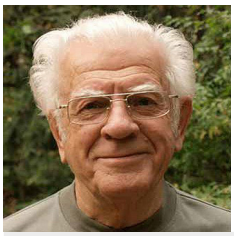
DOI: 10.19181/smtp.2025.7.2.7

EDN: PSXGBA

Научная статья

Research article

СТАНДАРТНЫЕ МОДЕЛИ В ФИЗИКЕ И КОСМОЛОГИИ: ФОРМИРОВАНИЕ, ВЗАИМОСВЯЗЬ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ВКЛАД В ИХ РАЗРАБОТКУ



Визгин
Владимир Павлович[1]

[1] Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН, Москва, Россия

Для цитирования: *Визгин В. П.* Стандартные модели в физике и космологии: формирование, взаимосвязь и отечественный вклад в их разработку // Управление наукой: теория и практика. 2025. Т. 7, № 2. С. 129–145. DOI 10.19181/smtp.2025.7.2.7. EDN PSXGBA.

Аннотация. В статье исследуется формирование и развитие стандартных моделей (СМ) в физике элементарных частиц и космологии (СМ-1 и СМ-2). СМ-1, заключающая в себе квантовую хромодинамику и электрослабую теорию, является теоретическим фундаментом микрофизики. СМ-2, опирающаяся на теорию расширяющейся Вселенной, – это теоретическая основа релятивистской космологии. Сочетание этих моделей даёт достаточно полное и эмпирически обоснованное описание физического мира. Особое внимание в статье уделяется отечественному вкладу в их создание. Составлена хронология наиболее важных событий в формировании и эволюции СМ-1 и СМ-2: с 1954 г. до середины 1970-х гг. в отношении первой и с 1917 г. до середины 1970-х гг. для второй. Выделены пять главных периодов в рассматриваемой истории, а также ряд поворотных моментов. Показано, что к середине 1970-х гг. эти модели вполне сформировались и что к этому времени установилось их достаточно скромное именование «стандартными моделями». Отмечен выдающийся вклад отечественных учёных в развитие космологической стандартной модели (СМ-2), связанный с А. А. Фридманом, Г. А. Гамовым, Я. Б. Зельдовичем и его научной школой. По сравнению с этим вкладом отечественные достижения в отношении СМ-1 были достаточно скромными. В большой степени они связаны с ранними предвосхищениями некоторых важных открытий и феноменом упущенных возможностей.

Ключевые слова: стандартная модель в физике элементарных частиц, стандартная модель в космологии, теория расширяющейся Вселенной, реликтовое излучение, отечественный вклад в физику, отечественный вклад в космологию

STANDARD MODELS IN PHYSICS AND COSMOLOGY: FORMATION, RELATIONSHIP AND RUSSIA'S CONTRIBUTION TO THEIR DEVELOPMENT

Vladimir P. Vizgin[1]

[1] S. I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology of the RAS, Moscow, Russia

For citation: Vizgin V. P. Standard models in physics and cosmology: Formation, relationship and Russia's contribution to their development. *Science Management: Theory and Practice.* 2025;7(2):129–145. (In Russ.). DOI 10.19181/smtp.2025.7.2.7.

Abstract. The article examines the formation and development of standard models (SM) in elementary particle physics and cosmology (SM-1 and SM-2). SM-1 encompasses quantum chromodynamics and electroweak theory. It is the theoretical foundation of microphysics. Based on the theory of the expanding universe, SM-2 is the theoretical basis of relativistic cosmology. The combination of these models provides a fairly complete and empirically reasonable description of the physical world. Particular attention is paid to Russian researchers' contribution to their creation. A chronology of the most important events in the formation and evolution of SM-1 and SM-2 was compiled: from 1954 to the mid-1970s in relation to the first one and from 1917 to the mid-1970s regarding the second one. The author has identified five main periods in the history under consideration, as well as a number of turning points. It is shown that by the mid-1970s both models were fully formed and that by that time their quite modest designation as "standard models" was established. The author notes the outstanding contribution of Russian scientists to the development of the cosmological standard model (SM-2), associated with the names of A. A. Friedman, G. A. Gamov and Ya. B. Zeldovich and his school of thought. In comparison with this contribution, Russia's achievements in the field of SM-1 were quite modest. To a large extent, they are associated with early anticipations of some important discoveries and the phenomenon of missed opportunities.

Keywords: standard model in elementary particle physics, standard model in cosmology, theory of the expanding universe, cosmic background radiation, Russia's contribution to physics, Russia's contribution to cosmology

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время теоретический фундамент физики сводится к двум т. н. стандартным моделям (СМ): СМ в физике элементарных частиц (и, соответственно, физике трёх фундаментальных взаимодействий микромира) и СМ в космологии, в основе которой лежит теория расширяющейся Вселенной А. А. Фридмана, получившая после открытия «тёмных феноменов» наименование «ΛCDM-модели» (с тёмной материей и тёмной энергией). Первая (СМ-1) состоит из двух взаимосвязанных блоков: квантовой хромодинамики (КХД) и электрослабой теории. Вторая (СМ-2) основана на уравнениях общей теории относительности (ОТО) А. Эйнштейна с космологическим членом. Сочетание этих двух взаимосвязанных моделей даёт достаточно полное и экспериментально обоснованное описание физического мира. СМ-1 является квантово-полевой моделью и таким

образом опирается на сочетание квантовой механики и специальной теории относительности (СТО); СМ-2 – космологической моделью и опирается на общую теорию относительности (ОТО). До определённого момента ранние формы этих моделей развивались независимо, но затем их взаимодействие становилось всё более существенным. Представляется также важной задачей изучение вклада отечественных теоретиков в создание и разработку этих моделей.

ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭВОЛЮЦИИ: ОТ ГИПОТЕЗ И ТЕОРИЙ К «СТАНДАРТНЫМ МОДЕЛЯМ»

Термин «стандартная модель» (СМ-1), понимаемый как объединённое описание электрослабой теории и КХД, являющееся современной теорией элементарных частиц, появился впервые, по-видимому, в 1975 г. в статье А. Пайса и С. Треймана [1] (см. также монографию Т. Ю. Цао [2]). На русском языке он фигурировал в переводе обзора о калибровочных теориях Дж. Илиопулоса, опубликованного в 1977 г. в журнале «Успехи физических наук» (УФН) [3, с. 587]. Л. Б. Окунь в монографии «Лептоны и кварки» (1981) писал о «стандартной модели электрослабого взаимодействия» [4, с. 254]. В своей замечательной лекции в Кембридже на чтениях, посвящённых памяти П. Дирака в 1987 г., один из главных создателей СМ С. Вайнберг говорил о стандартной модели как «предмете нашей гордости», «в рамки которой укладываются сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия» и которая «способна описать всё, что мы можем узнать о физической картине мира с помощью современных ускорителей» [5, с. 116, 113].

