Таким образом, подбирая соответствующие значения параметров, от которых зависят энергия частиц и максимальное удаление от оси соленоида, можно добиться увеличения энергии частиц при сохранении размеров системы.

В заключение авторы благодарят участников семинара профессора Соколова А. А. за обсуждение работы.

ЛИТЕРАТУРА

[1] В. П. Кривец, Б. П. Перегуд. ЖТФ, **41**, 1174, 1971. [2] К. Б. Абрамов, В. Б. Бошняк, Б. П. Перегуд. ЖТФ, **46**, 1042, 1976. [3] А. Г. Кулькин, Ю. Г. Павленко, А. А. Соколов. Атомная энергия, **31**, 292, 1971. [4] П. Л. Капица. ЖЭТФ, **21**, 588, 1951; УФН, **44**, 7, 1951.

Московский госуниверситет
им. М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию
15 ноября 1977 г.

УДК 539.12.01

Д. Д. ИВАНЕНКО, Г. А. САРДАНАШВИЛИ

К МОДЕЛИ ПРАСПИНОРА

В интерпретации модели праспинора рассматриваются системы, симметриями которых являются бесконечные группы Кокстера, описываемые, как вырожденные системы, расслоениями над образующими пространствами этих групп как базой.

Модель праспинора [1—4] является попыткой реализации идеологии нелинейной теории Иваненко — Гейзенберга с позиций метода формализации самодействующих систем расслоениями [5—8], а именно, системы объектов с простейшей алгебраической структурой.

Под алгебраической структурой системы понимается категория $E = (\{A\}, S = \hom(A, A'), A, A' \in \{A\})$ ([9], I. 7), определяемая с точностью до изоморфизма классом морфизмов системы (с частично определенным умножением), образующих абстрактную категорию S ([9], I. 7, Упр. 3). Связь ее с другими структурами системы осуществляется представлением E (заданием функтора ([9], 1. 8)) категорией, объектами которой являются соответствующие пространства, а S реализуется их отображениями.

Простейшей абстрактной категорией S является группа $Z_2 = (s, s^2 = 1)$, и система праспиноров характеризуется существованием в S подкласса $S' = \{s \in S$, что s^2 определено и является единицей в $S\}$. Рассмотрим в S' отношение R, что sRs', $s, s' \in S'$, если произведение ss' определено в S. Можно показать, что R — отношение эквивалентности ([10], II. 5) в S', морфизмы одного класса эквивалентности составляют множество $\overline{S}_i = \{s_y, y \in Y_i\}\, i \in I$, и в порождаемой S категории E $S_i \subset \hom(A, A)$ некоторого объекта A из E. Пусть $W_i \subset \hom \times \times (A, A)$ — множество всевозможных конечных произведений элементов из S_i, W_i — группа Кокстера с образующим множеством S_i ([11], IV, 1. 3). Ставя теперь задачу исследовать комплексы связанных между собой структур, возможных на одном и том же множестве праспиноров, будем предполагать, что все множества Y_i, $i \in I$ равномощны и группы W_i, $i \in I$ могут быть квазиупорядочены ([10], II. 9) по отношению вложения, причем для любых $i, j \in I$ существует $k \in I$, что имеет место вложение W_i и W_j в W_k. Группы W_i могут быть превращены в топологические введением в них топологической и равномерной ([12], II. 1) структур, определяемых некоторым семейством подгрупп в W_i ([13], III.1.1, 2; Прим., 3.1), в качестве которого в каждой W_i возьмем образы всевозможных вложений f_i^j в W_i всех групп W_j, что $i \leqslant j$, $i, j \in I$. Базис порождаемой таким образом топологии составят открыто-замкнутые множества, и она — вполне несвязна, т. е. связной компонентой всякой точки $w \in W_i$ является $\overline{w}$ ([13], III, 2. 1, След.; [12], I. 11. 5), и удовлетворяет аксиоме O'_{III} ([12], I.8.4, II.1.2, След. 3). Топология в W_i будет отделимой, если пересечение всех $f_i^j(W_j)$ и сопряженных к ним множеств сводится к 1 в W_i ([13], III.1.2, След.), и дискретной, если существует конечное такое пересечение. В описанных топологиях в семействе $\{W_i,\ i \in I\}$, все отображения f_i^j будут открыто-замкнуты ([12], I.5.1, Прим. 1). Если теперь расширить систему так, чтобы для любой открытой подгруппы базиса топологии в W_i, $i \in I$ всегда существовала некоторая группа $W_j \in \{W_i,\ i \in I\}$, образом которой при вложении в W_i эта подгруппа являлась, то для всяких W_i, W_j, $j \leqslant i$ топология в W_j будет прообразом топологии в W_i, инъекции f_i^j — непрерывными, а все W_i, $i \in I$ — локально изоморфными ([12], I.2.3, Прим. 1; [13], III.1.3, Опр. 2).

