53(048)

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ АКАДЕМИИ НАУК СССР

(20—21 апреля 1988 г.)

20 и 21 апреля 1988 г. в Институте физических проблем им. С. И. Вавилова АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

20 апреля

1. В. М. Агранович. Состояние и перспективы линейной и нелинейной спектроскопии поверхностей и тонких пленок.
2. В. М. Пудалов, С. Г. Семенчинский. Физический эталон единицы электрического сопротивления на основе квантового эффекта Холла.

21 апреля

3. Р. А. Сюняев. Международная орбитальная обсерватория «Рентген» на модуле «Квант» (первые результаты).

4. В. Л. Афанасьев, Н. В. Грудзинский. Опыт использования комплекса «Квант» для получения и обработки изображений.

5. А. Д. Кузьмин. Пульсарная шкала времени.

Краткое содержание двух докладов публикуется ниже.

537.311.081.1(048)

В. М. Пудалов, С. Г. Семенчинский. Физический эталон единицы электрического сопротивления на основе квантового эффекта Холла. Со времени открытия[1] К. фон Клитцингом в 1980 г. квантового эффекта Холла (КЭХ) появилась принципиальная возможность создания естественного эталона единицы электрического сопротивления, размер которой неизменен во времени и привязан к отношению фундаментальных констант:

$$\frac{h}{e^2} = 25812{,}80\ \ldots\ \Omega. \qquad (1)$$

В результате цикла исследований КЭХ, проведенных в 1981 — 1987 гг. в институтах АН СССР и Госстандарта (см. обзоры [2,3]), достигнуто понимание физической природы КЭХ и разработаны научные основы его использования в эталонной и измерительной технике. Эти научные основы воплощены в измерительной установке высшей точности, созданной и действующей во ВНИИ метрологической службы Госстандарта [4–6]. Установка позволяет с точностью $1\cdot10^{-8}$ воспроизводить размер единицы сопротивления, привязанный к отношению фундаментальных констант, и передавать его мерам сопротивления и эталонам традиционного типа.

Ядро измерительной установки составляет полупроводниковая структура, охлаждаемая до температуры 0,35 К и помещаемая в сильное магнитное поле $B \leqslant 13$ Тл. В этих условиях холловское сопротивление структуры имеет квантованное значение $R_{\text{H}} = 6453{,}20$, или 12 906,40 Ом, что составляет соответственно 1/4 или 1/2 доли отношения h/e^2.

Комплекс измерительной аппаратуры передает это квантованное реперное значение, во-первых, обычным мерам сопротивления равного номинала (с погрешностью $1\cdot10^{-8}$), которые хранят его в пределах между измерениями (~1 мес), и, во-вторых, мерам десятичного номинала 100 Ом (с погрешностью $5\cdot10^{-8}$). В последнем случае используется так называемый переходный делитель хамоновского типа [7]. Он состоит из набора резисторов, включаемых или параллельно — для сравнения с 100-омной мерой, или последовательно — для сравнения с R_{H}.

Впечатляющей особенностью квантового эффекта Холла является та точность, с которой значение $R_{\text{H}}^{\text{exp}}$ в области плато (1) воспроизводится в разных экспериментах и на разных образцах. На рис. 1 приведен фрагмент зависимости холловского сопротивления $R_{\text{H}}^{\text{exp}}$ от коэффициента ν заполнения уровней Ландау вблизи $\nu = 4$. Средний участок плато изображен в увеличенном масштабе для пяти независимых измерений [4,5], проведенных в течение двух дней. Видно, что в пределах погрешности измерений плато R_{H} горизонтально. Воспроизводимость результатов изучалась в [4,5] с разным составом измерительной аппаратуры, она не хуже $(1—4)\cdot10^{-8}$.

Тем не менее нельзя заранее исключить возможность отклонения $R_{\text{H}}^{\text{exp}}$ от квантованного значения (1) в силу, например, неидеальных условий эксперимента. Для контроля реальной точности, с которой воспроизводится

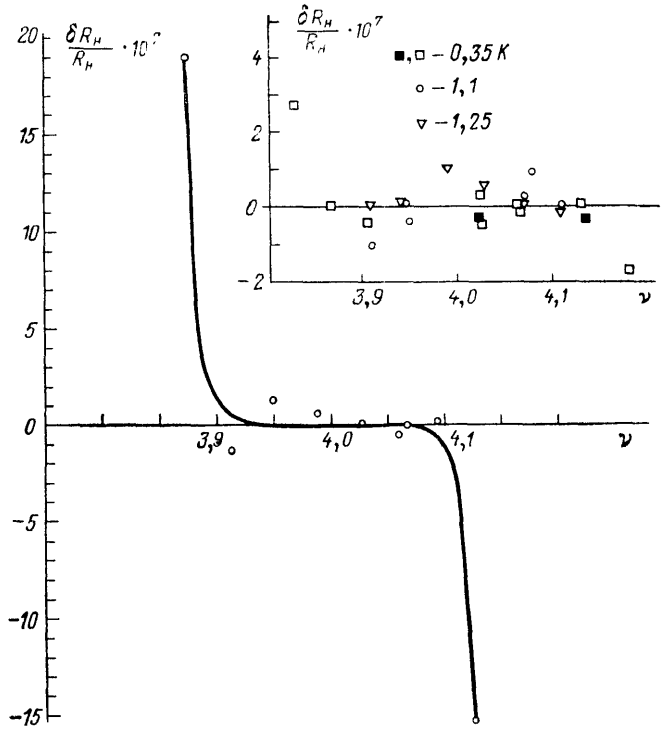

Рис. 1. Фрагмент зависимости[5] холловского сопротивления R_H^{exp} от коэффициента заполнения ν вблизи $\nu = 4$.

