

Научное наследие ИИЕТ

УДК 001

DOI 10.62139/2949-608X-2025-3-1-252-267

Методологические принципы физики: на стыке истории и философии науки (к 50-летию книги «Методологические принципы физики. История и современность» и 110-летию со дня рождения Н.Ф. Овчинникова)

Визгин Владимир Павлович

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

В статье рассматривается концепция методологических принципов физики (МПФ), выдвинутая Н.Ф. Овчинниковым (1915–2010) в 1970-е гг. и до сих пор являющаяся основой понимания теоретизации физической науки. Статья приурочена к 50-летию первого главного (коллективного) труда по концепции МПФ (1975) и 110-летию со дня рождения ее основоположника. Показано, что доминирующим в этой системе, особенно в физике второй половины XX в., можно считать принцип симметрии. Рассмотрено, как работают эти принципы при конструировании фундаментальных теорий (на примере эйнштейновской модели построения теории с «дугой Эйнштейна»). Предложено дополнение методологии исследовательских программ концепцией МПФ. Продемонстрировано эффективное применение МПФ при разработке стандартной модели в физике элементарных частиц, являющейся современной теорией фундаментальных взаимодействий.

Ключевые слова: методологические принципы физики, Н.Ф. Овчинников, принцип симметрии, «дуга Эйнштейна», исследовательские программы, стандартная модель в физике элементарных частиц

Цитирование: *Визгин Вл.П.* Методологические принципы физики: на стыке истории и философии науки (к 50-летию книги «Методологические принципы физики. История и современность» и 110-летию со дня рождения Н.Ф. Овчинникова) // Журнал Российского национального комитета по истории и философии науки и техники. 2025. Т. 3, вып. 1. С. 252–267.

Methodological principles of physics: at the interface of history and philosophy of science (towards the 50th anniversary of the book «Methodological principles of physics. History and modernity» and the 110th anniversary of the birth of N.F. Ovchinnikov)

Vladimir P. Vizgin

S.I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology,
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The article looks into the concept of methodological principles of physics (MPP), put forward by N.F. Ovchinnikov (1915–2010) in the 1970s and still serving as the basis for understanding the theorization of physical science. The article is devoted to the 50th anniversary of the first major (collective) work on the MPP concept (1975) and the 110th anniversary of the birth of its founder. The principle of symmetry is shown to have dominated in this system, particularly in physics of the 2nd half of 20th century. The article discusses how these principles work in constructing fundamental theories (as exemplified by Einstein's model of constructing a theory with the Einstein arc). It is proposed to supplement the methodology of research programmes with the MPP concept. An effective application of MPP in the elaboration of the standard model in particle physics, which is a modern theory of fundamental interactions, is demonstrated.

Keywords: methodological principles of physics, N.F. Ovchinnikov, principle of symmetry, Einstein arc, research programmes, standard model in particle physics.

Вершина научной мысли, самое прекрасное ее творение – теория. Феномен «теоретизации» завораживает всех, кому доступно такое эстетическое наслаждение. <...> Бесспорно, наибольших успехов и наивысшей красоты добилась в своих авангардных теориях физика XX столетия, которая и стала источником вдохновения для Николая Федоровича. Давайте оценим по достоинству его попытку выявить основные принципы построения научной теории, систематизировать эти принципы и подарить таким образом этот бесценный опыт другим научным дисциплинам, которые еще только мечтают перейти от эмпирического на более высокий уровень исследований.

*Из предисловия Н.И. Кузнецовой к книге
Н.Ф. Овчинникова «Поиски понимания:
избранные труды по истории
и философии науки»*

1. «Золотые годы отечественной истории физики»

Для меня, входящего в мир истории физики в конце 1960-х – начале 1970-х гг., как раз 1960–1970-е годы были поистине «золотыми» (Визгин, 2022). Они были связаны с именами моих учителей и старших коллег по ИИЕТ, а именно, Л.С. Полака, Я.Г. Дорфмана, И.Б. Погребысского, Б.Г. Кузнецова и, конечно, Н.Ф. Овчинникова. Николай Федорович (далее Н.Ф. – В.В.) со своей небольшой группой появился в ИИЕТ как раз в 1971 г.

Они стали важной составляющей сектора истории физики и занимались принципами теоретизации в физике, которые стали называться *методологическими принципами физики (МПФ)*. Мои кандидатская диссертация и первая монография, основанная на ней, имели прямое отношение к принципам симметрии и сохранения, и потому Н.Ф. привлек и меня к работе над МПФ, в число которых входили и эти принципы.

2. Система МПФ по Н.Ф. Овчинникову. О коллективной монографии «МПФ. История и современность» 1975 г.

Важнейшие МПФ обладают двойной семантикой. Они, безусловно, являются частью самих фундаментальных теорий (например, специальная теория относительности (СТО) формулируется как теория инвариантов

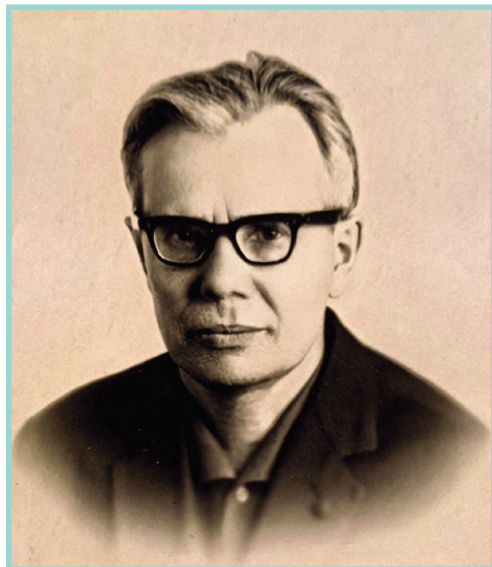


Рис. 1. Овчинников Николай Федорович. 1970-е гг.