Но оказывается, что в отношении космологической модели это выражение (т. е. «стандартная модель») появляется на несколько лет раньше. Во всяком случае, один из главных создателей СМ-1 С. Вайнберг космологию, основанную на теории расширяющейся Вселенной А. А. Фридмана и «горячей модели Вселенной» Г. А. Гамова, назвал космологической «стандартной моделью» в своей монографии «Гравитация и космология», опубликованной в 1972 г. [6, p. 470]. Правда, в русском переводе 1975 г. [7, с. 502] выражение “standard model” фигурировало как «эталонная модель».

В настоящее же время под космологической стандартной моделью понимают прежнюю СМ, дополненную после открытия ускоренного расширения Вселенной и введения в неё «тёмной материи» и «тёмной энергии». Её принятое обозначение, появившееся на рубеже 2000-х гг., – «ΛCDM» (в нём космологический член Λ связан с «тёмной энергией», а «CDM» – с «тёмной материей») [8, с. 77–79]. Но и в основе этой модернизированной космологической концепции лежит модель расширяющейся Вселенной А. А. Фридмана, дополненная и подтверждённая Ж. Леметром и Э. Хабблом. Её часто, особенно в русскоязычной литературе, называют «стандартной космологической моделью Фридмана» [9, с. 11, 23; 10, с. 8].

Всё-таки общеупотребительным в космологии названием «стандартная модель» стала с начала 1970-х гг., особенно в монографиях и научно-популярных книгах С. Вайнберга. Возвращаясь к его упомянутой книге 1972 г., приведём

соответствующее высказывание в оригинале. 15-я глава, посвящённая космологии, называется так: “Cosmology: The Standard Model”. Во введении к ней говорится: “The preceding summary describes what may be called the ‘standard model’ of the universe, based on the Cosmological Principle and Einstein’s field equations” [6, p. 470]. Через несколько лет в своей блестящей научно-популярной книге «Первые три минуты: современный взгляд на происхождение Вселенной» (предисловие датировано 1976 г., книга вышла в 1977 г. [11], русский перевод под редакцией и с дополнениями Я. Б. Зельдовича появился в 1981 г. [12]) Вайнберг говорит о «стандартной модели» в космологии, включая в неё и раннюю стадию существования Вселенной, как об общепринятом выражении, как о термине [Там же, с. 7, 12, 15–17]. В главе VII «Первая сотая доля секунды» обе стандартные модели встречаются [Там же, с. 124–134], хотя, говоря о кварках и асимптотической свободе калибровочных теорий, автор не использует выражения «стандартная модель» в смысле СМ-1. Таким образом, о космологической СМ стали говорить чуть раньше, чем об СМ в физике элементарных частиц. Во всяком случае выражение СМ и в космологии, и в физике частиц с начала – середины 1970-х гг. становится общеупотребительным. И начиная с этого времени обе модели встречаются на ранних стадиях расширения Вселенной. С начала 1980-х гг. их взаимодействие усиливается в связи с возможным введением в СМ-2 инфляционной стадии в развитии ранней Вселенной.

Предварительные итоги этому этапу сильного взаимодействия обеих СМ подведены в книге А. Д. Линде «Физика элементарных частиц и инфляционная космология» (1990) [13]. «Специалистов по теории элементарных частиц и космологов, – говорится в «Заключении» к этой книге, – можно было бы уподобить двум группам людей, прокладывающим туннель навстречу друг другу через огромную гору неизвестного. <...> Создание инфляционного сценария (и соответствующего расширения СМ-2. – *Прим. В. В.*) стало возможно лишь благодаря совместным усилиям космологов и специалистов по теории элементарных частиц. Необходимость и плодотворность такого союза сейчас очевидна» [Там же, с. 261]. Первые же сигналы о необходимости такого союза обнаруживаются уже в середине 1960-х гг. в связи с принятием «горячей космологической модели» (см., напр., 6-й параграф «Кварки в горячей модели» в 18-й главе книги Я. Б. Зельдовича и И. Д. Новикова «Релятивистская астрофизика» (1967) [14, с. 511]). Ещё раз напомним, что обе СМ, охватывающие в совокупности всё, что мы знаем о физическом мире, основаны на нескольких фундаментальных теориях, созданных в процессе научной революции в физике в первой трети XX в., которую можно назвать квантово-релятивистской. СМ-1 опирается на квантовую механику и СТО и является теорией поля. СМ-2 основана на ОТО. Эти фундаментальные теории никогда не назывались моделями. Постепенное формирование СМ-1 исторически было связано с несколькими именно моделями. Прежде всего, с составными трёхчастичными моделями С. Сакаты (и отчасти Л. Б. Окуня), а затем с кварковой моделью. Точно так же в космологии с самого начала рассматривались разные варианты Вселенных, которые именовались фридмановскими моделями. В 1960-е гг. Я. Б. Зельдович и другие говорили о «горячей космологической модели». Только в конце XX в. некоторые теоретики стали говорить о том, что СМ-1 следует

называть не стандартной моделью, а стандартной теорией. Один из главных создателей СМ-1 Г. ’т Хоофт говорил об этом в 1998 г.: «Сочетая электрослабую модель с КХД, мы можем получить точное описание природы, так называемую Стандартную модель. Действительно, до сих пор мы видели в наших моделях лишь упрощённые карикатуры настоящего мира. Сейчас мы впервые можем рассматривать полученную комбинацию как *теорию,* уже не только как модель. Стандартная модель верна с очень высокой точностью. Её следовало бы назвать Стандартной теорией» [15, с. 27; курсив источника. – *В. В.*]. В меньшей степени об этом переходе от модели к теории можно говорить в отношении СМ-2, хотя космологи иногда говорят о теории горячей расширяющейся Вселенной и инфляционной теории [13].

ХРОНОЛОГИЯ СОБЫТИЙ, СВЯЗАННЫХ С СМ-1 И СМ-2, С УПОРОМ НА ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ВКЛАД

Первостепенной задачей истории теоретической науки является выявление поворотных моментов в её формировании и развитии. Это в полной мере справедливо в отношении рассматриваемых стандартных моделей. Процесс создания СМ-1 занял, как мы знаем (см. [16]), примерно два десятилетия – с 1954 по 1973–1974 гг. Процесс создания СМ-2, вплоть до построения «ΛCDM», растянулся более чем на три четверти столетия. Чтобы установить эти поворотные моменты, надо обратиться к хронологии событий исследуемой истории, набросок которой можно почерпнуть из ряда работ по истории физики элементарных частиц и космологии, соответствующих сборников главных работ, нобелевских лекций и других источников (ссылки на них можно найти в книгах А. Пайса, Т. Ю. Цао, Дж. Норта [17; 2; 18], а также недавних работах автора данной статьи [16; 19; 20; 21; 22].

