

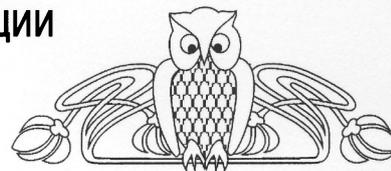


УДК 530.12

ДАННЫЕ ПО СВЕРХНОВЫМ И РЕЛИКТОВОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ И МАССА ЧАСТИЦЫ ХИГГСА В МАСШТАБНО-ИНВАРИАНТНОЙ ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ

В.Н. Первушин

Объединенный институт ядерных исследований,
лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, Дубна
E-mail: pervush@theor.jinr.ru



В масштабно-инвариантной единой теории гравитации и электрослабых взаимодействий показано, что наблюдательные данные по Сверхновым и реликтовому излучению свидетельствуют о первичном космологическом квантовом рождении из вакуума электрослабых бозонов, включая частицы Хиггса с массой в районе 118 ГэВ.

Ключевые слова: масштабная симметрия, частица Хиггса, возникновение масс, нарушение симметрии начальными данными.

SN and CMB Data and Higgs Particle Mass in a Scale-Invariant Gravitation Theory

V.N. Pervushin

In a Scale-Invariant Gravitation Theory, it was shown that both CMB data and SN ones testify to an ordinary cosmological quantum vacuum creation of the Universe together with the W -, Z -vector bosons and the Higgs particles. The initial momentum of the evolution, given by the kinetic energy of an additional scalar field, the Standard Model mass spectrum determine the CMB temperature and its fluctuation spectrum, if the Higgs particle mass is in the region of about 118 GeV.

Key words: scale symmetry, Higgs particle, mass origin, symmetry breaking by the initial data.

Введение

В настоящее время принято считать, что современная Стандартная Модель (СМ) физики элементарных частиц способна вычислить и описать амплитуды всех процессов, измеряемых на современных ускорителях, в том числе и Адронном Коллайдере, который находится сейчас в стадии запуска. Но эти вычисления СМ содержат массу загадочной частицы Хиггса, названной по имени теоретика, который ввел эту скалярную частицу в физику элементарных частиц [1, 2].

Одной из центральных задач исследований на Адронном Коллайдере является прямое обнаружение частицы Хиггса, определение ее массы и сравнение этой массы с теми предсказаниями СМ, которые допускают ошибки измерений и теоретические ограничения.

В настоящей статье автор хотел бы рассказать о статусе скалярного поля Хиггса в ОТО и, в частности, о его участии в эволюции Вселенной.

Центральным пунктом статьи является принцип масштабной симметрии законов природы. Масштабная симметрия рассматривалась основателями современной физики и до сих пор рассматривается как принцип объединения гравитационных и электрослабых взаимодействий [3–7].

Спонтанное возникновение масс частиц в Стандартной Модели электрослабого взаимодействия связывают с нарушением масштабной симметрии. Существует два источника нарушения симметрии. Первый, который предложил Хиггс [1, 2], состоит во включении в уравнения СМ единственного *фундаментального* размерного параметра – массы тахиона. Напомним, что параметры уравнений называют *фундаментальными*, чтобы отличать их от *свободных начальных данных*, от которых уравнения движения не зависят. С этой точки зрения источником нарушения масштабной симметрии в теории поля могут быть не только фундаментальные параметры уравнений движения, а также свободные начальные данные. От начальных данных зависят не уравнения, а решения этих уравнений в конкретной системе отсчета. Начальные данные могут также нарушать масштабную инвариантность решений уравнений движения и формировать массы элементарных частиц в секторе сильных и электрослабых взаимодействий Стандартной Модели.

В этой связи следует отметить, что механизм Хиггса хорошо работает не только в физике частиц, но и в физике твердого тела.



В моделях твердого тела источником нарушения масштабной симметрии считаются не *фундаментальные* параметры уравнений движения, а свойства внешней среды, которые позволяют учитывать крупномасштабную эволюцию этих свойств и определять пределы применимости теории при описании больших температур и плотностей.

В этой работе мы собираемся менять не сам механизм Хиггса, а лишь его интерпретацию, заменяя фундаментальные параметры уравнений на начальные данные.

