

УДК [001+62] (091)

Храмова-Баранова О. Л., к.і.н., доцент Черкаського державний технологічний університет, Черкаси

ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ КВАНТОВОЇ І ПРЕЦИЗІЙНОЇ МЕТРОЛОГІЇ В ДРУГІЙ ПОЛОВИНІ ХХ СТ.

В статті показано розвиток і впровадження квантової високоточної метрології в другій половині ХХ століття в контексті розвитку фізики. На основі аналізу документальних матеріалів і їх узагальнення, систематизовано розвиток і впровадження основних постулатів метрології і їх вплив на показники якості.

Ключові слова: метрологія, якість, стандарт, вимірювання, еталон.

Вступ. На основі аналізу документальних матеріалів та їх узагальнення систематизовано основні події розвитку квантової і прецизійної метрології в другій половині ХХ ст.

Аналіз останніх досліджень та літератури. Деякі аспекти проблеми викладені в працях Б. Тейлора, У. Паркера, М. М. Боголюбова, Ю. О. Храмова та ін [1-3], де проводився аналіз метрології, стандартизації, але ці матеріали не дають повного уявлення про періодизацію цих наук.

Мета дослідження, постановка проблеми полягає в тому, щоб систематизувати і надати ґрунтовний аналіз розвитку метрології в другій половині ХХ ст.

Матеріали досліджень. Успіхи в фундаментальних науках, а також у метрології, стандартизації привели до розгортання революційних процесів у науці і техніці, що почалися в 1950-х рр. У 1944-1950-х рр. були розроблені перші електронні обчислювальні машини, в 1948 р. закладено початок кібернетиці і напівпровідниковій техніці, в 1953 р. – молекулярній біології, в 1954 р. – квантовій електроніці і ядерній енергетиці, в 1960-х рр. – квантовій метрології.

Розвиток метрології різко пішов у гору, коли з'явилася електронно-обчислювальна машина. У 1946 р. у США (Філадельфія) створено електронно-обчислювальну машину, основні ідеї і принципи її побудови сформулював Дж. Нейман. У цьому ж році почалися роботи зі створення першої радянської електронно-обчислювальної машини в Академії наук УРСР під керівництвом академіка С. О. Лебедева. З того часу в галузі обчислювальної техніки пройшли небувалі зміни. Створення автоматизованих комплексів вимірювальних приладів, керованих за допомогою електронно-обчислювальних машин, привело до народження вимірювальних систем, що знайшли застосування в метрології.

В 1960-х рр. успіхи фізики зумовили становлення квантової метрології. Квантова метрологія – це наука, яка заснована на квантових явищах. Головним завданням квантової метрології є встановлення природної системи одиниць фізичних величин в основі яких є фундаментальні константи. Квантова метрологія займається розробкою і впровадженням квантових еталонів, встановленням співвідношень між розмірами одиниць і т.д. Одиниця часу (секунда) визначається за допомогою квантового цезієвого еталону частоти. До складу національних еталонів одиниць часу і частоти входить цезієва атомна променева трубка, квантовий еталон на основі водневого генератора.

У 1950–1953 рр. Л. Ессеном одержано значення швидкості світла, що дорівнює $299792,5 \pm 3$ км/с, а також створено Д. Габором і У. Госсем голографічний електронний мікроскоп. У 1951–1952 рр. Б. Брокгаусом закладено основи спектроскопії [4, с.653]. У 1951 р. Г. Лайонсом побудовано аміачний годинник, стабільність якого становила 10^{-8} . У 1954 р. Р. Далітц запропонував метод визначення квантових чисел резонансів – ізоспіну, спіну та парності, в квантовій теорії поля запропоновано метод дисперсійних співвідношень (М.Гелл-Манн, М.Гольдбергер, В.Тіррінг) обґрунтовано М.М.Боголюбовим у 1956 р. для піон-нуклонного розсіяння, на Х ГКМВ встановлено термодинамічну температурну шкалу в одиниці кельвін (К), де абсолютному нулю за шкалою Цельсія відповідає 273,15 К. Створено перший квантовий генератор на пучку молекул аміаку (М. Г. Басов, О. М. Прохоров; Ч. Таунс, Дж. Гордон, Г. Цайгер), чим започатковано квантову електроніку [2]. У 1958 р. винайдено іонізаційний калориметр (М. Л. Грігоров та ін.), висунуто ідею лазера – використання ефекту вимушеного випромінювання в оптичному діапазоні (Ч. Таунс, А. Шавлов, М. Г. Басов, О. М. Прохоров), висунуто ідею голографічного телебачення (Г. Роджерс). У 1959 р. О. О. Абрикосов, Л. П. Горьков, І. Є. Дзялощінський і Є. С. Фрадкін розробили діаграмні методи квантової статистики, а Р.Фейнманом висунуто ідею нанотехнологій [4, с.680].