На вставке — в увеличенном масштабе результаты тех же измерений в течение двух дней при разных значениях температуры

R_H^{exp} в эксперименте, измеряется остаточное значение диссипативного сопротивления ρ_{xx}^{min}. Ранее (см., например, [7,8]) было установлено, что малые отклонения R_H от квантованного значения пропорциональны ρ_{xx} с коэффициентом ~0,1. Поэтому, например, для достижения точности 10^{-8} необходимо, чтобы ρ_{xx} не превышало 10^{-3} Ом/□.

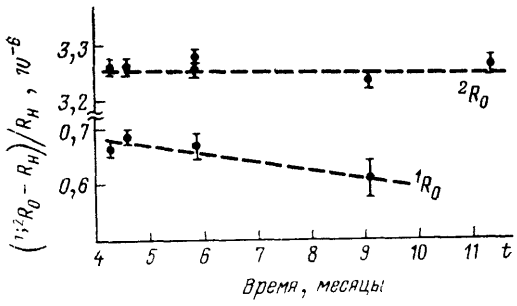

Рис. 2. Измерение дрейфа сопротивления во времени двух термостабилизированных резисторов[9]

Эталонная установка используется с 1987 г. для контроля долговременной стабильности прецизионных особостабильных резисторов с погрешностью $(1—3)\cdot 10^{-8}$. На рис. 2 изображена измеренная временная зависимость сопротивления двух резисторов, постоянно находящихся в термостате при $T = 20 \pm 0{,}005$ °С. Эти два резистора входят в состав установки и хранят квантованное значение в промежутках между сравнениями с R_H.

В конце 1987 г. проведено сравнение размера R_H, воспроизводимого установкой, с государственным первичным эталоном Ома, в результате чего измерено значение[10]

$$\frac{h}{e^2} = 25812{,}8\cdot(1 - 0{,}068\cdot 10^{-6} \pm 0{,}13\cdot 10^{-6})$$

в единицах $\Omega_{СССР}$ по состоянию на 22.07.1987 г. Используя результаты 14-х международных сличений национальных эталонов [11], получаем оценку

$$\frac{h}{e^2} = 25812{,}8 \cdot (1 + 0{,}217 \cdot 10^{-6} \pm 0.22 \cdot 10^{-6})\, \Omega_{SI}. \qquad (2)$$

Отметим, что этот результат всего на $2 \cdot 10^{-9}$ отличается от значения, полученного в последнем согласовании (1986 г.) фундаментальных констант [11].

На основе этого и подобных измерений h/e^2 в других лабораториях Консультативный Комитет по электричеству Международного комитета мер и весов в конце 1988 г. должен выработать новое значение h/e^2, рекомендуемое в дальнейшем для воспроизведения Ω национальными эталонами, которое призвано обеспечивать максимально близкое соответствие так воспроизводимого Ома размеру Ω_{SI}. Новое определение Ома (Ω_{90}) намечено ввести в действие с 1 января 1990 г. Описанная установка будет использоваться для практической реализации Ω_{90}, обеспечивая в 3—10 раз большую точность и лучшее соответствие Ω_{SI}, чем существующие эталоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Klitzing K., von, Dorda G., Pepper M.//Phys. Rev. Lett. 1980. V. 45. P. 494.
2. Пудалов В. М., Семенчинский С. Г.//Поверхность. 1984. № 4. С. 5.
3. Рашба Э. И., Тимофеев В. Б.//ФТП. 1986. Т. 20. С. 977.
4. Пудалов В. М., Семенчинский С. Г.//Метрологическая служба в СССР.— М.: ВНИИКИ, 1987. № 10. С. 29.
5. Краснополин И. Я., Пудалов В. М., Семенчинский С. Г.//Измерит. техн. 1983. № 3. С. 3.
6. Krasnopolin I. Ya., Pudalov V. M., Semenchinsky S. G.// CPEM'88: Digest papers.— Tokyo, 1988.
7. Краснополин И. Я., Пудалов В. М., Семенчинский С. Г.//ПТЭ. 1987. № 6. С. 5.
8. Пудалов В. М., Семенчинский С. Г., Копчиков А. Н.//ЖЭТФ. 1985. Т. 89. С. 1094.
9. Буц В. П., Пудалов В. М., Семенчинский С. Г., Филиппов В. И., Яныш А. К.//ПТЭ. 1988. № 4. С. 220.
10. Kaminskii V. Yu., Kuznetsov V. A., Lebedev S. N. et al.//[5].
11. Taylor B. N., Witt T. J. Rapport de la 17e Session de BIPM.— 1986.— P. E122.

521.932(048)

А. Д. Кузьмин. Пульсарная шкала времени. В 1979 г. советскими учеными предложена новая шкала времени, основанная на регулярной последовательности интервалов времени между импульсами радиоизлучения пульсаров [1,2]. Эта шкала является астрономической, поэтому она долговечна, воспроизводима, едина для всех наблюдателей и имеет единые нуль-пункты.

Первичным эталоном-хранителем шкалы является пульсар. Шкала определяется как непрерывная последовательность интервалов времени между импульсами радиоизлучения пульсаров

$$t_N = t_0 + P_0 N + \frac{1}{2} P_0 \dot{P}_0 N^2,$$

где P_0 и $\dot{P}_0$— период и его производная в начальный момент времени, N — текущий номер импульса. Параметры P_0 и $\dot{P}_0$ являются стабильными характеристиками данного пульсара. Поэтому, если однажды измерить их, можно в дальнейшем на основе соотношения (1) предвычислять временные моменты прихода импульсов.

Из-за вращения Земли и ее обращения вокруг Солнца расстояние пункта ведения шкалы от пульсара и, следовательно, время распространения импульса пульсара на этой трассе изменяются. Для исключения этого эффекта