

07.11.2025

Дробный квантовый эффект Холла

Раскрытие механизма явления

Георгий П. Шпеньков

g.shpenkov@gmail.com

<https://shpenkov.com/pdf/HallRus.pdf>

Аннотация

Динамическая модель элементарных частиц (ДМ) позволила по-новому взглянуть на многие физические явления. Эта модель разработана в рамках нового философского подхода к основам физики – диалектического. Будучи всеобъемлющим, диалектический философский подход превосходит, доминирующий в настоящее время в современной физике формально-логический с его ограниченными возможностями. В данной работе с использованием новых фундаментальных параметров, открытых в ДМ, а также с учетом открытия оболочечно-узлового (молекулярно-подобного) строения атомов, объясняется природа квантов, наблюдаемых в холловской проводимости. Фундаментальными параметрами ДМ, неизвестными ранее в физике, используемыми в данной работе, являются: *фундаментальная частота обмена (взаимодействия) на атомном и субатомном уровнях* ω_e и *элементарный квант интенсивности массообмена* $e = m_e \omega_e$.

1. Введение

Открытие в 1982 году Штёрмером и Цуй [1] дополнительных *дробных* квантованных значений сопротивления при измерении холловской проводимости в образцах чрезвычайно чистых полупроводников в *сильном магнитном поле* стало большой неожиданностью.

В 1983 году Лафлин [2] выдвинул гипотезу, согласно которой *дробный* квантовый эффект Холла обусловлен захватом каждым электроном нечётного числа фундаментальных единиц (квантов) магнитного потока, в отличие от одной единицы потока при *целочисленном* квантовом эффекте Холла. Объяснение эффекта опиралось, таким образом, на гипотетическом понятии *новых квантовых состояний вещества*.

Согласно гипотезе Лафлина, низкая температура и сильное магнитное поле вынуждают электронный газ конденсироваться, образуя *новый тип квантовой жидкости*. Поскольку электроны конденсируются крайне неохотно, они сначала, в некотором смысле, объединяются с «квантами потока» магнитного поля. В частности, на первых этапах каждый электрон захватывает три кванта потока, образуя таким образом своего рода составную частицу, не склонную к конденсации.

При этом плато квантового эффекта Холла (КЭХ) образуются когда энергия Ферми попадает в щель плотности состояний. Разница заключается в происхождении энергетических щелей. В то время как при *целочисленном* эффекте щели возникают из-за магнитного квантования движения отдельной частицы, при *дробном* эффекте щели возникают из-за коллективного движения всех электронов в системе.

Как следует из теории, основанной, таким образом, на гипотезе возникновения воображаемой квантово-механической жидкости новой формы, и на многочастичной волновой функции, элементарные возбуждения должны состоять из псевдочастиц – носителей зарядов, являющихся долями заряда электрона.

Несмотря на трудности в объяснении ряда деталей, физики приняли в результате это первое описание данного явления (за отсутствием достойной альтернативы), более или менее удовлетворяющее их. Таким образом, на базе гипотезы Лафлина стала развиваться соответствующая теория, появились следствия, вытекающими из неё, и естественно, различные проблемы.

Изучение следующих из принятой теории так называемых дробных зарядов (или квазичастиц дробных зарядов) и дробной статистики до сих пор остаётся в физике активной областью исследований. Поэтому рано говорить о полном понимании природы эффекта.

Фактические измерения холловской проводимости обнаружили целые и дробные значения от e^2/h с точностью до 10^{-8} . Именно поэтому единица сопротивления h/e^2 используется для калибровки сопротивлений во всем мире и служит чрезвычайно точным независимым способом определения постоянной тонкой структуры – величины, имеющей фундаментальное значение в квантовой электродинамике.

В физике низкотемпературных конденсированных сред дробный квантовый эффект Холла до сих пор остается важной темой исследований, как экспериментальных, так и теоретических.

Обращает на себя внимание следующий факт. Измерения показали, что *точность квантования* холловской проводимости *не зависит* от условий эксперимента и параметров образцов, таких как: размеры образцов, влияние границ, степень совершенства кристаллических структур (наличие примесей и дефектов), тип кристаллов, температура, сила измерительного тока и т. д.

По нашему мнению, это означает, что природа *целых* и *дробных* квантов, наблюдаемых в холловской проводимости, *определяется только фундаментальными параметрами материи*, характерными для атомного уровня.

В этом плане, среди ряда новых *параметров*, обнаруженных нами, *неизвестных* до сих пор современной физике, особое место занимает *фундаментальная частота обмена* (взаимодействия) ω_e на *атомном и субатомном уровнях* Вселенной. Исследования показали, что физические явления, уже рассмотренные нами, достаточно хорошо объясняются с учётом этого неизвестного ранее фундаментального параметра Природы, открытого в рамках Волновой модели строения и поведения элементарных частиц, подтверждая тем самым адекватность её реальности.

