

БИБЛИОГРАФИЯ

539.12.01(049.3)

**МОНОПОЛИ В КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ**

*Monopoles in Quantum Field Theory: Proceedings of the Monopole Meeting. Trieste, Italy, December 1981/Ed. by N. S. Craigie, P. Goddard, W. Nahm.— Singapore: World Scientific Publ. Co., 1982.— 440 p.*

Рецензируемая книга — сборник трудов конференции в Триесте, посвященной 50-летию юбилею выхода в свет (1931 г.) работы П. Дирака, в которой была высказана гипотеза о возможном существовании в природе частиц — источников магнитного поля, или монополей. Первоначальная идея Дирака состояла в том, чтобы объяснить причину существования минимального электрического заряда  $e$ , вводя в рассмотрение возможные сингулярности электромагнитного поля, отвечающие точечным магнитным зарядам с величиной  $g$ . Из требования отсутствия противоречий с квантовой механикой (а позднее, в 1948 г., из требования ненаблюдаемости струно-подобной сингулярности магнитного поля) Дирак получил известное условие квантования  $eg = 2\pi n$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots$  ( $\hbar, c = 1$ ). Однако поиски таких точечных (дираковских) монополей, начиная с 1948 г., не дали положительных результатов. Вероятно, этим объясняется следующий отрывок из ответа Дирака на его приглашение на конференцию: «Теперь я склонен верить, что монополи не существуют. Слишком много лет прошло без какой-либо поддержки со стороны эксперимента. Было бы интересно, если бы ваша конференция смогла выработать новые подходы к решению проблемы».

Как подчеркнул в своем вступительном докладе А. Салам, такой новый подход к проблеме монополя можно связать с открытием Ж. Хоофтом и А. М. Поляковым (1974 г.) возможности существования объектов типа монополя в спонтанно нарушенных неабелевых калибровочных теориях, являющихся основой для современных моделей «Большого объединения». В отличие от дираковского монополя, они являются регулярными, т. е. имеют конечный радиус и энергию, и соответствуют источникам «магнитной» составляющей ненарушенной части калибровочного поля (в частности, обычного магнитного поля). Действительно, большинство докладов в данном сборнике посвящено именно калибровочным монополям.

Наибольший интерес на конференции вызвали доклады, связанные с поиском классических мультимонопольных решений для системы уравнений поля Янга — Миллса, взаимодействующего со скалярным полем. Если в работах Хоофта и Полякова было найдено решение для изолированного статического монополя для группы  $G = SU_2$ , то прогресс построения решений, описывающих два и более взаимодействующих монополя, был сделан лишь в последние два года (правда, в некотором специальном случае, когда скалярное поле преобразуется по присоединенному представлению и его потенциал полагается равным нулю после спонтанного нарушения). Успех был связан с синтезом различных математических и физических методов (алгебраическая геометрия, нелинейные дифференциальные уравнения, теория солитонов, инстантоны и т. п.). Весьма полное представление о разнообразии используемого математического аппарата дают статьи М. Атьи, Р. Уорда, В. Нама и Е. Корригана. Более естественный с физической точки зрения подход, основанный на преобразовании Бэклунда, обсуждается в докладе П. Форкаша, Э. Хорвата и Л. Палла. Суммируя результаты упомянутых выше работ, можно сказать, что (в указанном выше специальном случае) найдено наиболее общее мультимонопольное решение для  $G = SU_2$  ( $4n - 1$  параметров), а также рассмотрены обобщения на более широкие группы. Среди других вопросов, посвященных классической теории неабелевых монополей, в сборнике обсуждается проблема их стабильности, а также обобщения на случай зависимости решения от времени (движущийся монополь).

Что касается квантовой теории калибровочных монополей, то она находится в стадии становления. Первые шаги в квазиклассическом квантовании калибровочной теории с нетривиальным монополярным сектором обсуждаются в статьях Г. Осборна и Н. Мантона. Возможное восстановление условия  $eg \sim n$  и дуальность сектора калибровочных частиц и сектора монополей на уровне точной (вне рамок теории возмущений) квантовой (суперсимметричной) калибровочной теории является основной темой работы Д. Олива.

