

Лекция 1. Электромагниттік өзара әсерлесудің табиғаттағы маңызы

1 Электромагниттік өзара әсерлесудің табиғаттағы маңызы

Табиғаттағы заттар молекулалар, атомдар, электрондар, протондар, нейтрондардан т.б. тұрады. Бұлар элементар бөлшектерді құрайды. Элементар бөлшектердің қасиеттері сан қилы. Массалары да, өмір сүру уақыттары да әр түрлі. Мысалы, фотонның массасы нөлге тең болса, массасы шамамен 10 ГэВ болатын өте ауыр элементар бөлшектер табылады. Ал, электрон мен протондардың өмір сүру уақыты өте үлкен болса, резонанс деген элементар бөлшектер шамамен 10^{-23} с уақыт аралығында ғана өмір сүреді. Алайда барлық элементар бөлшектерге ортақ қасиет -олардың әсерлесетіндігі.

Табиғаттағы әсерлесуді *гравитациялық, күшті, әлсіз, электромагниттік* деп төрт іргелі әсерлесулер тобына бөлуге болады. Бұл әсерлесулер бір-бірінен қарқынды жағынан да, үстемдік ететін кеңістіктерінің өлшемдері жағынан да өзгеше. Гравитациялық әсерден басқасының барлығы элементар бөлшектердің арасында талғаусыз пайда бола бермейді. Кейінгі кезде электромагниттік және әлсіз әсерлер мегі бір екендігі, яғни белгілі бір әсердің өңделген түрі екендігі дәлелденді. Жалпы, барлық әсерлердің негіздері біреу ғана болуы мүмкін, яғни олар бір әсердің төрт түрі болуы мүмкін деген жорамал бар.

Гравитациялық әсерге барлық элементар бөлшектер ұшырайды, бірақ ол өте әлсіз болады. Ал күшті әсердің қарқыны электромагниттік әсердің қарқынынан миллиондаған есе артық. Гравитациялық әсер ғарыш кеңістігінде орналасқан денелердің арасында пайда болып, аспан механикасының негізін қалайды, денелердің зарядына байланысты болмайды. *Гравитациялық әсерлесу күші* (гравитациялық тартылу күші) арақашықтықтың квадратына кері пропорционал ($1/r^2$).

Табиғатта гравитациялық күш сияқты арақашықтықтың квадратына кері пропорционал ($1/r^2$) өзгертін тағы бір күш бар, ол зарядталған денелердің бір-біріне әсер күші. Бұл күш гравитациялық күштен шамасы жағынан 10^{25} есе артық. Екінші ерешелігі- зарядының таңбасы бірдей денелер бірінөбірі тебеді, ал әр аттас зарядталған денелер біріне-бірі тартылады. Бұл күштерді *электр күштері* дейді.

Кез-келген атомның ядросында протон, ал оның сыртқы қабықшаларында электрондар орналасқан. Протондар оң, ал электрондар теріс зарядталған. Сонда *протондар мен электрондар араларында пайда болатын ғаламат үлкен тарту күшінің әсерінен олар бір-біріне неге өте жақындамайды? Тіпті бірінің үстіне бірі түсіп зарядтарын неге бейтараптамайды?* Бұл жағдайлардың орындалмайтындығы кванттық құбылыстардың салдары. Егер электрондар протондарға өте жақындаса яғни олардың координаталары өте дәл анықталса, Гейзенбергтің анықталмағандық принцип бойынша, олардың импульстары шексіз үлкен мән қабылдауы керек.

Атом ядросындағы протондарды өте тар көлемде ұстап тұрған күштің табиғаты электр күшінің табиғатынан өзгеше. Ол күшті ядро күші деп аталады. Ядро күші *күшті* әсерді сипаттайды. Ядро күшінің байқалатын аралығы өте қысқа (10^{-15} м), ол арақашықтыққа байланысты $1/r^2$ заңдылығына қарағанда өте тез азаяды. Егер бөлшектердің арақашықтықтары 10^{-15} м шамасынан артық болса, ядролық әсер нөлге дейін азайып, олардың арасында электромагниттік әсерлесу үстемдік етеді.