Вывод. Система праспиноров имеет своими симметриями некоторое семейство локально изоморфных групп Кокстера.

Поскольку для всякой группы Кокстера W_i существует ее гомоморфизм в группу $Z_2 \times$ (группа перестановок $Y_i \approx S_i$) ([11], IV.1. Лем. 1), в качестве объектов категории E естественно взять множество P_i сечений локально-тривиальных расслоений $\lambda_i = (M_i, V, Y_i, Z_2)$ ([14], I.3.2a) с типичным слоем V—2-элементным множеством в дискретной топологии (объектом категории (V, Z_2) праспинора) структурной группой Z_2 (в дискретной топологии) и базой Y_i с топологической и равномерной структурами, индуцируемыми на ней из W_i ($Y_i \approx \approx S_i \subset W_i$). Такие расслоения, как и в моделях со спонтанным нарушением симметрий [8], характеризуют систему как вырожденную по объекту праспинора V и группе Z_2 с множеством вырождения Y ($Y \approx Y_i$, $i \in I$ как множество). Изоморфизмы расслоений λ_i определяются пучком локально-постоянных функций из Y_i в Z_2 и классы изоморфизмов биективны элементам когомологического множества $H^1_{Y_i, Z_2}$ ([14], I, Теор. 3.2.1).

Вывод. Система праспиноров может рассматриваться как вырожденная по множеству праспиноров, и ее объекты реализуются сечениями соответствующих расслоений.

Сечения P_i записываются локальнозначными в V (не непрерывными) функциями φ в системе отсчета $\{\psi_\alpha : \pi^{-1}(U_\alpha) \to U_\alpha \times V,\ U_\alpha \subset Y_i\}$ атласа Ψ расслоения λ_i. P_i биективно множеству 2^{Y_i}, и на нем может быть введена топология F_2, слабейшая из топологий в 2^Y, что 2^U открыто в 2^Y для любого непустого открытого множества $U \subset Y_i$ ([12], 1.2, Упр. 7a), которая, вообще говоря, уже не будет вполне несвязной. Действие W_i на P_i определяется $W_i \supset S_i \ni s_y : \varphi \to \tilde{\varphi} = \{\tilde{\varphi}(\tilde{y}') = s^{\tilde{y}, y'} \varphi(y')\}$, где действие W_i на Y_i, $W_i \ni w : y \to \tilde{y} = \{s_{\tilde{y}} = w s_y w^{-1}\}$ — гомеоморфизм ([11], IV.1, Лем. 1; III.1.1, 2.4. Лем. 1). Тогда можно показать, что действие W_i на P_i в топологии F_2 — также гомеоморфизм. Вложения групп $W_j \to W_i$, $i \geqslant j$, индуцируют непрерывные открыто-замкнутые инъекции $f' : Y_j \to Y_i$, и топология в Y_j будет прообразом топологии в Y_i, а все Y_i, $i \in I$ — локально гомеоморфными ([12]. I.11, Упр. 25). Тогда в расслоениях λ_i и $\{\lambda_j, j \leqslant i\}$ всегда могут быть так согласованы атласы Ψ_i и $\{\Psi_j, j \leqslant i\}$, что будут иметь место естественные непрерывные открытые вложения $P_j \to P_i$ ([12]. I.2, Упр. 7е).

