

**ӘОЖ 53.089**

**«МАССА СТАНДАРТЫН АНЫҚТАУ ҮШІН ПЛАНК ТҰРАҚТЫСЫН  
ҚОЛДАНУ ӘДІСІНІҢ ДАМУ ТАРИХЫ»**

**Мутигулла Рауан Амангельдықызы**

**Аққали Айтөре Қайрбекқызы**

**agumutigulla@mail.ru aitorekaiyrbekkyzy@gmail.com**

«Физика және электроника» білім бағдарламасының 2 курс студенттері  
Х.Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Қазақстан Республикасы  
Ғылыми жетекшісі, х.ғ.к., профессор –Амангосова А.А.

Қазіргі әлемде өлшеу дәлдігі ғылыми зерттеулерде, өнеркәсіпте және күнделікті өмірде шешуші рөл атқарады. Өлшеу дәлдігінің маңызды аспектілерінің бірі-өлшем бірліктерін анықтауға негіз болатын эталондарды жасақтау және сақтау. Эталон — бұл бірліктің қайта өндірілуін және сақталуын, сонымен қатар өлшем құралдарының тексеру сұлбалары бойынша өлшемін төмендегіге беруді қамтамасыз ететін және белгіленген тәртіпте эталон ретінде бекітілген өлшеу құралы немесе кешені.

Материалдар мен заттардың қасиеттері туралы стандартты анықтамалық мәліметтер-мәліметтер жиынтығына енгізіледі, оларды жүргізу физикалық тұрақтылық және материалдар мен заттар қасиеттері туралы стандартты анықтамалық мәліметтердің Мемлекеттік қызметіне (САММК) жүктелген.

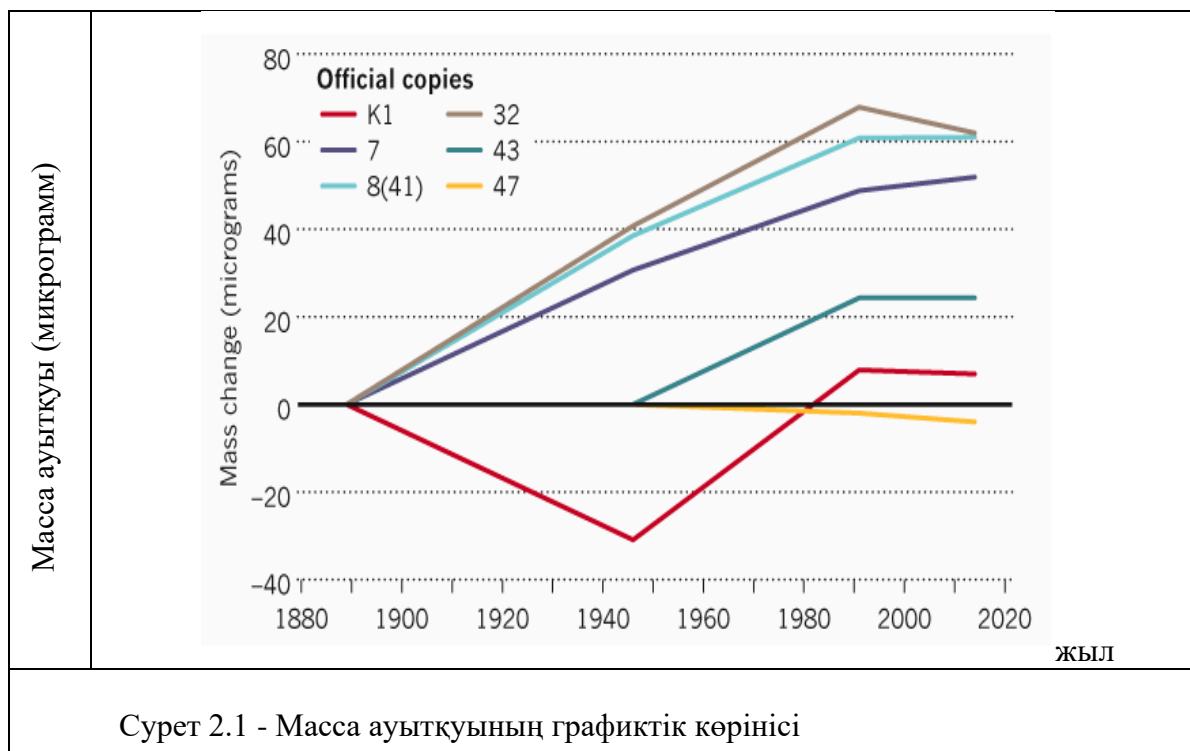
Республикалық стандартты құжаттардың жүйесі (РСКЖ) — Қазақстанның Мемстандартының материалдар мен заттар бойынша Ғылыми-зерттеу орталығымен бекітілген және аттестатталған, оларды анықтау (өлшемдер, сынақтар, есептеулер) нәтижелерінің қателіктерін бағалау негізінде алынған материалдар мен заттардың физикалық тұрақтылығының немесе қасиетінің сандық мәні.