2 Электромагниттік өрістің жалпы сипаттамасы

Қозғалмайтын зарядтардың арасындағы әсерлесу күші, гравитациялық тартылыс күші сияқты, арақашықтықтың квадратына кері пропорционал ($1/r^2$) болады. Бұл заңдылықты тағайындаған француз ғалымы Ш. Кулон. Егер зарядтар қозғалыста болатын болса, онда олардың өзара әсерлесу күшін Кулон заңы дұрыс анықтай алмайды. Ал әсерлесу күшінің зарядтардың *қозғалу жылдамдығына байланысты бөлігі* күрделі заңдылықпен анықталады. *Зарядтардың қозғалысына тән әсерлесу күшін магниттік күш деп атайды.* Алайда Кулон заңымен анықталатын күш пен магниттік күштердің табиғаттары біреу ғана – *зарядталған денелердің өзара әсерлесуінің екі түрі.* Сондықтан, барлығын бір атпен *электромагниттік әсер* дейді.

Электромагниттік өріс – электр және магниттік құбылыстардың материялық негізі. Электромагниттік өріс бір-бірімен байланысты екі құраушыдан: *электр және магнит өрістерінен* тұрады. Бұл өрістерді сан жағынан сипаттайтын шамалар – *электр өрісінің кернеулігі* \vec{E} мен *магнит өрісі индукциясы* \vec{B} . Бұлар электромагниттік өрісте орналасқан бірлік зарядқа (тыныштықтағы және қозғалыстағы) әсер ететін күштерді анықтайды. Электромагниттік өрісте v жылдамдығымен қозғалыстағы q зарядына әсер

ететін күш $\vec{F} = q(\vec{E} + [v\vec{B}])$ өрнегімен анықталады.

Электромагниттік өріске ортаның әсерін ескеру мақсатында *электр өрісінің ығысу векторы* \vec{D} және *магнит өрісінің кернеулігі* \vec{H} ұғымдарын ендіреді. *Электр өрісінің ығысу векторы* \vec{D} мен *магнит өрісі индукциясы* \vec{B} *электр және магнит өрістерінің кернеуліктерімен* \vec{E} және \vec{H} *материялық қатынастар арқылы байланысады.*

Жеке қарастырылған магнит және электр өрісі салыстырмалы, тек электромагниттік өріс қана абсолют. Шындығында, бір-біріне параллель, бірдей жылдамдықпен қозғалатын екі зарядты параллель тоқтар деп қарастыруға болады. Сондықтан, олардың маңында магнит өрісі пайда болуға тиісті. Екінші жағынан, зарядтар жылдамдығына тең жылдамдықпен қозғалыстағы координаттар жүйесінде қарастырылып отырған зарядтар тыныштықта болады. Олай болса, бұл координаттар жүйесінде магнит өрісі болса, екінші координаттар жүйесінде магнит өрісі болмайды деген теріс қорытынды жасалады. Бұдан жеке-жеке қарастырылған магнит өрісі де, электр өрісі де салыстырмалы (таңдап алған координаттар жүйесіне байланысты), тек электромагниттік өрісі ғана абсолют екендігін байқаймыз.

Электромагниттік өріс заряд пен тоқ жоқ кезінде де материяның бір түрі ретінде өмір сүреді, кеңістікте толқын ретінде таралады. Электромагниттік өрістің материяға тән сипаттамалары: массасы, импульсі, энергиясы бар. Сондықтан оны материяның өмір

сүруінің белгілі бір түрі деп есептеу қажет.

3. Заряд тасушы микробөлшектер

Заряд тасушы микробөлшектер – зарядталған бөлшектер, иондар. Ал кез-келген заттың зарядталуы олардың құрамындағы теріс зарядталған электрондар мен оң зарядталған протондарға байланысты. Заряды бар микробөлшектердің саны көп және олардың қасиеттері мен сипаттамалары сан қилы. Зат *зарядталуы* үшін өзінің меншікті электрондарын не жоғалтуы, не ортадан артық электронды қосып алуы керек. Басқаша айтқанда, дененің зарядталуы оның *құрамындағы электрондардың санының өзгеруімен байланысты*.