Источник: Научный архив ИИЕТ РАН

группы Пуанкаре, а квантовая хромодинамика – как локализация цветной $SU(3)$ – группы симметрии). Но в процессе построения этих (конкретных) теорий используется общий методологический принцип – принцип симметрии (он же принцип инвариантности). Это относится, прежде всего, к тем МПФ, которые Н.Ф. позже назвал порождающими (принципы симметрии, сохранения, дополнительности), а также принципу соответствия и в какой-то степени принципу причинности (связываемому в системе МПФ с принципом объяснения). Другие МПФ непосредственно в «тело» теорий не входят, но либо так или иначе важны для связи теорий, либо относятся к эвристическим требованиям, облегчающим выбор теории из пучка эквивалентных конструкций. Это

принципы единства картины мира и математического единства, а также простоты и наблюдаемости. Едва ли можно говорить о какой-то однозначной законченной системе МПФ. Так, в разное время предлагалось включить в число МПФ принципы элементности, вариационности, идеализации, близкодействия и др. и, наоборот, исключить принципы единства, математизации, объяснения, наблюдаемости. Сам Н.Ф. в 1990-е гг. выделил три тройки МПФ (Овчинников, 1996), назвав первую тройку *порождающие* принципы (они порождают положения, входящие в конкретные теории, это принципы симметрии, сохранения, дополнительности). Вторую тройку он назвал принципами *связности* (они контролируют взаимосвязь теорий – это принципы единства, математизации и соответствия). В третью тройку он включил *целесолагающие* принципы, в которых наиболее отчетливо

выражены цели научного знания и его теоретизации (это принципы объяснения, простоты и наблюдаемости). В 1970-е гг. Н.Ф. принимал систематизацию МПФ, предложенную И.С. Алексеевым и изображаемой в виде последовательно разворачивающейся цепочки принципов объяснения – простоты – единства – математизации – сохранения, симметрии, соответствия – дополнительности и наблюдаемости.

По словам самого Н.Ф., «начало работы над книгой «МПФ. История и современность» (1975), пока еще в виде далеко идущих мечтаний... восходит ко времени работы И.В. Кузнецова «Принцип соответствия», изданной еще в годы жестокого идеологического диктата» (Мамчур, Овчинников, Огурцов, 1997, с. 222). И далее: «И.В. Кузнецов скончался в ноябре 1970 г. А уже в январе 1971 г. его ученики, старшие и молодые друзья задумали написать книгу, в которой были бы рассмотрены и другие методологические принципы. Особенно активное участие принимал И.С. Алексеев (1935–1988). Как тут не сказать, что книги имеют не только свою судьбу, но и свою родословную» (Мамчур, Овчинников, Огурцов, 1997, с. 222). Самого Н.Ф., в первую очередь, привлекали принципы, названные им позже порождающими. «Класс порождающих принципов был рассмотрен еще до выхода книги «МПФ» в отдельных монографиях» (Мамчур, Овчинников, Огурцов, 1997, с. 228). Здесь он сослался на свою книгу 1966 г. «Принципы сохранения» и мою первую монографию «Развитие взаимосвязи принципов инвариантности с законами сохранения в классической физике» (Визгин, 1972). В 1975 г. коллективная монография «МПФ. История и современность», подготовленная в ИИЕТ АН СССР, вышла в издательстве «Наука» в зеленом переплете под редакцией Н.Ф. Овчинникова и академика Б.М. Кедрова (к девятке принципов, о которых говорилось, был добавлен принцип элементности (представленный Кедровым), который впоследствии Н.Ф. не включал в систему основных МПФ) (Методологические принципы физики, 1975). Большинство глав, соответствующих отдельным принципам, были написаны сотрудниками ИИЕТ (самим Н.Ф., И.С. Алексеевым, А.А. Печенкиным и автором настоящей статьи). Авторами следующих трех глав были сотрудники Института философии Е.А. Мамчур, С.В. Илларионов, который преподавал в МФТИ, И.А. Акчурин и А.Ф. Зотов, который, кажется, одно время работал и в ИИЕТ. Расположение глав, соответствующих отдельным принципам, было согласовано с концепцией И.С. Алексеева, в которой своеобразное первенство (от которого впоследствии Н.Ф. отказался) отдавалось принципу объяснения (автор – А.А. Печенкин), затем шла глава о принципе простоты (Е.А. Мамчур, С.В. Илларионов), далее глава «Единство физической картины мира», написанная Алексеевым, и глава о математическом единстве физики (И.А. Акчурин). Последующие главы о принципах сохранения, симметрии и соответствия были написаны соответственно Н.Ф., автором этой статьи и А.Ф. Зотовым. В последних двух главах речь шла о принципе дополнительности (И.С. Алексеев) и принципе наблюдаемости (он же вместе с А.А. Печенкиным). Книга была встречена с большим интересом и вызвала дискуссии. Я сам присутствовал, по крайней мере, на двух обстоятельных обсуждениях ее и участвовал в них: на дискуссии в ИИЕТ,

где было немало известных физиков (в том числе Е.Л. Фейнберг, Б.М. Болотовский и др.), философов и историков науки, и в Институте теоретической физики в Черноголовке, где мы выступали с Н.Ф. (помню, что туда и обратно нас доставлял на своей машине академик А.Б. Мигдал). И на этих дискуссиях и затем в некоторых рецензиях физики с большим одобрением говорили о нашей книге. В частности, как вспоминал Н.Ф. (я тоже это помню), отмечалось, «что эта книга, вышедшая в зеленом переплете, как и книга 1952 г. (хорошо известный том, в котором ниспровергались теория относительности и квантовая механика с позиций диамата (Философские проблемы современной физики, 1952). – В.В.), реабилитирует философов» (Мамчур, Овчинников, Огурцов, 1997, с. 229). Были и попытки «бросить тень на нее за «недиалектичность»»; в положительной в целом рецензии Б.М. Болотовского (в «Природе», 1977, №1) говорилось, что следовало бы рассмотреть еще один принцип, а именно принцип идеализации. Точка зрения Н.Ф. на это замечание заключалась в том, что этот принцип является особым проявлением принципа математизации (Мамчур, Овчинников, Огурцов, 1997, с. 230). В 2025 г. исполняется 50 лет со времени выхода в свет этой книги об МПФ, во многом сохранившей свое значение, а главному автору концепции МПФ Н.Ф. Овчинникову – ровно 110 лет. Так что можно говорить о двойном юбилее, мимо которого не могут пройти историки и философы науки, в первую очередь, физики.

