан иборат. Назарий тахминга кўра, гравитацион тўлқинларнинг манбаи қўшалоқ юлдузлар ва пульсарлар бўлиши мумкин. Гравитацион тўлқинлар оғир жисмлардан ўтганда, бу жисмларга тўлқиннинг тарқалиши йўналишига перпендикуляр йўналишда тезланиш беради. Буни тушуниш қийин эмас, чунки ҳозиргина айтганимиздек гравитацион тўлқинлар тортишиш майдонининг тўлқинсимон ўзгаришидан иборатдир. Бу тўлқинлар ниҳоятда кичик энергияга эга бўлганлиги учун уларни қайд қилиш гоят мураккаб вазифадир.

Гравитацион тўлқинларни қайд қилишга мўлжалланган энг сезгир қурилма яқинда Ж. Вебер (АҚШ) томонидан яратилди. Вебер қурилмаси бир-биридан тахминан минг километр масофада бўлган ва ўзаро боғланган икки детектордан ташкил топган. Асосий вазифа ожиз «гравитацион мавжланишни» тасодифий шовқинлар фонда детекторлар (детекторлар — космосдан келувчи гравитацион тўлқинлар таъсирида титрай бошлайдиган 1,5 тонналик алюминий цилиндрлардир) ёрдамида ажратиб олишдан иборат. Бунинг учун Вебер «мослашишлар схемаси»дан фойдаланди. 1967—1970 йилларда ўтказилган тажрибаларда вақт бўйича мос тушадиган бир қатор сигналлар қайд қилинди. Вебер бу сигналларни гравитацион нурланиш ҳосил қилган, деб ҳисоблайди.

Гравитацион тўлқинлар ҳозирги замон физикасининг икки асосий назарияси — нисбийлик назарияси ва квант назариясининг учрашиш нуқтасидир. Электромагнит тўлқинларга уларнинг кванти фотонлар мос келгани каби гравитацион майдон квантлари — гравитонлар ҳам бўлиши керак. Фотонлар ва нейтрино сингари гравитонлар ҳам тинчликдаги массага эга эмас ва ёруғлик тезлигида ҳаракатланади. Бошқа зарралар каби гравитонлар ҳам тўқнашиши, ўзгариши, масалаи, электрон-позитрон жуфтига айланиши мумкин.

Лекин шунинг таъкидлаш керакки, назарий йўл билан айтиб берилган хусусиятлари уларнинг ўзлари каби, тажрибада ҳали тасдиқланмаган.

#### 48- §. Гравитациянинг янги назариялари

Ҳозирги кунда физиклар умумий нисбийлик назарияси ҳақида бир фикрга келганлари йўқ. Баъзи олимлар академик В. А. Фокнинг «умумий нисбийлик назарияси фақат гравитация ҳақидаги назария, у тезланишнинг нисбийлигига ҳеч қандай алоқаси йўқ»,— деган нуқтаназари тарафдорлари. Кўпчилик физиклар эса, академик Фокнинг нуқтаназари жуда тор деб ҳисоблайдилар.

Эйнштейннинг ўзи умумий нисбийлик назарияси тезланишнинг умумий назарияси деб ҳисоблаган. Тўғри, ҳозирча умумий нисбийлик назариясидаги муҳим физикавий натижалар гравитация ҳодисаларини тушунти-

ришдан сўнг олинди. Лекин бу умумий нисбийлик назарияси шу билан чегараланиб қолади деган сўз эмас, албатта. Умумий нисбийлик назариясини ривожлантириш ва унинг маъносини тушуниш учун илмий тадқиқотчилар жуда кўп иш қилишлари лозим.

Махсус нисбийлик назариясида қўлланиладиган ҳисоблашлар унча қийин бўлмагани ҳолда умумий нисбийлик назариясида қўлланиладиган ҳисоблашлар жуда ҳам мураккабдир. Эйнштейн: «Бизнинг тахминларимиз қанчалик оддий ва асосли бўлса, уларни текширувчи ҳисоблашлар шунчалик мураккаб, назарияни кузатувчи йўл эса шунчалик узунроқ бўлади. Ғалати кўринса ҳам ҳозирги физика экинсига қараганда оддий ва шунинг учун у қийинроқ ва тушунарсиз кўрилади», — деб айтган эди.

Умумий нисбийлик назарияси каби Бранс — Дикке назарияси (1961 й) ҳам тортишишнинг релятивистик назарияси бўлиб, умумий нисбийлик назариясидан қандайдир қўшимча ўзгарувчан катталиқнинг киритилиши билан фарқ қилади. Меркурий перигелийси силжишидаги релятивистик эффект учун Бранс — Дикке назарияси ҳар юз йилда 39 секундга тенг қиймат беради, бу Эйнштейн назариясидан 4 секунд камдир.

1966 йилда Дикке томонидан Қуёш сиқилишининг аниқланган қиймати ҳисобга олинган ҳолда маълумотлар ишлаб чиқилганда бу эффект 39 секундга тенг эканлиги маълум бўлди. Аммо Қуёш сиқилишини тажрибада аниқлаш шунчалик қийин ишки, ҳозирча бу ҳақда бирор хулоса чиқариш қийин. Бранс — Дикке назариясини ва унга ўхшаш назарияларни ишлаб чиқиш ҳали ҳам тугаллангани йўқ. Кейинги кузатишларнинг натижалари қандай бўлишидан қатъи назар, уларнинг аҳамияти билан Эйнштейннинг бошланғич тортишиш назарияси ва унинг кўп сонли вариантларининг аҳамияти ўртасидаги рақобат номаълумдир. Бироқ Эйнштейннинг геометрия ва бизнинг реал дунёимизнинг ўзгараётган хусусияти тўғрисидаги тасавури келажакдаги ҳар қандай назария учун асос бўлиб қолади.

#### 49-§. Коинотнинг ҳозирги замон физикавий манзараси

Коинотнинг чегараси борми ва у қандай тузилган? — деган савол узоқ вақтлар давомида олимларни қизиқ-

тириб келган. Бу илмнинг тўғилиш даври жуда кўп қурбон ва интилишларни талаб этган. Эски догматик қарашлардан фарқли ўлароқ илмий дунёқарашлар узоқ курашлар натижасида вужудга келган. Янгиллик билан эскилик ўртасидаги кураш инъикосини Птоломей ва Коперник системаларининг тарафдорлари ўртасидаги кураш жараёнида яққол кўриш мумкин. Бу иккала томоннинг асосий кашфиётларини ҳозирги замон ҳаракат назарияси нуқтаи назаридан қараб чиқиш жуда ҳам қизиқарлидир.

