

DOI: 10.22363/2224-7580-2023-1-115-134

О КВАНТОВАНИИ МАССЫ

В.В. Варламов

*Сибирский государственный индустриальный университет
Российская Федерация, 654007, Новокузнецк, ул. Кирова, д. 42*

Аннотация. Рассматривается проблема спектра масс элементарных частиц с позиций редукционизма и холизма. Показывается, что при холистическом описании первостепенное значение приобретает понятие субстанции (энергии), а элементарные частицы понимаются как эмерджентные состояния, имеющие второстепенную роль. Приводится система аксиом, задающая основные определения спектра материи. При этом спектр состояний («элементарных частиц») появляется в результате квантования массы (энергии). Выводится массовая формула, зависящая от квантовых чисел, задающих собственные значения операторов Казимира группы Лоренца.

Ключевые слова: холизм, редукционизм, спектр масс, массовые формулы, элементарная длина, несепарабельные состояния, дальное действие

В начале была симметрия.

Вернер Гейзенберг [1. С. 349]

Введение

Одной из наиболее важных нерешённых проблем теоретической физики является описание спектра масс элементарных частиц. Это одна из 30 проблем в списке Гинзбурга [2]: 14-я проблема Гинзбурга: *Спектр масс элементарных частиц*.

Как известно, кварковая модель, основанная на $SU(3)$ -симметрии по аромату, не объясняет спектр масс элементарных частиц. Массовая формула Гелл-Манна – Окубо объясняет только расщепление масс внутри супермультиплетов $SU(3)$ -теории, а именно гиперзарядовое расщепление масс внутри супермультиплетов и зарядовое расщепление внутри изотопических мультиплетов, принадлежащих данному супермультиплету. Действие группы $SU(3)$ аналогично эффекту Зеемана в атомных спектрах, то есть это действие приводит к различным массовым уровням внутри зарядовых мультиплетов посредством $SU(3)/SU(2)$ -редукции. Массы частиц, принадлежащих данному супермультиплету группы $SU(3)$ в $SU(3)/SU(2)$ -редукции, в квадратичном случае определяются массовой формулой Гелл-Манна – Окубо [3; 4]:

$$m^2 = m_0^2 + \alpha + \beta Y + \gamma \left[I(I + 1) - \frac{1}{4} Y^2 \right] + \alpha' - \beta' Q + \gamma' \left[U(U + 1) - \frac{1}{4} Q^2 \right], \quad (1)$$

где Q и Y – заряд и гиперзаряд частицы, I и U – изотопические спины (I - и U -спины соответствуют различным фиксациям подалгебры $SU(2)$ в алгебре $SU(3)$). Коэффициенты $\alpha, \alpha', \beta, \beta', \gamma, \gamma'$ удовлетворяют соотношению

$$\frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{\beta'}{\beta} = \frac{\gamma'}{\gamma} = \theta, \quad |\theta| \ll 1.$$

В случае, когда условие $\delta m^2 / m_0^2 \ll 1$ выполняется, квадратичная массовая формула (1) может быть заменена линейной массовой формулой

$$m = m_0 + \alpha + \beta Y + \gamma \left[I(I + 1) - \frac{1}{4} Y^2 \right] + \alpha' - \beta' Q + \gamma' \left[U(U + 1) - \frac{1}{4} Q^2 \right]. \quad (2)$$

Далее, в случае «спин-ароматной» $SU(6)$ -симметрии имеем следующую массовую формулу Бега – Синга [5]:

$$m^2 = m_0^2 + \mu_1 C_2(3) + \mu_2 \cdot 2J(J + 1) + \mu_3 Y + \mu_4 \left[2S(S + 1) + \frac{1}{4} Y^2 - C_2(4) \right] + \mu_5 \left[-\frac{1}{2} Y^2 + 2T(T + 1) \right] + \mu_5 [2N(N + 1) - 2S(S + 1)], \quad (3)$$

где $C_2(3)$ и $C_2(4)$ – операторы Казимира группы $SU(6)$, Y – гиперзаряд, J и T – операторы спина и изоспина, S и N – так называемые странный и нестранный спины. Как и в случае $SU(3)$ -теории, групповое действие $SU(6)$ аналогично эффекту Зеемана, т.е. это действие приводит к расщеплению масс состояний («частиц») внутри гипермультиплетов группы $SU(6)$ (56-плет барионов и 35-плет мезонов) посредством $SU(6)/SU(3)$ - и $SU(6)/SU(4)$ -редукций.

В Particle Data Group (PDG) для описания состояний с высшими спинами используется «спин-ароматно-орбитальная» $SU(6) \times O(3)$ -симметрия. Классификация частиц, принятая в PDG, основана на квантовых числах группы $SU(6) \times O(3)$: $I(J^P)$ для барионов и $I(J^{PC})$ для мезонов, где J – спин, I – изотопический спин, P – четность, C – зарядовая четность. Следует отметить одно важное обстоятельство, касающееся определения спина в кварковой модели (соответственно, в $SU(6) \times O(3)$ -модели). Согласно этой модели, спин элементарной частицы ($q\bar{q}$ -мезона или qqq -бариона) определяется формулой $\mathbf{J} = \mathbf{L} + \mathbf{S}$, т.е. равен полному моменту количества движения соответствующей $q\bar{q}$ - или qqq -системы кварков, здесь \mathbf{L} – орбитальный момент системы кварков, \mathbf{S} – суммарный спин кварков. Таким образом, здесь имеет место *механическое* определение спина. Однако спин не является механическим понятием. В.А. Фок отмечал: «Слово „спин“ буквально означает „верчение“; название произошло потому, что относящиеся к этой степени свободы

операторы могут быть формально истолкованы как операторы собственного момента количества движения электрона. Это не значит, однако, что электрон может быть уподоблен волчку или вращающемуся шарикю и т.п.; механические уподобления здесь решительно непригодны... спин представляет не механическое понятие» [6. С. 111]. Как известно, понятие спина ввел Паули в 1925 году, объясняя дублетную структуру спектра щелочных металлов (аномальный эффект Зеемана): «Дублетная структура спектров щелочных металлов, а также нарушение теоремы Лармора, согласно этой точке зрения, объясняется своеобразной, классически не описываемой двузначностью квантово-теоретических свойств излучающего электрона» [7. С. 644]. Ван дер Варден отмечает: «Эту не поддающуюся классическому описанию двузначность электрона ныне мы называем спином» [8. С. 236]. Замещение *неклассического* понятия спина классическим механическим (пространственным) определением является наиболее слабым местом модели кварков, именно тут кроется причина всех последующих проблем барионной спектроскопии и «загадки спина протона».

Проблемы барионной спектроскопии являются следствием механической интерпретации спина адронов в модели кварков. В рамках $SU(6) \times O(3)$ -модели система трёх тел (трёх кварков q_1, q_2, q_3) может быть редуцирована к двум разделённым 3-мерным гармоническим осцилляторам относительно параметров Якоби ρ и λ (каждый с частотой $\omega = \sqrt{3K/m}$). Параметр ρ описывает относительное движение кварков q_1 и q_2 , а λ – движение кварка q_3 по отношению к системе покоя «дикварка» q_1, q_2 . При этом масса бариона вычисляется согласно формуле

$$M = 3m + const + \omega(N + 3), \quad (4)$$

где $N = 2k_\rho + 2k_\lambda + l_\rho + l_\lambda$ – номер полосы, m – масса кварка, для обоих осцилляторов (ρ и λ) – $k, l = 0, 1, 2, \dots$. Однако «спин-ароматно-орбитальная» симметрия $SU(6) \times O(3)$ сталкивается с серьёзными трудностями при описании барионного спектра. Проблема связана с так называемыми «возбуждёнными барионами» (excited baryons). Для трёх первых полос имеется следующая последовательность мультиплетов:

$$\begin{aligned} N = 0: & \quad (56, 0^+), \\ N = 1: & \quad (70, 1^-), \\ N = 2: & \quad (56', 0^+), (70, 0^+), (56, 2^+), (70, 2^+), (20, 1^+). \end{aligned}$$

Здесь (размерность $SU(6)$ -мультиплета, L^P), где L – полный орбитальный момент $q_1q_2q_3$ -системы, P – чётность. Если для $N = 0$ (основное состояние $l_\rho = l_\lambda = 0$) и $N = 1$ существуют экспериментально обнаруженные барионы, то для $N = 2$ большая часть (более половины) предсказанных состояний не наблюдаются. В частности, нет ни одного наблюдаемого бариона, принадлежащего к $(20, 1^+)$ -мультиплету. Это так называемая проблема «отсутствующих резонансов», которая на сегодняшний день не имеет решения в рамках кварковой модели. Ситуация настолько серьёзна, что авторы обзора [9] по барионной спектроскопии пишут: «Эти вопросы барионной физики фундаментальны. Если новые барионы не будут найдены, то отсюда следует вывод, что

КХД и кварковая модель, приводящие к ошибочным предсказаниям, основаны на неверных представлениях. Нынешнее понимание КХД должно быть пересмотрено, а динамика внутри кварковой модели должна быть изменена».

