

GƏMİÇİLİKDƏ TƏBİƏT ELMLƏRİNİN PROBLEMLƏRİ

UOT 001:006.91:621.317

KÜTLƏNİN ÖLÇÜLMƏSİ VƏ FUNDAMENTAL FİZİKİ SABİTLƏR

Həsənov Y.N.

“Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası” PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyev küç., 18
E-mail: yusif_nadiroglu@mail.ru

Xülasə. Fundamental qarşılıqlı təsirlər və instrumental ölçmələr nəzəriyyələrinin əhatə dairəsi çox böyük zaman və məkan miqyasındadır. Etalonların yeni təriflərinin tətbiqi dövründə (onun praktik reallaşdırılması ilə bağlı əlavə izahatlarla) fundamental fiziki nəzəriyyələr, onların sabitləri və ümumilikdə metrologiya arasındakı əlaqəyə, eləcə də vahidlər sisteminin qurulmasına maraq, xüsusilə xeyli artmışdır. Hazırda bütün ölkələrdə bu istiqamətdə işlər çox intensiv aparılır. Bu işlərdə metrologiya ilə fundamental fiziki sabitlər arasında əlaqənin müxtəlif aspektləri araşdırılır: FFS (fundamental fiziki sabitlər) istifadə edərək əsas SI vahidlərinin müəyyən edilməsinin mümkünlüyü, tələb olunan FFS dəstinin seçimi, FFS-nin mümkün fəza dəyişiklikləri (variyaşiyaları) zamanla onların mümkün qeyri-sabitliyi və FFS-nin mümkün variyaşiyalarının vahidlər sisteminə təsiri və s. Buna görə də təbiətin əsas qanunlarına və fundamental fiziki sabitlərə əsaslanan bütün fiziki kəmiyyətlərin etalonlarını hazırlamaq və istifadə etmək lazımdır.

Аннотация. В период применения новых определений эталонов (с дополнительными пояснениями, касающимися его практической реализации) интерес к связи между фундаментальными физическими теориями, их константами и метрологией в целом, а также к установлению системы единиц, в частности, значительно увеличился. В настоящее время работа в этом направлении ведется очень интенсивно во всех странах. В этих работах исследуются различные аспекты взаимосвязи между метрологией и фундаментальными физическими константами: возможность определения основных единиц СИ с помощью ФФС (фундаментальные физические константы), выбор необходимого набора ФФС, возможные пространственные изменения (вариации) FFS, их возможная нестабильность во времени и влияние возможных вариаций FFS на систему единиц и др.

Abstract. During the period of application of new definitions of standards (with additional explanations regarding its practical implementation), the interest in the relationship between fundamental physical theories, their constants and metrology in general, as well as the establishment of the system of units, in particular, has increased significantly. At present, work in this direction is being carried out very intensively in all countries. In these works, various aspects of the relationship between metrology and fundamental physical constants are investigated: the possibility of determining the basic SI units using FFS (fundamental physical constants), the choice of the required set of FFS, possible spatial changes (variations) of FFS, their possible instability over time and the effect of possible variations of FFS on the system of units, etc.

Açar sözlər: metrologiya, etalon, fundamental fiziki sabitlər, nisbilik nəzəriyyəsi

Ключевые слова: метрология, эталон, фундаментальные физические константы, теория относительности

Key words: metrology, standart, fundamental physical constants, theory of relativity

Giriş. 1889-cu ildə Çəkirlər və Ölçülər üzrə I Baş Konfransda platin-iridium ərintisindən (90% Pt, 10% Ir) hazırlanmış bir kiloqram silindr formalı prototip kütlə vahidi kimi təsdiq edildi. Həmin

kiloqramdan 43 nüsxə hazırlanmış və püşkatma yolu ilə paylanmışdı. Beynəlxalq Vahidlər Sisteminin (SI) qəbul edildiyi 1960-cı ildə XI CGPM-də kütlə vahidi kimi kiloqram əsas SI vahidlərindən birinə çevrildi.