Эрамиздан олдинги 200-йилларда ўтган александриялик машҳур астроном Птоломей Қуёш системасининг геоцентрик тузилишн назариясини яратди. Бу назарияга кўра: дунёнинг марказида қўзғалмас Ер бўлиб, унинг атрофида Ой, Меркурий, Венера, Қуёш, Марс, Юпитер ва Сатурн (бошқа планеталарни у вақтда ҳали билмас эдилар) ҳаракат қилади. Кўҳна юнонликлар айланани идеал-чизиқ деб ҳисоблаганликлари туфайли, ўша даврда астрономлар осмон жисмларини айлана бўйлаб ҳаракат қилади деб тушунтирар эдилар. Бу системани кузатишларга мослаштириш мақсадида планеталарни қўшимча эпицикл деб атаб, улар, айланалар бўйлаб ҳаракат қилади деб тахмин қилинган. Ўз навбатида эпицикллар маркази Ер атрофида деферент айлана бўйлаб ҳаракат қилади. Кузатишлар аниқлаша борган сари Птоломей системаси ҳам мураккаблашиб борди: эпицикллар сони борган сари ошиб борган, охирида уларнинг сони бир неча ўнларга етди. Лекин геоцентрик система қанчалик мураккаб бўлишига қарамасдан, у XVI асргача ҳукмронлик қилиб келди.

1530 йилда кўзга кўринган поляк астрономи Николай Коперник ўзининг кичкинагина трактатида Ер ҳам бошқа планеталарга ўхшаш Қуёш атрофида ҳаракат қилади, деган фикрни баён этди. 1543 йилда унинг «Осмон сфераларининг ҳаракати» номли китоби босмадан чиқди. Бу китобда Коперник ўзининг гелиоцентрик система, яъни дунёнинг марказида Ер эмас, балки Қуёш жойлашганлиги ҳақидаги назариясини баён этган эди. Қизиғи шундаки, гелиоцентрик система гоёси Аристарх-Самосский томонидан (эрамиздан олдинги IV—III асрларда яшаган) айтилган бўлиб, буни исботлаш учун унда етарли кузатишлар натижаси бўлмаган. Ўз даврида у худони тан олмаганлиги учун Афинани таш-

лаб чиқиб кетишига мажбур бўлган. Шундай қилиб, Коперникнинг биринчи тарафдори ўз дунёқарашлари учун жазоланган эди.

Католик черкови дастлабки вақтда Коперникнинг дунёқарашига унча аҳамият бермайди, лекин янги система диннинг асосига зарар етказа бошлагани сезила бошлагач, Коперник тарафдорларини таъқиб қила бошладилар. 1600 йилда материалистик дунёқараш ва Коперникнинг илмий асарларини кенг омма орасида тарқатгани учун италиялик олим Жордано Бруно ўтда куйдирилди.

Икки система тарафдорлари ўртасидаги кураш прогрессив ва реакцион кучлар ўртасидаги курашга айланди. Натнжада Коперник маслакдошлари ғолиб чиқдилар, Жордано Бруно биринчи бўлиб дунёнинг маркази йўқ, қўзғалмас юлдузлар ҳеч қандай сферани ташкил этмайдн, балки у фазода доимий ҳаркатда бўлган Қуёшдан иборат деган эди. Шунинг учун дунёнинг марказига нисбатан осмон жисмларининг ҳаракатини характерлаб беришга эҳтиёж қолмайди.

Қуёш системасининг ҳаракатини ўрганишда ҳам ўлчов системаси қабул қилиниши зарур. Агар ўлчов системаси қилиб Ер олинса, у ҳолда Птоломейнинг геоцентрик системасига қайтилган бўлади. Ердаги кузатувчи назарида Ер қўзғалмас бўлиб, унинг атрофида планеталар ва Қуёш айланма ҳаракатда бўлади. Улчаш системаси қилиб Қуёш олинса, у ҳолда Коперникнинг гелиоцентрик системасига келинади. Шундай қилиб, Птоломей ва Коперник системалари Қуёш системасининг ҳаракатини турли саноқ системасида кузатишдан иборат: биринчисида, саноқ системаси сифатида Ер олинса, иккинчисида, Қуёш олинади. Ким ҳақ, Птоломейми ёки Коперник? Бу савол ҳозирги замон дунёқарашига кўра қуйидагича қўйилиши мумкин: Қуёш системасининг ҳаракатини ўрганишда барча саноқ системалари бир хил кучга эга бўладими ёки баъзи бирлари устун бўладими? Агар саноқ системалари бир хил кучга эга бўлса, у ҳолда Птоломей ҳам, Коперник ҳам ҳақ бўлиб қолади. Агар саноқ системасини қабул қилишда Қуёш саноқ системасининг устунлиги маълум бўлиб қолса, у ҳолда Қуёш системасининг ҳаракатини тушуниш, ўрганиш учун Коперникнинг коинот тузилиши ҳақидаги фикри бирдан-бир тўғри назария бўлиб қолади.

Ҳозирги вақтда Коперникнинг коинот тузилиши ҳақидаги фикри тўғри деб топилган. Лекин баъзи бир саволлар, масалан, дунёнинг чеки борми, узлуксизми ёки узлуклими? Олам асосида нима ётади — моддами ёки ҳодисаларми?— деган саволларга умуман ҳеч қачон жавоб топиб бўлмаса керак. Бу ҳақда Эйнштейн қандай фикрда бўлган экан?

Эйнштейн дунёнинг чегараси ҳақида: «Ҳеч қандай моддий жисм ва сигнал йўқки, у жуда катта айланадаги қарама-қарши нуқтадан узоқлаша олсин. Бизнинг дунёмиздаги массаларнинг тортишиш кучи ёруғлик фотонини ҳам, замбарак ўқини ҳам, ҳатто бутун бир галактикани ҳам ўзи қўзғалган нуқтасига қайтаради», дейди. Демак, Эйнштейн назариясига кўра дунё чегараланган.

Яна Фридман моделларини муҳокама қилайлик. Йўл-йўлакай шар сиртининг маркази йўқлигини эслатиб ўтамиз. Бундай ҳолда бирор икки ўлчовли жонивор: дунёнинг марказида ўзим турибман, бошқа ҳамма парса мендан «қочмоқда» деб айтиши мумкин. Табиийки, галактикаларнинг бирида жойлашган кузатувчи учун Сомон йўли ҳам узоқлашаётгандек кўринадди.

Эгриланган фазо назариясидан дунёнинг чекланганлиги келиб чиқадими деган савол ўринсиздир. Биз кўрдикки, ёпиқ модель — бир текис зичликка эга бўлган икки моделнинг бири. Агар бир текис зичлик ҳақидаги фараздан бутунлай воз кечсак, у ҳолда тадқиқотларнинг чинакам чекланмаган имкониятлари ва вариантлари вужудга келади.