3. Идея доминантности принципа симметрии

Рассмотрим некоторые последующие исследования концепции МПФ. После впечатляющих успехов принципа симметрии сначала в квантово-релятивистской революции, а затем и особенно его триумфа в создании стандартной модели (СМ) в физике элементарных частиц некоторые выдающиеся теоретики, такие как Ю. Вигнер, а затем С. Вайнберг и др., стали выделять *принцип симметрии как чуть ли единственный суперпринцип, из которого можно получить все*. Я также склонен присоединиться к этой точке зрения, особенно после изучения истории создания СМ. В трехслойной модели развития физического знания (явления, или события, – законы природы, управляющие ими, – принципы инвариантности, или симметрии, управляющие законами) именно принципы симметрии (или методологический принцип симметрии), по существу, являются единственными, которые позволяют сконструировать (или открыть) правильные законы физики. Об этом говорил Вигнер в начале 1960-х гг., в том числе в своей Нобелевской лекции в 1964 г. (Вигнер, 1971, с. 45–58), когда были открыты симметрии сильных и электрослабых взаимодействий и на их основе кварки и слабые массивные векторные бозоны. Об этом же более чем через 20 лет говорил один из главных создателей электрослабой теории С. Вайнберг в своей дираковской лекции в 1986 г. «На пути к окончательным законам физики» (Фейнман, Вайнберг, 2000, с. 94, 102, 128–130). Вот несколько высказываний, не требующих особых комментариев:

А) «... Все, что нам потребуется сверх квантовой механики для описания физической картины мира, – это определить группу симметрии природы» (Фейнман, Вайнберг, 2000, с. 94).

Б) «... На самом глубинном уровне нет ничего, кроме симметрии... Материя как таковая исчезает, и вся вселенная в целом предстает как огромное приводимое представление группы симметрии природы» (Фейнман, Вайнберг, 2000, с. 102).

В) «... То, что я сейчас скажу, чрезвычайно важно (хотя автор имеет в виду теории струн, но это относится к любым полевым теориям. – В.В.): симметрии определяют действие. Структура функционала действия и, следовательно, сама динамика однозначно определяются этими симметриями» (Фейнман, Вайнберг, 2000, с. 128–129).

Покажем теперь, что в основе чуть ли не всех остальных МПФ так или иначе лежит принцип симметрии. Поскольку квантовополевые теории частиц имеют нетерову структуру (выводимы из принципа действия, которое определяется группой симметрии, законы сохранения связаны в соответствии с теоремой Нетер с симметриями), принцип сохранения оказывается следующим из принципа симметрии. Принцип соответствия целиком заключен в теоретико-групповых соотношениях групп симметрии «старой» и «новой» теории, прежде всего, в соответствующих предельных переходах, связывающих, например, группу Пуанкаре (специально-релятивистские теории) с группой Галилея – Ньютона (классическая механика). Принцип простоты также хорошо интерпретируется в терминах групп симметрии. Релятивистские теории, как и группа Пуанкаре, проще классических теорий, связанных с более сложно устроенной вырожденной группой Галилея – Ньютона. Единство физической картины мира и математическое единство физики наиболее адекватно описывается также в терминах симметрий (инвариантности), которые обладают двойной семантикой, обращенной к физике (относительность, мультиплетность элементарных частиц) и одновременно к математике (язык теории групп, их инвариантов и представлений). Даже принципы дополненности и объяснения можно истолковать с позиции принципа симметрии. Дополненность – это квантовая механика, которая имеет вполне симметрическую структуру (см. об этом статью (Визгин, 2000)). Сам В. Паули в 1955 г. писал об этом: «Группа унитарных преобразований, охватывающая все возможно допустимые варианты условий эксперимента, в квантовой механике играет роль группы преобразований координат, связывающей в ОТО все возможные состояния движения наблюдателя и соответствующие этим состояниям результаты произведенных им измерений» (цит. по: (Визгин, 2000, с. 9)). А что касается принципа объяснения, то симметрией теории определяется ее динамика (уравнения движения и, соответственно, причинность, а также законы сохранения и пр.), т.е. все, что подлежит объяснению.

Итак, достижения фундаментальной физики второй половины XX в. достаточно убедительно подтвердили огромную роль принципа симметрии как основного (если не единственного) принципа теоретизации физики. Добавим к сказанному связи принципа симметрии, во-первых, с Эрлангенской программой Ф. Клейна и ее экспансией в физику, и, во-вторых, с теоремой Нетер о получении законов сохранения (и, таким образом, принципа сохранения) из принципа симметрии и, соответственно, с так

называемой нетеровой структурой физических теорий. Подчеркнем, что эта структура так или иначе включает в себя, помимо симметрии и законов сохранения, еще и требование вариационности динамики теории (своего рода телеологичности теории) или ее эквивалента. В этой связи возникает вопрос о дополнении системы МПФ принципом вариационности (или телеологичности), т.е. выводимости ее динамики уравнений (движения или поля) из принципа наименьшего действия, точнее, вариационного принципа стационарного действия. Физики при построении теорий, особенно в XX в., как правило, начинают с поиска лагранжианов и, значит, исходят из принципа наименьшего действия (точнее, вариационного принципа Гамильтона). Поэтому представляется вполне естественным считать принцип вариационности таким же порождающим МПФ, как принципы симметрии и сохранения. Правда, если считать, что вариационность классики допускает квантово-механическое истолкование, то есть определенные основания полагать первичным принцип дополнительности, а вариационность сводимой к нему.

Что касается Эрлангенской программы (см. об этом книгу автора (Визгин, 1975)), то клейновское понимание геометрий как теорий инвариантов некоторых непрерывных групп преобразований после А. Эйнштейна и Г. Минковского (т.е. создания СТО) постепенно перешло в физику, и физические теории стали формулироваться, прежде всего, как теории инвариантов групп симметрии, лежащих в основании этих теорий. Это вполне согласуется с представлением о первостепенной важности принципа симметрии в системе МПФ. Развитие концепции Янга – Миллса, согласно которой локализация симметрии порождает взаимодействие, расширяет и понятие симметрии и, соответственно, понятие нетеровой структуры (локально-калибровочная симметрия порождает, или диктует взаимодействие). И это дополнительный важный аргумент в пользу усиления мощности и эвристичности принципа симметрии. Здесь можно сослаться на нескольких выдающихся мастеров теоретизации, таких как Ю. Вигнер, Ч. Янг, Р. Миллс, С. Вайнберг, Д. Гросс, Ф. Вильчек, а также отечественных теоретиков Г.А. Соколика, Н.П. Коноплеву, Д.В. Ширкова, Л.Б. Окуня и др.