Помимо общей теории монополей в рецензируемом сборнике рассмотрены вопросы, связанные монополями в конкретных физических теориях — в теории сильных взаимодействий (хромодинамике), а также в теориях «Большого объединения». Возможная роль монополей в механизме конфайнмента кварков обсуждается в работах С. Мандельштама и П. Олесена. Основная идея состоит в том, что монополи калибровочной группы цвета могут вызвать удержание цветных объектов, подобно тому, как вихри в сверхпроводнике могут в принципе удерживать дираковские монополи (дуальный эффект Мейсснера). Это приводит к качественной картине глюонного вакуума в фазе конфайнмента как плазмы монополей. Мандельштам показывает, что эта картина подтверждается вычислениями на решетке. Олесен приводит аргументы в пользу того, что в приближении большого числа цветов вакуум хромодинамики описывается в терминах хаотических магнитных вихрей, оканчивающихся на монополях. В рамках единых моделей, основанных на простой группе  $G$ , содержащей в качестве ненарушенной подгруппы  $H = SU_3 \times U_1$ , существование классических достаточно тяжелых ( $m_M \sim m_X/\alpha \sim 10^{-9}$  г) монополей представляется неизбежным. В этом случае возникает два вопроса: почему такие частицы до сих пор не наблюдались в земных экспериментах и каково их возможное влияние на эволюцию Вселенной. Экспериментальный статус поисков монополей на Земле обсуждается в обзоре Дж. Джакомецелли, где делается вывод, что отрицательные результаты прошлых экспериментов возможно объясняются тем, что в них искали легкие частицы с  $m \ll m_M$ . Надежды на обнаружение монополя, вероятно, не следует связывать с ускорителями, так как энергии рождения пары монополей — антимонполей ( $\sim 10^{16}$  ГэВ) не достижимы в обозримом будущем.

Космологическим аспектам монополей в единых теориях посвящена статья Киббла. Согласно современной картине ранней Вселенной огромное число монополей ( $r = N_M/N_\gamma \geq 10^{-2}$ ,  $N_\gamma$  — число реликтовых фотонов) должно было родиться в момент фазового перехода  $G \rightarrow SU_3 \times SU_2 \times U_1$ . В то же время, космологические данные (плотность вещества и т. п.) устанавливают пороговое значение числа реликтовых монополей  $r \leq 10^{-20}$ . Киббл указывает на серьезность этой проблемы «избытка» монополей и обсуждает возможные пути ее решения.

Что касается других докладов на конференции (краткие резюме которых имеются в сборнике), то их спектр весьма широк, так как монополярная тематика пронизывает буквально все разделы современной калибровочной теории, начиная от связи монополей с инстантонами и киральными моделями и кончая монополями в гравитации и супергравитации.

В целом можно сказать, что рецензируемая книга служит ценным источником как обзорной, так и оригинальной информации и дает достаточно ясное представление о ситуации в физике монополей на конец 1981 г. В этом смысле она удачно дополняет более ранний обзор (Goddard P., Olive D. I. Magnetic monopoles in gauge theory. — Rept. Progr. Phys., 1978, v. 41, p. 1357).

Тем не менее, полезно указать на два обзора, вышедших в последнее время: (R o s s i P. Exact Results in the Theory of Non-abelian Magnetic Monopoles, Phys. Rept., 1982, v. 86, p. 313; C o l e m a n S. The Magnetic Monopole Fifty Years Later: Harvard Univ. preprint HUTP-82/A032. — Jun. 1982).

Наконец, следует упомянуть о некоторых наиболее важных, на наш взгляд, результатах, полученных в период после проведения конференции: 1) возможное обнаружение дираковского монополя в эксперименте со сверхпроводящим соленоидом в Стэнфордском университете (Б. Кабрера, В. Троувер); 2) естественное решение проблемы реликтовых монополей в рамках сценария «раздувающейся» Вселенной (А. Гус, А. Линде и др.); 3) стимуляция распада протона в окрестности монополя (А. Рубаков, К. Каллан). Большой интерес, вызванный этими работами, еще раз говорит об актуальности выхода в свет рецензируемого сборника.

А. А. Цейтлин