

лучевой трубки входят также КЭ на основе водородного генератора.

**Единица длины (метр).** В течение более 20 лет единица длины поддерживалась с помощью КЭ на основе длины волны  $\lambda$  излучения  $^{86}\text{Kr}$ . С 1983 12-й Генеральной конференцией по мерам и весам рекомендовано новое определение метра, основанное на соотношении  $\lambda = c\nu$  и канонизированном значении скорости света в вакууме  $c = 299\,792\,458$  м/с. Для реализации эталона используют, как правило, гелий-неоновый лазер, частота генерации к-рого  $\nu$  измеряется с помощью КЭ секунды. Это позволяет связать эталоны единиц времени и длины (см. *Оптические стандарты частоты*).

**Единица силы тока (ампер)** воспроизводится измерением магн. индукции методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР) на протонах или лёгких ядрах (напр.,  $^4\text{He}$ ). Магн. поле создаётся эталонной катушкой точно измеренной геом. конфигурации с рассчитываемым коэф. преобразования тока в индукцию поля. Воспроизведение ампера реализуется в соответствии с соотношением

$$I = \frac{\omega}{K\gamma'} \quad (1)$$

где  $\omega$  — частота сигнала ЯМР,  $K$  — постоянная эталонной катушки,  $\gamma'$  — гиромагнитное отношение ядра. Для протонов  $\gamma'$  отличается от идеального значения  $\gamma = 2\mu_p/\hbar$  ( $\mu_p$  — магн. момент протона) поправками  $\sim 10^{-6}$  вследствие экранировки протона в сферич. объёме  $\text{H}_2\text{O}$ .

**Единица эдс (вольт)** воспроизводится КЭ, основанном на Джозефсона эффекте [1, 3]; при этом используется соотношение

$$V = Nv \frac{h}{2e} \quad (2)$$

где  $N$  — номер ступеньки на вольт-амперной характеристике джозефсоновского перехода ( $N \sim 10^8$ , целое число),  $v$  — частота эл.-магн. излучения, подаваемого на переход. Значение  $(h/2e)$  устанавливается в результате согласования значений фундам. констант [2]. Согласованное (1986) значение [4]:  $h/2e = 2,06783461(61) \times 10^{-15}$  Вб.

**Единица электрич. сопротивления (ом).** В КЭ используется квантовый Холла эффект. Воспроизводимое квантованное значение сопротивления выражается соотношением

$$R = \frac{h}{pe^2} \quad (3)$$

где  $p$  — целое число (номер плато в квантовом эффекте Холла), отношение  $h/e^2$  связано с безразмерной постоянной тонкой структуры:

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{h}{e^2} \cdot \frac{2}{\mu_0 c}$$

где  $\mu_0$  — магн. проницаемость вакуума. Значение  $\alpha$  может быть установлено независимо от размеров единиц, поддерживаемых эталонами, напр. из измерений аномального магн. момента электрона. Согласованное (1986) значение:  $\alpha^{-1} = 137,0359895(61)$  [4].

**Методы измерений с наивысшей точностью и минимальным порогом чувствительности.** Наиб. широко применяется эффект Джозефсона. На основе сверхпроводящих квантовых интерферометров (*сквидов*) разработаны методы измерений, порог чувствительности к-рых снижен вплоть до ограничений фундам. характера. Сюда относятся, напр., пиковольтметры (порог чувствительности  $10^{-14}$  В), пикоамперметры ( $10^{-16}$  А), веберметр ( $10^{-19}$  Вб, т. е.  $\sim 10^{-6}$  кванта потока). Из др. КЭ следует отметить эталоны, основанные на туннельном эффекте, позволяющем в сканирующем туннельном микроскопе достичь при исследовании профиля поверхности разрешающей способности порядка атомных размеров.