Вывод. Объекты вырожденной системы праспиноров допускают нетривиальные алгебраическую и топологическую структуры, что делает принципиально возможным реализацию интуитивных идей „нелинейной праматерии".

Действие W_i в Y_i вводит в Y_i отношение эквивалентности yRy', если существует $w \in W_i$, что $y = wy'w^{-1}$, и определяет пространство орбит $X_i = Y_i/W_i$ как фактор-пространство пространства Y_i по этому отношению ([13]. III.2.4), которое будет отделимо ([13]. III.4.1. Прим. 1, 2. Предл. 3). Каноническая проекция $\rho: Y_i \to X_i$ будет непрерывна и открыта ([13]. III.2.4. Лем. 2, [12]. I.5.2. Опр. 2), и прообразом всякого открытого множества в X_i является открытое устойчивое по W_i множество в Y_i. Тогда P_i можно представить как пучок над пространством X_i, сопоставив всякому открытому множеству $U \subset X_i$ подмножество сечений из P_i, определенных на $\rho^{-1}(U) \subset Y_i$ ([15]. II.1), и следовательно, — как множество непрерывных сечений соответствующего ему накрывающего пространства (расслоенного пространства с базой X_i и слоем P_x, $x \in X_i$, множеством в дискретной топологии ростков функций из P_i по фильтру окрестностей точки x) ([15]. II.2. Опр. 2.1, Теор. 2.2; [14]. I.2.1, 3). На P_x, $x \in X_i$, индуцируется из P_i действие W_i, и P_x, $x \in X_i$, устойчиво по W_i. Действие же W_i на X_i — тривиально, $W_i = \mathrm{id}_{X_i}$. Тогда на P_i можно определить непрерывное действие локальных преобразований W_i, задаваемых пучком $W_i(X_i)$ непрерывных функций из X_i в $W_i \cdot W_i \subset W_i(X_i)$. С W_i на P_i коммутируют индуцированные на P_i преобразования атласов расслоений λ_i, покрытия для которых устойчивы по W_i (они всегда существуют). Эти преобразования могут быть представлены пучком $Z_2(X_i)$ локально-постоянных функций из X_i в Z_2, и их действие на P_x, $x \in X$, как пространстве представлений W_i является эквивалентностью.

Вывод. Группы Коксетера W симметрий системы праспиноров могут рассматриваться как внутренние симметрии, их орбиты на множестве праспиноров Y — как внутренние пространства, а пространство этих орбит X — как внешнее. В такой интерпретации преобразования $Z_2(X)$ будут играть роль внешних локальных симметрий.

Пучки $W_i(X_i)$, $Z_2(X_i)$ образуют множество морфизмов $\hom(A_i, A_i)$ объекта $A_i = P_i$, $i \in I$, категории E. Морфизмы же $\hom(A_i, A_j)$, $i \neq j$, могут быть воспроизведены как индуцируемые морфизмами из $\hom(A_\kappa, A_\kappa)$ такого A_κ, что существуют вложения $P_i \to P_\kappa$, $P_j \to P_\kappa$, переводящие образы P_i, P_j в P_κ друг в друга. Таким образом, категория E системы праспиноров, хотя и в весьма общем виде, построена.