Дробная квантовая проводимость, наблюдаемая в эффекте Холла (как и *целочисленная* квантовая проводимость), естественно объясняется в ДМ *независимо от учёта магнитного поля*. Достаточно понимания в целом механизма колебательных процессов на атомном уровне и квантового поведения переноса электрического заряда.

Таким образом, *природа квантования холловской проводимости (кванта сопротивления) раскрывается нами как внутреннее свойство атомных структур, без учёта влияния внешних магнитных полей.*

Это стало возможным благодаря переходу на новый уровень исследований, начатых автором совместно с Л. Крейдиком [3] в девяностых годах прошлого столетия.

А именно, наши исследования связаны с *переосмыслением базовых понятий* современной физики и пересмотром абстрактно-математических теорий *с целью их согласования* с адекватной реальности диалектической философией и её логикой.

В результате новые понятия получили полное развитие и обобщены в новой общей теории физики - Волновой модели, или диалектической физике – физике, основанной на диалектической философии и её логике [5].

Итак, в данной работе мы используем фундаментальные параметры, открытые в рамках ДМ [6], а также опираемся на оболочечно-узловую модель атомов [7, 8] диалектической физики [3, 5].

Основными из новых параметров являются следующие два:

- (1) *Фундаментальная частота ω_e атомных и субатомных уровней.*
- (2) *Элементарный квант интенсивности массообмена, $e = m_e \omega_e$,
размерность $g \times s^{-1}$.*

Информация о новых параметрах содержится в книгах, ссылки на которые приведены в данной работе. Наиболее подробно они рассмотрены главным образом в [5].

Первый параметр ω_e был совершенно неизвестен современной физике до 1996 года, года публикации книги «*Альтернативная картина мира*» [3]. Природа и истинное значение (и следовательно, истинная размерность) *второго* параметра, известного как *заряд электрона e* , до 1996 года также были неизвестны.

Квантовый эффект Холла, описываемый здесь в рамках представлений о волновом строении и поведении элементарных частиц и атомов, *проясняет* многие важные аспекты не только квантовой, но и атомной физики, особенно в свете открытий, сделанных за последние десятилетия в этой области.

Мы имеем в виду открытия серии фундаментальных ключевых параметров Природы, сделанные в рамках ДМ, а также открытие внутренней оболочечно-узловой (молекулярно-подобной) структуры атомов, сделанное при анализе решений классического волнового уравнения [3].

Следует отметить также результаты наблюдения КЭХ при *комнатной температуре* в графене – одиночном слое атомов углерода, плотно упакованных в гексагональной кристаллической решётке [4].

Важное замечание. Вместо понятия *взаимодействие* мы используем более общее понятие – *обмен*, как понятие, естественно присущее ДМ.

В ДМ понятие *обмен*, вместо понятия *взаимодействие*, обусловлено следующими важными особенностями. Понятие обмена обусловлено *волновой структурой* и *волновым поведением* «элементарных» частиц. Это понятие охватывает как динамическое равновесие «элементарных» частиц с окружающим волновым полем, в покое и в движении, так и их волновые взаимодействия с другими частицами и объектами.

Таким образом, понятие *обмен* является более адекватным с точки зрения специфики поведения элементарных частиц, рассматриваемых как волновые образования. Волновой обмен происходит на фундаментальной частоте эксачастотного диапазона ω_e , присущей атомному и субатомному уровням Вселенной [5].

2. Фундаментальный квант удельного сопротивления и спектр удельных сопротивлений

Одним из основных фундаментальных параметров Динамической Модели элементарных частиц (ДМ) [5, 6, 9] является *фундаментальная частота* (или фундаментальное временное число) *атомных и субатомных уровней*, ω_e :

$$\omega_e = \frac{e}{m_e} = 1.869162505 \times 10^{18} \text{ s}^{-1}, \quad (2.1)$$

где $e = 1.702691627 \times 10^{-9} \text{ g} \times \text{s}^{-1}$ – заряд электрона (элементарный квант интенсивности массообмена), и $m_e = 9.109382531 \times 10^{-28} \text{ g}$ – масса электрона.

Фундаментальный волновой радиус λ_e , соответствующий фундаментальной частоте ω_e , равен

$$\lambda_e = \frac{c}{\omega_e} = 1.603886538 \times 10^{-8} \text{ см}, \quad (2.2)$$

где $c = 2.99792458 \times 10^{10} \text{ см} \times \text{с}^{-1}$ – базовая скорость обмена материи-пространства-времени на атомном и субатомном уровнях (скорость света c равна этой скорости).