СИ физикалық шамалар жүйесінде жеті негізгі бірлік бар және олардың эталондары ғылым дамуымен жетілдіріп келеді. Бүгінгі таңда осы жеті эталонда материалды нысандармен анықталмайды. Ең соңғы болып масса эталоны 2019 жылдың май айында Планк тұрақтысымен байланыстырылды. Масса стандарты ерекше маңызға ие, өйткені масса химия мен физикадан экономика мен медицинаға дейінгі әртүрлі салаларда қолданылатын негізгі физикалық шамалардың бірі болып табылады.

1872 жылы Метрикалық жүйенің стандарттары жөніндегі халықаралық комиссияның шешімімен Францияның Ұлттық мұрағатында сақталған килограмм прототипінің массасы масса бірлігі ретінде қабылданды. Бұл прототип биіктігімен диаметрі 39 мм болатын платина цилиндрлік салмағы болып табылады. Практикалық қолдану үшін килограмның прототиптері платина-иридий қорытпасынан жасалған. Килограмның халықаралық прототипі үшін платина килограмның массасына ең жақын платина-иридий салмағы қабылданды.

1889 жылы жүз жылға жуық уақыттан кейін килограммдық эталон платина-иридий қорытпасының шағын цилиндрімен ауыстырылды, ол осы күнге дейін массаның осы өлшемінің негізгі эталоны болды. Бұл эталондардың өзіндік ерекшеліктері бар, олардың айырмашылықтары болашақта бір-бірімен салыстырылуы үшін мұқият құжатталған. 1948 жылы көшірмелерді қайта біріктіріп, олардың массасаларын өз ара салыстырып өлшеуге шешім қабылданды.

Килограммдық стандартқа қатысты мәселе кез келген материалдар атомдарын жоғалтуы немесе керісінше қоршаған кеңістіктегі атомдармен толықтырылуы мүмкін. Атап айтқанда, Севрде сақталған анықтамалық килограммның әртүрлі ресми көшірмелері ресми анықтамадан салмағы бойынша ерекшеленетіні анықталды. Мұндай өзгерістер көшірмелер жасалғаннан бері 100 жылдан астам уақыт өткенде массасындағы айырмашылық 60 микрограмға жеткен



Сурет 2.1 - Масса ауытқуының графикалық көрінісі

Соның нәтижесінде олардың бір бірінен үлкен айырмашылығы бар екені анықталды. 1967 жылы салмақ пен салмақ бойынша 13-ші бас конференцияда (CGPM) килограммды қайта анықтау туралы шешім қабылданды. Килограммды материалдық объектіге негіздеудің орнына оны негізгі физикалық тұрақтылармен байланыстыру туралы шешім қабылданды. Себебі бұған дейін ұзындық және уақыт эталондары адамға тәуелсіз атомның спектрімен анықталған болатын. Бұл тұрғыда Планк тұрақтысы жаңа бірлік жүйесінің негізгі элементіне айналды. Бұл шешім Планк тұрақтысы әмбебап, өзгермейтін және заманауи әдістермен дәл өлшенетініне негізделген. Осылайша, Планк тұрақтысы килограммды анықтау үшін негіз ретінде таңдалды, бұл физикалық тұрақтыларға негізделген SI жүйесіне көшудің маңызды қадамы болды.