Настоящая работа посвящена возникновению масс частиц благодаря нарушению масштабной симметрии в Стандартной Модели электрослабого взаимодействия свободными начальными данными уравнений движения [8, 9].

1. Нарушение масштабной симметрии начальными данными

В Стандартной Модели ответственным за возникновение масс элементарных частиц принято считать потенциальное уравнение Хиггса [1] в классе постоянных полей. Это уравнение выглядит как равная нулю производная от потенциала, которая в механике Ньютона называется «силой», т.е. уравнение есть сила, равная нулю ($C = 0$). Вообще говоря, такого уравнения нет в стандартной классической механике, где существует три типа уравнений: Ускорение = 0, Ускорение = Силе, сумма Сил = 0. Действительно, декларация СМ о классическом потенциальном уравнении Хиггса заменяется в реальной квантовой теории возмущений вычислением эффективного потенциала Коулмена–Вайнберга посредством амплитуды перехода вакуум–вакуум. В этом вычислении уравнение Хиггса ($C = 0$) трактуется как условие стабильности вакуума в квантовой теории.

Одной из первых работ, посвященных космологическому обобщению эффекта Хиггса на классическом уровне, была работа Киржница [8]. Он первый, по-видимому, заметил, что если константные поля заменить нулевой гармоникой поля Хиггса, то потенциальное уравнение для нулевой гармоники поля Хиггса заменится полным динамическим уравнением: «ускорение равно силе»

($U = C$), типа второго закона Ньютона. Динамический эффект Хиггса–Киржница, в отличие от статического эффекта Хиггса, требует задать начальные данные уравнений, от которых сами уравнения не зависят, как было отмечено выше. Т.е. в теории возникают дополнительные параметры, нарушающие симметрию уравнений движения, подобно тому, как начальные данные в частных решениях уравнений Ньютона нарушают инвариантность этих решений относительно преобразований группы Галилея.

Обобщение стандартного эффекта Хиггса с помощью фундаментальных параметров на космологию ведет к ряду проблем, которые пытаются решить огромной первичной инфляцией [10]. Однако до сих пор никто не может построить самосогласованную динамическую модель, где огромная первичная инфляция сменяется медленной инфляцией, в 10^{57} раз меньше первичной, которая находится в согласии с наблюдательными данными по Сверхновым [11–13].

В недавней работе [9] было предложено трактовать уравнение стандартного механизма Хиггса не как фундаментальный закон природы, а как дополнительное условие стабильности вакуума в соответствии с реальным смыслом механизма Хиггса в квантовой теории возмущения, о котором говорилось выше. В результате получаем уравнение для нулевой гармоники поля Хиггса: «ускорение равно нулю» ($U = 0$). Это уравнение дополняется *начальными данными*. Такая квантовая интерпретация позволяет заменить потенциалы начальными данными и ведет к масштабной-инвариантной симметрии законов природы.

Масштабная симметрия законов природы, как было указано выше, рассматривалась основателями современной физики и до сих пор рассматривается как принцип объединения гравитационных и электрослабых взаимодействий [3–7]. Масштабная симметрия уравнений космологической эволюции Вселенной может означать, что результат решения уравнений зависит от начальных данных и, следовательно, от эталонов измерения этих начальных данных.



2. Зависимость начальных данных от эталонов измерения

По поводу зависимости физических величин от эталонов измерения Максвелл писал во введении к «Трактату об электричестве и магнетизме»: «С математической точки зрения наиболее важным понятием при рассмотрении любого явления является понятие измеряемой величины. Поэтому я буду подходить к электрическим явлениям главным образом с точки зрения их измеримости, описывая методы измерения и определяя эталоны, от которых они зависят» [14, с.10].

В случае космологии есть всего две возможности такого выбора единиц измерения свободных начальных данных. Это абсолютные единицы, когда длины интервалов $dl^2 = g_{ij}^{(3)} dx^i dx^j$ измеряются энергетической шкалой, и относительные единицы, когда подобное измеряется подобным, т.е. интервалы $\tilde{dl}^2 = \tilde{g}_{ij}^{(3)} dx^i dx^j$ – интервалами, а энергии – энергиями. Обе эти возможности обсуждаются в книге А.А. Фридмана [4], посвященной космологии Вселенной, который связывает вторую возможность с принципом масштабной инвариантности законов природы¹.