У 1960–1961 рр. започатковано А. Шавловим, Н. Бломбергенем лазерну спектроскопію, створено квантовий генератор на пучку атомів водню (водневий мазер), що одержав застосування в прецизійній спектроскопії, атомних годинниках і стандартах частоти (Н. Рамзей), нині стабільність його 10^{-15} . Побудовано перший лазер (на кристалі рубіна). І. М. Ліфшиц передбачив квантовий циклотронний резонанс. На ХІ ГКМВ прийнято стандарт «Міжнародну систему одиниць» (СІ), який було схвалено багатьма організаціями з метрології і стандартизації та вже впроваджена у деяких державах законодавчими нормами. На цій конференції прийнято нові одиниці виміру, такі як люмен, герц, люкс, тесла, а також затверджено

приставки піко-, нано-, мікро-, мега-, гіга-, тера-. Засновано Європейський комітет з узгодження електричних стандартів [4, с.684-687; 5-6].

У 1961 р. на засіданні Європейського економічного співтовариства (ЄЕС) та Європейської асоціації вільної торгівлі від 23 березня створено Європейський комітет з координації стандартів. У 1970 р. цей орган отримав назву Європейського комітету зі стандартизації (ЄКС). У 1962 р. Дж.Шріффер обчислив час життя квазічастинок у надпровіднику. Л.Голд розглянув можливість створення рентгенівського лазера (разера). Р.Глаубер започаткував квантову оптику, ввівши уявлення про когерентні стани та побудувавши квантову теорію оптичної когерентності. О.П.Королук відкрив велетенські квантові осциляції поглинання і дисперсії швидкості звуку в металах. У 1963 р. Національними електротехнічними комітетами шести країн (Бельгія, Франція, Німеччина, Італія, Нідерланди, Люксембург) створено Європейський комітет з узгодження електротехнічних стандартів. Відкрито яскраві позагалактичні об'єкти малого кутового розміру зі значним червоним зміщенням – квазари (М. Шмідт, Дж. Грінстейн). У 1964 р. висунуто гіпотезу кварків – фундаментальних частинок. 1964 р. На XII ГКМВ прийнято одиницю літр, яка дорівнює кубічному дециметру ($1\text{л}=1\text{дм}^3$), а також затверджено приставки атто- і фемто- для одиниць виміру. Введено нове квантове число – «колір» (М. М. Боголюбов та ін.). У 1964 р. О. Грінберг висунув гіпотезу паракварків – підпорядкування кварків парафермістатистиці 3-го порядку (поняття кольору в неявному вигляді). У 1966 р. створено лазер ультракоротких імпульсів світла (тривалістю до 10^{-12} с) з самофазуванням мод нелінійним поглиначем (А. Демарія, Д. Стетсер, Г. Хейнау), створено лазер підвищеної потужності на суміші вуглекислого газу та азоту (К.Пател), надпровідний гальванометр, що використовує джозефсонівський контакт (Дж. Кларк). Дозволяє вимірювати напруги до 10^{15} В. [2; 4, с.705-707; 7].

У 1967 р. на XIII ГКМВ прийшли до висновку, що одиниці довжини і часу краще визначати на основі спектроскопії, оскільки це найбільш точний напрям фізики, тому прийнято, що 9192631770 періодів випромінювання при переході між двома рівнями основного стану атому цезія-133 є визначенням секунди. Для механічних дій достатньо трьох величин: метра, кілограма, секунди, для електромагнітної теорії необхідні ще величини заряду і швидкості світла, а для опису атомних явищ важливе значення має розрахунок сталої Планка (h) [4, с.730; 5].

У 1969 р. виміряно магнітний момент позитрона (Дж. Гілленд, А. Річ), відбулося виникнення інтегральної оптики (Е. Міллер), створено лазери ультрафіолетового діапазону на скінтіляторах (Р. В. Хохлов). У 1969–1972 рр. В. С. Летохов розробив методи лазерного детектування поодиноких

атомів. У 1969 р. було передбачено квантову дифузію в квантових кристалах та побудовано їх теорію (І. М. Ліфшиц, О. Ф. Андрєєв), а Б. Тейлор, У. Паркер і Д. Лангенберг, використовуючи нестационарний ефект Джозефсона, з високим ступенем точності ($1,9 \times 10^{-6}$) визначили сталу тонкої структури, що дорівнює $137,03608 \pm 0,00026$ і провели загальний аналіз фундаментальних фізичних констант, що дало можливість встановити нову систему фізичних одиниць. За чотири роки було послано близько 400 тис. лазерних імпульсів. При цьому миттєва відстань до Місяця вимірялося з точністю 10^{-15} см. У 1970 р. проведено пряме вимірювання магнітного моменту мюона (В. Телегді та ін.), спостереження окремих атомів за допомогою скануючого електронного мікроскопа високої роздільної здатності (А. Крю), вперше за допомогою растрового електронного мікроскопа сфотографовано окремі атоми урану і торію (А. Греве) [8].