Дунёнинг чекланганлиги унинг чегараланганлигини ифодаламай, балки фақатгина чексиз катта масофаларни аниқлаш мумкин эмаслигини кўрсатади. Ва бу ерда дунёнинг фазо бўйича ҳам, вақт бўйича ҳам чексизлигига асосланган диалектик материализм қондалари билан зиддият йўқ. Бунинг устига, оламдаги материянинг ўртача зичлиги ҳақидаги ҳозирги замон космологик маълумотлари дунёнинг фазода чегараланганлигига олиб келади. Лекин барча ҳолларда ҳам вақтнинг чекли 10—12 миллиард йиллик оралиги мавжудлигига келамиз, бу вақтларда материянинг зичлиги гоят даражада катта бўлган.

Бу дунёнинг бошланишини билдирмасмикан?

Энди, кенгаяётган Олам қашф қилинганидан кейинроқ қилинган хулосалар тўғрисида бир неча сўз айтанимиз, улар бизга назариянинг бутунлай тўғри қоидаларини ва тажрибанинг энг объектив натижаларини нотўғри қўллаш қанчалик нотўғри хулосага олиб келиши мумкинлигини кўрсатади.

Асримизнинг ўттизинчи йиллари энг қизгин баҳслашувлар даври бўлди. Асосий кураш Оламнинг кенгайиши тўғрисидаги факт атрофида борди. Баъзи астрофизиклар қизил силжишни — узоқлашаётган галактикалар ғоясини шарҳлашга уриндилар. «Квант ўзининг узоқ йўлида бирор нарсага дуч келади, шунинг учун у қизаради»,— деб ёзган эди голландиялик де Ситтер. Бу «бирор нарса»нинг ўзи нима? Фотон оламнинг чексиз кенгликларига сайр қилиб юриб, қарийди, бу эса унинг қизаришига сабаб бўлади, деган фаразлар ҳам айтилди. Бу фаразнинг тарафдорлари вақтни ашён-далил қилиб олган эдилар. Уларнинг фикрича, миллиард йиллар давомида квантлар қариб қолиши мумкин эмиш. Улар ёруғликка қандайдир таъсир кўрсатиши мумкин бўлган юлдузлараро муҳитга ва магнит майдонларга ҳам асосланар эдилар. Лекин қандай таъсир бўлиши мумкин? Квантларнинг «кексайиши» ёки «чарчаши»га оид ҳеч қандай тажриба фактлари йўқ. Шунинг учун ҳам дунёнинг ҳақиқатан ҳам анча тез кенгаяётганлиги тўғрисидаги фикр умумий фикр бўлиб қолди. Лекин нима учун у кенгайди? Худди шу савол устида қизгин мунозаралар авж олди.

Оламнинг кенгайиш назарияси дунёнинг яратилиши тўғрисидаги ғояларни яна юзага чиқарди. Ҳар қандай принципиал янги, революцион фикр реакцияни вужудга келтиради. Реакция бу янги фикр билан ниқобланиб, майдонга чиқишга ҳаракат қилади. Бу ерда ҳам қарама-қаршилиқлар бирлиги ва кураши қонуни намоён бўлади.

Дунёнинг яратилиши ҳақида жар солувчиларнинг олдинги қаторида бельгиялик аббат Леметр ва таниқли инглиз физиги Эддингтон борарди. Эддингтоннинг диний-мистик қарашлар, айниқса, ҳаётининг охирларида жуда ёрқин намоён бўлди. У олам доимо кенгайиш ҳолатида бўлган ва доимо кенгайди, деб уқтиради. Бундан, агар ҳозирги замондан ўтмишга қараб ҳаракат қилсак, Олам дастлаб кичкина ўлчамларга эга бўлган деган хулоса

чиқариш мумкин. Демак, қандайдир бирор вақтда «Оламнинг радиуси» деярли нолга тенг бўлган пайтгача етиб боришимизга тўғри келади. Равшанки, бу радиус нолга тенг бўлиши мумкин эмас, чунки худди шу пайт Оламнинг бошланиш, яратиш пайти бўлган ҳозирги пайтдаги кенгайиш тезлигига асосланиб, «яратилиш вақти» бундан бир неча миллиард йил илгари бўлган, дейиш мумкин. Леметрнинг фикрича, «бобо-атом» худди ўша вақтда портлаган ва ундан барча юлдузлари, планеталари, атомлари ва элементар зарралари билан бирга Олам ҳосил бўлган. Эддингтон ҳаттоки, Оламдаги зарралар сонини ҳам аниқ ҳисоблаб кўрмоқчи бўлди.

Шуни айтишимиз керакки, Леметр ва Эддингтоннинг қўллаган математик назариялари олам доимий равишда кенгайиши керак ёки кенгайиш азалий тинч ҳолатдан бошланиши керак деган абсолют натижага олиб келмайди, де Ситтернинг ишларидан кўринишича, Леметр назарияси математик нуқтаи назардан Олам кенгайиши муаммосини ечишнинг мумкин бўлган усулларидан биридир. Худди шундай асосланиши мумкин бўлган кўпгина ечимлар мавжуд.

Улардан бирига кўра, Олам ҳамиша кенгайиш ҳолатида бўлади, бундан бир неча миллиард йиллар олдин эса у минимал ўлчамларга эга бўлган. Аммо шу даврдан олдин чексиз тарқоқ муҳитнинг сиқилиши юз берган эди. Бошқа ечим янада қизиқроқ. Материянинг ўтмишда бундай ғайри табиий ҳолати бўлмаганлиги билан олдингисидан фарқ қилувчи бу ечим бўйича Олам кетма-кет кенгайиб ва сиқилиб, тебраниб (осциляцияланиб) туради. Бир неча миллиард йил илгари унинг радиуси минимал даражада эди, ўшандан бери у узлуксиз катталашмоқда, лекин бу катталашуш қандайдир максимал даражага етгандан сўнг тўхтайдиган ва сўнгра Олам яна сиқила бошлайди. Сиз ва биз гувоҳ бўлиб турган циклдан олдин бу каби цикллار чексиз кўп марта такрорланган.

Тебранувчи олам назариясида дунё пайдо бўлган вақтда ҳаракатнинг сукунатдан бошланганлиги ёки «бобо-атом»нинг сирли портлаши натижасида материянинг ҳар томонга сочилганлиги тўғрисида гап ҳам йўқ. Бу назариянинг муаллифи, термодинамика ва нисбийлик назарияси соҳасида америкалик мутахассис Толмен: «Биз олам ўтмишининг бирор маълум муддатида яра-



тилган, деб таъкидлашга ҳақимиз йўқ»,— деб ёзган эди.