Фундаментальный волновой радиус λ_e и фундаментальное временное число ω_e , как круговая частота, демонстрируют свою адекватность реальности. *Фундаментальный волновой радиус* определяет среднее значение межатомных расстояний в молекулах и кристаллах, то есть во всех упорядоченных материальных структурах, в частности определяет среднее значение параметров решёток кристаллов.

Фундаментальная частота ω_e определяет, в частности, *квант удельного сопротивления атомных пространств*. Эту особенность рассмотрим более подробно.

Закон Ома в дифференциальной форме представляется как

$$j = \frac{1}{S} \frac{dq}{dt}, \quad (2.3)$$

или

$$j = \frac{1}{\rho_e} E = \sigma_e E. \quad (2.4)$$

В сферическом поле H -атома, плотность “электрического” тока, т. е. плотность тока массообмена j , равна

$$j = \frac{\omega_e e}{4\pi r^2}. \quad (2.5)$$

Последнее можно переписать в следующем виде

$$j = \varepsilon_0 \omega_e \frac{e}{4\pi \varepsilon_0 r^2} = \frac{1}{\rho_e} E. \quad (2.6)$$

где $\varepsilon_0 = 1 \text{ г} \times \text{см}^{-3}$ – абсолютная единица плотности.

Таким образом, опустившись на атомный уровень, мы пришли к минимальному (граничному) значению удельного сопротивления, а фактически, к *фундаментальному кванту удельного сопротивления*

$$\rho_e = \frac{1}{\varepsilon_0 \omega_e} = \frac{m_e}{\varepsilon_e e} = 5.349991157 \times 10^{-19} \mu_0 \times s \quad (2.7)$$

где $\mu_0 = 1/\varepsilon_0 \text{ ст}^3 \times g^{-1}$.

Отсюда следует, что *фундаментальный квант удельного сопротивления* ρ_e – величина, обратно пропорциональная произведению фундаментальной частоты обмена на атомном (и субатомном) уровне ω_e и абсолютной единицы плотности вещества ε_0 на этом (базисном) уровне.

Размерность ρ_e , выраженная через абсолютные единицы материи-пространства-времени (g , cm , и s), имеет вид

$$[\rho_e] = \left[\frac{1}{\varepsilon_0 \omega_e} \right] = \frac{1}{\frac{g}{cm^3} \times \frac{1}{s}} \quad \text{or} \quad [\rho_e] = \frac{cm^3}{g/s} \quad (2.7a)$$

откуда следует *физический смысл фундаментального кванта ρ_e .*

А именно, ρ_e , будучи величиной, обратно пропорциональной скорости массообмена ($g \times s^{-1}$) на единицу объёма атомного (базисного) пространства (cm^3), представляет собой

фундаментальный квант объёмной деформации атомного (базисного) пространства при единичной скорости волнового массообмена пространства.

Объективными мерами сопротивления 1Ω и заряда $1C$ [5, стр. 387 и 391] являются, соответственно:

$$1\Omega = \frac{10^9}{4\pi c_0^2 \varepsilon_0} \text{ cm}^{-1} \times s = 8.854187817 \times 10^{-14} \mu_0 \text{ cm}^{-1} \times s \quad (2.8)$$

и

$$1C = 1A \times s = \frac{c_0 \sqrt{4\pi}}{10} g \times s^{-1} = 1.062736593 \times 10^{10} g \times s^{-1}, \quad (2.9)$$

где $c_0 = 2.99792458 \times 10^{10}$.

Следовательно, *фундаментальный квант удельного электронного сопротивления* определяется мерами:

$$\rho_e = 6.042328514 \times 10^{-6} \Omega \times \text{cm} \quad (2.10)$$

или

$$\rho_e = 6.421403619 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \times C^{-1}. \quad (2.11)$$

Среднее удельное сопротивление ряда металлов при 273 К соответствует фундаментальному кванту (2.10). Покажем это.

Скорость обмена в сферическом поле равна

$$v = \frac{v_1}{Z_{r,n}^*}, \quad (2.12)$$

где

$$Z_{r,n}^* = \frac{Z_{r,n}}{Z_{r,1}}, \quad (2.13)$$

и $Z_{r,n}$ – корни радиальных функций Бесселя. Индекс r указывает порядок функции Бесселя, а n – номер корня. Таким образом, *интенсивность массообмена* определяется соотношением

$$q = \frac{e}{Z_{r,n}^*}, \quad (2.14)$$

а *удельное электронное сопротивление* как

$$\rho_e = \frac{1}{\varepsilon_0 \omega_e} = \frac{m_e}{\varepsilon_0 e} Z_{r,n}^* = 6.042328514 \times 10^{-6} Z_{r,n}^* \Omega \times \text{см}. \quad (2.15)$$

Теоретический спектр удельных сопротивлений некоторых металлов, полученный по уравнению (2.15), в сравнении с экспериментальными данными, приведен в таблице 2.1.