У этой хронологии – три особенности. Во-первых, она охватывает эволюцию обеих СМ. Во-вторых, особое внимание уделяется отечественным достижениям. И, в-третьих, мы вынуждены ограничиться краткими формулировками событий (достижений), отсылая за подробностями к другим обзорам или историко-научным работам. Что касается отечественного вклада, то в отношении СМ-2 и СМ-1 мы видим существенное различие. Если отечественный вклад в космологию значителен и общепризнан (несмотря на некоторые сложности), то вклад в построение СМ-1 более проблематичен и требует дополнительного изучения. В хронологии сразу будут отмечены и упомянутые поворотные события и выделены определённые периоды. Естественно, что до начала – середины 1950-х гг. речь идёт только о СМ-2, а затем – до начала – середины 1970-х гг. – об обеих СМ. Верхний предел хронологии – это середина 1970-х гг.; к этому времени завершается создание СМ-1, а также закладываются основы СМ-2 («горячая космологическая модель») и устанавливается сам термин «стандартная модель» как в отношении космологии, так и несколько позже в теории элементарных частиц. Далее следует «Хронология» (причём курсивом выделены события, относящиеся к отечественному вкладу).

ПЕРВЫЙ ПЕРИОД: РОЖДЕНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ КОСМОЛОГИИ И СОЗДАНИЕ ОСНОВ СМ-2 (ОТ ЭЙНШТЕЙНА ДО ФРИДМАНА И ОТ НЕГО СНОВА К ЭЙНШТЕЙНУ, 1917–1922–1931)[1]

1917 – А. Эйнштейн – рождение релятивистской космологии, первая статическая (а также пространственно замкнутая и конечная) модель Вселенной на основе введения в уравнения гравитационного поля ОТО космологического члена. В. де Ситтер из уравнений Эйнштейна с космологическим членом открывает возможность статических антигравитирующих миров без материи.

1922–1924 – А. А. Фридман открывает возможность существования нестационарных моделей Вселенной (в том числе не требующих введения космологического члена в уравнения Эйнштейна). Эйнштейн поначалу считал работу Фридмана ошибочной, но затем признал её правильность (1923). Фридмановская нестационарная модель легла в основу теории расширяющейся Вселенной и, таким образом, стандартной модели в космологии (СМ-2). В 1923 г. вышла в свет книга Фридмана «Мир как пространство и время», содержащая общедоступное изложение его космологии.

1927–1929 – Ж. Леметр повторяет результаты Фридмана и связывает их с разбеганием галактик и устанавливает зависимость скорости этого разбегания от расстояния до галактик. Э. Хаббл несколько позже подводит солидную эмпирическую базу под это соотношение, получившее название «закона Хаббла».

1931 – А. Эйнштейн впервые признаёт ошибочность своей стационарной модели, отказывается от космологического члена и считает правильной и эмпирически подтверждённой (измерениями Э. Хаббла) нестационарную модель Фридмана; Ж. Леметр выдвигает идею происхождения Вселенной из некоего «первоатома»; *М. П. Бронштейн публикует в журнале «Успехи физических наук» (УФН) первый обстоятельный обзор по релятивистской космологии, включающий подробное изложение теории расширяющейся Вселенной Фридмана.*

ВТОРОЙ ПЕРИОД: ИДЕОЛОГИЧЕСКОЕ НЕПРИЯТИЕ СМ-2 В СССР И РАЗВИТИЕ СМ-2 В РАБОТАХ Е. М. ЛИФШИЦА И Г. А. ГАМОВА (С СЕРЕДИНЫ 1930-Х ГГ. ДО НАЧАЛА 1950-Х ГГ.)[2]

1934–1938 – Первая в СССР волна философско-идеологической кампании против теории расширяющейся Вселенной и, тем самым, против СМ-2 (в основном, на страницах журналов «Мироведение» и «Под знаменем марксизма»). Астрономы и философы К. Ф. Огородников, В. Т. Тер-Оганезов, М. С. Эйгенсон, В. Е. Львов, Э. Я. Кольман и др. считали, что эта теория неприемлема с точки зрения диалектического материализма, являясь своего рода «астрономическим идеализмом» и даже «проповедью религиозного мракобесия». Эти годы совпали также с репрессиями ряда крупных советских физиков и астрономов (М. П. Бронштейна, Б. П. Герасимовича и др.). Вторая волна этой компании относится к концу 1940-х гг. (конференция Ленинградского отделения ВАГО по идеологическим вопросам астрономии в 1948 г. и подготовка «несостоявшегося совещания» 1949 г. по борьбе с идеализмом в физике). На конференции 1948 г. против космологии

[1] Ссылки на оригинальные работы этого периода – см. в [23; 24].
[2] См. работы [23; 25–27].

Эйнштейна – Фридмана – Леметра выступали те же Огородников, Эйгенсон, Львов и др. Забегая вперёд, заметим, что, несмотря на философско-идеологическую реабилитацию в СССР теории относительности в середине 1950-х гг. и её творца, теория расширения Вселенной продолжала считаться философски неприемлемой до конца 1950-х – начала 1960-х гг.

1946 – *Е. М. Лифшиц – исследование устойчивости космологических решений уравнений Эйнштейна, в том числе фридмановских моделей при различных малых возмущениях.*

1946–1948 – Г. А. Гамов (член-корр. АН СССР с 1932 г., с 1934 г – в США), отчасти с сотрудниками Р. А. Альфером и Р. Херманом, положили начало уточнённому варианту СМ-2, получившему название «горячей модели Вселенной»; в одной из статей этой серии была дана близкая к правильной оценка открытого позже реликтового излучения, более подробно обоснованная Гамовым в 1953 г.

ТРЕТИЙ ПЕРИОД – НАЧАЛО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО, НО НЕЗАВИСИМОГО РАЗВИТИЯ СМ-1 И СМ-2 (1954 – НАЧАЛО 1960-Х)[3]

1954–1956 – начало философско-идеологической реабилитации в СССР теории относительности и А. Эйнштейна.

1954–1956 – начало формирования СМ-1: Ч. Янг и Р. Миллс, калибровочная концепция сильных взаимодействий на основе локализации изоспиновой симметрии; Р. Утияма, общая теория калибровочных полей.