Масштабно-инвариантная теория гравитации, сохраняющая все достижения теории Эйнштейна в области небесной механики, была окончательно сформулирована Дираком в работе [5, с.403]: «...сформулирован новый принцип действия, который существ-

¹ А.А. Фридман в своей книге находит следующие замечательные слова о принципе масштабной инвариантности: «...переезжая из страны в страну, нам приходится изменять масштаб, т.е. мерить в России – аршинами, в Германии – метрами, в Англии – футами. Вообразим, что подобную перемену масштаба нам пришлось бы делать от точки к точке, тогда и получаем описанную выше операцию изменения масштаба. [Изменения масштаба в мире геометрическом будут, в физическом мире, отвечать различным способам измерения длины.] ... свойства мира делятся на два класса: одни не зависят от упомянутого изменения масштаба, лучше сказать не меняют свою форму ни при каких изменениях масштаба; другие будут при изменении масштаба менять свою форму. Условимся собственные свойства мира, принадлежащие к первому классу, называть масштабнo-инвариантными. Вейль расширяет постулат инвариантности, добавляя к нему требования, чтобы все физические законы были масштабнo-инвариантными свойствами физического мира [3]. Сообразно такому расширению постулата инвариантности, приходится потребовать, чтобы и мировые уравнения выражались бы в форме, удовлетворяющей требованию не только координатной, но и масштабной инвариантности» [4, с.94].

венно проще принципа Вейля. Однако он требует в дополнении к метрике введения скалярной полевой функции для описания гравитационного поля». Введенное Дираком скалярное поле получило название дилатона [6, 7], что означает *расширение*, поскольку дилатон D выполняет роль логарифма космологического масштабного фактора. Разница со стандартной ОТО состоит в том, что дилатон в теории Дирака описывает *эволюцию масс частиц материи*, а не пространственных интервалов длин, как в стандартной космологии.

В теории гравитации Дирака физически *реальным* становится координатное расстояние до объекта $\tilde{dl}^2 = \tilde{g}_{ij}^{(3)} dx^i dx^j$, которое отличается от фридмановского на космологический масштабный фактор. В такой реальности в силу масштабной симметрии уравнений движения, как было отмечено выше, вместо космической эволюции длин имеем космическую эволюцию масс материи, которые эту масштабную симметрию нарушают. Другими словами, все длины и объем трехмерного пространства постоянны, а все массы, энергии и температуры умножаются на масштабный фактор. Соответствующая космологическая модель получила название *конформной космологии* [9, 15–19]. В этой космологии отсутствует космологическая сингулярность интервала.

Еще одним аргументом в пользу относительного эталона является резкое упрощение сценария эволюции Вселенной. Все астрофизические данные, включая последние данные по зависимости красного смещения спектра фотонов Сверхновых от их расстояния до Земли [11–13], в относительном эталоне могут быть описаны одним режимом инерциального движения Вселенной [15, 16] $(1+z)^{-2} = 1 + 2H_0(\eta - \eta_0)$, где η есть собственное (конформное) время фотона во Вселенной во фридмановском приближении однородного пространства $g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu \approx (1+z)^{-2} \times [(d\eta)^2 - (dx^i)^2]$, в то время как для описания тех же данных в абсолютном эталоне требуется сценарий с тремя режимами эволюции (быстрая инфляция, радиация и медленная инфляция) [10].



3. Квантовое рождение материи во Вселенной

В работах [9, 15–19] были даны теоретические и наблюдательные аргументы в пользу того, что число рожденных из вакуума первичных частиц достаточно для объяснения наблюдаемой материи во Вселенной, включая реликтовое излучение и барионную материю. Температура возникает и вычисляется из сечения столкновений и длины пробега первичных частиц [20–22]. Затем происходит распад этих частиц на фотоны реликтового излучения, которое наследует их температуру. Флуктуация температуры реликтового излучения отражает информацию о параметрах прямых взаимодействий первичных частиц и их массах. Эти массы совпадают с массами векторных W -, Z -бозонов и частиц Хиггса, что позволяет определить массу частиц Хиггса из наблюдательных данных по спектру флуктуаций температуры реликтового излучения [23] и в согласии с экспериментальными данными и теми ограничениями на эту массу, которые получены на земных ускорителях [9].