Хорошее совпадение представленных данных подтверждает справедливость новой теоретической концепции, реализованной в рамках ДМ, лежащей в основе вывода.

Для радиальной функции порядка $r = \frac{1}{2}$ волновое число $z_{r,n}^* = n$ и

$$\rho_e = \frac{1}{\varepsilon_0 \omega_e} = \frac{m_e}{\varepsilon_0 e} n = 6.042328514 \times 10^{-6} n \text{ } \Omega \times cm \quad (2.16)$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$

Таблица 2.1. Удельные сопротивления, теоретические и экспериментальные, некоторых металлов ($\rho_e, 10^{-6} \Omega \times cm$).

$Z_{r,n}^* = \frac{Z_{r,n}}{Z_{r,1}}$	Element	Theory (2.5)	Experiment [12]
1	19 K	6.04	6.1
	28 Ni		6.14
	76 Os	9.54	9.5
	78 Pt	9.9	9.81
	46 Pd		9.77
2	73 Ta	12.08	12.4
	50 Sn	11.07	11.15
	37 Rb		11.29

$z_{r,n}^* = \frac{z_{r,n}}{z_{r,1}}$	Element	Theory (2.5)	Experiment [12]
2	90 Th	12.92	13
	25 Cr	13.68	14.1
	41 Nb	16.27	16.1
	92 U	21.02	21
3	23 V	18.13	18.2
	75 Re	18.92	18.9
	82 Pb		19.2
	33 As	25.98	26
5	72 Hf	30.21	30
	38 Sr		30.3
	5 B	35.9	36

3. Фундаментальный квант электронного сопротивления и спектр фундаментальных сопротивлений

Фундаментальный квант удельного сопротивления определяет также *фундаментальный квант сопротивления*. Пусть элементарная длина равна $l=2\pi r$, где r – некоторый волновой радиус. Тогда в *сферическом поле квант сопротивления* равен

$$R_e = \rho_e \frac{l}{S} = \frac{1}{\varepsilon_0} \frac{m_e}{e} \frac{2\pi r}{4\pi r^2} = \frac{2\pi m_e}{e^2} \frac{er}{4\pi \varepsilon_0 r^2} = \frac{2\pi m_e v r}{e^2}, \quad (3.1)$$

где

$$\frac{e}{4\pi \varepsilon_0 r^2} = v \quad (3.2)$$

– скорость-напряжённость.

В сферическом поле $vr = v_0 r_0 = const$, где v_0 и r_0 – Боровская скорость и радиус, соответственно. Следовательно, квант сопротивления

$$R_e = \frac{2\pi m_e v_0 r_0}{e^2} = \frac{h}{e^2} = 2.285514295 \times 10^{-9} \mu_0 \text{ cm}^{-1} \times s, \quad (3.3)$$

или

$$R_e = \frac{h}{e^2} = 25812.80567 \Omega, \quad (3.4)$$

где h – постоянная Планка.

Таким образом, *фундаментальный квант сопротивления* R_e – это величина, зависящая от фундаментального кванта интенсивности массообмена e на атомном (базисном) уровне и, следовательно, от фундаментальной частоты ω_e , как и ρ_e , поскольку они фундаментально связаны между собой (см. (3.1) и (2.1)).

Размерность R_e , выраженная через абсолютные единицы материи-пространства-времени (g , cm , и s), имеет вид

$$[R_e] = \frac{cm^2}{g/s}. \quad (3.4a)$$

Следовательно, R_e , будучи величиной, обратно пропорциональной интенсивности массообмена, $g \times s^{-1}$, на единицу площади атомного (базисного) пространства, cm^2 , характеризует собой

фундаментальный квант поверхностной деформации атомного (базисного) пространства при единичной скорости волнового массообмена пространства.

В цилиндрическом поле обмена квант сопротивления находится из условий: $r_n = r_0 z_{r,n}^*$ и $l = 2\pi r_0 z_{r,n}^*$. При этом $S = \pi r_n^2$, а элементарный квант скорости (интенсивности) массообмена (заряд электрона) определяется выражением $e = \pi r_0^2 \varepsilon_0 v_0$ [6]. В результате получаем

$$R_e = \rho_e \frac{l}{S} = \frac{1}{\varepsilon_0} \frac{m_e}{e} \frac{2\pi r_0 z_{r,n}^*}{\pi (r_0 z_{r,n}^*)^2} \frac{v_0}{v_0} = \frac{h}{e^2} \frac{1}{z_{r,n}^*}. \quad (3.5)$$

Для *цилиндрической* функции порядка $r = \frac{1}{2}$, характеристический аргумент равен $z_{r,n}^* = n$, и простейший *спектр сопротивлений* будет представляться следующим выражением:

$$R_e = \frac{h}{e^2} \frac{1}{n}. \quad (3.6)$$

Отметим, что стабилизация сопротивления Холла (в квантовом эффекте Холла) наблюдается при значениях, удовлетворяющих фундаментальному спектру сопротивлений (3.5).