Тебранувчи олам ғояси ўтмишда қаттиқ ва кўпгина асоссиз танқидга учради. Ҳозирги вақтда унинг тарафдорлари кўпаймоқда. Тўғри, бу назария ўз тараққиёти жараёнида бир қанча ўзгаришларга учраб, Оламнинг кенгайиши ва сиқилишини бир оз бошқачароқ шарҳлайдиган бўлди. Ҳаттоки, у бутунлай янги назарияга айланиб, мазмуни эскиликка қайтишдан иборат бўлгандай бўлиб қолди. Лекин бу тўғрида кейинроқ гапирамиз. Ҳозир эса америкалик астрофизик Сандижнинг мазмундор гапини келтирамиз: «Агар Оламнинг кенгайиши бизнинг маълумотларимиз кўрсатганидек, маълум тезликда секинлашса, равшанки, энг охирида кенгайиш тўхтаб сиқилиш бошланади. Агар ундан сўнг Олам материяси яна дастлабки ҳолатга қайтса ва портласа, унда ҳолат ўзгаришининг кейинги циклида, тахминан 15 миллиард йилдан кейин, инсоният яна шу вазифаларнинг ўзини ҳал қилиши керак бўлиб қолади».

Олам кенгайишини тушунтириш учун яратилган назариялар кам эмас эди. Бундай назариялар ҳозир ҳам пайдо бўлмоқда. Лекин қанча кўп назария пайдо бўлса, шунча кўп ихтилофлар ҳам йиғилиб қолади. Материя юксак босимлар ва температуралар шароитида бўлган ўша кезларда оғир элементларнинг келиб чиқишини изоҳлаган гамов назарияси, масалан, кенгаювчи Оламни тушунтиришга уринган бошқа назариялар билан тўла келишуви мумкин эмас. Шунинг учун, табиийки, фаннинг тўплаган юзларча фактларини бирлаштириб тушунтиришга уринган гипотезалар пайдо бўлди.

Осмон жисмларининг ҳар хил ёши билан боғлиқ бўлган зиддиятлардан ва борган сари сийраклашаётган Оламнинг ғалатилигидан қутилиш учун инглиз астрономи Хойл дунё кенгайишининг ўртача зичлик ҳамиша бир хилда қоладиган моделини яратди. Хойл чекли ва чегараланмаган фазо гипотезаларидан ва бошланғич момент ғоясидан воз кечишга мажбур бўлди ва дунёнинг вақт ва фазо бўйича чексизлиги тўғрисидаги фикрга қайтди. Шундай қилиб, Хойлнинг бошланғич назариялари ҳақиқатга яқин эди. Лекин бундан ташқари у, фазонинг мазкур соҳасини тарк этаётган материя қаердандир җингидан пайдо бўладиган материя билан алмашилиб туради ва бу янги материядан янгидан-янги галактика-

лар ҳосил бўлади, деб фараз қилиши лозим бўлиб қолди. Агар Хойл бу янги материя қаердан олинишини айта олганда эди, бу фараз қабул қилинган бўлар эди. Лекин Хойлнинг бу соҳадаги қаршлари ҳеч қандай шубҳа туғдирмайдн.

«Одамлар баъзан,— деб ёзган эди Хойл 1952 йилда,— материя қаердан келишини сўрайдилар. Ҳеч қаердан? Материя тайёр ҳолда — пайдо бўлишга рози. Шу мазкур онда Материяни ташкил қилувчи хилма-хил атомлар йўқ, бир зумдан кейин эса улар мавжуд бўлади».

Дунё доимийлари орасидаги қандайдир бутун қийматли муносабатларга нисбатан бутунлай формал ва мазмунсиз тасаввурларга асосланиб, Пасидаль Иордан материя бутун Оламнинг потенциал энергияси ҳисобига ўта гигант юлдузлар шаклида ҳосил бўлади, деб ҳисоблади.

## 50- §. Учинчи қисмга умумий хулосалар

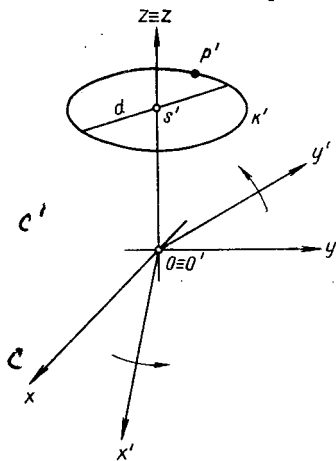
1. Биз тўрт ўлчовли ва кўп ўлчовли геометриянинг умумий нисбийлик назариясида қўлланилишини жуда юзаки гапириб ўтдик. Бу назария Эйнштейн томонидан 1916 йилда охирига етказилди ва бизнинг фазо ва вақт ҳақидаги тасаввурларимизга махсус нисбийлик назариясидан ҳам кўра кўпроқ ўзгартиришлар киритди. Унинг мақсади махсус нисбийлик назарияси билан Ньютоннинг тортишиш ҳақидаги таълимотини ўзаро келиштириш эди. Бу таълимотга кўра бутун олам тортишиши (гравитация) узоқ таъсирлашувчи куч бўлиб, ҳеч қандай вақтни талаб қилмаган ҳолда оний равишда тарқалади. Бу эса умумий нисбийлик назариясига, унинг фазо ва вақт ўзаро узвий боғланишга эга эканлиги ҳақидаги қондасига зиддир. Шу сабабли, Ньютоннинг тортишиш назариясини янада аниқлаштиришдан иборат бўлган ўзининг тортишиш назариясини яратиб учун Эйнштейннинг биз олдин айтиб ўтган икки принцинга учинчи принципи — эквивалентлик принципини қўшди. Бу принцип ҳам ҳар қандай жисмнинг гравитацион массаси (яъни унинг тортишиш майдонини вужудга келтирувчи масса) унинг инерциал массасига (яъни жисмнинг уни тўғри чизиқли текис ҳаракатли ҳолатидан четлатадиган кучга кўрсатадиган қаршилигига) тенг, деган

тажриба фактига асосланади. Бундан, ҳар қандай ноинерциал (эгри чизиқли ва ўзгарувчан) ҳаракат бирор-бир гравитацион майдондаги ҳаракатга эквивалент, деган хулоса келиб чиқади.