4. Ранняя Вселенная как фабрика частиц Хиггса

Наблюдательные данные по красному смещению $1+z$ спектра атомов на Сверхновых в зависимости от их расстояния до Земли [11, 12] позволяют определить и зависимость размера видимой части Вселенной, $r(z) = (1+z)^{-2} H_0^{-1} \approx (1+z)^{-2} \cdot 10^{29}$ мм, называемого горизонтом, от этого красного смещения $1+z$. Как было сказано выше, в конформной модели [15, 16] с относительным эталоном длины зависимость универсальна для всех эпох. Естественно предположить, что этот закон эволюции имел место и во время рождения первичных частиц и во время возникновения температуры реликтового излучения.

В тот момент, когда красное смещение равно $1+z_i \approx 3 \cdot 10^{14}$ и средняя длина волны реликтового фотона, равная 1 мм, совпадает с размером Вселенной, $r(z_i) \approx (1+z_i)^{-2} \cdot 10^{29}$ мм = 1 мм, исчезает само понятие температуры фотона.

Умножая среднюю энергию фотонов реликтового излучения $T_0 = 2.35 \cdot 10^{-13}$ ГэВ на это критическое значение красного смеще-

ния, $1+z_i \approx 3 \cdot 10^{14}$, можно определить современные значения масс частиц, $M = (T_0^3 / H_0^3)^{1/2} \sim 90$ ГэВ, распады которых дают энергию реликтовых фотонов в начале Вселенной. Эти массы по порядку величины находятся в области значений масс электрослабых бозонов: W -, Z -бозонов и частицы Хиггса.

Третий наблюдательный факт состоит в том, что момент возникновения реликтового излучения совпадает по порядку величины с моментом, когда комптоновский размер бозонов и частиц Хиггса становится порядка видимого размера Вселенной. Именно в этот момент, согласно принципу неопределенности, можно ввести понятия этих частиц, и в этот момент они рождаются из вакуума [9, 18]. Это совпадение момента возникновения температуры реликтового излучения с моментом рождения первичных частиц свидетельствует о том, что реликтовое излучение есть продукт распада электрослабых бозонов.

Температура реликтового излучения наследует температуру бозонов и дает информацию об их спектре. Наблюдатели [23–25] видят три пика в анизотропии температуры реликтового излучения с мультипольными моментами 220, 546 и 800. Относительная величина этих пиков (одна сотысячная) соответствует двухфотонным процессам распадов частиц Хиггса и столкновений W -, Z -бозонов, где излучаются фотоны, спектр которых запоминает информацию об электрослабых бозонах. Мультипольные моменты по их смыслу равны числу этих излучателей на линии видимого горизонта [9], длина которого определяется интервалом, пробегаемым фотоном с момента возникновения Вселенной,

Число излучателей равно отношению длины горизонта к размеру излучателя. Согласно данным по Сверхновым [11–13] длина горизонта пропорциональна в Конформной Космологии [15] квадрату массы, поэтому отношение длины горизонта к размеру излучателя (определяемого комптоновской длиной волны частицы-излучателя) пропорционально массе в кубе. Следовательно, кубические корни из мультипольных моментов 220, 546 и 800 отражают спектр масс тех частиц, которые участвуют в двухфотонных



процессах, формирующих указанные выше три пика в анизотропии температуры реликтового излучения, т.е. в распадах частиц Хиггса и столкновениях W - Z -бозонов.

Из последовательности значений масс частиц можно сопоставить два последних пика с W - и Z -бозонами. Корень кубический из отношения мультипольных моментов двух последних пиков 800/546 дает отношение масс W - и Z -бозонов (1,136), что находится в согласии с тем же отношением масс W - и Z -бозонов (1,134), полученным на земных ускорителях. Первый пик дает прямой двухфотонный распад частицы Хиггса с массой $(220/546)^{1/3} M_w = 118$ ГэВ именно в той области, которая разрешена экспериментами на ускорителях [2]. Это значение массы частицы Хиггса не противоречит наблюдательным данным по взрывам Сверхновых и спектру температуры реликтового излучения в конформной космологической модели с постулатом вакуума, который запрещает акустические возбуждения метрики с отрицательной энергией [17, 26, 27], используемые в стандартной космологической модели [10] для описания того же спектра температуры реликтового излучения.