Timeline тақырып тұрақтылар мен кванттық құбылыстарға бірліктерді қолдау эволюциясы

- 1889: Килограмм халықаралық прототиппен байланысты; кейінірек бұл анықтама SI қайта қарауында жойылды
- 1983: метр жарық жолы арқылы  $1/299792458$  секундта анықталды (с анықтама бойынша дәл болады)
- 1990 : практикалық вольт пен Ом үшін KJ-90 және RK-90 конвенциялары енгізілді; содан кейін режим 2019 жылы жойылды
- 2018 : SI қайта қарау туралы қаулы қабылданды:  $h$ ,  $e$ ,  $k$  және  $t$ . б.
- 2019 : SI қайта қарау күшіне енді
- 2020: секундты қайта қарау үшін "Жол картасын" жаңарту іске қосылды (оптикалық стандарттар)
- 2030+ : критерийлерді орындау кезінде секундты қайта қарауды қарау күтілуде

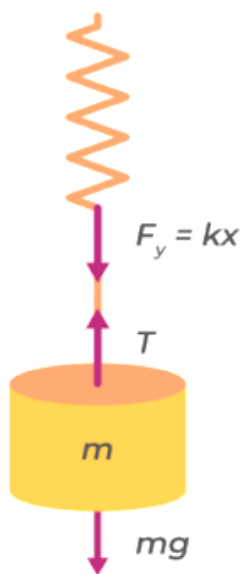
Масса стандартын анықтау үшін Планк тұрақтысын қолдану әдісінің теориялық негіздері материя мен энергияның кванттық қасиеттерін түсінуді, сондай-ақ массаны басқа физикалық шамалармен байланыстыру үшін Планк тұрақтысын қолдануға болатын механизмдерді қамтиды. Бұл негіздер массаны жоғары дәлдікпен анықтау үшін іс жүзінде қолдануға болатын сенімді теориялық модельдерді жасауға мүмкіндік береді. Метрологияда Планк тұрақтысын қолдану кванттық құбылыстарды да, эксперименттік

өлшеу әдістерін де терең түсінуді қажет ететінін ескеру маңызды, бұл тәсілді бірегей және перспективалы етеді.

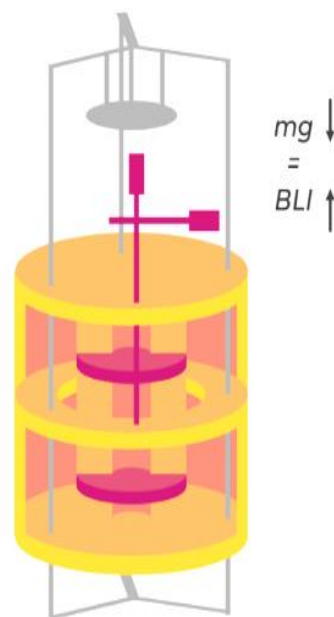
Масса стандартын анықтау үшін Планк тұрақтысын қолдану әдісін практикалық қолдану атом сағаттары, лазерлік интерферометрлер және басқа да жоғары дәлдіктегі өлшеу құрылғылары сияқты технологиялардың дамуына байланысты мүмкін болды. Бұл технологиялар физикалық шамалар туралы нақты мәліметтер алуға мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде дәлірек масса стандарттарын құруға ықпал етеді. Практикалық қолданудың маңызды аспектісі сонымен қатар әртүрлі зертханалар мен елдерде алынған нәтижелердің үйлесімділігі мен салыстырмалылығын қамтамасыз ететін өлшеу әдістерін стандарттау және біріздендіру қажеттілігі болып табылады.