4. Концепция «дуги Эйнштейна» и МПФ как основной фактор, ее определяющий

Работа МПФ при создании физической теории хорошо иллюстрируется с помощью трехслойной модели – схемы, описанной А. Эйнштейном в письме к М. Соловину (Эйнштейн, 1967, с. 569–570). Первый (нижний) слой – это эмпирические факты (Е), третий (верхний) слой – это основные аксиомы теории (А), т.е. принципы, уравнения движения, второй, промежуточный, слой – это утверждения, законы, получаемые логическим (математическим) путем из аксиом третьего уровня и проверяемые экспериментально-эмпирически (на первом уровне). Вывод законов из аксиом и сопоставление этих законов с опытом изображаются отрезками прямых, а вот создание (открытие, изобретение) аксиом, хотя и диктуется во многом опытом, но логически из него не следует. Как говорил Эйнштейн, «

никакого логического пути, ведущего от E к A , не существует». Поэтому он изобразил этот путь в виде кривой линии со стрелкой, которую можно назвать «дугой Эйнштейна» (Визгин, 2007, с. 20; Визгин, 2013, с. 108–109). Теоретики при построении теорий, по существу, определяют эту дугу и при этом, как мы знаем, используют МПФ, которые Н.Ф. недаром назвал принципами теоретизации. Конечно, здесь работает и интуиция (иногда физическая, иногда математическая). Подчеркнем, что конструирование теории на основе МПФ – это процесс не логический (и не математический вывод), но вместе с тем и не чисто интуитивный скачок, озарение (как иногда утверждается, см., например (Горелик, 2013, с. 90, 94)). Интуитивный элемент срабатывает при создании новых фундаментальных физических понятий, но в верхнем слое содержатся аксиомы, принципы, уравнения, а они конструируются на основе своего рода «историко-научной логики», опирающейся, в первую очередь, на МПФ и, возможно, еще какие-то соображения. Правда, как правило, и новые фундаментальные физические понятия возникают в процессе этого конструирования и, значит, с помощью упомянутой «историко-научной логики», прежде всего, с использованием МПФ. Понятие электромагнитного поля формировалось вместе с генезисом уравнений Максвелла, представление о гравитации как искривленном пространстве-времени – вместе с уравнениями гравитационного поля Эйнштейна. Это касается и квантовой механики. И вполне справедливо в отношении истории создания стандартной модели в физике элементарных частиц и одновременно изобретения таких новых фундаментальных физических понятий (или объектов), как кварки и глюоны, бозон Хиггса, а также асимптотическая свобода, конфайнмент и т.д. (см. (Визгин, 2021; Визгин, 2024а; Визгин, 2024b)).

Рассмотрим несколько подробнее МПФ как факторы, определяющие «дугу Эйнштейна». Кстати, заметим, что методологические принципы иногда называют метафизическими, например, Э. Шредингер (Шредингер, 2005, с. 13). Не вдаваясь в терминологическую дискуссию, будем считать допустимыми оба выражения, либо полагать, что каждый МПФ имеет метафизическую подоплеку. Далее, обратим внимание на то, что принципы математизации, как и вариационности, можно вывести из системы МПФ и рассматривать как независимые факторы. Первый тогда естественно связывается с «непостижимой эффективностью математики в естественных науках» Ю. Вигнера, или, так сказать, с математичностью физического мира, а второй (вариационность) – с телеологичностью физического мира в духе П. Мопертюи (ведь при этом речь идет в основном о принципе наименьшего действия). Эти факторы стали настолько общепотребительными в физике XX в., что на них перестали ссылаться и упоминать, в отличие от других принципов теоретизации, особенно таких, как принципы симметрии, сохранения, соответствия, простоты, причинности (как конкретизации принципа объяснения), наблюдаемости. Правда, и принцип дополнительности обычно не упоминается, он как бы молчаливо предполагается, поскольку вся физика микромира квантовая, значит, там всегда имеет место и дополнительность. Создатели релятивистских и

квантовых теорий А. Пуанкаре, Эйнштейн, Г. Минковский, М. Планк, Н. Бор, В. Гейзенберг, Шредингер, П. Дирак, В. Паули и др. были замечательными мастерами теоретизации. Например, Эйнштейн в поисках правильных общеквариантных уравнений гравитационного поля существенно опирался на принципы симметрии, сохранения, соответствия, причинности и простоты (Визгин, 2015). И при разработке теории элементарных частиц и космологии во 2-й половине XX в. эти принципы продолжают оставаться эффективными. Но есть один особенный фактор, который обычно не включается в систему МПФ, но в некоторых случаях оказывается важным: речь идет о непосредственном воздействии масштабных философских концепций. Так, можно говорить, что при создании СТО Эйнштейн отмечал влияние на него философии Д. Юма и особенно Э. Маха, а в дальнейшем, при разработке единых теорий поля, он опирался на некоторую форму платонизма и философию Спинозы (прежде всего, в дискуссиях по интерпретации квантовой механики). В целом же Эйнштейну была близка позиция философского оппортунизма, согласно которой физик относится к философским концепциям прагматически и предстает то позитивистом, то спинозистом, то платоником или пифагорейцем и т.п. в зависимости от задач, которые перед ним стоят (см. об этом (Визгин, 2013, с. 117–120)). Аналогичное отношение к философии как к особому ресурсу для построения научных теорий было присуще французскому философу науки Г. Башлярю (он говорил о позиции «философского плюрализма») и В.И. Вернадскому, который называл ее «философским скептицизмом» (Визгин, 2013). Но многие теоретики считали влияние (или вмешательство) философии скорее бесполезным или даже вредным. Дело не только в идеологическом вмешательстве властей и философов в науку (как это было в 1930–1950-е гг. в СССР). Мы говорим также о тезисе С. Вайнберга о «непостижимой неэффективности философии» в физике, который, правда, имел в виду постпозитивистские философско-научные концепции, размывающие или отрицающие понятие истины (Вайнберг, 2004, с. 133). Фактически теоретики при конструировании теорий используют и другие, более частные эвристические приемы, которые пока еще не оформились в качестве достаточно общих МПФ. К ним можно отнести следующие положения: смена онтологии (например, рассмотрение частиц, не как точечных объектов, а как линейных, т.е. струн), введение новых фундаментальных постоянных (Томилин, 2006, с. 228), введение нелинейности в уравнения полей (нелинейная электродинамика, нелинейная теория материи Гейзенберга), введение необратимости на уровне микромира (неудавшиеся попытки И.Р. Пригожина), фундаментальность следствий, приводящих к пересмотру физической интерпретации теории (например, открытие феномена динамического хаоса (Мухин, 2012, с. 280–281) или феномена черных дыр как решений уравнений гравитации Эйнштейна в ОТО). Изучение такого рода эвристических приемов может привести к появлению новых достаточно общих МПФ, способных пополнить систему МПФ Н.Ф. Овчинникова.