Аммо барибир фарқ бор: гравитацион майдоннинг таъсири унинг манбаидан массфанинг квадратига пропорционал равишда  $G \frac{m}{r^2}$  қонуниятга кўра камайиб боради ( $m$  тортишувчи жисмнинг массаси,  $r$  ундан узоқлашув масофаси,  $G$  гравитацион доимий). Масалан, айланаётган системада ҳосил бўладиган майдон эса масофа ортиши билан чексиз ортиб бориши мумкин. Бинобарин, ноинерциал ҳаракатни мос равишда танлаб олиш йўли билан гравитацион майдоннинг таъсирини йўқ қилиш мумкин (масалан, эркин тушаётган лифтда оғирлик кучи сезилмайди). Лекин буни фазо—вақтнинг кичик, аниқроқ айтганда, чексиз кичик соҳасида амалга ошириш мумкин, бундай ҳолда майдонни бир жинсли деб ҳисобласа бўлади.

Энг оддий ҳол: агар (18-расм) *Охуз* ноинерциал системанинг  $z$  ўқи атрофида  $O'x'y'z'$  система айланма ҳаракат қилаётган бўлса, махсус нисбийлик назариясига

кўра, барча кесмалар ҳаракат тезлигининг йўналишида қисқаради. Шунинг учун, агар биз, масалан,  $O'x'y'z'$  системада  $s'$  маркази  $z'$  ўқда ётган  $d$  диаметрли  $K'$  айланани ҳосил қилсак, унинг периметрини ўлчаш учун ишлатиладиган масштабимиз қисқаради (*Охуз* системасидаги ўшандай  $d$  диаметрга эга бўлган  $K$  айлананинг периметрини ўлчашда ишлатиладиган масштабга нисбатан). Шунини айтиш керакки, диаметр ҳаракат тезлигининг йўналиши бўйича эмас, балки унга перпендикуляр равишда жойлашган. Шунинг учун унинг узунлиги ўзгармай қолади. Бундан келиб чиқадики,  $K'$  айлана периметрининг унинг диаметрига нисбатини ўлчасак, *Охуз* системада эга бўлганимиздек  $\pi$  сонига эмас,



18- расм.

перпендикуляр равишда жойлашган. Шунинг учун унинг узунлиги ўзгармай қолади. Бундан келиб чиқадики,  $K'$  айлана периметрининг унинг диаметрига нисбатини ўлчасак, *Охуз* системада эга бўлганимиздек  $\pi$  сонига эмас,

балки  $\pi$  дан каттароқ қийматга эга бўламиз. Умумлаштириб, шуни айтиш мумкинки, ноинерциал ҳисоб системасида фазо геометрияси ноэвклидча бўлар экан. Худди шунинг ўзи вақтга ҳам тегишли.  $K'$  айлананинг периметридаги  $P'$  нуқтага жойлаштирилган соат унинг  $s$  марказига ўрнатилган соатга қараганда секинроқ юради.

2. Шундай қилиб, ноинерциал системада фазо — вақт ноэвклидча экан. Умумий ҳолда фазо—вақт риманча тўрт ўлчовли  $R_4$  фазодир. Бу соҳада масса бўлса, у эгриланган, бунинг устига, масса тўплами қанча катта бўлса, шунчалик кўп эгриланган бўлади. Бинобарин, фазо — вақтнинг геометрик хусусиятлари материяга, унинг тақсимотига боғлиқдир. Шу билан бирга материянинг ҳаракати  $R_4$  фазонинг геометриясига боғлиқ: моддий зарранинг дунёвий чизиғи  $R_4$  даги геофизикавий чизиқ (яъни энг қисқа масофанинг чизиғи) бўлиб, бу чизиқ гравитацион майдон мавжуд бўлганда тўғри эмас, балки эгри чизиқ бўлади.  $R_4$  фазо эгрилигининг ишораси Оламдаги модданинг ўртача зичлигига боғлиқ, бу ўртача зичлик эса ҳозирча етарли аниқлик билан ўлчанган эмас. Шу сабабли  $R_4$  мусбат эгриликка эга бўлган фазоми ёки манфий эгриликка эга бўлган фазоми (яъни у чекли, бироқ чегараланмагани ёки очиқ чексизми) деган саволга ҳозирги астрономия аниқ жавоб беролмайди.

3. Одатда, тортишиш ҳақида гап кетганда Ньютоннинг бутун олам тортишиш қонуни кўзда тутилади. Бу қонунга кўра икки масса орасидаги ўзаро таъсир фақатгина улар орасидаги масофага боғлиқ. Шаклан олам тортишиш қонунига жуда ўхшайдиган, электродинамикадан маълумки Кулон қонуни зарядланган зарраларнинг тезлиги ёруғлик тезлигидан кичик бўлган ҳоллар учун ўринлидир. Агар зарралар тез ҳаракат қилса, «кечкиш» юз беради, чунки шуни ҳисобга олиш лозимки, майдоннинг ўзгариши оний равишда юз бермайди, бунинг учун  $t = s/c$  вақт лозим бўлади. Бунда  $s$  масофа.

Агар зарра ўз тезлигини кескин ўзгартирса, шу билан бирга майдон ҳам қайта шаклланиши керак; майдон тезликнинг янги қийматига мос равишда тузилиши керак. Бундай қайта тузилиш оний равишда юз бермайди; аввало заряд яқинидаги майдон, сўнгра узоқроқдаги майдон ўзгаради. Майдон ўзгариши билан бирга унинг энергияси ҳам ўзгаради ва, демак, фазода энергиянинг

қайта тақсимланиши рўй беради. Агар заряд бир текис ҳаракатланса, энергия у билан биргаликда кўчади. Агар заряднинг ҳаракат тезлиги ўзгарса, энергиянинг ҳаммаси ҳам зарядга «боғланиб» қолмайди, унинг бир қисми чексизликка кетади — тезланувчан ҳаракатдаги заряд нур чиқаради.

Гравитацион майдонда ҳам худди шундай бўлиши керак. Тезланувчан ҳаракат қилаётган масса ўзидан гравитацион энергия сочиши керак. Умуман айтганда, бу нурланиш жуда заифдир. Умумий огирлик маркази атрофида айланаётган иккита катта юлдуздан иборат система суткасига  $10^{35}$  эрг га яқин энергия чиқаради, бу эса Ер сиртига тушаётган  $10^{-13}$  вт/м<sup>2</sup> энергия оқимиغا, тўғри келади. Бу Ерга тушаётган, катталиги 0,14 вт/см<sup>2</sup> бўлган қуёш энергияси оқимидан жуда кўп тартибга кичик. Бундай гравитацион нурланишни ҳозирча ҳеч ким кузатган эмас. Вебернинг Галактикамиз марказидан келаётган жуда интенсив нурланишни қайд қилганлиги тўғрисидаги тажрибалари бошқа лабораторияларда ўтказилган тажрибалар томонидан тасдиқлангани йўқ. Шундай бўлса ҳам гравитацион тўлқинларнинг мавжудлигига ва уларнинг тезлиги  $c$  га тенг эканлигига ҳеч ким шубҳа қилмайди. Албатта, гравитацион тўлқинларни тажрибада кузатиш фойдали бўлар эди, бироқ бу тажрибалар ниҳоятда қийин тажрибалардир. Шундай бўлса ҳам яқин йиллар ичида бундай тажрибалар ўтказилади деб умид қилиш мумкин.