Заключение

На первом этапе собирания фактов теория выглядит как ряд эвристических «озарений» о возможных уравнениях, приближениях и моделях. На втором этапе, который можно назвать «классификацией» фактов, эти эвристические уравнения, модели и приближения обосновываются принципами симметрии, которые включают в себя «масштабную симметрию законов природы».

Эта симметрия была предложена еще в 1918 г. Вейлем, о ней писал Фридман [4]. Такую же масштабно-инвариантную теорию гравитации, эквивалентную ОТО при описании явлений в Солнечной системе, сформулировал Дирак в 1973 г. [5]. Новыми фактами масштабно-инвариантной теории являются отделение дилатона и его нулевой гармоники как физической переменной, ответственной за возникновение и эволюцию Вселенной, статус преобразований группы Пуанкаре и

задание начальных данных. Теория представлений групп симметрий [28] дает возможность квантовать дилатонную эволюцию, формулировать S -матрицу и вычислять матричные элементы между физическими состояниями как представлениями групп Пуанкаре. В этом случае возникает объединение СМ и ОТО на квантовом уровне с конформной космологией, где Хаббловское красное смещение объясняется эволюцией масс частиц.

Еще в 1922–1924 гг. Фридман получил обе космологии: стандартную, где с наблюдаемым интервалом отождествляется интервал ОТО, и конформную, где с наблюдаемым интервалом отождествляется масштабно-инвариантный интервал Дирака. Мы можем сравнить два сценария и выбрать простейший из них, как это сделал в свое время Коперник. Напомним, что для Коперника критерием истины была простота траекторий движения планет. А для современного исследователя – это еще и принципы симметрии, типа масштабной или конформной симметрии уравнений движения. Мы показали здесь, что оба эти критерия почти однозначно ведут к конформной космологии, которая следует из теории гравитации Дирака.

Простота конформной космологии состоит в том, что в течение всех эпох космической эволюции роль темной энергии играет инерциальная кинетическая энергия нулевых гармоник скалярных полей. Эти эпохи включают: рождение электрослабых бозонов из вакуума и их распады, возникновение реликтового излучения как продукта распада первичных бозонов, образование адронов и ядер гелия, отделение излучения от вещества, эволюцию галактик и звезд в современную эпоху. Во все эти эпохи в плотности энергии Вселенной доминируют кинетические энергии нулевых гармоник скалярных полей с начальными данными, которые определяют все массы частиц в Стандартной Модели и скорость эволюции – параметр Хаббла, характерные для нашей Вселенной. Здесь дан обзор работ, где посредством этих свободных начальных данных, определенных из современных наблюдений, описывают рождение частиц материи из вакуума и их



космическую эволюцию в согласии с данными по физике высоких энергий и поиску частицы Хиггса на земных ускорителях [9].

Автор благодарен А.Б. Арбузову, Б.М. Барбашову, А. Боровец, А.Ф. Захарову за сотрудничество, Д. Блашке, К.А. Бронникову, Д.В. Гальцову, Ю.Г. Игнатьеву и В.Б. Приезжеву – за полезные дискуссии.