В формулах Гелл-Манна – Окубо (1)–(2) и в формуле Бега – Синга (3) m_0 зависит от выбранного супермультиплета группы $SU(3)$ (гипермультиплета в случае группы $SU(6)$) и конкретное значение m_0 не определяется в рамках $SU(3)$ - и $SU(6)$ -теорий. Вместе с тем в природе наблюдается большое число барионных октетов (см., например, сайт PDG: pdg.lbl.gov), массовые расстояния (полосы) между которыми не объясняются формулами (1)–(4). Как правило, все значения масс, предсказываемых в $SU(3)$ -, $SU(6)$ - и $SU(6) \times O(3)$ -моделях, имеют низкую точность (в среднем 4%-6%).

Как известно, в стандартной модели (СМ) число основных параметров равно 18:

$$m_e, m_w, m_d; m_\mu, m_s, m_c; m_\tau, m_b, m_t;$$

$$\theta_w, \theta_d, \theta, \delta;$$

$$M_w, M_h;$$

$$\alpha, \alpha_s, \alpha_W.$$

Тринадцать из этих постоянных напрямую связаны с массами фермионов, а именно – лептонов (m_e, m_μ, m_τ), кварков ($m_u, m_d, m_s, m_c, m_b, m_t$), включая углы смешивания ($\theta_w, \theta_d, \theta, \delta$). Число параметров СМ не является жёстко фиксированным. Так, в связи с тем что обнаружены нейтринные осцилляции, СМ нуждается в расширении, которое дополнительно вводит 3 массы нейтрино и как минимум 4 параметра РМНС-матрицы смешивания нейтрино (матрицы Понтекорво – Маки – Накагавы – Сакаматы), аналогичные СКМ-матрицы смешивания кварков и, видимо, ещё 2 параметра, если нейтрино являются майорановскими частицами. Все эти массовые параметры определяются согласно экспериментальным измерениям и не могут быть предсказаны в рамках СМ. СМ рассматривает эти массовые параметры как «*фундаментальные постоянные*». По этой причине стандартную модель следует рассматривать как первый шаг по направлению к более полной теоретической схеме. Как следствие данной ситуации, в СМ имеются три типа так называемых «*фундаментальных частиц*» (кварки, лептоны и калибровочные бозоны).

С. Вайнберг, подводя итоги развития физики элементарных частиц второй половины XX века, пишет: «Но сейчас мы застряли. Годы, прошедшие с середины 1970-х, были самыми бесплодными в истории физики элементарных частиц» [10. С. 8].

Естественно задать вопрос: в чем причина тупика, в котором сейчас находится физика элементарных частиц? Ответ может показаться парадоксальным, но главной причиной тупика видится атомная гипотеза, то есть представление о том, что материя есть некий агрегат, состоящий из фундаментальных (неделимых) субъединиц. Фейнман отмечал, что атомная гипотеза представляет собой наиболее важную и информативную часть научного знания. На официальном сайте ЦЕРН в качестве главной миссии провозглашается:

«At CERN, we probe the fundamental structure of the particles that make up everything around us» (<https://home.cern/about>). Представление о том, что все построено из частиц, что целое есть сумма своих частей, что все глобальные свойства системы S , взятой как целое, целиком и полностью определяются состояниями подсистем (частей) и их физическими взаимодействиями, составляет сущностное определение редукционизма и *принципа сепарабельности*. Возникающая при редукционистском описании корпускулярная картина приводит к механическому разделению целого на части, к построению механических моделей на микроуровне (планетарная модель Бора на атомном уровне, модель кварков на субатомном (адронном) уровне).

Однако, как известно, принцип сепарабельности, являющийся исходной посылкой редукционизма, имеет ограниченное применение в квантовой механике. Если подсистемы (части) системы S находятся в *несепарабельном* (запутанном) состоянии, то никакие глобальные свойства системы S , взятой как целое, *не зависят и не определяются* свойствами её частей. В рамках запутанной квантовой системы не имеется чистого состояния для какой-либо отдельной подсистемы, то есть никакая из подсистем S_1, S_2, \dots, S_N не обладает индивидуальным независимым существованием. В любом случае квантовой запутанности недопустимо рассматривать части *квантового целого* как автономные сущности. Иными словами, в случае несепарабельных состояний части «растворяются» в целом, превращая последнее в бесструктурное состояние. Представление о «бесструктурном» состоянии вовсе не означает, что за этим понятием не стоит никакой структуры вообще. Это лишь означает, что эта структура иного порядка, не привнесённая извне, как говорил Гейзенберг, из «репертуара классической физики», а структура, естественно вытекающая из математического аппарата квантовой механики (векторы состояния, группа симметрии, гильбертово пространство, тензорные произведения гильбертовых (\mathbb{K} -гильбертовых) пространств и т.д.).

Антитезой редукционизма является холизм. Квантовые феномены отличаются от феноменов классических своей холистичностью и несепарабельностью. Квантовая механика по своей природе холистична, её основные положения не требуют какой-либо привязки к пространству-времени. Этот факт находит все большее подтверждение в последних экспериментах по проверке неравенств Белла (опыты Фридмана – Клаузера, Аспе, Гринберга – Хорна – Цайлингера¹ и др.). Поскольку вся «физика элементарных частиц» – это по преимуществу область квантовых феноменов, то естественным образом возникает необходимость описания этой области с позиции холизма. Существовали ли в истории физики попытки холистического описания «элементарных частиц»? Первой и, пожалуй, единственной попыткой такого рода была *нелинейная спинорная теория материи* Гейзенберга [11; 12].

¹ На момент написания этой статьи (ноябрь 2022 г.) трое из перечисленных исследователей (Дж. Клаузер, А. Аспе, А. Цайлингер) были удостоены Нобелевской премии по физике за «эксперименты с запутанными фотонами, установление нарушения неравенств Белла и новаторство в квантовой информатике».

1. Элементарная длина

По мнению Гейзенберга, трудности теории элементарных частиц носят глубоко принципиальный характер, столь же затрагивающие основные принципы, как трудности теории электромагнитных явлений до создания теории относительности и трудности теории атомных явлений до создания квантовой теории. В статье «Границы применимости современной квантовой теории» (1938 г.) [13] он отметил, что расхожимости «препятствуют формулировке в замкнутой форме квантовой теории элементарных частиц, которая позволила бы объяснить явления, наблюдаемые в ядерной физике и в космических лучах» [13. С. 272]. И далее Гейзенберг вводит понятие *элементарной длины*: «Это обстоятельство наводит на мысль, о том, что в теории элементарных частиц существенную роль играет некая универсальная постоянная, имеющая размерность длины, и что все расхожимости исчезнут, если должным образом учесть эту постоянную» [13. С. 272]. Гейзенберг обосновывает классический радиус электрона

$$r_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{m_e c^2} = 2,8179403227(19) \times 10^{-15} \text{ м}$$

как фундаментальный масштаб (с точностью до порядка) $r_e \sim l_0$: «По данным ядерной физики универсальная длина по порядку величины сравнима с классическим радиусом электрона $r_0 = 2,81 \cdot 10^{-13}$ см. Среди характерных проявлений универсальной длины можно назвать существование элементарных частиц с массой около $\hbar/r_0 c$ (к их числу принадлежат нейтроны, протоны, тяжелые электроны), ядерные силы, действующие на расстоянии r_0 и, наконец, взрывообразные процессы при столкновении частиц с энергией, превышающей $\hbar c/r_0$ в системе центра масс. В то же время можно предположить, что универсальная длина указывает границы применимости современной теории, так же как \hbar и c определяют границы применимости классической физики» [13. С. 272].