4. Олам тузилишининг жуда кўп моделлари мавжуд. Лекин турли космологик назариялар ичида ҳаммага манзур бўлгани 1929 йилда Эдвин Хаббл томонидан кашф қилинган назария бўлиб, бу назарияга кўра галактикалар бир-биридан узоқлашиб боради ва, демак, коинот узлуксиз кенгайиб боради. Лекин ҳозирга қадар бу кенгайиш сабаби ва унинг қачонгача давом этиши ҳақида ягона фикр мавжуд эмас.

Баъзи назариячи олимлар томонидан қўлланилиб келаётган моделга асосан Коинот кенгайиши фазо ва вақтда чексиз бўлиб, у «катта портлаш» натижасидир. Бошланғич вақт momentiда кичик бир ҳажм ичида муқассамланган модда бу «портлаш» натижасида галактикаларга айланиб, уларнинг тарқалиш тезлиги ўша бошланғич «портлаш» вақтида олинган тезланиш билан аниқланади. Жуда катта чанг ва газлар тўпламининг

бир-бирларидан узоқлашиши ҳали ҳам давом этмоқда.

Бошқа бир моделга кўра, Коинотнинг охирги ҳолатини кўз билан кўриб бўлмайдиган зимистонга ўхшатиш мумкин. Бу иккинчи моделга асосан пировардида тортишиш кучи Коинотнинг тарқалишига сабаб бўлаётган кучдан «устун» чиқади. Галактикаларнинг кенгайиши тугайди ва улар бир-бирлари атрофида айланишиб, ораларидаги масофа тобора камайиб, бир-бирларини «ютиб» сиқилиб борадилар. Ҳосил бўлган жисмнинг зичлиги ва, демак, гравитацион кучи шунчалик ортиб кетадики, ҳатто ундан чиқаётган ёруғлик нурлари тарқалмасдан ўша жисм томонидан қайта ютилади. Коинот «қора тешик» деб аталувчи кўзга кўринмас жисмга айланади.

1965 йилда Америка олимлари Р. Х. Дин ва П. Х. Пибз, агар Коинотни юзага келтирган «Қатта портлаш» ҳақиқатдан ҳам мавжуд бўлган бўлса, портлаш натижасида ҳосил бўлган нурланиш қолдиғи юлдузлар орасидаги фазода текис тақсимланган бўлиши керак, деган фикрни айтдилар. Уларнинг бу фикри тасдиқланди. Ҳозир олимларнинг ҳисобича, Коинотнинг ёши 13—19 миллиард йилга тенг. Экстраполяция усули билан унинг массаси ва зичлиги аниқланган. Агар қандайдир жуда катта «яширин» масса мавжуд бўлмаса, гравитация кучи коинотни дастлабки ҳолига қадар сиқишга етарли бўлмайди.

5. Олимлар ҳозир Хаббл доимийсининг қийматини аниқроқ ўлчашга ҳаракат қилмоқдалар. Хаббл доимийси Коинотнинг кенгайишини характерлаб, галактикаларнинг ҳаракат тезлиги ва ораларидаги масофалар билан аниқланади. Лекин галактикалар орасидаги масофаларни аниқ ўлчаш жуда қийиндир. Охирги 20 йил давомидаги ҳисобларнинг кўрсатишича, Хаббл доимийсининг қиймати  $500 \text{ км/сек Мпс}$  дан  $50 \div 100 \text{ км/сек Мпс}$  га қадар камайди. Энг охирги ўлчашларга кўра эса, Хаббл доимийси  $50,3 \text{ км/сек Мпс}$  га тенг ва унинг хатолиги 10% дан катта эмас.

Бундан Коинотнинг кенгая бошлаганига 19,4 миллиард йил ўтган, деган хулоса чиқариш мумкин. Бу давр эса энг қари юлдузлар ва химиявий элементларнинг ёшига тенг. Баъзи олимлар фикрига кўра, шу ҳолни «Иссиқ» Коинот моделини тасдиқловчи энг муҳим да-

лил деб ҳисоблаш мумкин. Кенгайиш бошлангандан бери ўтган вақт шунчалик кичикки, вақт ўтиши билан кенгайиш секинлашади деб ҳисобловчи космологик моделларни тўғри эканлигига ишонч ҳосил қилиш қийин. Астрономлар Коинотнинг кенгайиши узлуксиз бўлса керак, деб ҳисоблайдилар.

### «ТЕЛБА НАЗАРИЯ» ВА ЭЙНШТЕЙН

Хўш, Эйнштейн дунё ҳақидаги тушунчани охирига етказдими? Йўқ, албатта. Эйнштейн умрининг кўп йилларида дунёнинг янги ягона майдон назариясини яратишга ҳаракат қилди. Лекин у бу ниятига ета олмади.

Чунки назария ниҳоятда такомиллашган бўлиши зарур эди. Энди такомиллашган назария классик физика назариясидан нима билан фарқланади деган саволга жавоб бериш керак. Маълумки, умумий нисбийлик назарияси катта аниқлик билан илгари маълум бўлмаган кўп ҳодисаларни олдиндан айтиб беради ва уларни топишга имкон яратади. Бироқ классик физика назарияси ҳам кўп нарсани тушунтирадиган ва яхши ривожланган назариядир. У янги назарияда хусусий ҳол сифатида ўз аҳамиятини тўла сақлаб қолди. Янги назария, иш сонлар устида борганда, кўпинча классик назарияга тузатиш киритади, холос.

Бироқ ҳозирги замон фундаментал физикавий назарияларнинг ҳар бири ҳодисаларнинг ички табиатининг ўхшашлигини ажойиб томонларини очиб берадики, бу фактлар шу вақтгача кишига ўзаро мутлақо боғланишсиз бўлиб туюлган, ҳатто ўз моҳияти билан бир-бирига зид, тўғри келмайдиган фактлар эди.

Бу ҳол айниқса янги типдаги фундаментал физикавий қонунларнинг келиб чиқишида муҳим аҳамият касб этди. Бу қонунларни *эквивалентлик қонуни* деб аташ мумкин. Ҳозирги замон физикаси фундаментал қонунларни математикавий жиҳатдан  $E=pc$  ва  $E=mc^2$  машҳур муносабатлари орқали ифодаланади.  $h$  Планк доимийси ва  $c$  тезлик ўзгармас бўлганлигидан, математикавий нуқтаи назардан бу — оддийгина айният ёки қайта белгилашдир.