Электр заряды – дененің немесе бөлшектің электромагниттік әсерлесуге қабілеттілігін сипаттайтын физикалық шама. Элементар бөлшектердің қатарына, мысалы, электрон (теріс заряд тасушы), протон (оң заряд тасушы) және нейтрон(заряды нөлге тең) жатады. Осы бөлшектерден заттың атомдар құрылатындықтан, электр зарядтары барлық денелердің құрамына енетін болып шығады.

	$Q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ $Q_p = +1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
--	---

Электрон – элементар теріс заряды бар бөлшек. Оның зарядының шамасы $Q_e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл , ал массасы $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. Электр және магнит құбылыстарының классикалық ілімінде электронды нүктелік заряд, яғни оның барлық заряды бір нүктеде шоғырланған деп есептелінген.

Протон – ядроның құрамына кіретін оң зарядталған бөлшек. Оның заряды шама жағынан электрон зарядына тең: $Q_p = +1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Протонды электрондармен атқылағанда электрондардың шашырау заңдылықтарын зерттеу арқылы оның құрылысы

күрделі екендігі тағайындалды. Қазіргі кезде протон заряды $2|e|/3$ -ға тең нүктелік екі оң зарядталған кварктан және зарядының шамасы $|e|/3$ -ке нүктелік теріс зарядталған бір кварктан тұрады деп есептейді.

Нейтрон – ядроны құрастырушы бейтарап бөлшек. Нейтронды өте үлкен жылдамдықтары бар электрондармен атқылау арқылы оның құрылысы жайында мағлұматтар алынды. Нейтрон зарядының шамасы $1/3|e|$ -ға тең теріс зарядталған екі кварктан және заряды $2/3|e|$ болатын оң зарядталған бір кварктан тұрады деп есептеледі.

Электр зарядтарының қасиеттері:

- электр зарядтары оң және теріс болады, аттас зарядтар бір-бірінен тебіледі, ал әр аттас зарядтар бір-біріне тартылады;
- электр заряды релятивтік - инвариантты: ол қозғалыс кезінде мәнін өзгертпейді, яғни оның шамасы санақ жүйесіне тәуелсіз;
- электр заряды аддитивті, яғни кез-келген жүйенің заряды жүйені құрайтын бөлшектердің зарядтарының алгебралық қосындысына тең;
- электр заряды дискретті, яғни кез келген бөлшек е элементар зарядтан тұрады, яғни : $q = eN$.

Элементар заряды бар бөлшектер электрон (теріс) және протон (оң),

Элементар заряд $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Электр зарядының сақталу заңы - тұйықталған жүйенің электр заряды осы жүйеде өтетін кез келген процесс кезінде өзгермейді.

$$Q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = const$$

4. Элементар заряд және оның инварианттылығы

4.1 Милликен тәжірибесі

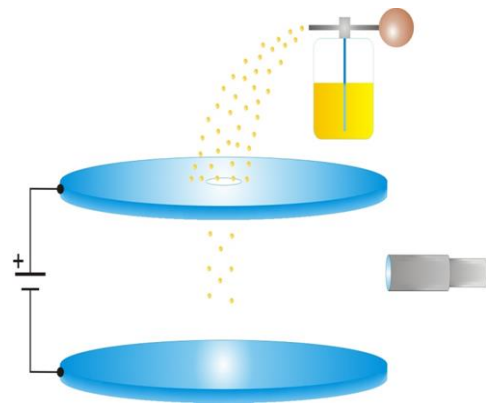
Элементар зарядтың дискреттігі туралы болжамды алғаш рет 1752 жылы американ физигі Б. Франклин айтты. Зарядтың дискреттігі туралы алғашқы мағлұматты ағылшын физигі М. Фарадейдің 1834 жылы ашқан электролиз заңдылықтарын талдау арқылы алуға болар еді. Алайда тек 1881 жылы Г.Л. Гельмгольц және ирланд физигі Д.Стонем қарапайым электр зарядының болатыны жөнінде болжам айтқан болатын. Көптеген фактілер оның айтқан болжамының дұрыстығын растады. Тек 1909 жылы американ физигі Р. Милликен бұл зарядтың шамасын барынша дәл анықтады.