Основываясь на масштабе $l_0 \sim 10^{-13}$ см, как фундаментальном, Гейзенберг в 1950-е годы развил нелинейную квантовую теорию поля. Подход Гейзенберга [11] был основан на нелинейном обобщении уравнения Дирака при предположении полевой сущности массы. В основу теории Гейзенберга кладется некоторое фундаментальное спинорное поле («праматерия»), описываемое нелинейным волновым уравнением, в котором член с массой был заменен на нелинейный член с коэффициентом l_0 :

$$i\sigma^\nu \frac{\partial \chi(x)}{\partial x^\nu} + l_0^2 \sigma^\nu: \chi(x) (\chi^*(x) \sigma_\nu \chi(x)) := 0.$$

Здесь полевой оператор $\chi(x)$ определяется как двухкомпонентный (вейлевский) спинор относительно преобразований Лоренца и как двухкомпонентный спинор в изопространстве, σ^ν – матрицы Паули. Гейзенберг полагал, что возбужденные состояния поля (праматерии) $\chi(x)$ приводят к различным реально наблюдаемым частицам, составляющим спектр материи.

По Гейзенбергу, именно величина l_0 задает также характерный масштаб масс элементарных частиц. Приняв за единицу массы

$$\frac{\hbar}{cl_0} = \frac{70 \text{ Мэв}}{c^2},$$

мы получаем с хорошей степенью точности массы покоя частиц [14]:

μ – мезон = 3/2	Λ – гиперон = 16
π – мезон = 2	Σ – гиперон = 17
K – мезон = 7	Ξ – гиперон = 19
η – мезон = 8	электрон = 1/137
$\text{протон и нейтрон} = 13,5$	фотон, нейтрино и гравитон = 0.

2. Бальмероподобные формулы

Впервые отмеченную Гейзенбергом в 1938 году зависимость масштаба масс элементарных частиц от фундаментальной длины l_0 далее (в 1952 г.) продолжил Ёитиро Намбу в работе [15]. Намбу обратил внимание на существование эмпирических («бальмероподобных») зависимостей в спектре масс элементарных частиц, подчиняющихся следующей формуле:

$$m_N = (N/2)137 \cdot m_e, \tag{5}$$

где N – положительное число, m_e – масса электрона. В дальнейшем эмпирические зависимости вида (5) изучались многими авторами [16–22].

Формула Намбу (5) может быть записана также через постоянную тонкой структуры:

$$m = \frac{N}{2\alpha} m_e, \tag{6}$$

что приводит к так называемому α -квантованию масс элементарных частиц.

В 2003 году Сидхарт [23] предложил следующую эмпирическую формулу:

$$\text{mass} = 137 \cdot m \left(n + \frac{1}{2} \right), \tag{7}$$

где m и n – положительные целые числа. Формула Сидхарта (7) описывает весь спектр масс элементарных частиц (известный на момент 2003 г.) с точностью до 3%. Сидхарт предпринимал попытки связать числа m и n с квантовыми числами гармонического осциллятора. Действительно, формула (7) очень похожа на формулу для энергии квантового гармонического осциллятора $E_n = \hbar\omega(n + 1/2)$, $n = 0, 1, 2, \dots$. Однако теоретический смысл этих чисел, как и числа N в других «бальмероподобных» формулах (формулы (5)–(6)), остается неясным.

Далее, в 1979 году Азим Орхан Барут [24] предложил массовую формулу для лептонов:

$$m(N) = m_e \left(1 + \frac{3}{2} \alpha^{-1} \sum_{n=0}^{n=N} n^4 \right), \tag{8}$$

где $\alpha \approx 1/137$ – постоянная тонкой структуры. Согласно (8) массы электрона, мюона и τ -лептона определяются при $N = 0, 1$ и 2 соответственно.

В связи с массами заряженных лептонов уместно вспомнить еще одну эмпирическую массовую формулу. В 1983 году Койде [25] предложил следующую формулу:

$$m_e + m_\mu + m_\tau = \frac{2}{3} (\sqrt{m_e} + \sqrt{m_\mu} + \sqrt{m_\tau})^2,$$

связывающую массы заряженных лептонов. Интересно отметить, что предсказанное Койде (на основании этой формулы) значение массы тау-лептона (1777 MeV) практически идеально совпадает с современным экспериментальным значением массы этой частицы, в то время как на момент 1983 года это значение равнялось 1784 MeV. О формуле Койде, её интерпретациях и приложениях см. [26–28].

В связи с вышеизложенным возникает следующая задача: дать теоретико-групповую интерпретацию эмпирических зависимостей в бальмероподобных формулах спектра масс, то есть дать теоретическое обоснование числа N в формуле Намбу (5).

3. Что такое элементарная частица?

Прежде чем говорить что-либо осмысленное о спектре масс элементарных частиц (14-я проблема Гинзбурга), необходимо определиться с понятием «элементарная частица», иначе вся постановка проблемы не имеет смысла (спектр «неизвестно чего»?). На самом деле это центральный (ключевой) вопрос, этим вопросом («что такое элементарная частица?») задавались Гейзенберг [29], Шрёдингер [30], Марков [31]. Отцы-основатели квантовой механики (Гейзенберг, Шрёдингер) в своих статьях с одинаковым названием не дали ясного однозначного ответа на этот вопрос. И до сих пор не существует единого общепринятого понятия о данном феномене (квантовом микрообъекте). Как следствие возник широкий спектр нечётких и размытых представлений о квантовом микрообъекте. В недавней статье «Что такое частица?» [32] Вулховер суммирует эти представления. Перечислим некоторые из них:

- 1) частица как результат коллапса волновой функции;
- 2) частица как возмущение квантованного поля;
- 3) частица как неприводимое представление группы;
- 4) частица как вибрация струны;
- 5) частица как деформация информационного океана.

Первое представление (оно же и исторически первое) связано с постулатом Дирака-фон Неймана о редукции квантовой суперпозиции (так называемый коллапс волновой функции). Это представление говорит о том, что «частица» (квантовый микрообъект) есть *актуализированная* часть («верхушка айсберга») бесконечного множества *потенциально* существующих состояний (квантовой суперпозиции). О втором представлении более подробно будет сказано ниже. Третья интерпретация восходит к работе Вигнера [33], в которой элементарная частица описывается неприводимым представлением

группы Пуанкаре. В данном подходе главенствующую роль приобретает понятие симметрии. Гейзенберг отмечал: «„В начале была симметрия“ – идея, безусловно, более правильная, чем демокритовский тезис „в начале была частица“. Элементарные частицы являются воплощениями симметрий, их простейшими выражениями, однако они – лишь следствие симметрий» [1. С. 349]. Пятое представление восходит к Уг-гипотезе фон Вайцеккера [34], а также к гипотезе пространственно-временного кода Финкельштейна [35]. Согласно этому представлению, фундаментальным первоэлементом является бит информации, а все материальные объекты есть некие «конструкты» информационного поля.

Возвращаясь к проблеме холистического описания квантовых микрообъектов, необходимо прежде всего выяснить, чем является понятие «элементарная частица» с позиции холизма. В отличие от редукционизма, где это понятие является базовым формообразующим элементом, посредством которого определяется *целое* как сумма своих частей, в холизме это понятие приобретает второстепенную (подчиненную) роль либо полностью растворяется в *целом*. Теперь уже часть не обладает автономной сущностью, а представляет собой некоторое *состояние целого, модус субстанции*. В связи с этим полезно вспомнить три теоремы Спинозы о субстанции [36]:

Субстанция по природе первое своих состояний (Теорема 1 [36. С. 363]);

Всякая субстанция необходимо бесконечна (Теорема 8 [36. С. 365]);

Субстанция абсолютно бесконечная неделима (Теорема 13 [36. С. 372]).