Бұл идеяны жүзеге асыру үшін Планк тұрақтысын дәл өлшеуге мүмкіндік беретін әдістерді әзірлеу қажеттілігі туындалды. Осындай әдістердің бірі массаны анықтау үшін күштер тепе-теңдігін қолданатын Кавендиш әдісі ұсынылды. Алайда, бұл бағыттағы ең маңызды жетістік "кванттық салмақ өлшегішті" қолдану шешімі болды. Бұл құрылғы кванттық механика принциптеріне және Планк тұрақтысын пайдалануға негізделген массаны жоғары дәлдікпен өлшеуге мүмкіндік береді. Әдіс масса мен серіппеден тұратын жүйенің тербеліс жиілігін өлшеуге негізделген және қазіргі стандарттар үшін жеткілікті дәлдікпен масса мәндерін алуға мүмкіндік береді.

Жаңа анықтамаға сай 1 килограмм Планк тұрақтысын  $6,626070040 \cdot 10^{-34} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$  шамасымен анықталады. Бірлікті өрнектеу үшін Планк тұрақтысы анықталу дәрежесі жоғары болуын талап етеді. Масса эталонын Планк тұрақтысымен анықтау осы тұрақтыны жоғары дәлдікпен анықтау есебіне тірелді.



Сурет 2.2 - Серіппелі таразы



Сурет 2.3 - Киббл таразысы

Планк тұрақтысына негізделген килограммның жаңа анықтамасы 2019 жылы мамырда бекітілді. Массаның жаңа стандартын енгізуге болатын құрылғы Kibble балансы деп аталады. Kibble таразыларының жұмыс істеу принципі, кез келген басқа таразылар сияқты, екі күшті теңестіруге негізделген. Бұл таразылардың ерекшелігі зерттелетін массаның салмағы Лоренц күшімен – магнит өрісі оған орналастырылған ток өткізгішке әсер ететін күшпен теңесуінде.

Бұрын бұл құрылғы ватт балансы деп аталды, өйткені өлшенетін масса ваттпен өлшенетін ток пен кернеудің көбейтіндісіне пропорционалды. Бұл шын мәнінде токты

өлшеуге арналған жетілдірілген құрал, XIX ғасырда Уильям Томсон (Лорд Келвин) ойлап тапқан ампер балансы.

Қазіргі уақытта ұлттық стандарттар және технологиялар институтында (NIST, АҚШ) жұмыс істейтін төртінші буын Киббл таразысында сым катушкасының салмағы 4 кг және диаметрі 43 см.ол шамамен 1,4 км сымды қажет етеді. Самарий мен кобальт қорытпасынан жасалған тұрақты магнит жүйесінің массасы 1000 кг құрайды және  $B = 0,55$  тесла магнит өрісін жасайды, бұл Жердің магнит өрісінен шамамен 10 000 есе көп. Катушкалар мен магниттер темір корпустың ішінде орналасқан және сыртқы магнит өрістерінен толығымен қорғалған. Жалпы түрде тепе — теңдік шарты:

$$mg = IBL$$

түрінде болады, мұндағы L-катушкадағы сымның ұзындығы.

XIX ғасырда Майкл Фарадей магнит өрісінде қозғалған кезде өткізгіште кернеу (U) индукцияланатынын анықтады, бұл кернеу өріс кернеуіне (B) және өткізгіштің жылдамдығына (v) пропорционалды:  $U=vBL$ . Бұл құбылыс және  $BL = U/v$  табуға мүмкіндік береді. Яғни массаны анықтай аламыз:

$$m = \frac{IU}{gv}$$

Ол үшін Киббл қондырғыға үлкен дөңгелекті орналастырды, оның бір жағында паллет пен катушка, ал екінші жағында кабель арқылы катушканы тұрақты жылдамдықпен көтере алатын қозғалтқыш бар.

Өлшеудің екінші кезеңінде калибрлеу деп аталады, паллеттен жүк алынып тасталады, катушка қоршаған өріс арқылы мұқият бақыланатын тұрақты жылдамдықпен қозғалады және индукцияланған кернеу өлшенеді. Содан кейін масса анықталады.