Поперечное сечение S в цилиндрическом поле можно представить системой элементарных каналов с сечениями $S_n = n\pi r_0^2$ и $r_m = r_0 z_{p,m}^*$. В таком случае

$$R_e = \frac{h}{e^2} \frac{z_{p,m}^*}{n}. \quad (3.7)$$

Если $p = \frac{1}{2}$, тогда $z_{p,m}^* = m$, и мы приходим к спектру фундаментальных сопротивлений

$$R_e = \frac{h}{e^2} \frac{m}{n}. \quad (3.8)$$

Этот спектр известен как *дробное квантование* в холловской проводимости.

4. Квант удельного протонного сопротивления

Движение протонов (H -единиц) в полупроводниках в современной физике ошибочно интерпретируется через теорию «дырочной» (положительной) проводимости. Согласно оболочечно-узловой модели атома, атомы наряду с главными узлами, заполненными нуклонами, имеют пустые побочные узлы [5, 7, 8, 10, 11].

Волновое движение H -единиц в атомном пространстве осуществляется через побочные узлы, куда попадают нуклоны, находящиеся там в неравновесном состоянии. Соответственно, к квантам *удельного электронного сопротивления* ρ_e должны быть добавлены *кванты удельного протонного сопротивления* ρ_p .

Опираясь на закон Ома в дифференциальной форме для тока нуклонов (т. е. для тока H -единиц),

$$j_p = \frac{E_p}{\rho_p} \quad \text{или} \quad I_p = \frac{E_p}{\rho_p} S, \quad (4.1)$$

определим удельное протонное сопротивление.

Согласно ДМ, *напряжённость* – это *скорость* движения, т. е. , $E_p = v$; следовательно,

$$\rho_p = \frac{v}{I_p} S \quad (4.2)$$

Полагая, что элементарный квант тока равен

$$I_p = \omega e, \quad (4.3)$$

и сечения трубки тока в этом случае равны

$$S = \pi(\lambda_e z_{r,n})^2, \quad (4.4)$$

спектр удельных нуклонных сопротивлений представляется в следующем виде:

$$\rho_p = \frac{v}{\omega e} \pi \lambda_e^2 z_{r,n}^2. \quad (4.5)$$

Поскольку

$$\frac{v}{\omega} = r = \lambda_e z_{r,n} \quad (4.6)$$

получаем

$$\rho_p = \frac{\pi \lambda_e^3 z_{r,n}^3}{e}. \quad (4.7)$$

Это выражение относится к *колебательному* уровню движения, то есть к уровню *настройки*. На *базисном* уровне, $v = c$ и $\omega = \omega_e$, следовательно,

$$\frac{v}{\omega} = \frac{c}{\omega_e} = \lambda_e \quad (4.8)$$

Следовательно, *удельные нуклонные сопротивления базиса*, ρ_p , имеют вид

$$\rho_p = \frac{\pi \lambda_e^3 z_{r,n}^2}{e} \quad (4.9)$$

Если элементарный канал обмена определяется фундаментальным волновым радиусом λ_e ($z_{r,n}=1$), т. е. процессы происходят в *волновой зоне*, то квант удельного протонного сопротивления как базиса, так и настройки будет равен

$$\rho_p = \frac{\pi \lambda_e^3}{e} = \frac{\pi \lambda_e^3}{\omega_e m_e} = 7.612634088 \times 10^{-15} \text{ cm}^3 \times g^{-1} \times s, \quad (4.10)$$

или

$$\rho_p = 8.090221375 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \times C^{-1} \quad (4.11)$$

Квант ρ_p (4.10) значительно больше кванта удельного электронного сопротивления ρ_e (2.10) (см. также (2.7)). Сравнивая оба кванта удельного, протонного и электронного, сопротивления, получаем следующее соотношение:

$$\rho_p = \frac{\pi \hat{\lambda}_e^3 \varepsilon_0}{m_e} \rho_e = \zeta \rho_e, \quad (4.12)$$

где коэффициент пропорциональности ζ имеет фундаментальное значение

$$\zeta = \frac{\pi \hat{\lambda}_e^3 \varepsilon_0}{m_e} = 14229.24613 \quad (4.13)$$

Он может служить мерой связи нуклона во внешней атомной оболочке.

5. Электронные и нуклонные токи и эффект Холла

Экспериментально разделение электронных и протонных токов в проводниках представляет собой непростую задачу. Однако эффект Холла в определённой степени решает её, помещая проводник в магнитное поле B , направленное перпендикулярно току (рис. 5.1).