Эти три теоремы основоположника европейского пантеизма представляют собой три базовых холистических принципа: целое больше своих частей, субстанция (энергия) бесконечна, целое (субстанция) неделимо.

Итак, с позиции холизма понятие «элементарная частица», не обладающее автономной сущностью, является состоянием субстанции (целого). М.А. Марков в статье «О современной форме атомизма» [31], анализируя эволюцию понятия «элементарная частица», приходит к выводу: «Если дано понятие поля, то дальше следует определение: элементарная частица – атом данного поля. Только в этом случае слово „атом“ современной физики заменяется словом „квант“. Данная элементарная частица – это простейший элемент данного поля, или просто „квант данного поля“» [31. С. 412]. Согласно Маркову, частица – это квант поля, *если дано понятие поля*, то есть поле – это первостепенное понятие, частица (квант) – второстепенное (производное от поля). Легко видеть, что определение частицы по Маркову согласуется со вторым представлением частиц в перечислении Вулховер [32] (частица как возмущение квантованного поля). Здесь же уже виден эмерджентный характер частиц (возмущение поля) и даже просматривается первая теорема Спинозы. Однако отождествление поля и субстанции неправомерно. Поле является необходимым атрибутом концепции близкодействия, определение поля требует наличия пространственно-временного континуума (для передачи взаимодействия от точки к точке). Понятие кванта возникло вне какой-либо связи с полевыми представлениями. Более того, дискретность энергии (закон Планка) находится в противоречии с непрерывностью континуума. С позиции холизма частица – это не квант поля, а *квант энергии*.

Еще ближе к пониманию холистической природы квантовых микрочастиц подошел Гейзенберг. В статье «О математических основах теории элементарных частиц» [37] Гейзенберг отмечает, что «частица» – это способ, которым реализуется то или иное *состояние* некоего «единого поля»: «...будущей теории элементарных частиц придется принять за исходное некое единое поле, называемое просто „веществом“ или „энергией“, а не частицы какого-нибудь специального типа. Для этого единого поля можно указать некоторые коммутационные соотношения и полевые уравнения, приводящие к существованию непрерывных и дискретных собственных значений. Дискретные собственные значения описывают „частицы“, которые в зависимости от принятого соглашения можно назвать элементарными или составными, не проводя строгого различия между определениями тех и других» [37. С. 373]. Здесь Гейзенберг отождествляет исходное «единое поле» с энергией (субстанцией), а состояния (уровни энергии) субстанции с дискретными собственными значениями приписываются «частицам», вторичным по отношению к субстанции понятиям (модусы субстанции). По сути, здесь повторяется первая теорема Спинозы: «...различные элементарные частицы можно рассматривать как разные формы существования фундаментальной субстанции – материи или энергии» [11. С. 12]. Однако Гейзенберг полагал, что «единое поле» $\chi(x)$ (праматерия) определено в пространстве-времени, кроме того, нелинейное уравнение для $\chi(x)$ требовало введения гильбертова пространства с индефинитной метрикой. «Элементарные частицы» представлялись как возмущения поля $\chi(x)$ посредством спектр-генерирующего нелинейного члена в уравнении Гейзенберга. Уже на тот момент (конец 1950-х гг.) эта спектр-генерирующая схема оказалась слишком узкой для описания все более возрастающего числа открываемых частиц. Бор назвал теорию Гейзенберга «недостаточно сумасшедшей», чтобы быть истинной².

В подходе Гейзенберга, опирающемся на полевые представления, пространственно-временной континуум, в котором определено нелинейное уравнение «поля материи», имеет статус фундаментального уровня. Ограниченный характер спектр-генерирующего механизма нелинейной спинорной теории материи обусловлен именно этим обстоятельством. Здесь как нельзя кстати слова де Бройля: «...мы должны с большими или меньшими трудностями втиснуть микроскопические явления в рамки понятий пространства и времени, хотя нас все время будет беспокоить чувство, что мы пытаемся втиснуть алмаз в оправу, которая ему не подходит» [39. С. 177]. Однако с тех пор фундаментальный статус пространства-времени, все более подвергаемый сомнению, в последнее время трансформировался в убеждение, поддерживаемое сейчас многими авторами, о том, что континуум есть *эмерджентная конструкция* (твисторная программа Пенроуза [40], бинарная геометрофизика Ю.С. Владимирова [41], теория декогеренции Зурека [42]).

² Это произошло на лекции Паули в Колумбийском университете (1958 г.), посвященной нелинейной спинорной теории материи. Как известно, в 1957 году Паули присоединился к Гейзенбергу в исследовании групповых свойств его уравнения. Гейзенберг в очерке «Единая теория поля» [38] так пишет о Паули: «У него появилась твердая надежда, что это уравнение, являющееся по своей простоте и высокой симметрии уникальным образованием, должно стать верной отправной точкой для единой теории поля элементарных частиц» [38. С. 344].

Теории, претендующей быть «достаточно сумасшедшей» по Бору, необходимо выйти за пределы континуума.

4. Спектр материи

Несмотря на все шероховатости и трудности единой нелинейной спинорной теории материи, главной заслугой подхода Гейзенберга является четкая постановка холистической парадигмы в описании квантовых микрообъектов: демокритовский тезис «в начале была частица» заменяется на «в начале была симметрия (энергия)» (целое предшествует своим частям). Отсюда следует отрицание фундаментальной роли «элементарных частиц» как неких кирпичиков мироздания, их низведение до роли эмерджентных производных состояний целого (модусов субстанции). Как следствие, формулировка «спектр элементарных частиц», теряющая фундаментальный смысл, заменяется на *спектр материи* (спектр субстанции).

Следуя Гейзенбергу, будем считать, что на фундаментальном уровне (микроуровне) основной наблюдаемой является энергия, природа которой согласно закону Планка дискретна³, то есть «гранулирована», а «гранулой» (минимальной дискретной порцией) является квант энергии. Под *фундаментальным уровнем* понимается уровень, на котором реализуется масштаб элементарной длины l_0 . Последующее изложение основано на интерпретации «элементарной частицы» как *кванта энергии* и алгебраическом квантовании (ГНС-конструкция), в котором основным оператором C^* -алгебры является оператор энергии H . Приведём следующую систему определений (аксиом) [43]:

А.І (Энергия и фундаментальная симметрия). *Единая квантовая система \mathbf{U} на фундаментальном уровне характеризуется C^* -алгеброй \mathfrak{A} с единицей, состоящей из оператора энергии H и присоединённых к H генераторов группы фундаментальной симметрии G_f , образующих с H общую систему собственных функций.*

А.ІІ (Состояния). *Физическое состояние C^* -алгебры \mathfrak{A} определяется циклическим вектором $|\Phi\rangle$ представления πC^* -алгебры в сепарабельном гильбертовом пространстве \mathcal{H}_∞ :*

$$\omega_\Phi(H) = \frac{\langle \Phi | \pi(H) \Phi \rangle}{\langle \Phi | \Phi \rangle}.$$

Множество $PS(\mathfrak{A})$ всех чистых состояний C^ -алгебры \mathfrak{A} совпадает с множеством всех состояний $\omega_\Phi(H)$, ассоциированных со всеми неприводимыми циклическими представлениями π алгебры \mathfrak{A} , $|\Phi\rangle \in \mathcal{H}_\infty$ (конструкция Гельфанда – Наймарка – Сигала).*

А.ІІІ (Пространство лучей). *Множество всех чистых состояний $\omega_\Phi(H)$ при выполнении условия $\omega_\Phi(H) \geq 0$ образует физическое \mathbb{K} -гильбертово пространство $\mathcal{H}_{phys}(\mathbb{K})$ (ГНС-гильбертово пространство, снабженное*

³ Уже здесь, на первом шаге, отрицается континуум.