У 1971 р. створено Європейський комітет стандартизації у галузі електротехніки. На XIV ГКМВ було внесено зміни до Міжнародної метричної системи (СІ), а саме: внесені нові одиниці виміру моль, паскаль, сіменс. М. Г. Басовим створено лазер на стисненому газі. Дж. Уїлер і Р. Руффіні побудували модель чорної діри. В. Б. Брагінський перевірив принцип еквівалентності з точністю до 10^{-12} . У 1973 р. показано з точністю до $3,5 \times 10^{-9}$, що швидкість світла є константою (Р. Баргер, Дж. Холл), П. І. Фомін побудував космологічну модель, що пояснює народження і розширення Метагалактики [5; 9].

У 1974–1975 рр. виміряне гравітаційне відхилення радіохвиль Сонцем, середнє гравітаційне відхилення становило $1,007 \pm 0,009$ значення, передбаченого загальною теорією відносності (Е. Фомалонт, Р. Срабек). У 1975 р. створено лазер, що використовував для збудження пару металу і генерував біле світло (К. Фуджі, Т. Такахасі, У. Асамі). У 1975–1976 рр. відбулося спостереження квантово-механічного зсуву фази хвильової функції нейтрона (А. Оверхаузер). Підтвердило принцип еквівалентності на квантовому рівні. У 1975 р. на XV ГКМВ було прийнято приставки пета- і екса-, а також нові радіологічні одиниці: грей та бекерель. Д. Ошерофф і М. Пааланен одержали температуру ($0,28$ мК) для рідкого гелію-3 (найбільш низьку), проведено перші експерименти з лазерного охолодження (Г. Демелт, А. Ашкін та ін.). У 1979 р. на XVI ГКМВ прийнято нові одиниці: канделу і северт, а також як символ літра обрано літери «L» і «l». Прийнято Британський стандарт BSI 5750 як першу редакцію стандарту ISO 9000 (1987). Друга редакція включала 24 стандарти (1994). Третя редакція ISO 2000 р. складається з ISO 9000, ISO 9001, ISO 9004 [5].

З 1983 р. на XII Генеральній конференції з мір і ваги рекомендовано нове визначення метра, яке залежить від швидкості світла в вакуумі $c = 299\,792\,458$

м/с. Одиницю сили току (ампер) визначають вимірюванням магнітної індукції методом ядерного магнітного резонансу. Одиниця електро-рухливості сили (вольт) як квантовий еталон заснована на ефекті Джозефсона. У 1985 р. К. фон Клітцинг і Г. Еберт запропонували використати квантовий ефект Холла для встановлення стандарту опору. Невдовзі такий еталон опору було запроваджено і названо – 1 клітцинг. У 1986 р. відкрито високотемпературну надпровідність при температурі 30–35 К в оксиді Ва–La–Cu зі структурою перовськіту (А. Мюллер, Дж. Беднорц). У 1987 р. Ч. Чу «підняв» критичну температуру до 90 К (вище точки кипіння азоту). У 1987 р. на XVIII ГКМВ піднімалися питання щодо альтернативних визначень ампера і кілограма. Еталон маси – кілограм, у 2004 р. було прийнято 8 країнами, новий еталон виготовлений з чистого кремнію, склад якого на 99,99% складається з ізотопу кремнія-28. У 1988 р. створено Європейський інститут зі стандартизації в області електрозв'язку. У 1989 р. фірма Novell реалізувала першу програму сертифікації фахівців Certified Novell Engineer. У 1991 р. на XIX ГКМВ прийнято нові приставки до одиниць виміру, а саме: йокто-, цепто-, зета-. У 1993 р. створено фонтанний цезієвий годинник, точність якого вища за 10^{-15} . У 1994–1996 рр. Ж. І. Алфьоров та інші одержали однорідні масивні тривимірні квантові точки. У 1995 р. на XX ГКМВ допоміжні одиниці виміру радіан і стерадіан були введені до метричної системи СІ, телескоп «Хаббл» дослідив ділянку неба в одну тридцятимільйонну від площі всього неба, яка містила кілька тисяч тьмяних галактик. Порівняння дослідженої ділянки з іншою, розміщеною в іншій частині неба, підтвердило ізотропність Всесвіту.