Məlumdur ki, cismin kütləsi fiziki kəmiyyət kimi Nyuton tərəfindən təqdim edilmişdir və bir tərəfdən cismin xarici qüvvələrin təsirinə reaksiyasını (ətalət kütləsi), digər tərəfdən isə cismin digər cisimlərlə qravitasiya qarşılıqlı təsirinin (qravitasiya kütləsi) kəmiyyətini xarakterizə edir. Yüksək dəqiqliklə (10^{13} qədər dəqiqliklə) eksperimental olaraq təsdiqlənmiş ekvivalentlik prinsipinə əsasən ətalət kütləsi və qravitasiya kütləsi bir-birinə mütənəsibdir. Kütlənin ən mürəkkəb fiziki kəmiyyət olduğu ortaya çıxdı, çünki hər hansı bir cismin kütləsinin meydana gəlməsi mexanizmi, həmçinin kütlənin təbiəti, hətta fundamental qarşılıqlı təsirlərin müasir nəzəriyyələri çərçivəsində də sona qədər qeyri-müəyyən olaraq qalır. Məsələn, hiqqs bozonu hələ kəşf edilməmişdir, onunla qarşılıqlı əlaqədə, Standart Modeldə proqnozlaşdırıldığı kimi, əsas hissəciklərin kütlələri yaranır. Hazırda mövcud kütlə etalonu vahidi, bir sıra çatışmazlıqlara malikdir. Kiloqramın platin-iridium (Pt-Ir) prototipi zədələnmə və ya hətta məhv edilə bilər, həmçinin çirklənməyə və aşınmaya məruz qalır. Orijinal yalnız bir yerdə mövcuddur, bu da onun ölçüsünü işçi ölçmə vasitələrinə dəqiq ötürməyi çətinləşdirir. Pt-Ir prototipinin hazırlandığı ərintinin yüksək sıxlığı, praktikada kiloqram ölçüsünün havada müqayisəli ötürülməsi üçün sonrakı prosedurlarda istifadə olunan ikinci polad kiloqram etalonları ilə və ya bəzi hallarda ölçmələrin aparılması dəqiqliyinin azalmasına səbəb olur.

Bununla birlikdə, ən əhəmiyyətli çatışmazlıqlar kiloqramın ölçüsünü törəmə vahidlərə, xüsusən də elektrik vahidlərinə ötürmənin aşağı dəqiqliyi, həm də hər bir etalonun və bütün platin-iridium etalonları sisteminin nəzarətsiz zaman sürüşməsidir. Həqiqətən də, bu etalonların bir-biri ilə tutuşdurmaları nəticəsində yaranan qeyri-müəyyənliklər bu etalonların stabilliyinə sübut ola bilməz. Bütün platin-iridium etalonlarının kütlələri təxminən eyni sürətlə dəyişə bilər. Bütün bu etalonlar eyni vaxtda eyni ərintidən hazırlandığından, onların eyni vaxt sürüşməsi olduqca mümkündür. Müxtəlif müəlliflər tərəfindən müxtəlif metodikalardan istifadə etməklə hazırlanmış fundamental fiziki sabitlərin etalonlarının müxtəlif nüsxələrinə nisbətən kiloqram ölçüsünün dəyişməsinin təxminləri 100 ildə kiloqramın 5×10^{-8} kq, 50 il ərzində 1 mq-a qədər dəyişməsinin qiymətini verir. Qeyri-bircins qravitasiya sahəsində mövcud kiloqram etalonunun ölçüsünün ötürülməsi bir sıra prinsiplial və metodik çətinliklərlə müşayiət olunur. Beləliklə, Pt-Ir istifadə edərək kütlə vahidinin etalonunun təyin edilməsi - kiloqramın prototipi bunu edir, fundamental metrologiyanın müasir səviyyəsinə uyğun gəlmir, buna görə də hazırda onun inkişafının prioritet istiqaməti müəyyən fiziki sabitlərin qiymətlərinə əsaslanmalı olan kütlə vahidinin əsaslı şəkildə, müxtəlif dəyişikliklərə münasibətdə yüksək dəqiqliklə uyğunlaşan yeni etalonuna keçiddir. Kütlə vahidinin - kiloqramın yeni tərifinin, yəni: Plank sabitinin h və ya Avogadro N_A sabitlərinin qiymətlərindən istifadə etməklə 2007-ci ilin noyabrında Çəkilər və Ölçülər üzrə XXIII Baş Konfransında baxılan iki əsas variantı var.