\mathbb{K} -структурой*-кольца). Для каждого вектора состояния $|\Psi\rangle \in \mathcal{H}_{phys}$ существует единичный луч $\Psi = e^{i\alpha}|\Psi\rangle$, где α пробегает все вещественные числа и $\sqrt{\langle \Phi | \Phi \rangle} = 1$. Пространство лучей есть фактор-пространство $\tilde{\mathcal{H}} = \mathcal{H}_{phys}/S^1$, то есть проективное пространство одномерных подпространств из \mathcal{H}_{phys} . Все состояния единой квантовой системы \mathbf{U} описываются единичными лучами.

A.IV (Аксиома спектральности). В $\tilde{\mathcal{H}}$ существует полная система состояний с неотрицательной энергией.

В первой аксиоме даются определения основных структурных составляющих формализма. Согласно фон Нейману [44], примитивными (неопределяемыми) понятиями формализма квантовой механики являются *система*, *наблюдаемая* и *состояние*. В качестве наблюдаемой берется C^* -алгебра, состоящая из оператора энергии H и присоединенных к H генераторов группы фундаментальной симметрии G_f . Здесь необходимо сделать пояснение, касающееся группы G_f . Фундаментальная симметрия 4G_f необходима для структуризации уровней энергии, поскольку собственные подпространства оператора энергии H совпадают с пространствами неприводимых представлений группы G_f . Группа G_f служит основой для последующего спектр-генерирующего механизма, задаваемого ГНС-конструкцией. Группа G_f является *группой фундаментальной симметрии* C^* -алгебры наблюдаемых \mathfrak{A} , если задан гомоморфизм $g \rightarrow (\alpha_g, \alpha'_g)$ группы G_f в группу всех симметрий системы $(\mathfrak{A}, S(\mathfrak{A}))$, здесь $S(\mathfrak{A})$ – множество состояний, $\alpha: \mathfrak{A} \rightarrow \mathfrak{A}$ и $\alpha': S(\mathfrak{A}) \rightarrow S(\mathfrak{A})$ – биекции, удовлетворяющие условию согласования $(\alpha'\omega)(\alpha A) = \omega(A)$ для всех $A \in \mathfrak{A}$, $\omega \in S(\mathfrak{A})$. Будем всегда предполагать, что G_f – некомпактная группа Ли (например, группа Лоренца или конформная группа). Тогда выполняется следующее условие непрерывности: при любом физическом состоянии $\omega \in S(\mathfrak{A})$ и любом фиксированном $A \in \mathfrak{A}$ функция $g \rightarrow \omega(\alpha_g(A))$ непрерывна по g . При этом группа G_f унитарно-антиунитарно реализована, если существует непрерывное представление $g \rightarrow U_g$ группы G_f унитарными или антиунитарными операторами (в соответствии с тем, являются ли α_g алгебраическими автоморфизмами или антиавтоморфизмами⁵) в гильбертовом пространстве \mathcal{H}_∞ , такое, что для всех $A \in \mathfrak{A}$, $g \in G_f$ имеет место $\alpha_g(A) = U_g A^{(*)} U_g^{-1}$, где $A^{(*)}$ есть A для унитарного U_g и A^* для антиунитарного U_g .

Вторая аксиома задает спектр-генерирующий механизм в рамках ГНС-конструкции. Возникающее при этом ГНС-гильбертово пространство является эмерджентной конструкцией, явный вид которой зависит от конкретного выбора группы G_f (так называемое «одевание» операторной алгебры). Согласно ГНС-конструкции, для любого состояния ω на C^* -алгебре

⁴ Это именно та симметрия, которая согласно Гейзенбергу, «была в начале».

⁵ В рамках *универсальной накрывающей* фундаментальной группы $\tilde{G}_f = \mathbf{Pin}(p, q)$ CPT – группа задается автоморфизмами и антиавтоморфизмами алгебры Клиффорда $Cl_{p,q}$ [45–49]. При этом структура автоморфизма $\mathcal{A} \rightarrow \tilde{\mathcal{A}}$, задающего зарядовое сопряжение C , определяет распределение по заряду физических состояний \mathbb{K} -гильбертова пространства.

\mathfrak{A} можно определить циклическое представление π_ω алгебры \mathfrak{A} в гильбертовом пространстве \mathcal{H}_∞ с циклическим вектором $|\Phi\rangle$ так, что $\omega(a) = \langle \Phi | \pi_\omega(a) | \Phi \rangle$, $\forall a \in \mathfrak{A}$. Представление π_ω определено этими условиями однозначно с точностью до унитарной эквивалентности (соотносящей циклические векторы различных представлений). Далее, каждое состояние ω определяет некоторое представление алгебры \mathfrak{A} , причем результирующее представление π_ω неприводимо в точности тогда, когда состояние ω является чистым.

В третьей аксиоме определяется физическое \mathbb{K} -гильбертово пространство ($\mathbb{K} = \mathbb{R}, \mathbb{C}, \mathbb{H}$), в рамках которого посредством канонического соответствия $\omega \leftrightarrow \pi_\omega$ реализуется «троичный путь» Дайсона [50; 51], то есть симметрия между кватернионными, комплексными и вещественными представлениями группы G_f . Это позволяет определить заряженные (\mathbb{C}), нейтральные (\mathbb{H}) и чисто нейтральные (\mathbb{R}) состояния спектра материи, а также задать динамическую связь между спином, зарядом и массой посредством тензорного произведения [52].

Таким образом, в определениях аксиом А.I-А.IV реализуется единая квантовая система \mathbf{U} , состоящая из C^* -алгебры (оператор энергии H и генераторы группы G_f) и \mathbb{K} -гильбертова пространства $\mathcal{H}_{phys}(\mathbb{K})$, порождаемого ГНС-конструкцией. Циклические векторы пространства $\mathcal{H}_{phys}(\mathbb{K})$ изображают все возможные состояния системы \mathbf{U} – спектр материи. При конкретном выборе группы G_f собственные векторы оператора энергии H с дискретными собственными значениями задают стационарные состояния системы \mathbf{U} . Так, при $G_f = SO_0(1,3)$ (группа Лоренца) спектр материи есть спектр «элементарных частиц» [53; 54], полный список которых представлен в Particle Data Group [55]. При $G_f = SO_0(2,4)$, где $SO_0(2,4)$ – конформная группа, приходим к периодической системе химических элементов [56–60]. В этом случае стационарные состояния системы \mathbf{U}_A соответствуют атомам элементов. При ограничении группы $SO_0(2,4)$ на подгруппу $SO_0(1,3)$ получаем редукцию $\mathbf{U}_A \rightarrow \mathbf{U}_E$. В рамках квантовой подсистемы \mathbf{U}_E циклические векторы пространства $\mathcal{H}_{phys}(\mathbb{K})$ изображают элементарные частицы. Согласно известному высказыванию В. Вайскопфа, ядерная физика и физика элементарных частиц – это не две разные науки, а одна наука. В данном случае квантовая система \mathbf{U}_A представляет собой более высокий уровень организации материи (более сложная симметрия G_f) относительно своей подсистемы \mathbf{U}_E .

Далее, имеет место тройственное разделение симметрий спектра материи. А именно, фундаментальные симметрии G_f участвуют в образовании чистых состояний (лучей) квантовой системы \mathbf{U} и соответствующих когерентных подпространств в $\mathcal{H}_{phys}(\mathbb{K})$, динамические симметрии G_d описывают переходы между состояниями из различных когерентных подпространств, калибровочные симметрии G_g связывают чистые состояния внутри когерентных подпространств. Все динамические симметрии G_d (так называемые «внутренние» симметрии, компактные группы $SU(n)$) могут быть подняты в \mathbb{K} -гильбертово пространство посредством техники центрального расширения [61; 62]. При этом $SU(3)$ -, $SU(4)$ -, $SU(5)$ -систематика адронных

спектров включается как частный случай. Динамические симметрии $G_d = SU(n)$ связывают между собой различные циклические векторы \mathbb{K} -гильбертова пространства, то есть образуют *квантовые переходы* между состояниями (уровнями спектра материи). Естественно считать, что операторы группы G_d или её подгруппы связывают между собой родственные состояния⁶, то есть состояния, близкие по своим характеристикам, что и выражается приближёнными симметриями динамических групп G_d , которые, по этой причине, более правильно называть «внешними» симметриями, а не «внутренними». Очевидно, что при таком *внешнем* описании групп G_d кварковый («внутренний») состав адронов обращается в фикцию.