5. О связи концепции МПФ с методологией исследовательских программ И. Лакатоса

В 1970-е гг. среди философов и историков науки (в том числе и в ИИЕТ) обсуждалась не только концепция МПФ, но и постпозитивистские концепции К. Поппера, Т. Куна (парадигм и научных революций) и И. Лакатоса (методология исследовательских программ). Большинство (и я в том числе) отдавали предпочтение подходу Лакатоса. Научная революция в физике первой трети XX в. хорошо укладывалась в его методологию и интерпретировалась как последовательный переход от классико-механической программы к электромагнитно-полевой и от нее к релятивистской и затем квантово-релятивистской. Естественно, возникал вопрос о связи концепции Лакатоса и, соответственно, этих программ с концепцией МПФ. Думаю, что мне удалось разобраться с этой проблемой (см. (Визгин, 1982)). Но для краткости, я сошлюсь на изложение моего подхода Н.Ф. Овчинниковым и ограничусь серией цитат из книги Е.А. Мамчур, Н.Ф. Овчинникова и А.П. Огурцова (Мамчур, Овчинников, Огурцов, 1997, с. 245–247): «Наиболее детально эту связь (т.е. связь концепции Лакатоса с МПФ. – В.В.) прояснил и обосновал ее значимость на материале истории физики В.П. Визгин... Визгин отмечает, что различные ученые могут придерживаться различных научно-исследовательских программ. И вместе с тем они, несмотря на такое различие, могут разделять некоторые общие принципы методологического философского характера. В условиях преобразования научного знания происходит возникновение новых исследовательских

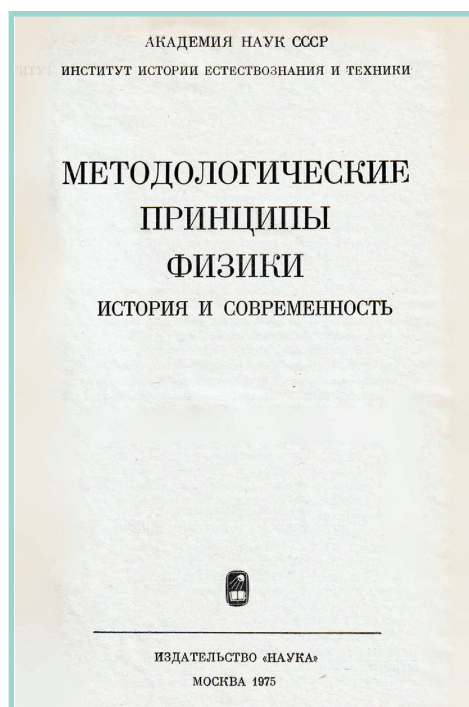
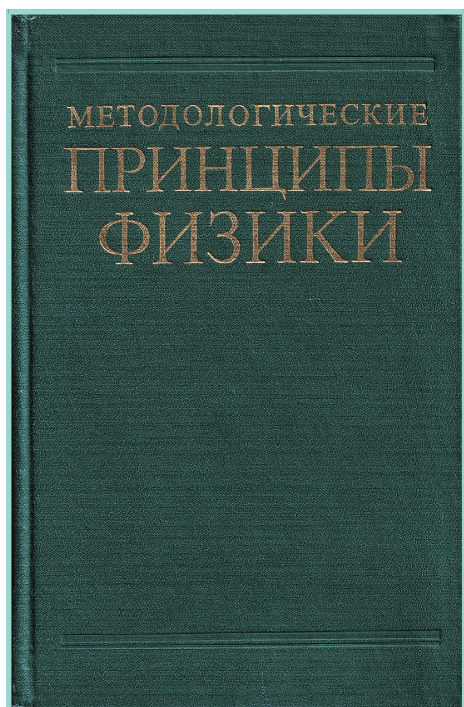


Рис. 2 и 3. Методологические принципы физики. История и современность. 1975 г.

программ... Именно в такие периоды научное знание сохраняет свою устойчивость, свою преемственность в силу действия методологических принципов. Эти принципы выступают в такие периоды развития науки в качестве арбитров в соревновании предлагаемых исследовательских программ... Описывая ситуацию сомнения в общепризнанных исследовательских программах, Визгин подчеркивает сложный механизм влияния действующих программ на методологические принципы» (Мамчур, Овчинников, Огурцов, 1997, с. 246). И далее Н.Ф. приводит фрагмент из моей статьи: «С одной стороны, сами эти принципы формируются в рамках отдельных программ. С другой – методологический статус они приобретают при появлении конкурирующих программ, выполняя роль своеобразного арбитра в этой конкуренции. Методологические принципы способствуют осознанию кризиса... исследовательских программ и вместе с тем оказываются мощным эвристическим средством построения новых теорий и тем самым новых программ» (Визгин, 1982, с. 182). В этой статье сказанное иллюстрируется на материале формирования релятивистской программы, ее конкуренции с классико-механической и электромагнитно-полевой программой и построения на ее основе общей теории относительности. «Методология исследовательских программ, подчеркивает... наш автор, только в тесном взаимодействии с концепцией МПФ может быть более плодотворной, более реалистичной... Система МПФ задает определенный масштаб для сравнения различных исследовательских программ и позволяет более конкретно и более глубоко осмыслить процесс исторического формирования этих программ. В этом отношении исследование Вл.П. Визгина убедительно демонстрирует тесную связь историко-научных исследований... и философии науки, которая стремится постигнуть природу науки в контексте философских и методологических принципов (Мамчур, Овчинников, Огурцов, 1997, с. 247).

