

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СТРАТЕГИЯ ПОЗНАНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ

[Работа представлена кафедрой гуманитарных и естественнонаучных дисциплин
Орловской региональной академии государственной службы в г. Липецке]

Многопланово освещены различные аспекты изучения современной физики: онтологические, методологические, мировоззренческие, методические. В основу предлагаемого системно-структурного изучения квантово-релятивистской физики и космологии положена концепция физического вакуума.

Этот комплекс и соответствующая методика его изучения позволяют эффективно реализовать гуманистический, личностно-развивающий образовательный потенциал современной физики.

Ключевые слова: физический вакуум, квантово-релятивистская физика, космология, физические симметрии, корпускулярно-волновой дуализм, спектральный принцип, эволюция и структурные уровни материи.

V. Markov

THE EDUCATIONAL STRATEGY OF CONTEMPORARY PHYSICS COGNITION

A multidimensional review of different ontological, methodological, world outlook, and other aspects of studying contemporary physics is presented. The foundation of the proposed systematic structural studying of quantum-relativistic physics and cosmology is based on the concept of physical vacuum. This complex and the following methodological concept of its learning allows to effectively realize humanitarian student-centered developmental educational potential of contemporary physics.

Keywords: physical vacuum, quantum-relativistic physics, cosmology, physical symmetry, wave-particle duality, spectral principle, evolution and structural level of matter.

Перед многими поколениями педагогов стояли и стоят извечные вопросы: «Чему учить?» и «Как учить?». Насколько изучаемый материал оказывается педагогически важен и целесообразен? Что он дает для личностного развития в условиях новой образовательной среды?

В статье речь пойдет о преподавании современной физики, под которой обычно понимают квантовую и релятивистскую физику. Ее появление в начале прошлого века во многом предопределило развитие научно-технической революции, которая оказала и продолжает оказывать сильное влияние на жизнь современного общества. Благодаря новым важнейшим открытиям и громадному эмпирическому материалу, накопленному за прошедшее с тех пор время (почти столетие), понимание ее содержания (как оно мыслилось ее создателями) во многом изменилось. Сегодня под современной физикой принято понимать весь комплекс фундаментальных знаний, определяющих в настоящее время физическую картину мира, которые открыла физическая наука на протяжении всего XX в. и начала нового столетия. И именно с позиции нынешнего времени должно строиться изучение современной квантово-релятивистской физики как в высшей, так и в средней школе. Поскольку жизнь современного социума требует и другого уровня изучения физической науки, это становится особо значимым, ибо в научном содержании современной физики заложен огромный мировоззренческий и методологический потенциал.

Во-первых, современная квантово-релятивистская физика является экспериментально-теоретической основой познания той ниши реального мира, называемого микромиром, законы функционирования которого существенно отличаются от «привычных» законов макроскопической классической физики. Она не только преодолевает трудности концепции механического детерминизма

классической физики в объяснении этих закономерностей, придавая причинно-следственным связям вероятностный характер, но и главное, позволяет понять причину *стабильности* существующих структурных форм материи реального мира, что оказалось неразрешимым для классической физики [1, с. 36]. Квантово-релятивистская физика стала основой современной космологии — науки изучающей Вселенную как единое целое и тесно связанной с физикой элементарных частиц.

Во-вторых, в настоящее время квантово-релятивистская физика экспериментальными и теоретическими средствами объективированно доказала, что в физической реальности наряду с веществом и полем существует еще одна структурная составляющая — *физический вакуум*, который можно рассматривать как одну из форм материи. Это одно из фундаментальных открытий современной физики, истоки которого лежат еще в работах А. Эйнштейна. С точки зрения квантово-релятивистской физики, отмечал Эйнштейн, пустое пространство должно представлять собой некую «универсальную релятивистскую среду, которая сама по себе лишена каких-либо механических свойств, но в то же время определяет все кинематические, динамические и полевые процессы» [7, с. 687]. Ныне установлено, что такое понимание вакуума соответствует реальной действительности. Физический вакуум является своеобразным материальным фоном, «подстилающим» весь наблюдаемый физический Мир. Объекты микромира в своих проявлениях «генетически» наследуют фундаментальные свойства и качества этой универсальной среды.