Возвращаясь к определению понятия «элементарная частица» в рамках холистического подхода, следует отметить, что каждое из пяти представлений, перечисленных из списка Вулховер, очевидно, не претендует на полноту, но, тем не менее, отражает⁷ в отдельности какую-либо существенную черту квантового микрообъекта. Покажем, что холистическое описание «элементарной частицы» как модуса субстанции включает в себя первые три представления из списка Вулховер как частные случаи. Первое представление «частица как результат коллапса волновой функции» приводит к концепции Гейзенберга – Фока [63; 64], согласно которой (по Аристотелю) реальность имеет двухуровневую структуру: *δυναμις* (динамис) – бытие в возможности (потенция) и *ἐντελεχεια* (энтелехия) – бытие действительного (проявленный мир). Квантовый микрообъект (квант энергии) есть модус бытия действительного, результат коллапса квантовой суперпозиции (несепарабельного состояния), существующей в потенции, то есть субстанции, взятой как целое [65]. Как уже отмечалось выше, второе представление «частица как возмущение квантованного поля» выражает эмерджентный характер состояний, только теперь уже не «поля», а субстанции (энергии) в рамках холистической парадигмы. Наконец, «частица как неприводимое представление группы» (интерпретация Вигнера) в силу канонического соответствия $\omega \leftrightarrow \pi_\omega$ ГНС-конструкции включается автоматически.

В заключении этого параграфа коснемся проблемы взаимодействия. Как уже отмечалось, главной ошибкой Гейзенберга явилось отождествление «поля» и «субстанции», что помешало его теории стать «достаточно сумасшедшей» по Бору. Определение поля требует наличия континуума для передачи взаимодействия от точки к точке, что приводит к концепции близкодействия. Можно сказать, что континуум порождает поле. В полевой картине взаимодействия ныне господствующей редукционистской парадигмы взаимодействие между «фундаментальными частицами» реализуется посредством механической модели обмена «частицами-переносчиками» взаимодействия (калибровочными бозонами). Однако в силу дискретной природы энергии (закон Планка) наличие континуума на фундаментальном уровне является излишней предпосылкой, более того, предпосылкой, сильнейшим образом затрудняющей и затемняющей существо дела.

⁶ В случае квантовой системы U_d аналогичную роль играют операторы Γ_+ и Γ_- , связывающие *гомологические ряды* периодической системы элементов (см. [58; 59]).

⁷ Может быть, за исключением четвертого представления.

Элиминация континуума на фундаментальном уровне ($\sim l_0$) приводит к исчезновению поля, а вместе с исчезновением поля происходит разрушение всей полевой картины взаимодействия, построенной на механических моделях классической физики (лагранжианы, полевые уравнения и т.д.). По этой причине полевое уравнение Гейзенберга оказалось неработоспособным, поскольку на этом уровне методы классической (макроскопической) физики непригодны. Как известно, антитезой концепции близкодействия является *концепция дальнего действия*.

Холистическая парадигма требует введения концепции дальнего действия. В связи с этим возникает вопрос: каким образом может быть реализована концепция дальнего действия в рамках субстанциональной теории материи (спектра материи)? Поскольку состояния не фундаментальны, а имеют эмерджентный характер, то определять между ними какие-либо механические модели взаимодействия не имеет смысла. Дальнее действие реализуется на уровне субстанции. На этом уровне все состояния имеют общую волновую функцию – это «неразделимая целостность» по меткому выражению Гёрница [66] (*partless wholeness*). Циклические векторы \mathbb{K} -гильбертова пространства задают чистые сепарабельные состояния ω спектра материи, которые также образуют сепарабельные состояния, если их произведения образуют линейную выпуклую комбинацию, в противном случае образуется *несепарабельное* (запутанное) состояние, то есть исходные состояния взаимодействуют. Очевидно, что это взаимодействие не механического (силового) плана.

По всей видимости, академик А.Д. Александров был первым, кто обратил внимание на реализацию концепции дальнего действия посредством несепарабельных состояний [67–69]. В статье 1952 года «О парадоксе Эйнштейна в квантовой механике» он пишет: «Связь частиц, отражаемая в наличии у них общей функции не есть, конечно, механическая связь посредством веревок или сил; это есть особая форма связи в зависимости от условий. Но именно взаимная связь, выражаемая наличием общей функции ψ , есть главная основа всех успехов квантовой теории систем из многих частиц. Одна из важнейших особенностей квантовой механики состоит именно в том, что она открыла новую форму взаимной связи явлений в атомной области» [67. С. 256]. Итак, при включении взаимодействия (дальнего действия) возникает несепарабельное гильбертово пространство. В связи с этим следует отметить, что первым к идее введения в квантовую теорию несепарабельных гильбертовых пространств пришел Дирак. Дирак показал [70], что в квантовой теории поля в силу интенсивности взаимодействий шредингеровский вектор состояния будет выбит из сепарабельного гильбертова пространства за кратчайшее время. Как следствие этого не существует решения уравнения Шредингера и в целом шредингеровская картина, на которой базируется вся аксиоматика локальной квантовой теории поля (а также полевая картина взаимодействия), является неработоспособной. Дирак пишет: «Таким образом, общепринятую трактовку квантовой теории поля следует рассматривать в качестве паллиатива без всякого будущего» [70. С. 7]. Дирак отдает предпочтение картине Гейзенберга, в которой, в отличие от картины Шредингера, допустимо введе-

ние несепарабельного гильбертова пространства в силу независимости векторов состояния от времени: «Все это заставляет думать, что картина Гейзенберга хорошая картина, а картина Шредингера плохая и что обе картины неэквивалентны» [70. С. 14].

5. Массовая формула

Обратимся теперь к решению задачи, поставленной в конце п. 3, то есть к нахождению теоретического обоснования числа N в бальмероподобных формулах (5)–(6).

Итак, основной наблюдаемой спектра материи является энергия, которой соответствует эрмитов оператор H . Пусть $G_f = SO_0(1,3) \simeq SL(2, \mathbb{C})/\mathbb{Z}_2$ – группа фундаментальной симметрии, где $SO_0(1,3)$ – группа Лоренца. В силу изоморфизма $SL(2, \mathbb{C}) \simeq \mathbf{Spin}_+(1,3)$ будем рассматривать *двулистную накрывающую* фундаментальной симметрии $\tilde{G}_f \simeq \mathbf{Spin}_+(1,3)$. Пусть оператор энергии H определен на сепарабельном гильбертовом пространстве \mathcal{H}_∞ . Тогда все возможные значения энергии (состояния) являются собственными значениями оператора H . При этом, если $E_1 \neq E_2$ – собственные значения H , $a|\Phi_1\rangle$ и $b|\Phi_2\rangle$ – принадлежащие им собственные векторы в пространстве \mathcal{H}_∞ , то $\langle \Phi_1 | \Phi_2 \rangle = 0$. Все собственные векторы, принадлежащие данному собственному значению E , образуют вместе с нулевым вектором *собственное подпространство* H_E гильбертова пространства \mathcal{H}_∞ . Все собственные подпространства $H_E \in \mathcal{H}_\infty$ конечномерны. Далее, пусть X_l, Y_l – инфинитезимальные операторы комплексной оболочки групповой алгебры $sl(2, \mathbb{C})$ двулистной накрывающей \tilde{G}_f , $l = 1, 2, 3$. Как известно, оператор энергии H перестановочен со всеми операторами в \mathcal{H}_∞ , представляющими алгебру Ли группы \tilde{G}_f . Рассмотрим произвольное собственное подпространство H_E оператора энергии H . Поскольку операторы X_l, Y_l и H коммутируют между собой, то, как следствие, для этих операторов можно построить общую систему собственных функций. Это значит, что подпространство H_E инвариантно относительно операторов X_l, Y_l (более того, операторы X_l, Y_l можно рассматривать *только на* H_E). Далее, пусть дано некоторое *локальное представление* группы \tilde{G}_f операторами, действующими в \mathcal{H}_∞ . Потребуем, чтобы все представляющие операторы были перестановочны с H . Тогда каждое собственное подпространство H_E оператора энергии инвариантно относительно операторов X_l, Y_l комплексной оболочки. Это позволяет отождествить подпространства H_E с симметрическими пространствами $\text{Sym}_{(k,r)}$ зацепляющихся представлений $\tau_{k/2,r/2}$ группы Лоренца и тем самым получить конкретную реализацию («одевание») операторной алгебры $\pi(\mathfrak{A}) \rightarrow \pi(H)$, где $\pi \equiv \tau_{k/2,r/2}$. Отсюда следует, что каждое возможное значение энергии (уровень энергии) является векторным состоянием вида

$$\omega_\Phi(H) = \frac{\langle \Phi | \pi(H) \Phi \rangle}{\langle \Phi | \Phi \rangle} = \frac{\langle \Phi | \tau_{k/2,r/2}(H) \Phi \rangle}{\langle \Phi | \Phi \rangle}, \quad (9)$$