Əsas hissə. "Atom kiloqramı" adlanan birinci variant aşağıdakı kimi tərtib edilmişdir: kiloqram kütlə vahidi, $5,01845166 \times 10^{25}$ sərbəst karbon 12 atomunun sükunət və əsas (kvant) vəziyyətində dəqiq kütləsidir. Bununla, karbon atomunun kütləsi, həmçinin molun cari tərfi saxlanılarsa, Avogadro sabiti, N_A təyin edilir. Bu tərif bu gün Avogadro sabitinin qiymətini ölçmək üçün istifadə edilə bilən hər hansı bir təcrübə ilə həyata keçiriləcəkdir, məsələn, h və N_A arasındakı əlaqəni nəzərə alaraq kristal silisium kürəsi təcrübəsi və ya vatt tərəzisi təcrübəsindən istifadə edərək.

"Elektrik kiloqramı" adlanan ikinci variant aşağıdakı kimi tərtib edilmişdir. Kiloqram elə kütlə vahididir ki, Plank sabitinin qiyməti dəqiq $6,6260693 \times 10^{-34}$ kq m^2s^{-1} -ə bərabər olsun. Bu düstur Plank sabitinin h qiymətini təyin edir. Metr və saniyə artıq müəyyən edildiyi üçün h -nin ədədi qiymətinin təyin edilməsi kiloqramı müəyyən edir. Bu təyinat h -nin qiymətini müəyyən etmək üçün hazırda istifadə edilən hər hansı bir təcrübə ilə əldə edilə bilər, məsələn, vatt tərəzisi və ya h və N_A arasındakı əlaqəni nəzərə alaraq N_A -nı ölçmək üçün silikon kristalının sıxlığı üzrə eksperimentlə. Plank və Avogadro sabitləri, təəssüf ki, bu məqsədlə indiyə qədər kifayət qədər dəqiqliklə müəyyən edilməmişdir. N_A üçün qiymətin nisbi standart qeyri-müəyyənliyi $5 \cdot 10^{-8}$ -dir, eyni qeyri-müəyyənlik

h-ın təyininə də mövcuddur, məqsəd isə Plank sabitinin və ya Avoqadro sabitinin təyininə $2 \cdot 10^{-8}$ nisbi standart qeyri-müəyyənliyə nail olmaqdır. Qeyd edək ki, kiloqramın ölçüsünün ötürülməsinin əldə edilmiş maksimum dəqiqliyi daxilində kiloqramla üst-üstə düşmə şərtindən imtina etmək və elektrik vahidlərini, məsələn, volt və kulon kimi əsas götürərək yeni kiloqramı törəmə vahid kimi təqdim etmək təklifləri var. Bununla belə, bu imkan nəzərə alınmayacaq, çünki bu, fiziki kəmiyyətlərin ölçülməsi üçün mövcud sistemin, xüsusən də yüksək dəqiqlikli kütlə ölçmələri sahəsində əsassız olaraq köklü şəkildə yenidən qurulmasına səbəb olacaqdır. Burada kiloqramın tərifinin versiyasını - atom kütləsi və Avogadro ədədi ("atom kiloqramı") vasitəsilə ətraflı təhlil edəcəyik. Avogadro ədədindən və atom kütlə vahidindən istifadə kiloqramın prototipini əvəz etməyin ən təbii yollarından biridir. Həqiqətən, istənilən Y maddəsi üçün mol tərifindən molyar kütlə tapılır:

$$M(Y) = N_A m(Y), \quad (1)$$

burada

$$m(Y) = A_r(Y) m_u, \quad (1.1)$$

Y maddəsinin atomunun kiloqramla çəkisi, $A_r(Y)$ - Y maddəsinin nisbi atom kütləsi, m_u - k.a.v. (kütlənin atom vahidi) (k.a.v. - ^{12}C karbon izotopunun kütləsinin $1/12$ hissəsi). (1) və (1.1) istifadə edərək bunu yazı bilərik:

$$N_A m_u = M_u, \quad (1.2)$$

burada $M_u = 10^{-3}$ kq mol - molyar kütlə sabiti, həmçinin

$$1 \text{ kq} = 10^3 \{N_A\} m_u, \quad (1.3)$$

$\{N_A\}$ Avoqadro sabitinin N_A (Avoqadro ədədi) ədədi qiymətidir. Yuxarıda qeyd edildiyi kimi, kiloqram etalonunun yenidən müəyyən edilməsi prosedurunu həyata keçirmək üçün N_A -nı ən azı $u_r = 2 \cdot 10^{-8}$ nisbi standart qeyri-müəyyənliyi ilə müəyyən etmək lazımdır. Avoqadro ədədini təyin etmək üçün əsas müasir üsullardan biri XRCD üsuludur (kristalların sıxlığını təyin etmək üçün rentgenoqrafik metod), rentgen şüalarından istifadə edərək kristal qəfəsin parametrlərinin interferometrik tədqiqi nəticələrinin toplusundan istifadə edir. Hazırda XRCD metodu ilə bir neçə səbəbə görə tələb olunan nisbi qeyri-müəyyənliklə nümunədəki hissəciklərin sayını müəyyən etmək mümkün deyil. Birincisi, baxılan metodla kremni (silisium) atomlarının hesablanması kremnidəki qarışıqların sayı və növləri, həmçinin qarışıqların kütlə və həcmə təsiri haqqında məlumatın mövcudluğunu nəzərdə tutur. Bu halda, kristal qəfəsdə müxtəlif növ qüsurların mümkün mövcudluğunu nəzərə almaq lazımdır. İkincisi, silisiumun molyar kütləsini ölçmək üçün nümunənin izotopik tərkibini dəqiq ölçmək lazımdır. $M(\text{Si})$ silisium nümunəsinin molyar kütləsi onun izotoplarından birinin molyar kütləsi ilə ifadə edilə bilər: $M(\text{Si}) = (^{28}\text{Si})(1 + \epsilon)$, burada ϵ -in qiyməti digər izotopların tərkibindən asılıdır. ϵ -in qiymətini ölçmək üçün nümunəni SiF_4 ionlarının qazşəkilli qarışığına çevirmək lazımdır, izotop tərkibi qaz kütləsi spektrometrindən istifadə etməklə müəyyən edilir. Silikon nümunəsi yetişdirərkən görülən ehtiyat tədbirlərinə baxmayaraq, onun tərkibində nazik amorf silikon, silikon dioksid və qarışıqlar ola bilər. Sadalanan nümunə qüsurlarının hamısı onun makroskopik sıxlığının təyin edilməsinin dəqiqliyinə təsir edir və ona gətirib çıxarır ki, hazırda 10^{-8} nisbi qeyri-müəyyənliklə nümunədəki hissəciklərin sayını müəyyən etmək mümkün deyil. Buna baxmayaraq, yuxarıda qeyd olunan çətinliklər yaxın gələcəkdə aradan qaldırıla bilər və yeni kütlə etalonunun tətbiqi üçün ən az sayda qüsuru olan ("silikon yolu") ifratyüksək təmizlikli silikon kristallarından istifadə etmək təklif olunur. Avropa İttifaqında SİMUS (Silicon for Mass Unit and Standard) layihəsi həyata keçirilir ki, bu layihə çərçivəsində, xüsusən də silisium kristalları müxtəlif

şəraitdə yetişdirilir. Ən qabaqcıl nümunələrin yaradılmasında əldə edilən nəticələrdən bəziləri dəqiq elektromaqnit ölçmələri üzrə konfranslarda təqdim edilmişdir: CPEM 2002 və CPEM 2004 (Conference for Precise Electromagnetic Measurements-Dəqiq Elektromaqnit Ölçmələr Konfransı). Çəkirlər və Ölçülər üzrə XXII Baş Konfransda (Paris, 2003) Avogadro sabiti N_A üzrə İşçi Qrupunun verdiyi məlumata görə, N_A -nın nisbi standart qeyri-müəyyənliyi 10^{-7} səviyyəsində idi. Bununla belə, 99,99% zənginləşdirilmiş Si izotopunun tətbiqi nisbi standart qeyri-müəyyənliyi 5×10^{-8} -ə qədər azaltmağa imkan verdi. 2011-ci ildə Avogadro ədədi tələb olunan ümumi nisbi standart qeyri-müəyyənliklə 2×10^{-8} ilə müəyyən edilmişdir. Hazırda N_A və h qiymətləri təqribən 5×10^{-8} qeyri-müəyyənliklə götürülür.