1954–1955 – *Л. Д. Ландау с И. М. Халатниковым и А. А. Абрикосовым, а также И. Я. Померанчук и Е. С. Фрадкин – вывод о противоречивости квантовой электродинамики и квантово-полевых теорий вообще, связанной с обращением соответствующих физических взаимодействий в нуль из-за экранировки заряда за счёт эффекта поляризации вакуума (проблема нуль-заряда, или «московского нуля»). Этот вывод, с одной стороны, стал препятствием на пути принятия и развития концепции калибровочных полей и СМ-1 (особенно в СССР), а с другой – метод расчёта, использованный Ландау и др., сыграл существенную роль в обнаружении феномена асимптотической свободы в калибровочно-полевых теориях и тем самым в завершении СМ-1.*

1956–1961 – С. Саката и его школа, составные трёхчастичные («сакатонные») модели адронов, *их развитие Л. Б. Окунем* (соответствующие им симметрии предвосхитили SU(3) – симметрию сильных взаимодействий и сыграли определённую роль в подготовке теории М. Гелл-Манна и Ю. Неемана, а затем и кварковой модели).

1956–1957 – созданная С. Э. Хайкиным и Т. А. Шмаоновым рупорная антенна регистрировала микроволновое фоновое (реликтовое) излучение (открытие которого в 1965 г. А. Пензиасом и Р. Вильсоном стало ключевым фактором в развитии СМ-2), *но этому не придали особого значения.*

1959 – А. А. Ансельм показал, что существуют квантово-полевые модели с четырёхфермионным взаимодействием, в которых отсутствует

[3] См. работы [16; 17].

проблема нуль-заряда, что было одним из первых предвосхищений явления асимптотической свободы, открытой в 1973 г.

1961 – М. Гелл-Манн, Ю. Нееман, открытие SU(3)-симметрия сильных взаимодействий – важный шаг на пути к СМ-1.

ЧЕТВЁРТЫЙ ПЕРИОД, «ЗОЛОТАЯ ПЯТИЛЕТКА» В РАЗВИТИИ СМ-1 И СМ-2 (1963–1967)[4]

1963 – начало реабилитации космологической модели Фридмана и СМ-2 в СССР (Я. Б. Зельдович и его научная школа)

1964 – М. Гелл-Манн, Дж. Цвейг – открытие кварков (ключевое открытие на пути к КХД и СМ-1).

1964 – П. Хиггс, Ф. Энглерт и др. – использование спонтанного нарушения симметрии (СНС) для решения проблемы массы калибровочных частиц (механизм Хиггса). *Идею СНС, разработанную ранее в теориях сверхпроводимости и сверхтекучести (в том числе в ранних работах Л. Д. Ландау, отчасти совместно с В. Л. Гинзбургом, а также Н. Н. Боголюбова), А. И. Ларкин и В. Г. Вакс (независимо от американо-японского теоретика Ё. Намбу) предложили применить в теории элементарных частиц (важная идея на пути к СМ-1).*

1964 – ученики Я. Б. Зельдовича А. Г. Дорошкевич и И. Д. Новиков – теоретическое предвосхищение реликтового излучения, открытие которого в 1965 г. подтвердило «горячую космологическую модель» и тем самым СМ-2.

1965 – *Н. Н. Боголюбов, Б. В. Струминский и А. Н. Тавхелидзе (в ОИЯИ, Дубна), независимо от Ё. Намбу и М. Хана, ввели понятие нового квантового числа кварков, названного позже «цветом» (важный вклад в подготовку СМ-1, в частности в создание КХД).*

1965 – М. В. Терентьев и В. С. Ваняшин обнаружили, что векторные бозоны вносят вклад в поляризацию вакуума с другим знаком (чем в квантовой электродинамике), что было также предвосхищением феномена асимптотической свободы, открытой в 1973 г.

1965 – А. Пензиас и Р. Вильсон – открытие реликтового излучения, являющегося равновесным и изотропным (или фона космического микроволнового излучения, *термин «реликтовое излучения» был предложен И. С. Шкловским)* – важнейшее экспериментально-наблюдательное подтверждение «горячей космологической модели» и СМ-2.

1965–1970 – Р. Пенроуз и С. Хокинг – теоремы о неизбежности сингулярности, т. е. такой точки пространства-времени, где его кривизна обращается в бесконечность (*а также работы Е. М. Лифшица с сотрудниками о колебательном режиме при приближении к сингулярности; проблема сингулярности – одна из ключевых нерешённых проблем СМ-2*).

1965–1967 – А. Д. Сахаров – работа о «сахаровских осцилляциях», т. е. первоначальных возмущениях плотности в ранней Вселенной, порождённых квантовыми флуктуациями и затем ставших стоячими волнами (впоследствии соответствующая картина была подтверждена измерениями спектра мощности угловых гармоник реликтового излучения (1965));

[4] См. работы [14; 16; 17; 25].

работа Сахарова о барионной асимметрии Вселенной (1967) (с «3-мя условиями Сахарова»: нарушение CP-симметрии, нестабильность протона и неравновесность в ранней Вселенной). Эти работы являются важным вкладом в разработку нерешенных проблем СМ-2.

1965 – Э. Б. Глинер выдвинул идею об антигравитирующем вакууме, связанном с космологическим членом и являющимся причиной расширения Вселенной (эта работа, по существу, была предвосхищением инфляционного сценария в СМ-2).

1966 – издание трудов Фридмана в серии «Классики науки» под ред. Л. С. Полака [24].

1967 – монография Я. Б. Зельдовича и И. Д. Новикова «Релятивистская астрофизика» [14], включающая достижения Зельдовича и его школы в разработку СМ-2 (в том числе в истоки космологии ранней Вселенной и взаимосвязь космологии с теорией элементарных частиц).

1967 – С. Вайнберг, А. Салам (а также Ш. Глэшоу) – электрослабая теория (первый блок СМ-1).

1967 – Л. Д. Фаддеев, В. Н. Попов – квантовая теория калибровочных полей, опираясь на которую Г. 'т Хоофт доказал перенормируемость калибровочных теорий (признанный вклад советских теоретиков в СМ-1).

ПЯТЫЙ ПЕРИОД: ЗАВЕРШЕНИЕ ОСНОВ СМ-1 И НА ПУТИ К ИНФЛЯЦИОННОЙ КОСМОЛОГИИ И ИНТЕНСИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СМ-1 И СМ-2 (1968–1973–1975)[5]

1968–1969 – в экспериментах по глубоко-неупругому рассеянию лептонов на нуклонах были обнаружены внутри последних квазиточечные объекты, названные Р. Фейнманом партонами, что резко ускорило принятие гипотезы кварков и способствовало созданию КХД и тем самым СМ-1.

1969 – И. Б. Хриплович доказал перенормирумость неабелевых калибровочных теорий и показал наличие антиэкранирующего эффекта в них, не связав это с теорией сильных взаимодействий (ещё одно предвосхищение асимптотической свободы за четыре года до её открытия).

1970–1971 – Я. Б. Зельдович с сотрудниками – работы по крупномасштабной структуре Вселенной и теории возникновения зародышей галактик и их протоскоплений («блинов Зельдовича»).

1971 – Г. 'т Хоофт – доказательство перенормирумости безмассовых и массивных калибровочных теорий и, прежде всего, электрослабой теории, что также способствовало завершению СМ-1.