Результати досліджень. У 1997–1998 рр. започатковано електронну голографію (К. Хейнц, Й. Штарк), виявлено при 0,6 К надпровідність металічного кисню (К. Шіміцу), оптичними спостереженнями встановлено, що в центрі Галактики міститься чорна діра. У 1999 р. на XXI ГКМВ у систему СІ була введена нова одиниця катал, яка дорівнює 1 молу за секунду для визначення каталітичної діяльності. В 2001 р. створено атомний наноскоп, який дає можливість спостерігати окремі атоми (А. Стейн та ін.). У 2003 р. на XXII ГКМВ піднімалися питання щодо полегшення сприйняття символів (Україна – асоційований член з 2002 р.). У 2004 р. телескоп «Хаббл» одержав перші зображення протогалактик та перших згустків матерії, сформованих менше, ніж один мільярд років після Великого вибуху. У 2005 р. було зареєстровано утворення чорної діри при зіткненні двох нейтронних зір на відстані 2,2 млрд. світлового року від Землі. У 2007 р. на XXIII ГКМВ піднято питання перегляду одиниці виміру кельвін, а також у цій конференції прийняло участь 44 держави і 19 асоційованих членів в т.ч. Україна. У 2009 р. телескопом «Хаббл» відкрито 14 молодих швидких зір, вік яких становить приблизно 1 млн. років, одержано висококонтрастні

зображення атомної структури різних матеріалів, 14 грудня на навколосемну орбіту виведено інфрачервоний телескоп WISE для дослідження зоряного неба в інфрачервоному діапазоні (астероїди, віддалені галактики, згаслі зорі тощо). У 2010 р. в Національному інституті стандартів і технологій в Боулдері здійснено вимірювання релятивістського ефекту уповільнення часу, чим підтверджено передбачення СТВ, телескоп «Гершель», встановлений на космічному апараті «Планк», здійснив повний огляд неба в мікрохвильовому діапазоні. У 2011 р. на XXIV ГКМВ прийняло участь 55 держав, розглядалося питання про перегляд основних одиниць Міжнародної метричної системи СІ відносно сталої Планка [5].

Висновки. В даній статті, на основі аналізу архівів, документальних матеріалів та їх узагальнення показано і систематизовано основні події становлення і розвитку метрології, стандартизації і сертифікації в Україні в другій половині ХХ ст. для планування подальшого розвитку цих галузей.

Список літератури: 1. *Тейлор Б.* Фундаментальные константы и квантовая электродинамика / Тейлор Б., Паркер В., Лангенберг Д. – М. : Атомиздат, 1972. – 327 с. 2. *Боголюбов Н. Н.* Лекции по квантовой статистике / Боголюбов Н. Н. – К. : Наук. думка, 1949. – 298 с. 3. *Храмов Ю. А.* История физики / Храмов Ю. А. – К. : Феникс, 2006. – 1176 с. 4. *Храмов Ю. О.* Фізика. Історія фундаментальних ідей, теорій та відкриттів / Храмов Ю. О. – К. : Фенікс, 2012. – 816 с. 5. General conference on weight and measures – [Режим доступу : http://en.wikipedia.org/wiki/General_conference_on_weight_and_measures](http://en.wikipedia.org/wiki/General_conference_on_weight_and_measures). 6. Метрология в лазерной дальнометрии : [сб. науч. трудов / НПО «Метрология» / ред. Купко В. С.]. – Х., 1991. – 105 с. 7. *Каранкевич В. П.* Современные лазерные интерферометры / В. П. Каранкевич, В. А. Ханов. – Новосибирск : Наука, 1985. – 284 с. 8. *Кок У. Е.* Лазеры и голография : Введение в когерентную оптику / Кок У. Е. ; [пер. с англ. Г. И. Кузнецова]. – М. : Мир, 1971. – 136 с. 9. *Ахиезер А. И.* Элементарные частицы / А. И. Ахиезер, М. П. Рекало. – М. : Наука, 1986. – 256 с.

Надійшла до редакції 02.09.2012

УДК [001+62] (091)

Історія розвитку квантової і прецизійної метрології в другій половині ХХ ст. / О. Л. Храмова-Баранова // Вісник НТУ «ХП». Серія: Історія науки і техніки. – Х. : НТУ «ХП», 2013. – № 10 (984). – С. 160–165. – Бібліогр.: 9 назв.

В статтю показано розвиток квантової високоточної метрології во второй половині ХХ століття. На основі аналізу документальних матеріалів та їх узагальнень, систематизовано розвиток і впровадження основних складових метрології та їх вплив на показники якості.

Ключевые слова: метрологія, якість, стандарт, вимірювання, еталон.

In the article development of quantum high-fidelity metrologii is retined in the second half of XX century. On the basis of analysis of documentary materials and their generalizations, development and introduction is systematized basic metrologii and their influence on the indexes of quality.

Keywords: metrology, quality, standard, measuring, standard.