Заключение. До сих пор группы Коксетера выпадали из рассмотрения как группы симметрий реальных систем, хотя к таковым можно, в принципе, отнести любую спинорную и информационную системы. Так, конечные группы Коксетера, группы симметрий корневых диаграмм простых алгебр Ли, могут быть определены на спектрах частиц; бесконечные абелевы группы могут описывать статистические фермионные системы; а бесконечные группы с конечными неабелевыми подгруппами представляются перспективными для описания частицеподобных образований. При этом задание системы, например как квантовой, осуществляется C^*-алгеброй непрерывных функций из P_i в простейшую алгебру (a^+, a^-) канонических антикоммутационных соотношений, а как информационной — булевой алгеброй функций на P_i со значениями в булевой алгебре (p, $\rceil$, $\wedge$, 1) и т. д. Поэтому проведенное рассмотрение имеет значение не только для модели праспиноров и разработка систем с симметриями — группами Коксетера — кажется весьма перспективной.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Д. Д. Иваненко. Вступ. статья в сб. Квантовая гравитация и топология. М., «Мир», 1973. [2] Д. Д. Иваненко, Г. А. Сарданашвили. Изв. вузов СССР, Физика, № 5, 1976. [3] Д. Д. Иваненко, Г. А. Сарданашвили. Сб.: Актуальные проблемы теоретической физики, М., Изд. МГУ, с. 91, 1976. [4] Д. Д. Иваненко. Г. А. Сарданашвили. Доклад на Всесоюзном совещании по современным проблемам теории гравитации и элементарных частиц. Менделеево, 1977. [5] Г. А. Сарданашвили. Тезисы докладов VIII Международной конференции по теории относительности и гравитации, Канада, с. 311, 1977. [6] Г. А. Сарданашвили. Изв. вузов СССР, Физика, № 5, 1977. [7] Г. А. Сарданашвили. Изв. вузов СССР, Физика, № 5, 1977. [8] Г. А. Сарданашвили. Изв. вузов СССР, Физика, № 5, 1977. [9] С. Маклейн. Гомология. М., «Мир», 1966. [10] К. Куратовский, А. Мостовский. Теория множеств. М., «Мир», 1970. [11] Н. Бурбаки. Группы и алгебры Ли. М., «Мир», гл. IV—VI, 1972. [12] Н. Бурбаки. Общая топология (основные структуры). М., «Наука», 1968. [13] Н. Бурбаки. Общая топология (топологические группы). М., «Мир», 1969. [14] Ф. Хирцебрух. Топологические методы в алгебраической геометрии. М.. «Мир», 1973. [15] Р. Уэллс. Дифференциальное исчисление на комплексных многообразиях. М., «Мир», 1976.

Московский госуниверситет
им. М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию
17 ноября 1977 г.

УДК 535.215.13 : 621.382

М. Я. ЮШИНА

К РАСЧЕТУ ВЕРОЯТНОСТИ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ ФОТОЭМИССИИ ИЗ ЛЕГИРОВАННОГО ПОЛУПРОВОДНИКА

Рассмотрен процесс движения электронов в области сильного поля — области изгиба зон вблизи поверхности полупроводника. В этой области происходит изменение функции распределения электронов под действием электрического поля и механизмов взаимодействия, приводящих к потере энергии горячими электронами. Основные характеристики внешнего фотоэффекта определяются величиной энергии, теряемой электроном в области изгиба зон, и величиной барьера на поверхности полупроводник — вакуум.

Вероятность выхода электрона из кристалла, содержащего область пространственного заряда, определена из решения кинетического уравнения Больцмана. В расчете учитывалась зависимость от энергии длины рассеяния энергии горячих электронов. Расчет проведен для фотоэмиссии из GaAs в условиях, когда наиболее эффективным механизмом рассеяния энергии оказывается взаимодействие с полярными оптическими фононами.

Получено выражение для функции распределения эмиттируемых электронов по энергиям для случая сильных электрических полей. Положение максимума функции распределения зависит от величины электрического поля и эффективной константы взаимодействия с фононами. Вычислены ток и квантовый выход фотоэффекта.

1. При исследовании фотоэмиссии из эмиттеров с отрицательным эффективным сродством оказывается существенным рассмотрение процесса движения электрона в узкой области сильного поля — области изгиба зон вблизи поверхности полупроводника. В этой области происходит изменение функции распределения электронов под действием электрического поля и механизмов взаимодействия, приводящих к потере энергии горячими электронами. Основные характеристики фотоэффекта определяются в конечном итоге энергией, теряемой электронами в области изгиба зон, и величиной барьера на поверхности полупроводник — вакуум (рис. 1). Легирование полупроводника уменьшает длину этой области, но одновременно приводит и к уменьшению диф-