Условие стационарной поперечной разности потенциалов U_H определяется следующими равенствами для электронной и нуклонной компонент соответственно:

$$eE_{ez} = \frac{v_{ex}}{c} eB, \quad eE_{pz} = \frac{v_{px}}{c} eB. \quad (5.1)$$

Полагая на уровнях полей, что $v_{ex} = E_{ex}$ и $v_{px} = E_{px}$ и выполняя преобразования,

$$\Delta U_{ez} = E_{ez}a = \frac{E_{ex}}{c} aB = \rho_e \frac{j_e}{c} aB = \rho_e \frac{j_e ab}{cb} B = \rho_e \frac{I_e}{cb} B, \quad (5.2)$$

получаем выражение для *электронной разности потенциалов*

$$\Delta U_{ez} = \rho_e \frac{\Gamma_e}{b} B, \quad (5.3)$$

где

$$\frac{I_e}{c} = \Gamma_e \quad (5.4)$$

– электронная циркуляция.

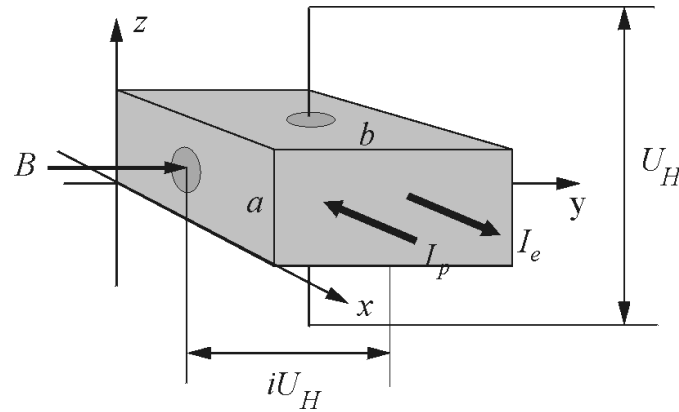


Рис. 5.1. Напряжения и токи в эффекте Холла: U_H – поперечное потенциальное напряжение Холла, iU_H – поперечное кинетическое напряжение Холла, I_e – электронный ток, I_p – протонный ток; a и b – поперечные размеры пластины.

Аналогично, выражение для *нуклонной разности потенциалов* имеет вид

$$\Delta U_{pz} = \rho_p \frac{\Gamma_p}{b} B. \quad (5.5)$$

Сумма этих напряжений определяет *полное потенциальное* («электрическое») *напряжение Холла*:

$$\Delta U_H = \rho_H \frac{\Gamma}{b} B, \quad (5.6)$$

где

$$\Gamma = \Gamma_e + \Gamma_p \quad (5.7)$$

– полная магнитная циркуляция, и

$$\rho_H = \frac{\rho_e \Gamma_e + \rho_p \Gamma_p}{\Gamma} \quad (5.8)$$

– это *полное удельное электронно-нуклонное сопротивление*, называемое *коэффициентом Холла* R_H , т. е.

$$\rho_H \equiv R_H. \quad (5.9)$$

Обычно напряжение Холла представляется в виде

$$\Delta U_H = R_H \frac{I_m B_m}{b} \quad (5.10)$$

где индекс m указывает на «ток» и индукцию в магнитной системе единиц, хотя на самом деле (это следует из ДМ)), $I_m = \frac{I}{c} = \Gamma$ — это циркуляция, размерности $g \times s^{-1} \times cm^{-1}$.

Когда $\rho_e \Gamma_e \ll \rho_p \Gamma_p$ и $\Gamma_e \ll \Gamma_p$,

$$\begin{aligned} R_H = \rho_p &= 7.612634088 \times 10^{-15} \Omega \times cm = \\ &= 8.090221375 \times 10^{-11} m^3 \times C^{-1} \end{aligned} \quad (5.11)$$

Для ряда металлических пространств (см. табл. 5.1) положительный эффект Холла (удельное протонное сопротивление) в пределах средней температуры незначительно отличается от кванта волновой зоны (5.11) (см. также (4.11)).

Таблица 5.1. Коэффициенты Холла [12]

Metal	T, K	$R_H, 10^{-11} m^3 \times C^{-1}$
Be	290	+7.7
Mn	297	+8.4
Nb	273	+8.8
Ta	273	+9.7
V	293	+7.9

Если ток имеет преимущественно нуклонный характер, то определить связь между коэффициентом Холла и удельным нуклонным сопротивлением очень просто. В этом случае уравнение (5.6) следует представить в виде

$$U_H = R_H \frac{\Gamma_p B}{b} = R_H \frac{I_p B}{cb}, \quad (5.12)$$

где

$$\Gamma_p = \frac{I_p}{c} \quad (5.13)$$

— циркуляция нуклонов.