ассоциированным с представлением $\pi \equiv \tau_{k/2, r/2}$ и соответствующим ненулевому циклическому вектору $|\Phi\rangle \in \mathcal{H}_\infty$.

Поскольку $H_E \simeq \text{Sym}_{(k,r)}$ – собственное подпространство оператора энергии H , то величина E уровня энергии (*терма*) будет пропорциональна размерности пространства H_E , то есть $E \sim \dim H_E$. Учитывая размерность физических величин и квантованный характер энергии, получим $E \sim E_0 \dim H_E$, где E_0 – минимальная порция энергии (квант энергии). Размерность $\dim H_E$ равна

$$\dim \text{Sym}_{(k,r)} = (k + 1)(r + 1).$$

Следовательно,

$$E \simeq E_0 \left(\frac{k}{2} + \frac{1}{2} \right) \left(\frac{r}{2} + \frac{1}{2} \right), \quad (10)$$

где $k/2 = l$ и $r/2 = i$, k и r – числа сомножителей \mathbb{C}_2 и $\dot{\mathbb{C}}_2$ (бикватернионных алгебр) в тензорном произведении

$$\underbrace{\mathbb{C}_2 \otimes \mathbb{C}_2 \otimes \dots \otimes \mathbb{C}_2}_{k \text{ раз}} \otimes \underbrace{\dot{\mathbb{C}}_2 \otimes \dot{\mathbb{C}}_2 \otimes \dots \otimes \dot{\mathbb{C}}_2}_{r \text{ раз}}$$

или числа сомножителей \mathbb{S}_2 и $\dot{\mathbb{S}}_2$ (двумерных спинпространств) в тензорном произведении

$$\underbrace{\mathbb{S}_2 \otimes \mathbb{S}_2 \otimes \dots \otimes \mathbb{S}_2}_{k \text{ раз}} \otimes \underbrace{\dot{\mathbb{S}}_2 \otimes \dot{\mathbb{S}}_2 \otimes \dots \otimes \dot{\mathbb{S}}_2}_{r \text{ раз}},$$

а также числа сомножителей $\tau_{\frac{1}{2},0}$ и $\tau_{0,\frac{1}{2}}$ (фундаментальных представлений) в тензорном произведении

$$\underbrace{\tau_{\frac{1}{2},0} \otimes \tau_{\frac{1}{2},0} \otimes \dots \otimes \tau_{\frac{1}{2},0}}_{k \text{ раз}} \otimes \underbrace{\tau_{0,\frac{1}{2}} \otimes \tau_{0,\frac{1}{2}} \otimes \dots \otimes \tau_{0,\frac{1}{2}}}_{r \text{ раз}}$$

Положим в (10) $E = mc^2$ и $E_0 = m_e c^2$, где m_e – масса покоя электрона. Тогда

$$m \sim m_e \left(l + \frac{1}{2} \right) \left(i + \frac{1}{2} \right). \quad (11)$$

Равенство в формуле (11) получается при условии $m_e \equiv m_e$, что соответствует $l = 1/2, i = 0$ или $l = 0, i = 1/2$. Отсюда следует, что

$$m = 2m_e \left(l + \frac{1}{2} \right) \left(i + \frac{1}{2} \right). \quad (12)$$

Массовая формула (12) была впервые введена в статье [62].

Сравнивая формулы (12) и (6), получим следующее выражение для числа N :

$$N = 4\alpha \left(l + \frac{1}{2} \right) \left(i + \frac{1}{2} \right).$$

Таким образом, эмпирическое число N в формуле Намбу (5) приобретает теоретико-групповой смысл. А именно последнее соотношение показывает зависимость этого числа от квантовых чисел l и \dot{l} , задающих собственные значения $l(l+1)$ и $\dot{l}(\dot{l}+1)$ операторов Казимира \mathbf{X}^2 и \mathbf{Y}^2 группы Лоренца.

Литература

1. *Гейзенберг В.* Физика и философия. Часть и целое. М.: Наука, 1990.
2. *Гинзбург В. Л.* Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными // УФН. 1999. Т. 169. С. 419–441.
3. *Gell-Mann M.* Symmetries of Baryons and Mesons // Phys. Rev. 1962. Vol. 125. P. 1067–1084.
4. *Okubo S., Ryan C.* Quadratic mass formula in SU(3) // Nuovo Cimento. 1964. Vol. 34. P. 776–779.
5. *Beg M., Singh V.* Splitting of the 70-Plet of SU(6) // Phys. Rev. Lett. 1964. Vol. 13. P. 509–511.
6. *Фок В. А.* Вмещаются ли химические свойства атомов в рамки чисто пространственных представлений? // Периодический закон и строение атома. М.: Атомиздат, 1971. С. 107–117.
7. *Pauli W.* Zur Quantenmechanik des magnetischen Elektronen // Z. f. Phys. 1927. Vol. 43. P. 601.
8. *Ван дер Варден Б.* Принцип запрета и спин // Теоретическая физика 20 века. М.: Изд. ин. лит., 1962. С. 231–284.
9. *Capstick S., Roberts W.* Quark Models of Baryon Masses and Decays // Prog. Part. Nucl. Phys. 2000. Vol. 45. P. S241–S331.
10. *Вайнберг С.* Мечты об окончательной теории. М.: Изд-во ЛКИ, 2008.
11. *Гейзенберг В.* Введение в единую полевую теорию элементарных частиц. М.: Мир, 1968.
12. *Иваненко Д. Д.* Попытка построения единой нелинейной спинорной теории материи // Нелинейная квантовая теория: сб. М.: Изд. ин. лит., 1959. С. 5–40.
13. *Гейзенберг В.* Границы применимости современной квантовой теории // Гейзенберг В. Избранные труды. М.: Эдиториал УРСС, 2001. С. 272–283.
14. *Сахаров А. Д.* Существует ли элементарная длина? // Академик А. Д. Сахаров. Научные труды: сборник. М.: АОЗТ «Издательство ЦентрКом», 1995. С. 384–397.
15. *Nambu Y.* An Empirical Mass Spectrum of Elementary Particles // Prog. Theor. Phys. 1952. Vol. 7. P. 595–596.
16. *Mac Gregor M. H.* Models for Particles // Lett. Nuovo Cim. 1970. Vol. 7. P. 211–214.
17. *Mac Gregor M. H.* The Power of Alpha: The Electron Elementary Particle Generation with Alpha-Quantized Lifetimes and Masses. World Scientific Publishing, Singapore, 2007.
18. *Palazzi P.* The meson mass system // Int. J. Mod. Phys. A. 2007. Vol. 22. P. 546–549.
19. *Shah G. N., Mir T. A.* Pion and muon mass difference: a determining factor in elementary particle mass distribution // Mod. Phys. Lett. A. 2008. Vol. 23. P. 53.
20. *Mir T. A., Shah G. N.* Order in the mass spectrum of elementary particles. 2008. URL: arXiv:0806.1130 [physics.gen-ph]
21. *Greulich K. O.* Calculation of the Masses of All Fundamental Elementary Particles with an Accuracy of Approx // J. Mod. Phys. 2010. Vol. 1. P. 300–302.
22. *Chiatti L.* A Possible Model for the Mass Spectrum of Elementary Particles // Phys. Essays. 2012. Vol. 25. P. 374–386.
23. *Sidharth B.G.* A Formula for the Mass Spectrum of Baryons and Mesons. 2003. URL: arXiv:physics/030601
24. *Barut A.O.* Lepton mass formula // Phys. Rev. Lett. 1979. Vol. 42. P. 1251.
25. *Koide Y.* New view of quark and lepton mass hierarchy // Phys. Rev. D. 1983. Vol. 28. P. 252.