Таким образом, онтологические корни квантовой и релятивистской физики лежат в структурных глубинах физического вакуума. И это является основой для разработки и реализации *новой* методической стратегии и концепции изучения квантовой и релятивистской физики [5], отличной от ставших уже традиционными теоретических схем, ориентированной на использование концептуальных оснований современной квантово-релятивистской физики, прежде всего, связанных со структурой, свойствами и симметриями физического вакуума.

В-третьих, изучение современной физики во многом может способствовать достижению педагогических задач, стоящих перед физическим образованием. Как известно, классическая механика и электродинамика, будучи физикой макроскопической, в процессе обучения предоставляют прекрасные возможности для экспериментальной, практической и конструкторской деятельности учащихся, способствующей развитию их мыслительных и творческих способностей. Переход к познанию структурных уровней другого масштаба — микромира и мегамира, безусловно, снижает возможности реализации экспериментальной и практической деятельности учащихся в условиях школьного обучения (по крайней мере, в ближайшее время вряд ли реализуемых, если только путем компьютерного моделирования происходящих в этих областях процессов и явлений). Но он открывает путь к решению другой не менее важной задачи — пониманию существа и возможностей современных технологий, основанных на законах и явлениях микромира, роль которых во многих сферах человеческой деятельности резко возрастает.

Однако значимость современной физики и космологии в образовании даже не столько в этом, а, на наш взгляд, в другом: они создают основу современного научного миропонимания и мировоззрения человека, позволяя ему перейти от

обыденного, сиюминутного осознания окружающего мира к космическому взгляду на существующую реальность, задуматься о предназначении и роли человека в эволюционном развитии Вселенной.

Наука — это часть человеческой культуры, и современная физика — определенный этап развития физической науки, натуральной философии и человеческой культуры в целом. Это новая ступень в понимании исторического эволюционного развития фундаментальных категорий (таких как «материя», «движение», «пространство», «время», «взаимодействие», «причинность» и др.), составляющих основу концептуального представления человечества об устройстве Мира. Поэтому и путь к постижению этих и других концептов современной физики может лежать через определенное восприятие культурно-философского наследия, включающего возникающие на историческом пути познания не только великие идеи и догадки, но и заблуждения людей.

Изучение современной физики — это и постижение современной научной методологии, вооружающей человека «инструментом» познания реального мира (и не только его физических сторон), и формирование у него стиля научного мышления. Все это в комплексе создает огромный гуманистический и гуманитарный потенциал современной физики. Задача только в том, чтобы суметь реализовать его в обучении.

Что же должно составить содержательную область изучения современной физики и на каких методических принципах может быть построено ее изучение? На наш взгляд, в основу должна быть положена *концепция физического вакуума*, позволяющая связать в единый комплекс основные теоретические положения и эмпирические факты современной квантово-релятивистской физики и космологии и создать соответствующую онтологическую базу для их понимания и постижения.

Выделим вначале базовые физические положения, образующие данную концепцию.

1. Физический вакуум как форма материи.

Открытие физического вакуума как новой формы материи имеет важнейшее научное и мировоззренческое значение. Поэтому объективация этого факта должна стать главным условием алгоритма изучения релятивистской и квантовой физики как определенных граней проявления этой реальности.

Решающим объективирующим фактором существования физического вакуума (помимо экспериментально наблюдаемых физических эффектов, обусловленных поляризацией вакуума, таких как эффект Казимира, лэмбовский сдвиг энергитических уровней атома водорода и др.) является возникновение и эволюционное развитие нашей Вселенной. Обнаруженный астрономическими средствами наблюдения эффект «красного смещения» в спектрах далеких галактик свидетельствует о их «разбегании» и тем самым подтверждает теоретический вывод о расширении Вселенной, который следует из релятивистской теории гравитации. Вопрос о возникновении Вселенной неизбежно приводит к проблеме ее изначального (сингулярного) состояния и последующей эволюции форм материи. Эта проблема рассматривается в рамках модели Большого Взрыва горячей Вселенной и современной инфляционной космологической модели. Таким образом, появление на физической арене вакуума как новой, неизвестной

до недавнего времени формы материи, из которой в определенных условиях появилось поле и вещество, становится неизбежным.