*Лит.:* 1) Современная система эталонов единиц электрических величин на основе фундаментальных физических констант и стабильных физических эффектов, М., 1977; 2) Квантовая метрология и фундаментальные константы. Сб. ст., пер. с англ., М., 1981; 3) Слабая сверхпроводимость. Квантовые интерферометры и их применения. [Сб. ст.], пер. с англ., М., 1980; 4) Cohen E. R., Taylor B. N., The 1986 adjustment of the fundamental physical constants, «Revs Mod. Phys.», 1987, v. 59, p. 1121; 5) Краснополь И. Я., Пудалов В. М., Семенчик С. Г., Физический репер сопротивления на основе квантового эффекта Холла, «Приборы и техн. эксперимента», 1987, № 6, с. 5. В. М. Пудалов.

## КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

### Содержание

Место К. м. среди других наук о движении . . . . .	274
История создания К. м. . . . .	274
Физические основы К. м. . . . .	276
Корпускулярно-волновой дуализм . . . . .	276
Принцип суперпозиции состояний . . . . .	276
Вероятностное описание в К. м. . . . .	278
Математический аппарат К. м. . . . .	278
Векторы состояния и линейные эрмитовы операторы . . . . .	278
Основные постулаты К. м. . . . .	279
Представления вектора состояния . . . . .	280
Эволюция системы во времени . . . . .	280
Принцип соответствия и временное уравнение Шрёдингера . . . . .	280
Среднее значение физической величины. Дисперсия . . . . .	281
Соотношение неопределённостей . . . . .	281
Производная физической величины по времени . . . . .	282
Перестановочные соотношения и классические скобки Пуассона . . . . .	283
Симметрия гамильтониана и сохраняющиеся величины . . . . .	283
Обратимость уравнения Шрёдингера во времени . . . . .	284
Плотность потока вероятности . . . . .	284
Стационарные состояния . . . . .	284
Соотношение неопределённостей для энергии и времени . . . . .	285
Стационарное уравнение Шрёдингера . . . . .	285
Движение в периодическом поле . . . . .	287
Движение в центральном поле . . . . .	288
Квазистационарные состояния . . . . .	289
Спин. Полный момент . . . . .	289
Системы многих частиц. Тонкие частицы . . . . .	290
Обменное взаимодействие. Химическая связь . . . . .	291
Приближённые методы К. м. . . . .	292
Парадоксы К. м. . . . .	292

**К. м. (волновая механика)** — теория, устанавливающая способ описания и законы движения физ. систем, для к-рых величины, характеризующие систему и имеющие размерность *действия*, оказываются сравнимыми с постоянной Планка  $h$ . Этому условию удовлетворяет, как правило, движение микрочастиц (электронов в атоме, атомов в молекулах, нуклонов в ядрах и т. д.). Однако в нек-рых случаях специфич. квантовыми свойствами обладают макроскопич. системы как целое (см. *Макроскопические квантовые эффекты*).

К. м. представляет собой систему понятий и адекватный ей матем. аппарат, необходимый и достаточный для описания всех наблюдаемых свойств соответствующих систем и их движения.

Законы К. м. составляют фундамент наук о строении вещества. Они позволили выяснить строение электронных оболочек атомов и расшифровать атомные и молекулярные спектры, установить природу хим. связи, объяснить периодич. систему элементов Менделеева, понять строение и свойства атомных ядер. Поскольку свойства макроскопич. тел определяются движением и взаимодействием частиц, из к-рых они состоят, законы К. м. объясняют многие макроскопич. явления, напр. температурную зависимость и величину теплоёмкости макроскопич. систем (газов, твёрдых тел). Законы К. м. лежат в основе теории строения твёрдых тел (металлов, диэлектриков, полупроводников) и её многочисл. техн. приложений. Только на основе К. м. удалось последовательно объяснить магн. свойства веществ и создать теорию *ферромагнетизма* и *антиферромагнетизма*. К. м. естеств. образом решила ряд проблем классич. статистич. физики, напр. обосновала теорему Нерста (см. *Третье начало термодинамики*), разрешила *Гиббса парадокс*. Важное значение имеют макроскопич. квантовые эффекты, проявляющиеся,