Заменяя I_p равенством $I_p = \frac{E_p a b}{\rho_p}$, вытекающим из закона Ома (см. (4.1)), имеем

$$U_H = R_H \frac{E_p a B}{\rho_p} \frac{1}{c} \quad (5.14)$$

Но на уровне поля, как следует из (5.1), где $v = E$

$$E_H = \frac{1}{c} E_p B \quad (5.15)$$

Следовательно,

$$U_H = R_H \frac{E_H a}{\rho_p} . \quad (5.16)$$

И поскольку $E_H a = U_H$, приходим к

$$U_H = R_H \frac{U_H}{\rho_p} \quad \text{и} \quad R_H = \rho_p . \quad (5.17)$$

Кинетическое «мнимое» («магнитное») напряжение Холла, перпендикулярное потенциальному (показано на рис. 5.1), равно следующему очевидному соотношению

$$iU_H = iE_H a \quad (5.18)$$

6. Заключение

ДМ позволила взглянуть на многие физические явления с новой точки зрения. Эта модель была разработана в рамках всеобъемлющего диалектического подхода к основаниям физики, который является новой философской основой физики. Последний в будущем заменит формально-логический подход с ограниченными возможностями, доминирующий в настоящее время в современной физике.

В данной работе природа целых и дробных квантов, наблюдаемых в холловской проводимости, раскрывается на основе вышеупомянутого диалектического подхода, впервые примененного к основаниям физики. На практике новый подход реализуется через фундаментальные параметры, впервые открытые в рамках ДМ, и с учетом оболочечно-узловой структуры атомов, открытой в результате нового подхода.

В частности, одним из основных фундаментальных параметров, используемых здесь (и, вообще, в диалектической физике при описании всех физических явлений), является фундаментальная частота атомных и субатомных уровней ω_e , которая до сих пор остаётся неизвестным параметром для современной физики. Другой открытый параметр – фундаментальный квант скорости массообмена $e = m_e \omega_e$ размерности $g \times s^{-1}$, известный как заряд электрона; его природа и, соответственно, истинное значение и размерность были раскрыты в ДМ.

Радиальными решениями общего волнового уравнения (классического, а не Шредингера) являются корни функций Бесселя $z_{r,n}$. Они определяют спектр возможного числа, целого или дробного, квантов, наблюдаемых при определённых условиях (магнитное воздействие и экстремально низкая температура) в эксперименте Холла.

Все параметры диалектической физики, использованные в статье, включая два вышеупомянутых, представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1

Параметр	Значение	Размерность
<i>Элементарный квант скорости массообмена (заряд электрона), e</i>	$e = 1.702691627 \times 10^{-9}$	$g \times s^{-1}$
<i>Фундаментальная частота атомных и субатомных уровней, ω_e</i>	$\omega_e = \frac{e}{m_e} = 1.869162505 \times 10^{18}$	s^{-1}
<i>Фундаментальный волновой радиус, λ_e</i>	$\lambda_e = \frac{c}{\omega_e} = 1.603886538 \times 10^{-8}$	cm
<i>Абсолютная единица плотности, ε_0</i>	$\varepsilon_0 = 1$	$g \times cm^{-3}$
<i>Скорость-напряжённость $v = E$</i>	$v = E = \frac{e}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$	$cm \times s^{-1}$

Параметр	Значение	Размерность
<i>Корни радиальных функций Бесселя, $z_{p,q}$</i>	$z_{p,q} = \frac{r_{p,q}}{\lambda}$	
<i>Объективная мера сопротивления, 1Ω</i>	$1\Omega = \frac{10^9}{4\pi c_0^2} = 8.854187817 \times 10^{-14}$	$g^{-1} \times cm^2 \times s$
<i>Объективная мера заряда, $1C$</i>	$1C = \frac{c_0 \sqrt{4\pi}}{10} = 1.062736593 \times 10^{10}$	$g \times s^{-1}$

В рамках Динамической Модели Элементарных Частиц (ДМ) получены формулы и раскрыта природа фундаментальных квантов и соответствующих им спектров, связанных с электронной и протонной проводимостью твердых тел, которые сведены в таблицу 6.2.

Таблица 6.2

Фундаментальные кванты и спектры	Формулы
Фундаментальный квант удельного электронного сопротивления	$\rho_e = \frac{1}{\varepsilon_0 \omega_e} = \frac{m_e}{\varepsilon_e e}$
Фундаментальный квант удельного протонного сопротивления	$\rho_p = \frac{\pi \lambda_e^3}{e}$
Спектр удельных электронных сопротивлений	$\rho_e = \frac{m_e}{\varepsilon_0 e} z_{r,n}^*$
Спектр удельных протонных сопротивлений	$\rho_p = \frac{\pi \lambda_e^3 z_{r,n}^3}{e}$
Фундаментальный квант сопротивления	$R_e = \frac{h}{e^2}$
Спектр фундаментальных сопротивлений	$R_e = \frac{h}{e^2} \frac{m}{n}$

Мы видим, что природа целых и дробных квантов, наблюдаемых в холловской проводимости, зависит от фундаментальных параметров обмена (взаимодействия) на атомном уровне: *фундаментальной частоты обмена* ω_e и *кванта интенсивности (скорости) обмена* e , представленных выше. Эти параметры до сих пор были неизвестны современной физике и впервые были обнаружены в рамках ДМ диалектической физики.