XX ғ. басында яғни 1906-1916 жылдары орыс ғалымы Абрам Федорович Иоффе мен американдық ғалым Роберт Милликен электр зарядын өлшеуге байланысты тәжірибе жасады. Олар электр зарядының бөліну шегі бар, әрі қарай бөлінбейтін ең аз теріс заряды

бар бөлшек электрон деп аталады деген қорытындыға келді. Электронның электр заряды *элементар заряд* деп аталады.

Электрон заряды теріс және оны e әрпімен белгілейді: $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. Заряд шамасының өлшем бірлігі ретінде 1 Кулон (1 Кл) алынған.

Абрам Федорович Иоффе (1858-1953) мен Роберт Милликен (1890-1960) элементар бөлшектердің бар екенін және олардың зарядын тәжірибе жүзінде анықтады. Ғалымдар тәжірибені мына қондырғымен жүргізді. Суретте қондырғының схемасы берілген. Ауасы жоғарғы вакуумға дейін сорылған, жабық ыдыста екі металл пластина орналасқан. А камерасынан О тесік арқылы мырыш ұнтағын жібереді. Бұл ұнтақтарды микроскоп арқылы бақылап отырған. Мырыштың ұнтағы теріс



зарядталған деп жорамалдайық, ауырлық күшінің әсерінен ол төмен түседі. Бірақ ұнтақты ауырлық күшіне қарамай ауада ұстап тұра аламыз деді Иоффе, егер пластиналарды оң және теріс етіп зарядтап қойсақ. Бұл жағдайда зарядталған пластиналар арасындағы мырыш ұнтағына ауырлық күшімен қатар электр күші де әсер етеді. Егер ауырлық күші электр күшіне тең болса, онда ұнтақ тепе-теңдік қалпында ауада қалықтап тұрады. Тепе-теңдік қалпында тұрған мырыш ұнтағына ультракүлгін сәулемен әсер еткенде, оның заряды азайып, ол құлай бастайды. Себебі ұнтаққа әсер етіп тұрған электр күші азайды. Бұл процесті бірнеше рет қайталап ғалым мынадай қорытындыға келеді: ұнтақ заряды үнемі екі зарядқа кеміп отырған. Соңында ұнтақ заряды зат бөлігімен кетеді. Бұдан табиғатта ең кіші одан әрі бөлінбейтін заряд шығады. Ол электрон. Ағылшын ғалымы Роберт Милликен тәжірибені май тамшыларымен жүргізді. Ол май тамшыларының электр өрісінде қозғалыс жылдамдығын өлшей келе, электрон зарядын анықтай білді.

Жазық конденсатордың жоғарғы пластинкасында саңылау бар. K түтігінен бұл саңылау арқылы май тамшылары бүркіледі. Май тамшыларының төмен түсуі M микроскоп арқылы бақыланады. Электр өрісі әсер етпеген жағдайда тамшыға оның ауырлық күші, архимед күші және Стокс формуласымен анықталатын кедергі күші әсер етеді, осы күштердің әсерінен тамшы жылдамдықпен бірқалыпты қозғалады. Бөлшекке әсер ететін күштердің кейбіреуін конденсатор астарларын зарядтамай тұрып, алдын-ала анықтап алуға болады. Содан соң конденсатор өрісінің тарапынан әсер ететін күшті табады. Электр өрісінің кернеулігін өзгерте отырып, бөлшектің зарядын анықтайды.

Бөлшектің зарядын анықтап, Милликен оның заряды $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл шамасына есе екендігін көрсетті.

Элементар заряд әрі қарай ұсақ бөлшектерге бөлінбейтіндігі де дәлелденді.

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$Q = 0, \pm e, \pm 2e, \pm 3e, \dots \pm ne$$

Оң және теріс элементар зарядтың мәндерінің өте жоғары дәлдікте өзара тең екендігі де ғажайып фактілердің бірі. Сутегі атомының және басқа да қарапайым атомдарының электр және магнит өрістеріндегі ауытқуларын тексеру арқылы электрон мен протон зарядының өзара теңдігі $10^{-19} - 10^{-21}$ дәлдікпен анықталған.