1972 – Н. П. Коноплёва, В. Н. Попов – «Калибровочные поля» [29], первая отечественная монография по теории калибровочных полей, являющейся одной из основ СМ-1.

1972 – Д. А. Киржниц, отчасти совместно с А. Д. Линде, применение теории фазовых переходов к изучению сверхплотного вещества в ранней Вселенной, важный аспект взаимодействия СМ-1 и СМ-2.

[5] См. работы [16; 17; 28].

1972 – в монографии С. Вайнберга «Гравитация и космология» (русский перевод – 1975) «горячая модель Вселенной», основанная на фридмановской космологии, впервые названа «стандартной моделью» (СМ-2) [6; 7].

1972–1973 – завершение основ локально-калибровочной теории кварков и глюонов в работах М. Гелл-Манна с сотрудниками, а также в работах Д. Гросса, Ф. Вильчека и Х. Д. Политцера по асимптотической свободе сильных взаимодействий как физической основе поведения кварков в адронах; тем самым была завершена разработка КХД и СМ-1.

1975 – появляется название «стандартная модель» по отношению к блоку калибровочных теорий: электрослабой теории и КХД (по-видимому, впервые в работе А. Пайса и С. Треймана).

1974–1975 – Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков – «Строение и эволюция Вселенной» [28], фундаментальная монография по СМ-2, включающая основные достижения космологии 5-го периода, в том числе школы Зельдовича и советских учёных вообще; во втором разделе «Физические процессы в горячей Вселенной» речь, в частности, идёт о реликтовых кварках; раздел III посвящён исследованию неустойчивости в горячей модели, а раздел V – проблеме сингулярности и физическим процессам вблизи неё, а значит, и взаимосвязи СМ-2 и СМ-1.

ВЫВОДЫ

1. ПЕРИОДИЗАЦИЯ

Первым шагом в упорядочении кажущейся хаотичной хронологии событий является выделение некоторых периодов, связанных с теми или иными внутринаучными или социокультурными факторами, а также с интенсивностью развития рассматриваемых проблем. В рассматриваемой нами истории, как показывает анализ хронологии, выделяются пять периодов. Поскольку началом построения СМ-1 была работа Ч. Янга и Р. Миллса 1954 г., то выделенные нами первые два периода относятся только к СМ-2. Первый (с 1917 до 1931 г.) связан с рождением релятивистской космологии и теории расширяющейся Вселенной, лежащей в основе СМ-2, в работах Эйнштейна, Фридмана, Леметра и Хаббла и её признанием в начале 1930-х гг. Во втором периоде (с начала 1930-х до начала 1940-х гг.) существенного прогресса в развитии СМ-2 не было. Почти все события в эти годы связаны либо с философско-идеологическим неприятием СМ-2 в СССР, либо с несколькими работами отечественных физиков: по устойчивости космологических решений уравнений Эйнштейна (Е. М. Лифшиц) и концепции горячей Вселенной (Г. А. Гамов, работавший в США). Третий период (с 1954 до начала 1960-х гг.) – здесь впервые речь идёт о параллельном, хотя и, по существу, независимом развитии СМ-2 и СМ-1. Это – начальные героические годы калибровочной революции, открытия симметрии сильных взаимодействий и других основ СМ-1. В эти же годы бурно развивается радиоастрономия и создаются предпосылки для открытия микроволнового космического фонового излучения (реликтового излучения). Четвёртый, краткий,

но очень насыщенный событиями период, своего рода «золотая пятилетка», охватывает интервал с 1963 по 1967 г. Он знаменателен как крупными достижениями в развитии СМ-1 (открытие кварков, механизма Хиггса, создание электрослабой теории и квантовой теории калибровочных полей Фаддеева и Попова), так и серией важнейших достижений в разработке СМ-2 (прежде всего, открытие реликтового излучения, подтвердившее правильность модели горячей Вселенной, а также полная реабилитация в СССР Фридмана и теории расширяющейся Вселенной). В пятом периоде (с 1968 по 1973–1975 гг.) завершается создание СМ-1 (1973), а также подводятся итоги развития СМ-2 в её доинфляционной форме (в обстоятельной монографии Зельдовича и Новикова 1975 г.). В конце этого периода появляются впервые и названия «стандартная модель» – в 1972 г. в космологии, а в 1975 г. и в теории элементарных частиц.

2. ПОВОРОТНЫЕ МОМЕНТЫ (ИЛИ ИХ СВЯЗКИ)

Эти поворотные годы естественно фиксируются описанными периодами. Сразу перечислим их: 1917 г. – Эйнштейн, рождение релятивистской космологии; 1922 г. – Фридман, нестационарные решения уравнений Эйнштейна как основа теории расширяющейся Вселенной и тем самым СМ-2; 1927–1929 гг. – Леметр и Хаббл, связь расширения Вселенной с красным смещением разбегающихся галактик (СМ-2 становится эмпирически подтверждённой физической теорией); 1931 г. – признание Эйнштейном и другими правильности СМ-2; 1954 г. – Янг и Миллс, начало калибровочно-полевой революции, приведшей к созданию СМ-1; 1965–1967 гг. – Пензиас и Вильсон, открытие реликтового излучения, приведшее к эмпирическому обоснованию модели горячей и СМ-2; создание электрослабой теории, одного из двух блоков СМ-1; 1973–1975 гг. – Гелл-Манн, Гросс и другие, завершение основ КХД, второго блока СМ-1 и тем самым СМ-1 в целом (в эти же годы появляется термин «стандартная модель» сначала в космологии, а затем и в физике фундаментальных взаимодействий).

3. ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ВКЛАД В РАЗРАБОТКУ СМ-1 И СМ-2 (С АНАЛИЗОМ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ФИЛОСОФСКО-ИДЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И АВТОРИТЕТА НЕКОТОРЫХ ЛИДЕРОВ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ И ИХ НАУЧНЫХ ШКОЛ)

Основной задачей настоящей работы является изучение отечественного вклада в создание теоретического фундамента современной физики микромира и мегамира, скромно именуемого стандартными моделями (СМ-1 и СМ-2). Напомним, что в нашей хронологии достижения (и другие события), относящиеся к отечественному вкладу, даны курсивом.

Первое, о чём свидетельствует эта хронология, это вывод о бесспорно значительном вкладе отечественных теоретиков в создание СМ-2, резко контрастирующем со сравнительно небольшими отечественными достижениями на пути к созданию СМ-1. Основополагающие теоретические работы Фридмана, Гамова, Зельдовича и его научной школы говорят об этом. К ним можно добавить также исследования Лифшица, Сахарова и др.