26. *Rivero A., Gsponer A.* The strange formula of Dr. Koide. 2005. URL: arXiv:hep-ph/0505220
27. *Foot R.* A note on Koide's lepton mass relation. 1994. URL: arXiv:hep-ph/9402242
28. *Esposito S., Santorelli P.* A Geometric Picture for Fermion Masses. 1996. URL: arXiv:hep-ph/9603369
29. *Гейзенберг В.* Что такое элементарная частица? / Шаги за горизонт. М.: Прогресс, 1987. С. 163–177.
30. *Schrödinger E.* What is an elementary particle? // Endeavour. 1950. Vol. IX. N 35.
31. *Марков М. А.* О современной форме атомизма / Избранные труды: в 2 т. Т. 1: Квантовая теория поля, физика элементарных частиц, физика нейтрино, философские проблемы физики. М.: Наука, 2000. С. 408–438.
32. *Wolchover N.* What is a Particle? // Quantamagazine. 2020. Vol. 12. URL: www.quantamagazine.org
33. *Wigner E.P.* On unitary representations of the inhomogeneous Lorentz group // Ann. Math. 1939. Vol. 40. P. 149–204.
34. *Weizsäcker C.F.v.* Komplementarität und Logik I // Naturwiss. 1955. 42. P. 521–529.
35. *Finkelstein D.* Space-Time Code // Phys. Rev. 1969. Vol. 184. P. 1261–1271.
36. *Спиноза Б.* Этика, доказанная в геометрическом порядке / Спиноза Б. Избранные произведения: в 2 т. Т. 1. М.: Госполитиздат, 1957.
37. *Heisenberg W.* On the mathematical frame of the theory of elementary particles // Comm. Pure and Applied Mathematics. 1951. Vol. 4. P. 15–22 / Русский перевод: Гейзенберг В. Избранные труды. М.: Эдиториал УРСС, 2001. С. 373–380.
38. *Гейзенберг В.* Единая теория поля // Физика и философия. Часть и целое. М.: Наука, 1990. С. 341–346.
39. *Бройль Луи де.* Революция в физике // Избранные научные труды. Т. 2: Квантовая механика и теория света: работы 1934–1951 годов. М.: МГУП, 2011.
40. *Penrose R.* The twistorprogramme // Rep. Math. Phys. 1977. Vol. 12. P. 65–76.
41. *Владимиров Ю. С.* Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. Ч. 1. Теория систем отношений. М.: МГУ, 1996.
42. *Zurek W. H.* Decoherence, Einselection, and the Quantum Origins of the Classical. 2001 // Rev. Mod. Phys. 2003. Vol. 75. P. 715. URL: arXiv:quant-ph/0105127
43. *Варламов В. В.* О системе аксиом нелокальной квантовой теории // Математические структуры и моделирование. 2017. № 4 (44). С. 5–25.
44. *Фон Нейман И.* Математические основы квантовой механики. М.: Наука, 1964.
45. *Varlamov V. V.* Discrete Symmetries and Clifford Algebras // Int. J. Theor. Phys. 2001. Vol. 40. P. 769–805.
46. *Varlamov V. V.* Universal Coverings of Orthogonal Groups // Adv. Appl. Clifford Algebras. 2004. Vol. 14. P. 81–168.
47. *Varlamov V. V.* CPT groups for spinor field in de Sitter space // Phys. Lett. B. 2005. Vol. 631. P. 187–191.
48. *Varlamov V. V.* CPT Groups of Higher Spin Fields // Int. J. Theor. Phys. 2012. Vol. 51. P. 1453–1481.
49. *Varlamov V. V.* CPT groups of spinor fields in de Sitter and anti-de Sitter spaces // Adv. Appl. Clifford Algebras. 2015. Vol. 25. P. 487–516.
50. *Dyson F.* The threefold way: algebraic structure of symmetry groups and ensembles in quantum mechanics // J. Math. Phys. 1962. Vol. 3. P. 1199–1215.
51. *Baez J. C.* Division Algebras and Quantum Mechanics // Found. Phys. 2012. Vol. 42. P. 819–855.
52. *Варламов В. В.* Алгебраическая квантовая механика I: Основные определения // Математические структуры и моделирование. 2020. № 2 (54). С. 4–23.

53. *Варламов В. В.* Квантование массы и группа Лоренца // Математические структуры и моделирование. 2017. № 2 (42). С. 11–28.
54. *VarlamoV V.V.* Lorentz Group and Mass Spectrum of Elementary Particles. 2017. URL: arXiv: 1705.02227 [physics.gen-ph].
55. *Zyla P.A. et al.* (Particle Data Group) // Prog. Theor. Exp. Phys. 2020. 083C01.
56. *Фет А. И.* Группа симметрии химических элементов. Новосибирск: Наука, 2010.
57. *Варламов В. В.* Теоретико-групповое описание периодической системы элементов // Математические структуры и моделирование. 2018. № 2 (46). С. 5–23.
58. *Варламов В. В.* Теоретико-групповое описание периодической системы элементов II.: Таблица Сиборга // Математические структуры и моделирование. 2019. № 1 (49). С. 5–21.
59. *Варламов В. В.* Теоретико-групповое описание периодической системы элементов III.: 10-периодическое расширение // Математические структуры и моделирование. 2019. № 3 (51). С. 5–20.
60. *VarlamoV V. V., Pavlova L. D., Babushkina O. S.* Group Theoretical Description of the Periodic System // Symmetry. 2022. Vol. 14. P. 137.
61. *Барут А., Рончка Р.* Теория представлений групп и ее приложения. М.: Мир, 1980.
62. *VarlamoV V. V.* Spinor Structure and Internal Symmetries // Int. J. Theor. Phys. 2015. Vol. 54. P. 3533–3576.
63. *Гейзенберг В.* Шаги за горизонт. М.: Прогресс, 1987.
64. *Фок В. А.* Об интерпретации квантовой механики. М., 1957.
65. *Варламов В. В.* Комплексный момент и спин-зарядовое гильбертово пространство // Математические структуры и моделирование. 2015. № 4 (36). С. 5–22.
66. *Görnitz T.* Explaining Nobel Prize Physics. 2022. URL: <https://www.researchgate.net/publication/364752391>
67. *Александров А. Д.* О парадоксе Эйнштейна в квантовой механике // Доклады АН СССР. 1952. Т. 84. № 2. С. 253–256.
68. *Гуц А. К. А. Д.* Александров как физик: открытие нового типа связи тел // Математические структуры и моделирование. 2022. № 2 (62). С. 29–48.
69. *Цехмистро И. З., Штанько В. И. и др.* Концепция целостности. Харьков: Изд-во Харьковского гос. ун-та, 1987.
70. *Дирак П. А. М.* Лекции по квантовой теории поля. М.: Мир, 1971.

ON MASS QUANTIZATION

V.V. VarlamoV

*Siberian State Industrial University
42 Kirova St, Novokuznetsk, 654007, Russian Federation*

Abstract. The problem of the mass spectrum of elementary particles is considered from the positions of reductionism and holism. It is shown that in the holistic description, the concept of substance (energy) is of paramount importance, and elementary particles are understood as emergent states that play a secondary role. A system of axioms is given that defines the basic definitions of the spectrum of matter. In this case, the spectrum of states (“elementary particles”) appears as a result of mass (energy) quantization. A mass formula is derived that depends on the quantum numbers defining the eigenvalues of the Casimir operators of the Lorentz group.

Keywords: holism, reductionism, mass spectrum, mass formulas, elementary length, inseparable states, long-range action