Следует также подчеркнуть, что современная физика неверно интерпретирует движение протонов в полупроводниках через теорию «дырочной» проводимости. Согласно оболочечно-узловой модели атома, атомы напоминают элементарные нуклонные молекулы, имеющие, помимо главных узлов, заполненных нуклонами, пустые побочные узлы (не рассмотрены здесь).

Волновое движение H -единиц в атомном пространстве осуществляется через эти пустые пространственные узлы, в которые, попадая, нуклоны, как правило, находятся в неравновесном состоянии. Соответственно, к кванту удельного электронного сопротивления ρ_e необходимо добавить квант удельного протонного сопротивления ρ_p , как показано здесь. Формула кванта ρ_p и соответствующий спектр ρ_p представлены в таблице 6.2.

Таким образом, природа целых и дробных квантов, наблюдаемых в холловской проводимости (включая квант сопротивления), раскрывается в данной работе как внутренняя особенность атомных структур, связанная с волновым обменом (взаимодействием) на атомном уровне, без учета влияния внешних магнитных полей, лежащего в основе теории Лафлина.

Ссылки

- [1] D. Tsui, H. Störmer, *The Fractional Quantum Hall Effect*, IEEE Journal of Quantum Electronics, Volume 22, Issue 9, 1711–1719 (1986); H. Störmer and D. Tsui, *Composite Fermions: New particles in the fractional quantum Hall effect*, Physics News in 1994, American Institute of Physics 1995, p. 33; D. C. Glattli, *Quantum Hall Effect: Macroscopic and Mesoscopic Electron Transport, High Magnetic Fields*, Edited by C. Berthier, L.P. Lévy, G. Martinez, Lecture Notes in Physics, Springer Berlin / Heidelberg, vol. 595, 1-46, (2002).
- [2] R. B. Laughlin, *Anomalous Quantum Hall Effect: An Incompressible Quantum Fluid with Fractionally Charged Excitations*, Phys. Rev. Lett., Volume 50, Issue 18, 1395 - 1398 (1983).
- [3] L. Kreidik and G. Shpenkov, *Alternative Picture of the World*, Volumes 1-3; Geo. S., Bydgoszcz, 1996.
- [4] Novoselov et al., *Room-Temperature Quantum Hall Effect in Graphene*, Science 2007, 315 (5817), p. 1379.
- [5] L. Kreidik and G. Shpenkov, *Atomic Structure of Matter-Space*, Geo. S., Bydgoszcz, 2001, 584 p.

- [6] L. Kreidik and G. Shpenkov, *Dynamic Model of Elementary Particles and the Nature of Mass and "Electric" Charge*, REVISTA CIENCIAS EXACTAS E NATURAIS, Vol. 3, No 2, 157-170, (2001);
<https://shpenkov.com/pdf/masscharge.pdf>
- [7] G. Shpenkov, *Shell-Nodal Atomic Model*, HADRONIC JOURNAL SUPPLEMENT, Vol. 17, No. 4, 507-566, (2002).
- [8] G. Shpenkov, *An Elucidation of the Nature of the Periodic Law*, Chapter 7 in a book "*The Mathematics of the Periodic Table*", edited by Rouvray D. H. and King R. B., NOVA SCIENCE PUBLISHERS, NY, 119-160, 2006.
- [9] G. Shpenkov, *Theoretical Basis and Proofs of the Existence of Atom Background Radiation*, Infinite Energy, Vol. 12, Issue 68, 22-33, (2006).
- [10] G. Shpenkov, *The Nodal Structure of Standing Spherical Waves and the Periodic Law: What Do They Have in Common?* Physics Essays, Vol. 18, No 2, (2005).

- [11] L. Kreidik and G. Shpenkov, *The Wave Equation Reveals Atomic Structure, Periodicity and Symmetry*, KEMIJA U INDUSTRIJI, Vol. 51, No. 9, 375-384, (2002).
- [12] A.P. Babichev, et al., *Physical Quantities*, Reference Book, Atomenergoizdat, Moscow, 1991.

Георгий П. Шпеньков
07.11.2025

<https://shpenkov.com/pdf/HallRus.pdf>

* * *

В данной работе был представлен на русском материал статьи: G. P. Shpenkov, *The Dependence of Hall Conductance Quanta on the Fundamental Frequency of the Atomic Level*, (2009); <https://shpenkov.com/pdf/Hall.pdf>