2005-ci ildə Plank sabiti vatt-tərəzilərindən istifadə etməklə $5,2 \times 10^{-8}$ nisbi qeyri-müəyyənliklə, Avogadro sabiti isə $3,1 \times 10^{-7}$ nisbi qeyri-müəyyənliklə müəyyən edilmişdir. Lakin nəzərə alsaq ki, Plank və Avogadro sabitləri 10^{-8} -dən çox dəqiqliklə müəyyən edilmiş sabitlərdən asılı olan ifadəni istifadə etməklə əlaqələndirilə bilər, yəni:

$$N_A = c A_r(e) \alpha^2 M_u / 2 h R, \quad (1.4)$$

$A_r(e)$ -elektronun nisbi atom çəkisidir, onda N_A və h üçün müstəqil olaraq əldə edilmiş eksperimental nəticələr hər hansı bir sabitin qiyməti üçün bu sabitlərin müstəqil ölçülməsi 10^{-6} qiyməti ilə elan edilmiş qeyri-müəyyənliklərlə uyğun gəlməyən fərqə səbəb olur.

Kiloqramın tərifinin iki variantının qeyri-müəyyənliklərinin böyüklüyü ilə bağlı razılığın olmadığını nəzərə alaraq, vahidlər üzrə məsləhət komitəsi kiloqramın hər hansı yeni tərifinin təxirə salınması tövsiyəsi ilə Çəkirlər və Ölçülər üzrə XXIII Baş Konfransa müraciət etdi və h üçün vatt-tərəzilərinin nəticələri ilə N_A üçün silisium kristalının sıxlıq nəticələri arasında mövcud uyğunsuzluğun aradan qaldırılmasına qədər təxirə salındı.

Təklif olunan iki əsas metodu müqayisə edərək, kiloqramın etalonunu ("atom kiloqramı" və "elektrik kiloqramı") yenidən müəyyənləşdirərək hesab edirik ki, Avogadro ədədinə və atom kütlə vahidinə əsaslanan metod daha perspektivli üsuldur. Avogadro ədədini təyin edərkən yuxarıda qeyd olunan çətinliklər, ideal kristalların əldə edilməsi texnologiyasının inkişafı ilə əsaslı şəkildə aradan qaldırıla bilər və standart qeyri-müəyyənliklərin əldə edilə bilən qiymətləri $10^{-8} \div 10^{-9}$ bölgəsində ola bilər. Yeni kiloqram etalonuna keçidin daha bir üstünlüyü Avogadro ədədi və atom kütlə vahidi üzərindən qeyd edilməlidir. Fundamental hissəciklərin kütlələrini u_r təyin etmək üçün nisbi standart qeyri-müəyyənliklər "elektrik kiloqramı" istifadə edərək kütlə vahidinin təyin edilməsi ilə müqayisədə xeyli aşağı olur. Beləliklə, məsələn, elektronun kütləsini təyin etmək üçün u_r 15 dəfə, protonun kütləsində isə 50 dəfə azdır.

Nəticələrin müzakirəsi. Beləliklə, fundamental hissəciklərin kütlələrinin təyin edilməsinin dəqiqliyi və deməli, daha mürəkkəb zərrəciklər sistemlərinin kütlələrinin nəzəri hesablamalarının, o cümlədən makroskopik cisimlərin kütlələrinin təxminlərinin dəqiqliyi baxımından, Avogadro ədədinə və atom kütlə vahidinə (yəni "atom kiloqramı"ndan istifadə etməklə) əsaslanan kütlə vahidin müəyyən edilməsi daha üstündür. Eyni zamanda qeyd etmək lazımdır ki, elektron kütləsi Ridberq sabitinə və bir sıra digər fiziki sabitlərə daxildir, ona görə də onun daha dəqiq qiyməti bu sabitləri çox yüksək dəqiqlik səviyyəsində uyğunlaşdırmağa imkan verəcəkdir.

Onu da qeyd edirik ki, neytral və yüklü atomların və molekulların kütlələrinin atom kütlə vahidlərində (a.k.v.) təyin edilməsi texnikası hazırda davamlı olaraq təkmilləşdirilir. Penning tələləri karbon atomunun ionları olan atom kütlə vahidlərində elektronun kütləsini ən yaxşı dəqiqliklə müəyyən etməyə imkan verir, hansı ki: $m_e = 5,485799045(24) \times 10^{-4}$ a.k.v. [$4,4 \times 10^{-10}$] (bu qiymət Penning tələsində tutulan elektronların və karbon ionlarının siklotron tezliklərini müqayisə etməklə əldə edilmişdir). Elektronun kütləsini təkcə kiloqramlarla deyil, həm də elektron voltlarla təyin etməyin dəqiqliyi, əhəmiyyətli dərəcədə aşağıdır:

$$m_e = 0,51099892 \text{ (4) MeV} [7,8 \times 10^{-8}] \quad (1.5)$$

Hidrogen kimi ionlar üçün Larmor və siklotron tezliklərinin nisbətləri yaxın gələcəkdə $\sim 10^{-11}$ nisbi qeyri-müəyyənliyi ilə Penning tələlərində eksperimental olaraq ölçülə bilər. Dəqiqlik həm xarici sahələrdə, həm də atom və ionlarda bağlı elektronlar üçün nəzəri hesablamalar da son vaxtlar əhəmiyyətli dərəcədə artmış və eksperimental ölçmələrdə əldə edilən $\sim 10^{-10}$ dəqiqliyinə bərabər olmuşdur.

Müxtəlif vahidlərdə bir sıra fundamental hissəciklərin kütlə qiymətləri

Hissəcik	Kütlə, kg	Standart nisbi qeyri-müəyyənlik	Kütlə, a.k.v.	Standart nisbi qeyri müəyyənlik
E	$9,1093826(16) \cdot 10^{-31}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$5,4857990945(24) \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-10}$
P	$1,67262171(29) \cdot 10^{-27}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$1,00727646688(13)$	$1,3 \cdot 10^{-10}$
N	$1,67492728(29) \cdot 10^{-27}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$1,00866491560(55)$	$5,5 \cdot 10^{-10}$
A	$6,644 \ 6565(11) \cdot 10^{-27}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$4,001506179149(56)$	$1,4 \cdot 10^{-11}$

Cədvəldə elektron m_e , proton m_p , neytron m_n və alfa hissəcik m_α kütlələrinin ölçülməsində nisbi qeyri-müəyyənliklər göstərilir. Cədvəldən göründüyü kimi, kiloqramla ifadə edilən ölçmə nəticələri üçün nisbi standart qeyri-müəyyənlik $1,7 \times 10^{-7}$ -dir. Atom kütlə vahidlərində ifadə edilmiş kəmiyyətlərin ölçülməsi nəticələri 10^{-10} səviyyəsində olan (α -zərrəciyi üçün 10^{-11}) bir neçə pillə aşağı nisbi qeyri-müəyyənliyə malikdir. Beləliklə, bir və eyni fiziki kəmiyyətin ölçülməsinin dəqiqliyi onun ölçü vahidinin seçilməsindən əhəmiyyətli dərəcədə asılı ola bilər. Çünki cədvələ daxil olan elektron və proton kütlələri bir sıra digər fiziki sabitlərin ölçülməsinin düzgünlüyünü müəyyən edir, buna görə düzgün seçim, məsələn, atom kütləsi vahidinin ölçü vahidi kimi seçilməsi, kütlələrin, bir çox digər fiziki kəmiyyətlərin, həmçinin instrumental ölçmələrin keyfiyyətə yeni dəqiqlik səviyyəsinə nail olmaq üçün ölçmə dəqiqliyinin kəskin artmasına səbəb ola bilər.

Qeyd etmək lazımdır ki, hazırda bəzi elementar hissəciklərin kütlələrinin qeyri-sabitliyinin təzahürünün göstəricisi ola bilər. Beləliklə, məsələn, Q 0347-382 kvazarının spektrində molekulların rəqsi-fırlanma səviyyələri arasında keçidlərin dalğa uzunluqlarının μ nisbətindən fərqli olaraq asılılığı faktı metodundan istifadə etməklə $\mu = m_p / m_e$ ($\Delta\mu/\mu = (5.02 \pm 1.82) \times 10^{-5}$) nisbətinin varyasiyasının sıfırdan fərqli qiyməti tapıldı. Bununla belə, kəmiyyətin effekti 3σ -lıq dəhlizdən kənara çıxmır, buna görə də bu nəticənin əlavə yoxlanılması tələb olunur.