6. Роль МПФ в разработке и развитии стандартной модели в физике элементарных частиц (1954–1974)

Концепция МПФ, как и методология исследовательских программ, разрабатывалась в основном на материале создания релятивистских и квантовых теорий в 1960–1970-е гг. Как раз в эти же годы формировалась на основе теории полей Янга – Миллса стандартная модель (СМ) в физике частиц, ставшая основой современной квантово-полевой теории элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий. Изучение истории формирования СМ в целом подтверждает эффективность концепции МПФ (а также ее сочетания с методологией исследовательских программ), хотя и вносит некоторые новые аспекты как в сами принципы, так и их применение. Этому посвящены работы автора последнего времени (Визгин, 2020а; Визгин, 2020b; Визгин, 2021; Визгин, 2024а; Визгин, 2024b). Кратко рассмотрим с этой точки зрения «калибровочную революцию» в физике элементарных частиц, приведшую к созданию СМ – современной теории частиц и фундаментальных взаимодействий между ними (1954–1974 гг.). В середине 1950-х – начале 1960-х гг. сформировались, как минимум, две исследовательские программы в физике микромира. Одна из них – это квантово-полевая программа, продемонстрировавшая

свою эффективность при создании квантовой электродинамики. Но она встретила в середине 1950-х гг. с проблемой (или парадоксом) «нуль-заряда», особенно четко сформулированной в 1954–1955 гг. Л.Д. Ландау и И.Я. Померанчуком и их сотрудниками, которые предложили отказаться от полевого подхода в пользу феноменологической альтернативы, т.е. неполевой программы, опирающейся на формализм матрицы рассеяния, дисперсионные соотношения, метод полюсов Редже и концепцию «ядерной демократии». Приверженцы феноменологической программы (прежде всего, Ландау) ссылались на принцип наблюдаемости: «... Операторы поля, содержащие ненаблюдаемую информацию, должны исчезнуть из теории и т.д.» (цит. по (Визгин, 2021, с. 283)). Но предшествующая квантово-полевая программа (опирающаяся на КЭД) также в это же время модифицировалась на основе концепции неабелевых локально-калибровочных полей, предложенной Ч. Янгом и Р. Миллсом в 1954 г. (сначала только для сильных взаимодействий). Последующие два десятилетия проходили в борьбе этих программ, в которых верх одержала вторая, а именно полевая программа, модифицированная Янгом и Миллсом. При этом МПФ, с одной стороны, играли важную эвристическую роль, а с другой, некоторые важнейшие из них сами расширялись или модифицировались. Принцип наблюдаемости был на стороне первой, феноменологической, программы. Основное же значение при развитии полевой программы имели принцип симметрии и сопряженный с ним принцип сохранения. Сначала были открыты правильные внутренние (унитарные) симметрии сильных и слабых (вместе с электромагнитными) взаимодействий. Поля (бозоны), описывающие сами эти взаимодействия, вводились с помощью локализации глобальных симметрий (на основе расширения связи симметрий с законами сохранения, т.е. расширения нетеровой структуры, или принципа «симметрия диктует взаимодействия»). Таким образом, и сами методологические принципы симметрии и сохранения модифицировались. И хотя на основе найденной в 1961 г. М. Гелл-Манном и Ю. Нееманом симметрии в теории сильных взаимодействий, $SU(3)$, тем же Гелл-Манном и Дж. Цвейгом были спустя три года открыты кварки, возникла, казалось, непреодолимая проблема, связанная с безмассовостью частиц взаимодействия, что как будто противоречило опыту. И тут снова пришлось определенным образом модифицировать принцип симметрии: из физики конденсированных сред в физику частиц была перенесена концепция спонтанного нарушения симметрии, на базе которой П. Хиггс и еще несколько физиков нашли особый механизм надделения бозонов взаимодействия массой (механизм Хиггса, 1964 г.). Используя этот механизм и опираясь на идею объединения слабых и электромагнитных взаимодействий и соответствующую ему группу симметрии, предложенные Ш. Глэшоу, С. Вайнберг и А. Салам в 1967 г. построили калибровочную теорию электрослабых сил. Поначалу отношение к ней было крайне скептическим, но, после того как Г. 'т Хоофт, опираясь на результаты Л.Д. Фаддеева и В.Н. Попова, доказал перенормируемость как безмассовых, так и массивных калибровочных полей (1971), к теории Вайнберга и Салама быстро пришло признание. К этому времени произошли и существенные позитивные изменения в теории сильных

взаимодействий. В экспериментах по глубоко неупругому рассеянию электронов на нуклонах в Стэнфорде (США) было показано, что внутри нуклонов содержатся точечноподобные составляющие, названные Р. Фейнманом партонами, которые естественно было связать с кварками, а затем как с кварками, так и с глюонами. В это же время (1971–1973 гг.) Гелл-Манн с сотрудниками создают теорию сильных взаимодействий как локально-калибровочную теорию «цветовой» $SU(3)$ – группы симметрии кварков и октета безмассовых глюонов, названную ими позже квантовой хромодинамикой (КХД). Все еще серьезные сомнения в полевом характере теории и реальности кварков и глюонов были преодолены в 1973 же году в работах Д. Гросса, Ф. Вильчека и Д. Политцера на основе введенных ими понятий «асимптотической свободы» (ослабления сильного взаимодействия на малых расстояниях) и «конфайнмента» (пленения, невылетаия цветных кварков и глюонов внутри бесцветных адронов). Только после этого квантово-полевая исследовательская программа окончательно вытеснила неполевою феноменологическую S-матричную программу, связанную с «ядерной демократией». Этот двадцатилетний период интенсивной конкуренции двух исследовательских программ вполне убедительно свидетельствует о важной эвристической силе МПФ. Особенно интересно функционирование принципа симметрии, который фактически является здесь основным средством теоретизации, но при этом существенно модифицируется и сам. Первая модификация – это его расширение от обычной нетеровой структуры (симметрия определяет законы сохранения) до расширенной нетеровой структуры (симметрия, ее локализация, диктует взаимодействия, связанные с концепцией Янга – Миллса). В 1961 г. открываются унитарные группы симметрии сильных и электрослабых взаимодействий (в последнем случае прямо работает и принцип единства в форме объединения электромагнитных и слабых сил). Далее преодолеть проблемы с безмассовостью калибровочных частиц помогает использование идеи спонтанного нарушения симметрии (еще одна модификация принципа симметрии). Наконец при завершении КХД строится локально-калибровочная теория цветовой симметрии с октетом калибровочных безмассовых частиц, глюонов. При этом работа принципа симметрии достигает полного успеха именно на квантово-полевом уровне, за которым стоит принцип дополнительности. Поддержку локально-калибровочной квантово-полевой программе оказывают также и принцип простоты, и соответствия, а также математизации (или вигнеровской непостижимой эффективности математики) и вариационности (или столь ж непостижимой эффективности аналитической механики). Единственный принцип, на который ссылались сторонники феноменологической альтернативы, принцип наблюдаемости, оказался недостаточно основательной поддержкой.