Отечественный же вклад в создание СМ-1 сравнительно невелик. Общепризнанным здесь является квантовая теория калибровочных полей Фаддеева и Попова, на основе которой Г. 't Хоофт доказал перенормируемость калибровочных теорий, прежде всего электрослабой теории. Конечно, определённую негативную роль здесь сыграла проблема «нуль-заряда», обнаруженная Ландау и его сотрудниками, поставившая под сомнение применимость полевой, а значит, и калибровочно-полевой парадигмы в физике микромира. Авторитет же Ландау и его школы в СССР был настолько велик, что увёл большинство теоретиков с правильного пути, связанного с калибровочными полями и СМ-1 в целом. Здесь у нас есть ряд достижений типа «предвосхищений», не доведённых до решающих результатов (или открытий), на которых мы остановимся в следующем разделе, где также отметим упущенные возможности наших теоретиков.

Вторая особенность развития обеих СМ, но главным образом СМ-2, – это философско-идеологическое неприятие квантово-релятивистских теорий и в первую очередь релятивистской космологии в СССР в 1930–1940-е гг. Космологические модели Эйнштейна и Фридмана, а также Леметра считались противоречащими диалектическому материализму, а иногда объявлялись фидеизмом и поповщиной. Жертвами сталинский репрессий стали В. К. Фредерикс, соавтор Фридмана по книге, посвящённой теории относительности, а также М. П. Бронштейн, автор первого фундаментального обзора по релятивистской космологии, показавший, кстати говоря, невозможность объяснения космологического красного смещения «старением квантов». Теория расширяющейся Вселенной оставалась под философско-идеологическим запретом даже после философской реабилитации релятивизма, вплоть до начала 1960-х гг. Тем не менее, космологические исследования в СССР продолжались в 1930–1940-е и последующие годы, а с начала 1960-х гг. весьма значительный вклад в СМ-2 начинает вносить научная школа Я. Б. Зельдовича. Такого рода негативного влияния на развитие СМ-1 в СССР не было, потому это развитие началось в середине 1950-х гг. Однако упомянутое отрицательное отношение Ландау и его школы к полевой парадигме привело к тому, что советский вклад в СМ-1 оказался не столь существенным, которым он мог бы быть.

4. ОБ УПУЩЕННЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ И «ПРЕДВОСХИЩЕНИЯХ» ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТЕОРЕТИКОВ

Значительность отечественного вклада в разработку СМ-2, в отличие от такового в отношении СМ-1, не вызывает сомнения. В последнем случае в большей степени можно говорить об упущенных возможностях. Некоторые же достижения на пути к СМ-1 были скорее «предвосхищениями» будущих результатов и открытий; смысл этих предвосхищений осознавался позже. При этом последние иногда можно интерпретировать как упущенные возможности. Приведём несколько примеров этой особенности. Чрезвычайно интересными были предвосхищения ключевого для сильных взаимодействий феномена асимптотической свободы, установленного Гроссом и другими в 1973 г. Впервые, в 1959 г., для одного из вариантов четырёхфермионного взаимодействия

А. А. Ансельм показал отсутствие обнуления взаимодействия, что и означало наличие эффекта, эквивалентного асимптотической свободе. Затем аналогичные результаты были получены М. В. Терентьевым и В. С. Ваняшиным в 1965 г. и И. Б. Хрипловичем в 1969 г. Последние два случая отмечал один из соткрывателей асимптотической свободы Г. 't Хоофт, подчеркнувший, что «связь (этих результатов. – *Прим. В. В.*) с асимптотической свободой не была осознана...» [15, с. 105] и этим работам не придали должного внимания. Другие примеры в большей мере относятся к упущенным возможностям. Занимавшиеся составными моделями адронов японский теоретик С. Саката и наш Л. Б. Окунь в середине – конце 1950-х гг. подошли вплотную к открытию симметрии сильного взаимодействия и вслед за этим кварков, но не сделали решающего шага, оставшись в рамках отвергнутых позже составных моделей. А. И. Ларкин и В. Г. Вакс в 1960–1961 гг. перенесли понятие спонтанного нарушения симметрии (СНС) из теории сверхпроводимости в теорию элементарных частиц, но упустили возможность довести своё исследование до открытия основанного на СНС механизма Хиггса, позволившего С. Вайнбергу и А. Саламу построить в 1967 г. электрослабую теорию. Даже в случае общепризнанного выдающегося результата, а именно работы Фаддеева и Попова по квантовой теории калибровочных полей (1967), можно говорить о своего рода упущенной возможности, поскольку ленинградские математические физики не применили свою теорию к доказательству перенормируемости электрослабой теории, что сделал в 1971 г., опираясь на их работу, Г. 't Хоофт.

В развитии СМ-2 тоже были похожие случаи. Назовём только два таких случая. Первый относится к ранней регистрации того, что впоследствии было названо реликтовым излучением. Об этом хорошо сказано в книге о Фридмане: «В 1956 г. реликтовое излучение, можно сказать, само стучалось в двери Пулковской обсерватории: работавшая там рупорная антенна, созданная С. Э. Хайкиным и Т. А. Шмаоновым, его улавливала. Однако никто не придал этому значения» [30, с. 285]. Здесь налицо и предвосхищение определённого типа, и, конечно, то, что можно назвать упущенной возможностью. Второй случай связан с поразительным ранним (в 1965 г.) теоретическим представлением об антигравитирующем вакууме как причине расширения Вселенной, выдвинутым ленинградским теоретиком Э. Б. Глинером, и о предвосхищении им инфляционного сценария, развитого только в начале 1980-х гг.

К таким выводам приводит нас анализ хронологии развития СМ-1 и СМ-2, доведённой до начала – середины 1970-х гг. В последующие годы СМ-1 существенно не менялась, в отличие от СМ-2, которая с начала (в 1980-е гг.) была дополнена инфляционным сценарием (и, соответственно, интенсивным взаимодействием СМ-2 с СМ-1), а затем на рубеже конца 1990-х и 2000-х гг. после открытия ускоренного расширения Вселенной ещё и введением объясняющих его понятий тёмной энергии и тёмной материи.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Pais A., Treiman S. B.* How many charm quantum numbers are there? // Physical Review Letters. 1975. Vol. 35, № 23. P. 1556–1559. DOI 10.1103/PhysRevLett.35.1556.

2. *Cao T. Yu.* Conceptual developments of 20th century field theories. 2nd ed. Cambridge : Cambridge University Press, 2019. xix, 440 p. ISBN 9781108566926. DOI 10.1017/9781108566926.

3. *Илиопулос Дж.* Введение в калибровочные теории // Успехи физических наук. 1977. Т. 123, № 4. С. 565–596. DOI 10.3367/UFNr.0123.197712b.0565

4. *Окунь Л. Б.* Лептоны и кварки. М. : Наука, 1981. 304 с.