Bildiyiniz kimi, kütlə vahidinin etalonu SI-nin yeganə etalonudur ki, özünün süni şəkildə yaradılmış maddi prototipi ilə tamamilə müəyyən edilir. Üç əsas SI vahidi - amper, mol və kandela - kiloqramdan istifadə edərək dolaylı yolla müəyyən edilir, buna görə də kütlə vahidi standartının hazırda qəbul edilmiş tərifinin qeyri-kamilliyi onların tərifinə təsir göstərir. Kütlənin əmələ gəlməsi mexanizminin hələki qurulmadığından, kütlə vahidi etalonunun yenidən müəyyən edilməsi kütləni təyin edən heç bir proses əsasında həyata keçirilə bilməz. Kütlə vahidinin müəyyən mənada "təbii" prototipini tapmaq lazımdır. Bu nöqteyi-nəzərdən problemin ən yaxşı həlli elektron kütləsini təbii hissə kütlə vahidi kimi təqdim etmək olardı. Hartri vahidlər sisteminin belə bir seçimə əsaslanmasına baxmayaraq, bu imkan hazırda metroloqlar tərəfindən praktiki olaraq müzakirə edilmir. Bununla belə, qeyd etmək istərdik ki, bu seçim təbii kütlə etalonu probleminin ən yaxşı həlli olacaqdır. Elektronun kütləsi, atom kütlə vahidindən fərqli olaraq, daha sabit kəmiyyətdir və çox güman ki, qeyri-məhdud vaxt intervalları üçün super ekstremal şəraitdə belə dəyişməz qalır.

Buna görə də, onu işığın sürəti kimi, qiyməti dəqiqləşdirilməsinə məcburiyyət olmayan mütləq sabitə çevirmək olardı. Belə mütləq sabitdən həm digər cisimlərin kütlələrinin nəzəri hesablamalarında, həm də bir sıra fiziki kəmiyyətlərin eksperimental ölçülməsində reper sabiti kimi istifadə oluna bilərdi. Bu zaman kütlə qüsurlarını və hissəciklərin hərəkəti ilə bağlı relyativistik və

kvant effektlərini nəzərə almaq lazımdır. Bununla belə, mövcud texnologiyaları nəzərə alaraq, kütlə vahidinin yeni etalonunu yaratmaq üçün bu imkanın həyata keçirilməsi uzun müddət tələb edir. Halbuki, kiloqramın mövcud beynəlxalq prototipinin dəyişdirilməsi məsələsi aktualdır və kütlə və kütlə ölçü vahidlərinin hasil edilməsi, saxlanması və ötürülməsinin keyfiyyətə yeni səviyyəsinə keçid üçün prioritet kimi irəli sürülür.

Onu da qeyd edirik ki, Avoqadro ədədi və atom kütlə vahidindən istifadə etməklə kütlə standartının yenidən müəyyən edilməsi fizikanın tədrisi baxımından üstünlüklərə malikdir. Həqiqətən də texniki universitetlərin standart fizika kurslarında mexanika qanunlarını öyrənərkən kütlə anlayışı kursun əvvəlində verilir. Avoqadro ədədi və atom kütlə vahidinə əsaslanan tərifin istifadəsi, kütlə anlayışının tətbiqindən dərhal sonra SI kütlə vahidini müəyyən etməyə imkan verir. Plank sabitinin, Cozefson effektinin və kvant Hall effektinin qiymətlərinə əsaslanan tərifin qəbul edilməsi imkanı fizika kursunun sonuna saxlanılır, nəticədə tələbələr uzun müddət fizikanı öyrənməli və bu sistemdə kütlə vahidinin nə olduğunu bilmədən SI sisteminin vahidlərindən istifadə etməli olurlar.

Yuxarıda göstərilənlərin hamısını ümumiləşdirərək deyə bilərik ki, hazırda fundamental qarşılıqlı təsirlər və instrumental ölçmələr nəzəriyyələrinin əhatə dairəsi çox böyük zaman və məkan miqyasındadır. Buna görə də təbiətin əsas qanunlarına və fundamental fiziki sabitlərə əsaslanan bütün fiziki kəmiyyətlərin etalonlarını hazırlamaq və istifadə etmək lazımdır. Eksperimental müşahidələrin nəticələrini emal edərkən arxaik, qeyri-iradi seçilmiş etalonlardan, xüsusən kiloqramın beynəlxalq prototipindən istifadə yanlış nəticələrə səbəb ola bilər. Eyni zamanda, atom təzahürləri əsasında standartların istifadəsi vahid ölçülərin ötürülməsinin dəqiqliyi və sabilliyinin artmasına səbəb olur. Bunun yaxşı nümunəsi uzunluq və vaxt (tezlik) vahidlərinin atom standartlarına keçiddir ki, bu da bu vahidlərin hasil edilmə dəqiqliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırmağa, işığın sürətini, uzunluq vahidinin "ışq metri" deyilən yeni etalonunu yüksək dəqiqliklə təyin etməyə və sonra tətbiq etməyə imkan verdi.