Бу қонунларнинг чуқур физикавий мазмунини шундан иборатки, уларнинг чап ва ўнг қисми турли ҳодисаларга тегишлидир, уларнинг яқинлиги фақат шу қонунлар билан ифодаланган.

Масалан, энергия — «иш бажара олиш қобилияти», инертлик — «жисмнинг ўз тезлигини ўзгартиришга қаршилик кўрсатиш қобилияти»дир. Улар ўз характери бўйича мутлақо турлича физикавий тажрибаларда ўлча-надилар.

Шу сабабли махсус нисбийлик назариясидан табиий равишда келиб чиқадиган  $E = mc^2$  муносабатни классик физика олдиндан кўра олмади.

Шундай қилиб, ҳозирги замон физикасининг ўзига хос, равшан белгиси — илгари бир-бири билан ўзаро боғлиқ бўлмайдиган кўринган ҳодисаларнинг ички бирлигини топишидадир.

Энди биз нисбийлик назарияси оддий назариями?— деган саволга жавоб беришимиз мумкин. Назариянинг соддалиги унинг тенгламаларининг математикавий шаклида эмас, балки унинг мумкин қадар кенг доирадаги ҳодисаларнинг ички бирлигини аниқлай олишидадир.

Ньютоннинг бутун олам тортишиш қонуни — инсон томонидан табиатни тушунишда жуда буюк ютуқ бўлиб, у Коперник, Галилей ва Кеплер ютуқларини ягона қонунда бирлаштирди. Барча классик назарияларга ўхшаш, Ньютон назарияси ҳам бир хил типдаги ҳодисаларга тегишли эди. Уларнинг бошқа табиат ҳодисалари билан боғланиши назарияда муқаррар ва зарурий қилиб қўйилмаган эди.

Эйнштейн назарияси муносабатлари бир-бирига нисбатан зарур бўлиб кўринмаган ва умумий ички табиати билан боғланмаган ҳодисаларни ҳозирги замон физикаси руҳида бирлаштирди. Шу маънода Ньютон назарияси ўзидан олдинги буюк кишилар натижаларининг йиғиндисига нисбатан қанчалик оддий бўлса, Эйнштейн назарияси ҳам Ньютон назариясидан шунчалик оддийдир.

Тортишиш ҳодисаси ва фазо — вақт геометрияси бирлигининг қарор топиши ҳамда геометриянинг материянинг тақсимланиши ва ҳаракати билан боғлиқлиги — турлича табиат ҳодисаларининг ҳайрон қоларлик даражада кенг миқёсдаги бирлашиши умумий нисбийлик назариясининг катта ютуғидир.

1958 йилда квант механикаси асосчиларидан бири, атоқли физик Венер Гейзенберг Геттинген университетда «Элементар зарралар назариясининг тараққиёти» деган мавзуда лекция ўқиб ва унинг ходимлари ягона



майдон назариясини яратишга муваффақ бўлганлигини айтди. Сўнги йиллардаги бу қизиқ назариянинг моҳияти нимада?

Тўғридан-тўғри айтайлик, бу саволга жавоб бериш осон эмас. Энг аввало гап математикавий боғланишлар ҳақидадир.

Инсонга энг мураккаб физикавий жараёнларни би-лишда ёрдам берадиган мукамал аппарат фақат мате-матикадир. Худди шунинг учун ҳам ҳозирги замон та-биатшунослиги шундай шиддат билан математикалаш-моқда. Шунинг учун ҳам ягона майдон назариясини яратишда, Гейзенбергнинг сўзлари билан айтганда «та-биатга математика тилида савол беришга тўғри келади, чунки жавобни фақат шу тилдагина олиш мумкин. Ле-кин саволнинг ўзи амалий дунёда юз бераётган жараён-га йўналтирилган бўлади».

Гейзенбергнинг асосий физикавий ғояси Пифагор ва Аристотель нуқтаи назарлари билан кўп жиҳатдан умумийликка эга бўлиб, материя барча кўринишларининг абадий шаклини, ягона модда — азалий материяни тан олишдан иборат. Ягона физикавий майдон бир вақтнинг ўзида узлуклилик хусусиятига ҳам, узлуксизлик хусу-сиятига ҳам эга бўлган азалий материядир; узлуксиз ягона майдон бутун олами, материя мавжудлигининг барча шакллари: галактикалар ва зарраларни, май-донлар ва юлдузларни ўз ичига олади. Ягона майдон-нинг дискретлиги унинг квант хусусиятларини харак-терлайди; азалий материя бўлинмас элементлардан тузилади.

1958 йилда машҳур немис физиги Вольфган Паули АҚШга келиб Гейзенберг назарияси тўғрисида доклад қилаётганида шу ерда ҳозир бўлган Нильс Бор: «Ҳеч шубҳа йўқки, бизнинг кўз ўнгимизда телба назария ту-рибди. Лекин ҳамма гап шундаки, тўғри бўлиши учун у етарли даражада телбамикан?»— деб хитоб қилган эди.

Бу ерда фақат Гейзенберг тенгламаси, унинг «дунё-ни ифодалайдиган формуласи» етарлича мукамал эмас-лиги ва назариянинг ўзи бўлгуси тадқиқотлар учун фа-қат бир программа сифатида талқин қилинишида эмас. Муҳими — бу «телбалик».

Узил-кесил, ноананавий, жумбоқли ва «телбалик» келажакнинг ғоялари ана шундай бўлиши керак.

Бироқ бу деталлар Эйнштейнни олим ва инсон сифатида ардоқлаш учун ҳеч қандай аҳамиятга эга эмас. Эйнштейн бизга бутунлай бошқача Оламнинг эшигини очиб берди ва абстракт тафаккурнинг қудратли кучини кўрсатди. Физикавий дунёнинг чуқур сирларини унга қадар ҳеч ким бунчалик равшан тушунмаган ва очмаган эди. Бунга қадар ҳеч ким Олам қандай тузилганлиги ҳақидаги «иш чизмаси»га эга бўлишни орзу ҳам қилмаган эди. Бир инсоннинг умри давомида амалга ошира олган ишлари ҳайратда қоларлик даражадаги ҳажми эгаллайди. Унинг илмий натижалари кейинги кўп йиллар давомидаги илмий тадқиқотларга асос бўла олади. Шафқатсиз агрессив кураш ва бузғунчилик даврида Эйнштейн улуғ инсон ақл-заковатининг намунаси бўлди. Бу ақл-заковат яратиш мақсадларига ишлатилганда қанчалик улуғ ва чексиз имкониятларга эга бўлиш-лигини у бутун дунёда намойиш қилди. Шунинг учун тараққиёт тарихида Эйнштейн алоҳида ва мустақкам ўрни эгаллайди.