5. *Вайнберг С.* На пути к окончательным физическим законам // Фейнман Р., Вайнберг С. Элементарные частицы и законы физики / пер. с англ. Д. Е. Лейкина. М. : Мир, 2000. С. 80–137.

6. *Weinberg S.* Gravitation and cosmology: Principles and applications of the general theory of relativity. N. Y. : John Wiley, 1972. xxviii, 657 p. ISBN 0-471-92567-5.

7. *Вейнберг С.* Гравитация и космология: принципы и приложения общей теории относительности / пер. с англ. В. М. Дубовика, Э. А. Тагирова ; под ред. Я. А. Смородинского. М. : Мир, 1975. 696 с.

8. *Горбунов Д. С., Рубаков В. А.* Введение в теорию ранней Вселенной: теория горячего Большого взрыва. М. : URSS, 2008. 543 с. ISBN 978-5-382-00657-4.

9. *Сажин М. В., Сажина О. С.* Современная космология // Метафизика. 2016. № 1 (19). С. 10–30. EDN VXMKXZ.

10. *Долгов А. Д., Зельдович Я. Б., Сажин М. В.* Космология ранней Вселенной. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1988. 199 с. ISBN 5-211-00108-7.

11. *Weinberg S.* The first three minutes: A modern view of the origin of the universe. N. Y. : Basic Books, 1977. x, 188 p. ISBN 0-465-02435-1.

12. *Вайнберг С.* Первые три минуты: современный взгляд на происхождение Вселенной / пер. с англ. А. В. Беркова ; под ред. с предисл. и доп. Я. Б. Зельдовича. М. : Энергоатомиздат, 1981. 209 с.

13. *Линде А. Д.* Физика элементарных частиц и инфляционная космология. М. : Наука, 1990. 280 с. ISBN 5-02-014345-6.

14. *Зельдович Я. Б., Новиков И. Д.* Релятивистская астрофизика. М. : Наука, 1967. 656 с.

15. *Хоофт Г. 'т.* Когда была открыта асимптотическая свобода или реабилитация квантовой теории поля // Хоофт Г. 'т. Избранные лекции по математической физике. М. : Регулярная и хаотическая динамика ; Ижевск : Ижевский институт компьютерных исследований, 2008. С. 100–121.

16. *Визгин В. П.* У истоков стандартной модели в физике фундаментальных взаимодействий // Исследования по истории физики и механики. 2019–2020. М. : Янус-К, 2021. С. 249–293.

17. *Pais A.* Inward bound: Of matter and forces in the physical world. Oxford : Oxford University Press ; N. Y. : Clarendon Press, 1986. viii, 666 p.

18. *Норт Дж.* Космос. Иллюстрированная история астрономии и космологии / пер. с англ. К. Иванова. М. : Новое литературное обозрение, 2020. 1104 с. ISBN 978-5-4448-1567-0.

19. *Визгин В. П.* И «комедия ошибок», и «драма людей»: об отечественном вкладе в создание стандартной модели в физике элементарных частиц // Управление наукой: теория и практика. 2020. Т. 2, № 3. С. 196–224. DOI 10.19181/smtp.2020.2.3.11. EDN VLBBOY.

20. *Визгин В. П.* Расширяющаяся Вселенная: на перекрестке историко-научных концепций (к 100-летию открытия А. А. Фридмана) // Управление наукой: теория и практика. 2022. Т. 4, № 2. С. 233–256. DOI 10.19181/smtp.2022.4.2.19. EDN EAHEFT.

21. *Визгин В. П.* История создания и метафизические аспекты электрослабой теории: развитие и модификации принципа симметрии // Метафизика. 2024. № 1 (51). С. 92–122. DOI 10.22363/2224-7580-2024-1-92-122. EDN KDYLCL.

22. *Визгин В. П.* От кварков к партонам и от них к квантовой хромодинамике // Метафизика. 2025. (В печати).

23. С чего началась космология : сборник статей / сост. В. И. Мацарский. М. ; Ижевск : R & C Dinamics, 2014. 566 с. ISBN 978-5-93972-982-6.

24. *Фридман А. А.* Избранные труды / под ред. Л. С. Полака. М. : Наука, 1966. 462 с.

25. *Визгин В. П., Томилин К. А.* Вихри и турбулентности в восприятии и развитии теории относительности в СССР // Вихревая динамика развития науки и техники : коллективная монография. М. : ИИЕТ РАН ; Саратов : Амирит, 2019. Т. 3 : Россия / СССР. Вторая половина XX века. Самоорганизация, турбулентный переход и диссипация. С. 270–334.

26. *Гамов Дж.* Моя мировая линия: неформальная автобиография / пер. с англ., коммент. и доп. материалы Ю. И. Лисневского. М. : Наука, 1994. 304 с. ISBN 5-02-014937-3.

27. *Зельдович Я. Б.* Космологические исследования Е. М. Лифшица // Преподавание физики в высшей школе. 1999. № 15. С. 44–46.

28. *Зельдович Я. Б., Новиков И. Д.* Строение и эволюция Вселенной. М. : Наука, 1975. 735 с.

29. *Коноплёва Н. П., Попов В. Н.* Калибровочные поля. М. : Атомиздат, 1972. 240 с.

30. *Тропп Э. А., Френкель В. Я., Чернин А. Д.* Александр Александрович Фридман: жизнь и деятельность. 2-е изд., стер. М. : УРСС ; КомКнига, 2006. 303 с. ISBN 5-484-00688-0. EDN QJQVCZ.

REFERENCES

1. Pais A., Treiman S. B. How many charm quantum numbers are there? *Physical Review Letters*. 1975;35(23):1556–1559. DOI 10.1103/PhysRevLett.35.1556.

2. Cao T. Yu. Conceptual developments of 20th century field theories. 2nd ed. Cambridge : Cambridge University Press; 2019. xix, 440 p. ISBN 9781108566926. DOI 10.1017/9781108566926.

3. Iliopoulos J. An introduction to gauge theories. *Physics-Uspekhi*. 1977;123(4):565–596. (In Russ.). DOI 10.3367/UFNr.0123.197712b.0565.

4. Okun L. B. Leptons and quarks [Leptony i kvarki]. Moscow : Nauka; 1981. 304 p. (In Russ.).

5. Weinberg S. Towards the final laws of physics. In: Feynman R. P., Weinberg S. Elementary particles and the laws of physics / transl. from English by D. E. Leikin. Moscow : Mir; 2000. P. 80–137. (In Russ.).

6. Weinberg S. Gravitation and cosmology: Principles and applications of the general theory of relativity. New York : John Wiley; 1972. xxviii, 657 p. ISBN 0-471-92567-5.

7. Weinberg S. Gravitation and cosmology: Principles and applications of the general theory of relativity / transl. from English by V. M. Dubovik, E. A. Tagirov ; ed. by Ya. A. Smorodinskiy. Moscow : Mir; 1975. 696 p. (In Russ.).