Планк (h) тұрақтысы қайда? Ол ток пен кернеудің мәнін анықтайтын формулаларда "отырады". Шындығында, олардың әдеттегі өлшемі амперметр мен вольтметрдің көмегімен қажетті дәлдікті қамтамасыз ете алмайды. Сондықтан токты өлшеу кванттық Холл эффектісі деп аталатын құбылыс арқылы жүзеге асырылады. Токпен байланысты кедергінің квантталуы  $R_K = h/c^2$  фон Клитцинг тұрақтысымен анықталады. А кернеу екі асқын өткізгіш арқылы асқын өткізгіш токтың өтуінен және оларды бөлетін диэлектриктің жұқа қабатынан тұратын Джозефсон эффектісі арқылы өлшенеді. Мұндағы кернеу асқын өткізгіш тізбектегі жиілікке және Джозефсон константасына байланысты  $2e/h$ . Джозефсон эффектісі қазіргі уақытта кернеуді дәл анықтауға арналған іс жүзінде әлемдік стандарт болып табылады.

Соңғы онжылдықтарда Нанотехнология, кванттық есептеу және кванттық метрология сияқты салаларда Планк тұрақтысына негізделген әдістердің белсенді дамуы байқалды. Бұл жетістіктер Планк тұрақтысын массалық эталон ретінде қолданудың жаңа көкжиегін ашады, бұл өлшеу дәлдігін одан әрі жақсартуға және ғылым мен техникада жаңа стандарттар жасау үрдісіне ұласты. Бастапқыда құбылыстарды кванттық деңгейде түсіндіру үшін енгізілген Планк тұрақтысы қазір ең маңызды физикалық шамалардың бірі — массаны анықтауға негіз болады. Материалдық эталоннан іргелі физикалық тұрақтыларға негізделген эталонға көшу ғылымның дамуындағы маңызды қадам болды, зерттеулер мен технологиялар үшін жаңа мүмкіндіктер туғызды. Масса стандартын анықтау үшін Планк тұрақтысын қолдану әдісін практикалық қолдану оның тиімділігі мен сенімділігін көрсетті. Кванттық салмақтарды қолдану сияқты эксперименттер өлшеулердің жоғары дәлдігі мен қайталануын растайтын нәтижелерге қол жеткізді. Бұл әдістер массаны жоғары дәлдікпен анықтауға ғана емес, сонымен қатар ғылыми зерттеулер мен өндірістік үдерістер үшін маңызды болып табылатын салыстырмалы өлшемдерді жүргізуге мүмкіндік береді. Планк тұрақтысына негізделген жаңа

технологиялар мен әдістерді енгізу өлшеу сапасын жақсартуға және ғылыми зерттеулердің мүмкіндіктерін кеңейтуге әкелгенін атап өткен жөн.

Қорытындылай келе, масса стандартын анықтау үшін Планк тұрақтысын қолдану әдісі кванттық метрология мен жалпы ғылымды дамытудағы маңызды қадам болып табылады деп айтуға болады. Бұл өлшеудің жоғары дәлдігі мен тұрақтылығын қамтамасыз етіп қана қоймайды, сонымен қатар ғылым мен техниканың әртүрлі салаларында қолдануға болатын жаңа технологиялар мен әдістердің дамуына ықпал етеді. Бұл әдіс ғылыми зерттеулер үшін жаңа көзжиектер ашады және өлшеулердің біркелкілігін қамтамасыз етеді, бұл болашақта ғылым мен технологияның сәтті дамуының негізгі факторы болып табылады. Планк тұрақтысының әлеуетін және оның метрология және онымен байланысты ғылымдардың дамуына әсерін барынша пайдалану үшін осы саладағы зерттеулерді жалғастыру маңызды.

#### **Қолданылған әдебиеттер тізімі:**

1. Глазунова Оксана Владимировна, Кожаринов Михаил Юрьевич Компетенции. Попробуем измерить?! // Исследователь/Researcher. 2020. №1 (29).
2. Жагора Н. А. Единицы измерений. Новые определения как потребность технического прогресса // Приборы и методы измерений. 2010. №1 (1).
3. Филатов А.И. Физические постоянные //Наука без границ №3(8)2017 ж