#### АДАБИЕТ

1. А. Эйнштейн. «Научные труды», 1—4 том, М., Изд. «Наука», 1965.
2. А. Эйнштейн, Л. Инфельд. «Эволюция физики», М., Изд. «Наука», 1965.
3. Б. Г. Кузнецов. «Эйнштейн», М., Изд. «Наука», 1972.
4. П. Эренфест. «Относительность, кванты, статистика», М., Изд. «Наука», 1972.
5. Л. Купер. «Физика для всех», М., Изд. «Мир», 1973.
6. Э. Гейлор, Дж. Уилер «Физика пространства — времени», М., Изд. «Мир», 1969.
7. Л. Бриллюэн. «Новый взгляд на теорию относительности», М., Изд. «Мир», 1972.
8. Дж. Синг. «Беседы о теории относительности», М., Изд. «Мир», 1973.
9. У. И. Франкфурт. «Специальная и общая теория относительности». М., Изд. «Наука», 1968.
10. Д. Шама. «Современная космология», М., Изд. «Мир», 1973.
11. Ш. М. Валиходжаев. «Математические основы релятивистской физики», Т., Изд. «Фан», 1976.

## МУНДАРИЖА

Иккинчи нашрига сўз боши . . . . .	3
Биринчи нашрига сўз боши . . . . .	4
Кириш . . . . .	7

### I қ и с м. Альберт Эйнштейн

#### I б о б

Эйнштейннинг ҳаёти ва ижодий фаолияти . . . . .	9
---	---

#### II б о б

Альберт Эйнштейн ва Нильс Бор ҳозирги замон физикаси асослари хусусида . . . . .	57
--	----

### II қ и с м. Махсус нисбийлик назарияси

#### III б о б

Нисбийлик назариясининг манбалари . . . . .	71
1-§. Ньютон механикасининг асослари . . . . .	71
2-§. Координаталар системаси . . . . .	73
3-§. Инерциал sanoқ системалари . . . . .	76
4-§. Галилейнинг нисбийлик принципи . . . . .	78
5-§. Галилей алмаштиришлари . . . . .	80
6-§. Галилей алмаштиришларининг катта тезликларга татбиқи . . . . .	85
7-§. Ньютон фазо ва вақт ҳақида. Эфир масаласи. . . . .	87

#### IV б о б

Махсус нисбийлик назариясининг экспериментал асослари . . . . .	89
8-§. Физо тажрибаси . . . . .	89
9-§. Майкелсон тажрибаси . . . . .	91
10-§. Астрономия ҳодисаларини релятивистик изоҳлаш. Ёруғлик абберацияси . . . . .	94
11-§. Эйнштейнгача бўлган физикадаги қийинчиликлар . . . . .	96

#### V б о б

Бир вақтlilikнинг нисбийлиги . . . . .	98
12-§. Эйнштейннинг икки постулати . . . . .	98
13-§. Бир онлик ва бир вақтlilik тушунчаси . . . . .	101
14-§. Эйнштейн нисбийлик назариясида фазо — вақт тушунчаси . . . . .	104

#### VI б о б

Лоренц алмаштиришлари ва уларнинг татбиқи . . . . .	106
15-§. Лоренц алмаштиришлари . . . . .	106
16-§. Катта тезликларни релятивистик қўшиш усули . . . . .	109
17-§. Лоренц алмаштиришларининг татбиқи . . . . .	113
18-§. Допплер ҳодисаси . . . . .	117
19-§. Допплер ҳодисасининг нисбийлик назарияси . . . . .	121

20-§. Импульс, масса ва энергия . . . . .	123
21-§. Оралиқ — интервал . . . . .	130
22-§. Тўрт ўлчовли дунё . . . . .	133

*VII боб*

<b>Нисбийлик назариясининг жумбоқлари</b>	
23-§. Эгизаклар ҳақидаги жумбоқ . . . . .	138
24-§. Дисперсия ва ёруғлик тезлиги . . . . .	138
25-§. Янги тажрибалар, янги ғоялар . . . . .	142
26-§. Тахнонлар масаласи . . . . .	143
27-§. Иккинчи қисмга умумий хулосалар . . . . .	146
	147

**III. қисм. Умумий нисбийлик назарияси**

*VIII боб*

<b>Умумий нисбийлик назарияси</b>	
28-§. Инсон идрокининг улкан ғалабаси . . . . .	152
29-§. Ньютон механикаси. Инерция кучлари . . . . .	152
30-§. Тортишиш ва инерция кучларининг ўхшашлиги . . . . .	154
31-§. Умумий нисбийлик назарияси нима? . . . . .	156
32-§. Эквивалентлик принципи . . . . .	158
33-§. Эркин тушиш қонуни . . . . .	160
34-§. Эйнштейн фазо — вақт ҳақида . . . . .	162
	166

*IX боб*

<b>Умумий нисбийлик назариясининг машҳур эффектлари</b>	
35-§. Эйнштейн назарияси олдиндан айтиб берган эффектлар. Уларни тажрибада текшириш . . . . .	170
36-§. Улкан жисмлар яқинида вақтнинг секинланиши . . . . .	173
37-§. Гравитацион қизил силжиш . . . . .	175
38-§. Гравитацион майдондаги синиш . . . . .	179

*X боб*

<b>Умумий нисбийлик назариясининг тенгламалари</b>	
39-§. Дунё геометрияси . . . . .	182
40-§. Тортишиш. Умумий нисбийлик назариясининг ақидалари. Эйнштейн тенгламалари . . . . .	182
41-§. Эйнштейн тенгламаларининг ечими. Шварцшильд сфераси . . . . .	187
42-§. Кузатишларда назариянинг тасдиқланиши . . . . .	190
<i>XI боб</i>	193

**Умумий нисбийлик назарияси ва коинотнинг ҳозирги замон физикавий манзараси**

43-§. Нейтрон юлдузлар. Пульсарлар . . . . .	195
44-§. Гравитацион коллапс. Квазарлар . . . . .	195
45-§. Оламнинг моделлари. Космология . . . . .	199
46-§. Эйнштейн тенгламаларининг янги ечимлари. Фридманнинг олам моделлари . . . . .	203
47-§. Гравитацион тўқинлар . . . . .	206
48-§. Гравитациянинг янги назариялари . . . . .	213
49-§. Коинотнинг ҳозирги замон физикавий манзараси . . . . .	214
50-§. Учинчи қисмга умумий хулосалар . . . . .	215
«Телба назария» ва Эйнштейн . . . . .	222
	227