

УДК 539.2:548.75

ВИКОРИСТАННЯ КВАНТОВИХ ЕФЕКТІВ У МЕТРОЛОГІЇ

Студ. А.В. Трофімук, гр. БМСт-13

Науковий керівник доц. І.В. Олейнікова

Київський національний університет технологій та дизайну

Мета і завдання. Сучасний стан метрологічного забезпечення України вимагає суттєвих змін у зв'язку з переходом в єдину систему забезпечення якості продукції. Створення нових сучасних еталонів фізичних величин є основним напрямком розвитку метрології. Метою даної роботи було розглянути основні фізичні принципи створення сучасних еталонів та можливість їх відтворення у реальних умовах. Основним завданням було визначити ті квантові ефекти, які стануть основою для створення нових еталонів.

Об'єкт та предмет дослідження. Об'єктом дослідження стали такі еталони електричних фізичних величин, як Ампер, Вольт та Ом, що створюють так звані «трикутник квантових еталонів». Предметом дослідження стали застосування квантових ефектів, що можуть бути використані для створення цих еталонів

Методи та засоби дослідження. Оскільки експериментальне дослідження квантових ефектів відносяться до дуже високочутливих технологій фізичного експерименту, дане дослідження проводилося лише теоретично. На даний момент існує п'ять основних одиниць в СІ, які мають свої міжнародні еталони, еталони-копії та еталони-свідки. В роботі проводилося теоретичне дослідження можливостей підвищення точності робочих еталонів або зразкових засобів вимірювання з використанням квантових фізичних процесів та явищ.

Наукова новизна та практичне значення отриманих результатів. В даній роботі вперше було запропоновано розробити систему створення робочих еталонів високої точності для потреб українських виробників. Практичне використання таких еталонів дозволить не лише налагодити створення лабораторій метрологічного контролю на більшості стратегічних об'єктів України, а і забезпечити їх оновлення та повторне відтворення в подальшому. Для створення таких еталонів використовують метод прямого відтворення даної одиниці величини.

Результати дослідження. Система, що ґрунтується на механічних вимірюваннях і еталонах, поступово, але невідступно відходить у минуле. Вона замінюється новою системою, що спирається на атомні і квантові явища, де за еталон приймаються досліджені стабільні фізичні явища і сталі (константи). Основною в квантовій механіці є ідея про те, що корпускулярно-хвильова подвійність властивостей, встановлена для світла, має універсальний характер. Вона повинна виявлятися для будь-яких частинок, що володіють імпульсом. Засновником квантової теорії слід вважати саме М. Планка, який у 1900 р. запропонував новий підхід, що не відповідає класичним уявленням: розглядати електромагнітну енергію як дискретну, тобто таку, що може передаватися тільки окремими, хоч і дуже малими порціями (квантами). На основі ефекту Джозефсона створено еталони одиниці напруги постійного струму – вольт. Ефект Джозефсона — це фізичне явище, що полягає у протіканні надпровідного струму через тунельний контакт, що складається з двох надпровідників, розділених тонким шаром діелектрика або металу. Ефект було передбачено британським фізиком Браяном Джозефсоном в 1962 році.

Апаратура для відтворення електричного опору на основі квантового ефекту Холла містить у собі кріостат (герметизована ємність з рідким гелієм), у якому в



спеціальному кріозонді знаходиться холівська структура, а також надпровідний соленоїд, що створює магнітне поле. Крім цієї апаратури еталон одиниці електричного опору містить у собі групу прецизійних мір електричного опору, міст-компаратор і набір перехідних мір для передачі розміру одиниці між пристроями первинного еталона.

Суть його полягає в тому, що в спеціальних структурах типу метал-діелектрик-напівпровідник (МДН) при температурі рідкого гелію (4,2 К) й у сильному магнітному полі (6-12 Тл) електричний опір приймає строго фіксовані (дискретні) значення.

Ядерний магнітний резонанс (ЯМР) використовується для відтворення одиниці магнітної індукції, як основної характеристики магнітного поля. В еталоні використовується магнітний резонанс протонів у воді. Розчин знаходиться в ампулі, на якій намотані ВЧ-котушки. Ампула поміщається в постійне магнітне поле між полюсами електромагнітна. На котушку подається напруга від ВЧ- генератора. При збігу частоти ВЧ - генератора з частотою прецесії протонів має місце ЯМР, який супроводжується поглинанням енергії, що фіксується через детектор осцилографічним індикатором. Частота ВЧ- генератора f в момент ЯМР вимірюється електронно-лічильним частотоміром, а відтворене значення магнітної індукції визначається за допомогою значення цієї частоти.

Продовжуються спроби створення прямого відтворення еталону Амперу. Для цього використовують ефект одноелектронного тунелювання або «ефект Ліхарєва», який було теоретично передбачено і експериментально перевірено ще у 80-і роки минулого століття.

На сьогодні відомо кілька варіантів приладів на ефекті одноелектронного тунелювання (SET - Single Electron Tunneling): так званий одноелектронний транзистор (SET - транзистор), виготовлений з використанням нанотехнологій, а також більш складний пристрій, названий одноелектронним насосом (SET - pump).

Квантові ефекти Джозефсона і Холла використовуються при дослідженні шляхів створення «природного» еталона кілограма методом урівноваження механічної і електричної енергії («електричний» кілограм), а також в первинній термометрії (шумовий метод Найквіста). Наслідком використання квантових ефектів є зміна методології відтворення ряду одиниць, що, в свою чергу, веде до необхідності їх перевизначення в системі SI.

Висновки. Методологія використання квантових ефектів у метрології продовжує активно розвиватися. Одним із напрямків подальшого вдосконалення є підвищення точності визначення фізичних сталих і їхнє узгодження. Отже, усі вище розглянуті методи, засновані на квантових явищах, дозволять суттєво підняти точність і достовірність вимірювань, тому розвиток цієї галузі метрології, а саме квантової метрології в Україні є дуже важливим.

Ключові слова. Трикутник квантових еталонів, квантовий ефект Хола, одноелектронне тунелювання

ЛІТЕРАТУРА:

1. Й. Нимаєр, Ф. Мюллер, О. Килер. Современное состояние метрологии в области воспроизведения джозефсоновского напряжения переменного тока // "Метрологія-2010", Наукові праці конференції, т.1, Харків, 2010.