Anoloji olaraq, atom kütlə vahidinə və Avoqadro ədədinə əsaslanan kütlə vahidinin (atom kiloqramının) atom etalonuna keçid SI etalonları sistemində əsaslı dəyişikliyə və metrologiyada əhəmiyyətli irəliləyişlərə səbəb olacaqdır.

Kütlə vahidinin yeni etalonunun tətbiqi üçün təklif olunan metodlar arasında, fikrimizcə, Avoqadro ədədinin və atom kütlə vahidinin birbaşa istifadəsinə əsaslanan metod həm mikrohissəcik və makroskopik cisimlərin kütlə ölçmələrinin, həm də çoxsaylı fundamental fiziki sabitlərin təyin edilməsinin dəqiqliyini artırmaq üçün ən üstün olanıdır.

Bununla belə, Beynəlxalq Çəkilər və Ölçülər Komitəsinin bir çox üzvləri Plank sabitini təyin etməklə əldə edilən kiloqramın yeni tərifinə üstünlük verirlər və iddia edirlər ki: c -nin nisbilik nəzəriyyəsinin əsas sabiti olduğu kimi, h kvant mexanikasının əsas sabitidir və nəzəri fizika h və c iki sabitinin qiymətlərinin dəqiq tərfi ilə yaxşı inkişaf etdirilə bilər; amper də elektron yükünün fiksasiya edilməsi ilə yenidən təyin olunarsa, o zaman $2e/h$ və h/e^2 kəmiyyətləri elektrik ölçmələrinin metrologiyası üçün üstünlüklər verən dəqiq müəyyən edilmiş qiymətlərə malik olacaqdır.

Birinci arqument olduqca mübahisəli görünür, çünki Plank sabitinin təyin edilməsi, əksinə, Plank sabitinin qiymətini və mümkün variasiyalarını aydınlaşdırmaq üzrə tədqiqatın durğunluğuna səbəb ola bilər.

Nəticə. Beləliklə, aydındır ki, kütlə vahidinin, eləcə də digər əsas ölçü vahidlərinin praktiki istifadəsində vahidin ölçülərinin hasil edilməsi və ötürülməsinin real yollarına ehtiyac var. Çəkilər və Ölçülər üzrə XXIII Baş Konfrans qeyd etdi ki, kiloqramın tərifinin reallaşdırılmasına bu gün olduğu kimi eyni şəkildə ikinci dərəcəli etalonlar kimi istifadə ediləcək kiloqram prototipləri dəsti saxlamaqla nail olmaq olar, lakin, h -ın qiymətini ölçmək üçün bu gün istifadə oluna bilən vatt tərəziləri və ya hər hansı digər təcrübədən istifadə etməklə Plank sabitinin h -a əsaslanan təyininə uyğun olaraq intervallarla kalibrlənməlidir. Bu prosedur, bu gün olduğu kimi, prototipin ikinci dərəcəli etalonlarının Beynəlxalq Prototip K ilə müqayisədə kalibrlənməsini əvəz etməlidir. İlkin olaraq beynəlxalq prototipin vatt - tərəzidən istifadə edərək Plank sabitinə uyğun olaraq

kalibrlənməsinə üstünlük verilir ki, sonuncu etalon kimi daha da istifadə olunsun. Bununla belə, vatt-tərəzi ilə təchiz edilmiş hər bir laboratoriya öz kütlə etalonunu saxlaya bilər.

Ədəbiyyat

1. A. Həşimov, Y. Həsənov. "Qanunverici Metrologiyanın əsasları". Bakı. Elm, 2011, 360s.
2. Ю.Н. Гасанов, О.Н. Величко, Т.Б. Гордиенко. Метрологическая прослеживаемость: нормативные и основные компоненты. Баку. 2010, 320с.
3. Международный Словарь Терминов Законодательной Метрологии (VIML), OIML, Париж, издание 2000.
4. JCGM 200: 2008. International Vocabulary of Metrology - Basic and general concepts and associated terms, 3rd Edition. Joint Committee for Guides in Metrology.
5. Ю.Н. Гасанов, О.Н. Величко, Т.Б. Гордиенко. Обработка результатов измерений: основы и нормативное обеспечение. Баку. 2011, 250с.

Мəqalə qəbul olunub: 23.10.23
Təvsiyə edib: prof. Həsənov V.H.