7. МПФ в 2020-е гг.: «10 фундаментальных принципов устройства Вселенной» Ф. Вильчека

Выделенные в начале 1970-х гг. принципы теоретизации, по существу, сохранили свое значение и в физике XXI в. Один из создателей СМ в физике элементарных частиц Ф. Вильчек в своей блестящей книге пишет:

«Функционирование мира строится на четырех простых, но неукоснительно соблюдаемых общих принципах... 1. *Фундаментальные законы описывают изменения* (здесь и далее курсив Вильчека. – В.В.). Полезно разделить описание мира на две части: состояния и законы. Состояния показывают, что есть, а законы – как это меняется. 2. *Фундаментальные законы универсальны*. Они выполняются всегда и везде. 3. *Фундаментальные законы локальны*. Это значит, что поведение объекта в ближайшем будущем зависит только от текущих условий и его непосредственного окружения. 4. *Фундаментальные законы точны*. Они не допускают исключений. Соответственно, их можно формулировать в форме математических уравнений» (Вильчек, 2021, с. 62). Из дальнейших пояснений мы узнаем в этих принципах методологические принципы причинности (и объяснения) и своего рода принцип близкодействия (означающий необходимость введения понятия поля), и принцип симметрии, и принцип математизации. Автор подчеркивает также, что эти принципы позволяют строить теории на основе эксперимента и что они связаны с введением таких фундаментальных понятий, как поле, частицы (последние, впрочем, соединяются в понятии квантовое поле, что подразумевает использование еще и принципа дополнительности) (Вильчек, 2021, с. 93, 178).

За рамками нашего рассмотрения остался так называемый принцип красоты, на который нередко ссылались творцы фундаментальных теорий. Вот, например, еще один творец СМ С. Вайнберг, отмечая невыводимость СМ ни из математических, ни из философских соображений, продолжает: «Она, скорее, является продуктом умозаключений, ведомых эстетическим суждением и подкрепленных множеством успешных предсказаний» (Вайнберг, 2016, с. 305). Да и сам Н.Ф. Овчинников был очарован красотой физических теорий XX в., которая была для него главным источником вдохновения (см. эпиграф). Сводится ли красота к симметрии? Заводят ли поиски красоты физиков в тупик (как об этом недавно заявила С. Хоссенфельдер в своей книге (Хоссенфельдер, 2021), см. также рецензию на эту книгу (Андреев, Визгин, 2022))? Включать ли принцип красоты в число МПФ? Однозначного ответа на эти вопросы не существует, и их обсуждение выходит за рамки настоящей статьи.

Источники и литература

1. Андреев А.В., Визгин В.П. Превратности принципа красоты в новейшей истории физики // Вопросы истории естествознания и техники. 2022. Т. 43, № 1. С. 154–169.
2. Вайнберг С. Мечты об окончательной теории: Физика в поисках самых фундаментальных законов природы. М.: УРСС, 2004. 256 с.
3. Вайнберг С. Объясняя мир: Истоки современной науки. М.: Альпина нон-фикшн, 2016. 474 с.
4. Вигнер Е. Этюды о симметрии. М.: Мир, 1971. 318 с.: ил.
5. Визгин В.П. Развитие взаимосвязи принципов инвариантности с законами сохранения в классической физике. М.: Наука, 1972. 240 с.
6. Визгин В.П. «Эрлангенская программа» и физика. М.: Наука, 1975. 112 с.
7. Визгин В.П. Методологические принципы и научно-исследовательские программы // Методологические проблемы историко-научных исследований / Отв. ред. И.С. Тимофеев. М.: Наука, 1982. С. 172–197.
8. Визгин В.П. От релятивизма к квантам: линия Паули // Исследования по истории физики и механики. 2000. М.: Наука, 2001. С. 5–16.

9. *Визгин В.П.* Чем определяется «дуга Эйнштейна»? // Эйнштейн и перспективы развития науки / Отв. ред. Е.А. Мамчур. М.: Репроникс, 2007. С. 20–24.
10. *Визгин В.П.* Метафизические аспекты «дуги Эйнштейна» // *Метафизика*. 2013. № 1 (7). С. 108–125.
11. *Визгин В.П.* Эйнштейн и математики (к 100-летию создания общей теории относительности) // *Метафизика*. 2015. № 3 (17). С. 135–156.
12. *Визгин В.П.* Социокультурные аспекты стандартной модели и истории ее создания // *Эпистемология и философия науки*. 2020. Т. 5, № 3. С. 160–176.
13. *Визгин В.П.* Метафизические аспекты стандартной модели в физике элементарных частиц и истории ее создания // *Метафизика*. 2020. № 3 (37). С. 39–56.
14. *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.
15. *Визгин В.П.* Золотые годы истории физики в Институте истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН // *Вопросы истории естествознания и техники*. 2022. Т. 43, № 4. С. 659–696.
16. *Визгин В.П.* История создания и метафизические аспекты электрослабой теории: развитие и модификации принципа симметрии // *Метафизика*. 2024. № 1 (51). С. 92–123.
17. *Визгин В.П.* Как в теории элементарных частиц появились кварки? (к 60-летию великого открытия) // *Вопросы истории естествознания и техники*. 2024. Т. 45, № 2. С. 250–277.
18. *Вильчек Ф.* Основы реальности: 10 фундаментальных принципов устройства Вселенной. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2021. 208 с.
19. *Горелик Г.Е.* Кто изобрел современную физику? От маятника Галилея до квантовой гравитации. М.: АСТ: Corpus, 2013. 334 с.
20. *Мамчур Е.А., Овчинников Н.Ф., Огурцов А.П.* Отечественная философия науки: предварительные итоги. М.: РОССПЭН, 1997. 360 с.
21. *Методологические принципы физики. История и современность* / Отв. ред. Б.М. Кедров, Н.Ф. Овчинников. М.: Наука, 1975. 512 с.
22. *Мухин Р.Р.* Очерки по истории динамического хаоса: исследования в СССР в 1950–1980-е гг. М.: Либроком, 2012. 389 с.: ил., табл.
23. *Овчинников Н.Ф.* Принципы теоретизации знания. М.: Агро-принт, 1996. 215 с.
24. *Томилин К.А.* Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 368 с.
25. *Фейнман Р., Вайнберг С.* Элементарные частицы и законы физики. М.: Мир, 2000. 138 с.
26. *Философские проблемы современной физики* / А.А. Максимов и др. (сост.) М.; Л.: Изд. АН СССР, 1952. 575 с.
27. *Хоссенфельдер С.* Уродливая Вселенная: как поиски красоты заводят физиков в тупик. М.: Эксмо, 2021. 304 с.
28. *Шредингер Э.* Мой взгляд на мир. М.: КомКнига, 2005. 145 с.
29. *Эйнштейн А.* Собрание научных трудов. Т. IV. М.: Наука, 1967. 599 с., 15 л. ил.