Список литературы

1. Higgs P.W. Broken Symmetries, Massless Particles and Gauge Fields // Phys. Lett. 1964. Vol.12. P.132.
2. Gunion J.F., Dawson S., Haber H.E., Kane G. The Higgs Hunter's Guide. Cambridge, MA: Perseus Publ., 2000.
3. Weyl H. Gravitation and Electricity // Sitz. Berichte d. Preuss. Akad. d. Wissenschaften, 1918. P.465.
4. Фридман А.А. Мир как пространство и время. 2-е изд. М.: Наука, 1965. 111 с.
5. Dirac P.A.M. Long Range Forces and Broken Symmetries // Proc. Roy. Soc. London. A. 1973. Vol.333. P.403–418.
6. Pawlowski M., Papoyan V.V., Pervushin V.N., Smirichinski V.I. Conformal unification of general relativity and standard model // Phys. Lett. B. 1998. Vol.444. P.293–298.
7. Kallosh R., Kofman L., Linde A., Van Proeyen A. Superconformal Symmetry, Supergravity and Cosmology // Class. Quant. Grav. 2000. Vol.17. P.4269–4338.
8. Куржниц Д.А. Модель Вайнберга и «горячая» Вселенная // Письма в ЖЭТФ. 1972. Т.15. С.745–748.
9. Arbuzov A.B., Barbashov B.M., Borowiec A., Pervushin V.N., Shupalov S.A., Zakharov A.F. Is It Possible to Estimate the Higgs Mass from the CMB Power Spectrum? // Physics of Atomic Nuclei. 2009. Vol.72. P.744–751.
10. Giovannini M. Theoretical tools for CMB physics // Intern. J. Mod. Phys. D. 2005. Vol.14. P.363–510.
11. Riess A.G. et al. Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant // Astron. J. 1998. Vol.116. P.1009–1038.
12. Perlmutter S. et al. Measurements of Omega and Lambda from 42 High-Redshift Supernovae // Astrophys. J. 1999. Vol.517. P.565–586.
13. Riess A.G. et al. Type Ia Supernova Discoveries at $z > 1$ from the Hubble Space Telescope: Evidence for Past Deceleration and Constraints on Dark Energy Evolution // Astrophys. J. 2004. Vol.607. P.665–687.
14. Максвелл Д. К. Трактат об электричестве и магнетизме: В 2 т. М.: Наука, 1989. Т.1.
15. Behnke D., Blaschke D., Pervushin V.N., Proskurin D. Description of Supernova Data in Conformal Cosmology without Cosmological Constant // Phys. Lett. B. 2002. Vol.530. P.20–26.
16. Барбашов Б.М., Первушин В.Н., Проскурин Д.В. Экскурсы в современную космологию // ЭЧАЯ. 2003. Т.34. С.138–189.
17. Barbashov B.M., Pervushin V.N., Zakharov A.F., Zinchuk V.A. Hamiltonian Cosmological Perturbation Theory // Phys. Lett. B. 2006. Vol.633. P.458–462.
18. Blaschke D.B., Vinitzky S.I., Gusev A.A., Pervushin V.N., Proskurin D.V. Cosmological Production of Vector Bosons and Cosmic Microwave Background Radiation // ЯФ. 2004. Vol.67. P.1074–1086.
19. Захаров А.Ф., Зинчук В.А., Первушин В.Н. Тетрадный формализм и системы отсчета в общей теории относительности // ЭЧАЯ. 2006. Vol.37. P.183–244.
20. Ignatyev Yu.G. Kinetics of the nonequilibrium Universe. I. Local thermodynamic equilibrium condition // Gravitation and Cosmology. 2007. Vol.13. P.31–42.
21. Ignatyev Yu.G., Ignatyev D.Yu. Kinetics of the nonequilibrium Universe. II. Kinetics of local thermodynamic equilibrium recovery // Gravitation and Cosmology. 2007. Vol.13. P.101–113.
22. Smolyansky S.A., Reichel A.V., Vinnik D.V., Schmidt S.M. Collision integrals in the kinetic of vacuum particle creation in strong fields // Proc. of the Conf. «Progress in Nonequilibrium Green's Functions», Dresden, Germany, 19–23 Aug. 2002 / Eds. M. Bonitz, D. Semkat. Singapur: World Scientific, 2003.
23. Spergel D.N. et al. First Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Determination of Cosmological Parameters // Astrophys. J. Suppl. 2003. Vol.148. P.175–194.
24. Dunkley J. et al. Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Data Processing, Sky Maps, and Basic Results // Astrophys. J. Suppl. 2009. Vol.180. P.306–329.
25. Hinshaw G. et al. Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Data Processing, Sky Maps, and Basic Results // Astrophys. J. Suppl. 2009. Vol.180. P.225–245.
26. Dirac P.A.M. Generalized Hamiltonian Dynamics // Proc. Roy. Soc. London A. 1958. Vol.246. P.326–332.
27. Dirac P.A.M. Fixation of Coordinates in the Hamiltonian Theory of Gravitation // Phys. Rev. 1959. Vol.114. P.924–930.
28. Волков М.К., Первушин В.Н. Существенно нелинейная теория поля, динамические симметрии и физика мезонов / Под ред. Д.И. Блохинцева. М.: Атомиздат, 1978.