8. Gorbunov D. S., Rubanov V. A. Introduction to the theory of the early universe: Hot Big Bang theory [Vvedenie v teoriyu rannei Vselennoi: teoriya goryachego Bol'shogo vzryva]. Moscow : URSS, 2008. 543 p. (In Russ.). ISBN 978-5-382-00657-4.

9. Sazhin M. F., Sazhina O. S. Modern cosmology. *Metaphysics=Metafizika*. 2016;(1):10–30. (In Russ.).

10. Dolgov A. D., Zeldovich Ya. B., Sazhin M. V. Cosmology of the early universe [Kosmologiya rannei Vselennoi]. Moscow : Moscow University Press; 1988. 199 p. (In Russ.). ISBN 5-211-00108-7.

11. Weinberg S. The first three minutes: A modern view of the origin of the universe. New York : Basic Books; 1977. x, 188 p. ISBN 0-465-02435-1.

12. Weinberg S. The first three minutes: A modern view of the origin of the universe / transl. from English by A. V. Berkov ; ed. by Ya. B. Zeldovich. Moscow : Energoatomizdat; 1981. 209 p. (In Russ.).

13. Linde A. D. Elementary particle physics and inflationary cosmology [Fizika elementarnykh chastits i inflyatsionnaya kosmologiya]. Moscow : Nauka; 1990. 280 p. (In Russ.). ISBN 5-02-014345-6.

14. Zeldovich Ya. B., Novikov I. D. Relativistic astrophysics [Relyativistskaya astrofizika]. Moscow : Nauka; 1967. 656 p. (In Russ.).

15. Hooft G. 't. When was asymptotic freedom discovered? or The rehabilitation of quantum field theory. In: Hooft G. 't. Selected lectures on mathematical physics [Izbrannye lektsii po matematicheskoi fizike]. Moscow : Regular and Chaotic Dynamics ; Izhevsk : Izhevsk Institute of Computer Research; 2008. P. 100–121. (In Russ.).

16. Vizgin V. P. At the origins of the standard model in the physics of fundamental interactions [U istokov standartnoi modeli v fizike fundamental'nykh vzaimodeistvii]. In: Research on the history of physics and mechanics. 2019–2020 [Issledovaniya po istorii fiziki i mekhaniki. 2019–2020]. Moscow : Janus-K; 2021. P. 249–293. (In Russ.).

17. Pais A. Inward bound: Of matter and forces in the physical world. Oxford : Oxford University Press ; New York : Clarendon Press; 1986. viii, 666 p.

18. North J. Cosmos: An illustrated history of astronomy and cosmology / transl. from English by K. Ivanov. Moscow : Novoe literaturnoe obozrenie; 2020. 1104 p. (In Russ.). ISBN 978-5-4448-1567-0.

19. Vizgin V. P. "Comedy of mistakes" and "drama of humans": On the domestic contribution to the creation of the standard model of elementary particle in physics. *Science Management: Theory and Practice.* 2020;2(3):196–224. (In Russ.). DOI 10.19181/smtp.2020.2.3.11.

20. Vizgin V. P. The expanding universe: At the crossroads of historical and scientific concepts (to the 100th anniversary of the discovery of A. A. Fridman). *Science Management: Theory and Practice.* 2022;4(2):233–256. (In Russ.). DOI 10.19181/smtp.2022.4.2.19.

21. Vizgin V. P. History of creation and metaphysical aspects of electroweak theory: Development and modifications of the symmetry principle. *Metaphysics=Metafizika.* 2024;(1):92–122. (In Russ.). DOI 10.22363/2224-7580-2024-1-92-122. EDN KDYLCL.

22. Vizgin V. P. From quarks to partons and from them to quantum chromodynamics [Ot kvarkov k partonam i ot nikh k kvantovoi khromodinamike]. *Metaphysics=Metafizika.* 2025. (Forthcoming). (In Russ.).

23. How cosmology began [S chego nachalas' kosmologiya] : A collection of articles / comp. by V. I. Matsarskii. Moscow ; Izhevsk : R & C Dinamics; 2014. 566 p. (In Russ.). ISBN 978-5-93972-982-6.

24. Fridman A. A. Selected works [Izbrannye trudy]. Ed. by L. S. Polak. Moscow : Nauka; 1966. 462 p. (In Russ.).

25. Vizgin V. P., Tomilin K. A. Vortices and turbulence in the perception and development of the theory of relativity in the USSR [Vikhri i turbulentnosti v vospriyatii i razvitii teorii otnositel'nosti v SSSR]. In: Vortex dynamics of the development of science and technology [Vikhrevaya dinamika razvitiya nauki i tekhniki] : A multi-authored monograph. Moscow : Institute for the History of Science and Technology of the RAS ; Saratov : Amirit; 2019. Vol. 3: Russia / USSR. The second half of the 20th century. Self-organization, turbulent transition and dissipation [Rossiya / SSSR. Vtoraya polovina XX veka. Samoorganizatsiya, turbulentnyi perekhod i dissipatsiya]. P. 270–334. (In Russ.).

26. Gamov G. My world line: An informal autobiography / transl. from English by Yu. I. Lisnevskiy. Moscow : Nauka; 1994. 304 p. (In Russ.). ISBN 5-02-014937-3.

27. Zeldovich Ya. B. Cosmological research by E. M. Lifshits [Kosmologicheskie issledovaniya E. M. Lifshitsa]. *Physical Education in High School=Prepodavanie fiziki v vysshei shkole*. 1999;(15):44–46. (In Russ.).

28. Zeldovich Ya. B., Novikov I. D. The structure and evolution of the universe [Stroenie i evolyutsiya Vselennoi]. Moscow : Nauka; 1975. 735 p. (In Russ.).

29. Konopleva N. P., Popov V. N. Calibration fields [Kalibrovochnye polya]. Moscow : Atomizdat; 1972. 240 p. (In Russ.).

30. Tropp E. A., Frenkel V. Ya., Chernin A. D. Alexander Alexandrovich Friedman: Life and work [Aleksandr Aleksandrovich Fridman: zhizn' i deyatel'nost']. 2nd ed. Moscow : URSS ; KomKniga; 2006. 303 p. (In Russ.). ISBN 5-484-00688-0.

Поступила в редакцию / Received 10.04.2025.
Одобрена после рецензирования / Revised 26.05.2025.
Принята к публикации / Accepted 09.06.2025.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Визгин Владимир Павлович *vlvizgin@gmail.com*

Доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник,
Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова, Москва, Россия

SPIN-код: 8938-1395

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vladimir P. Vizgin *vlvizgin@gmail.com*

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Chief Researcher, S. I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology of the RAS, Moscow, Russia

Scopus Author ID: 6507423009

Web of Science ResearcherID: G-4223-2016