References

1. Andreev, Andrei V. and Vladimir P. Vizgin. "Prevratnosti printsipa krasoty v noveishei istorii fiziki." *Voprosy istorii estestvoznaniya m tekhniki*, vol. 43, no. 1, 2022, pp. 154–169.
2. Weinberg, Steven. *Dreams of a Final Theory: The Search for the Fundamental Laws of Nature*. Translated into Russian, URSS, 2004.
3. Weinberg, Steven. *To Explain the World: The Discovery of Modern Science*. Translated into Russian, Al'pina non-fikshn, 2016.
4. Wigner, Eugene P. *Symmetries and Reflections: Scientific Essays*. Translated into Russian, Mir, 1971.
5. Vizgin, Vladimir P. *Razvitie vzaimosvyazi printsipov invariantnosti s zakonami sokhraneniya v klassicheskoi fizike*. Nauka, 1972.
6. Vizgin, Vladimir P. *"Erlangenskaya programma" i fizika*. Nauka, 1975.

7. Vizgin, Vladimir P. "Metodologicheskie printsipy i nauchno-issledovatel'skie programmy." *Metodologicheskie problemy istoriko-nauchnykh issledovaniy*, Edited by Ilya S. Timofeev. Nauka, 1982, pp. 172–197.
8. Vizgin, Vladimir P. "Ot relyativizma k kvantam: liniya Pauli." *Issledovaniya po istorii fiziki i mekhaniki*. 2000, Nauka, 2001, pp. 5–16.
9. Vizgin, Vladimir P. "Chem opredelyaetsya 'duga Einšteina'?" *Einšteini i perspektivy razvitiya nauki*, Edited by Elena A. Mamchur. Reproniks, 2007, pp. 20–24.
10. Vizgin, Vladimir P. "Metafizicheskie aspekty 'dugi Einšteina'." *Metafizika*, no. 1 (7), 2013, pp. 108–125.
11. Vizgin, Vladimir P. "Einšteini i matematiki (k 100-letiyu sozdaniya obshchei teorii ot-nositel'nosti)." *Metafizika*, no. 3 (17), 2015, pp. 135–156.
12. Vizgin, Vladimir P. "Sotsiokul'turnye aspekty standartnoi modeli i istorii ee sozdaniya." *Epistemologiya i filosofiya nauki*, vol. 5, no. 3, 2020, pp. 160–176.
13. Vizgin, Vladimir P. "Metafizicheskie aspekty standartnoi modeli v fizike elementarnykh chastits i istorii ee sozdaniya." *Metafizika*, no. 3 (37), 2020, pp. 39–56.
14. Vizgin, Vladimir P. "U istokov standartnoi modeli v fizike fundamental'nykh vzaimodeist-vii." *Issledovaniya po istorii fiziki i mekhaniki*. 2019–2020, Yanus-K, 2021, pp. 249–293.
15. Vizgin, Vladimir P. "Zolotye gody istorii fiziki v Institute istorii estestvoznaniya i tekhniki im. S.I. Vavilova RAN." *Voprosy istorii estestvoznaniya i tekhniki*, vol. 43, no. 4, 2022, pp. 659–696.
16. Vizgin, Vladimir P. "Istoriya sozdaniya i metafizicheskie aspekty elektroslaboi teorii: razvi-tie i modifikatsii printsipa simmetrii." *Metafizika*, no. 1 (51), 2024, pp. 92–123.
17. Vizgin, Vladimir P. "Kak v teorii elementarnykh chastits poyavilis' kvarki? (k 60-letiyu ve-likogo otkrytiya)." *Voprosy istorii estestvoznaniya i tekhniki*, vol. 45, no. 2, 2024, pp. 250–277.
18. Wilczek, Frank. *Fundamentals: Ten Keys to Reality*. Translated into Russian, Mir, 2021.
19. Gorelik, Gennadii E. *Kto izobrel sovremennuyu fiziku? Ot mayatnika Galileya do kvanto-voi gravitatsii*. AST: Corpus, 2013.
20. Mamchur, Elena A. and Nikolai F. Ovchinnikov, Aleksandr P. Ogurtsov. *Otechestvennaya filosofiya nauki: predvaritel'nye itogi*. ROSSPEN, 1997.
21. *Metodologicheskie printsipy fiziki. Istoriya i sovremennost'*. Edited by Bonifatii M. Kedrov and Nikolai F. Ovchinnikov. Nauka, 1975.
22. Mukhin, Raviľ R. *Ocherki po istorii dinamicheskogo khaosa: issledovaniya v SSSR v 1950–1980-e gg*. Librokom, 2012.
23. Ovchinnikov, Nikolai F. *Printsipy teoretizatsii znaniya*. Agro-print, 1996.
24. Tomilin, Konstantin A. *Fundamental'nye fizicheskie postoyannye v istoricheskom i me-todologicheskom aspektakh*. FIZMATLIT, 2006.
25. *Elementary Particles and the Laws of Physics, The 1986 Dirac Memorial Lectures*. Rich-ard P. Feynman and Steven Weinberg. Translated into Russian, Mir, 2000.
26. *Filosofskie problemy sovremennoi fiziki*. Edited by Aleksandr A. Maksimov, Izd. AN SSSR, 1952.
27. Hossenfelder, Sabina. *Lost in Math: How Beauty Leads Physics Astray*. Translated into Russian, Eksmo, 2021.
28. Schrödinger, Erwin. *Meine Weltansicht*. Translated into Russian, KomKniga, 2005.
29. Einstein, Albert. *Complete Works Translated into Russian*. Vol. 4, Nauka, 1967.

Сведения об авторе:

Визгин Владимир Павлович, доктор физико-математических наук, главный научный со-трудник отдела истории физико-математических наук Института истории естествозна-ния и техники им. С.И. Вавилова РАН; e-mail: vlvizgin@gmail.com.
<https://orcid.org/0000-0003-2855-5086>.

Дата поступления статьи: 02.06.2024

Одобрено: 15.01.2025

Дата публикации: 05.05.2025