Элементар зарядтың сандық мәнінің *инварианттығын атомның өте жоғары дәлдікте, бейтарап* екендігімен түсіндіруге болады. Себебі атом құрамындағы электрон мен протонның массалары әр түрлі болғандықтан электрондар жылдамдығы протон жылдамдығынан әлдеқайда үлкен болуы керек. Егер заряд шамасы жылдамдыққа байланысты болатын болса, яғни инвариант болмаса, атомның бейтараптығы сақталмаған болуы керек еді. Ал Ал тәжірибе жүзінде гелий сияқты жеңіл элемент атомдардың да, әжептәуір ауыр атомдардың да жылдамдықтары $v=0,5c$ (c – жарық жылдамдығы) дейінгі дәлдікпен элементар зарядтың сандық мәнінің жылдамдыққа тәуелсіз, яғни оның инвариантты екендігін көрсетеді.

5. Зарядтың сақталу заңы

Зарядтың сақталу заңы - табиғаттағы іргелі заңдарының бірі. Зарядтың сақталу заңының екі қыры бар. Бірінші, *протон мен электрон шексіз ұзақ өмір сүретін элементар бөлшектер және олардың элементар зарядтар жылдамдыққа байланысты емес, яғни олардың шамалары инвариант*. Екінші жағынан, *зарядтың сақталу заңы заряд тасушылардың ешқайда жоғалмайтындығының және зарядтың инварианттылығының салдары*.

Өзара әсерлесетін элементар бөлшектерден құралған жабық жүйенің толық заряды сақталады.

Бұл заңнан, егер жүйе жабық болса, реакция нәтижесінде оң таңбалы микробөлшек пайда болса, міндетті түрде теріс таңбалы микробөлшек пайда болатындығы шығады. Жабық жүйедегі оң микробөлшектің саны қаншаға кемісе, теріс зарядталған микробөлшектің саны соншаға кемуі тиіс.

Бірақ зарядтардың салыстырмалы тәуелсігіне қарамастан, олар заряд тасушылардан жеке – дара, кеңістік пен уақыттан тыс өмір сүре алмайды. Басқаша айтқанда, заряд материядан тыс өмір сүре алмайды, ол материяның қасиетінің бір көрінісі деген сөз.

Қорытынды:

- табиғаттағы заттар молекулалар, атомдар, электрондар, протондар, нейтрондардан т.б. тұрады. Бұлар элементар бөлшектерді құрайды.
- элементар бөлшектердің қасиеттері сан қилы. Массалары да, өмір сүру уақыттары да әртүрлі.
- табиғаттағы әсерлесуді *гравитациялық, күшті, әлсіз, электромагниттік* деп төрт

іргелі әсерлесулер тобына бөлуге болады

- күшті әсерлесу тобына жататын ядролық күштердің үстемдік ететін аралығы өте қысқа (10^{-15} м). Ол арақашықтыққа байланысты $1/r^2$ заңдылығына қарағанда өте тез азаяды. Егер арақашықтық 10^{-15} м шамасынан артық болса, ядролық әсер нөлге дейін азаяды да, элементар бөлшектердің арасында электромагниттік әсерлесу үстемдік етеді.
- Заряд дискретті. Элементар заряд шамасы электрон зарядының шамасына тең. Электромагниттік құбылыстарды қарастырылғанда элементар заряд ұсақ бөліктерге бөлінбейді деп есептеледі.
- Элементар заряд шамасы – санақ жүйесіне, бөлшектердің қозғалу жылдамдығына тәуелді емес инвариант шама.
- протон мен электрон шексіз ұзақ өмір сүретін элементар бөлшектер және олардың элементар зарядтары жылдамдыққа тәуелді емес, яғни олардың шамалары инвариант;
- өзара әсерлесетін элементар бөлшектерден құралған жабық жүйенің толық заряды сақталады. Басқаша айтқанда, заряд жоқтан пайда болмайды, ешқайда жоғалмайды;
- Заряд кеңістік пен уақыттан тыс өмір сүре алмайды, олар материяның қасиетінің бір көрінісі.

Бақылау сұрақтары:

1. Табиғаттағы іргелі әсерлесулер. Гравитациялық, электромагниттік, күшті және әлсіз әсерлесулердің бір-бірінен айырмашылықтары.
2. Тыныштықтағы, қозғалыстағы зарядтардың өзара әсерлесулерінің ерекшеліктері.
3. Элементар заряд және оның инвариантылығы.
4. Зарядтың сақталу заңы.