В настоящее время вакуум рассматривают как фундаментальную основу современной квантово-релятивистской физики и основной предмет ее исследований в XXI в.

2. Физические симметрии и релятивистские свойства вакуума.

Как сложная пространственно распределенная динамическая система вакуум проявляет определенные физические свойства и симметрии, выражающие его системно-структурные факторы, которые формируют облик Вселенной.

Основой *релятивистской физики* может служить утверждение (постулат) о том, что физический вакуум как универсальная физическая среда в макроскопическом пространственно-временном масштабе обладает комплексом фундаментальных геометрических и кинематико-динамических симметрий, оставляющих неизменными проявления и закономерности физической реальности по отношению к действию определенных групп преобразований:

A1: пространственной однородностью, т. е. инвариантностью по отношению к действию группы пространственных трансляций;

A2: временной однородностью — инвариантностью по отношению к действию группы сдвигов во времени;

A3: пространственной изотропностью — инвариантностью по отношению к действию группы пространственных вращений;

A4: кинематической изотропностью — инвариантностью по отношению к пространственно-временным «вращениям» или группе переходов от одних ИСО к другим;

A5: динамической однородностью — инвариантностью по отношению к группе преобразований, сохраняющих основное тождество релятивистской динамики:

$$M^2 = E^2 - p^2 = \text{Inv} (Lor)$$

Система этих основополагающих принципов $A \equiv \langle A1, A2, A3, A4, A5 \rangle$, являющихся теоретическим обобщением эмпирических феноменов кинематики и динамики релятивистских объектов, движущихся в физическом вакууме, позволяет содержательно и не противоречиво (без так называемых релятивистских парадоксов) сформулировать и развернуть всю систему физических знаний, касающихся релятивистской физики. Такой подход к изучению основ релятивистской физики не только раскрывает сущность физического понятия симметрии, но и совершенно по-новому ставит в обучении вопрос о содержании релятивистской физики.

3. Квантовые свойства вакуума и вероятностно-стохастический характер движения микрообъектов.

На микроскопическом уровне физический вакуум обладает квантово-полевой структурой. Его можно рассматривать как глобальную динамическую систему, состоящую из виртуальных «частиц», которые являются проявлениями вакуумных флуктуаций. Поэтому любые реальные микрообъекты, распространяясь в физическом вакууме, подвержены его влиянию через воздействия этих виртуальных образований. Именно квантовый хаос вакуума, его вероятностно-стохастический характер определяет необычность поведения микрообъектов в условиях макроскопического наблюдения.

В процессе движения в физическом вакууме реальная микрочастица не остается все время тождественной себе, как классическая частица, а претерпевает процесс виртуальных трансформаций. Поэтому ее движение подчиняется совершенно иным законам, отличным от законов классической механики. Фактически внешний наблюдатель на уровне микроявлений сталкивается с проявлением совершенно иной чем механическая, — квантовой формой движения. Область физических явлений, в которой в полной мере проявляется эта форма движения микрообъектов, собственно, и есть физика микроявлений, или *квантовая физика*.

На макроскопическом уровне наблюдения квантовая форма движения проявляется в виде корпускулярно-волнового дуализма: микрообъект проявляет двойственные, одновременно несовместимые для макроскопического объекта свойства — и волновые, и корпускулярные. Эти свойства проявляются в зависимости от условий эксперимента. Исторически это был первый опыт познания данной формы движения, и именно изучение этого феномена привело к созданию теории квантовой механики.

Феноменологический уровень макроскопического описания квантового движения приводит к появлению в квантовой механике волновой функции или амплитуды вероятности $\psi(x, t)$, обуславливающий распределение вероятностей обнаружения микрообъекта в определенной точке пространства, а также к проявлению и действию двух важных принципов, устанавливающих особенности данной формы движения: 1) принципа суперпозиции, фиксирующего интерференцию квантовых альтернатив и 2) принципа неопределенностей, по сути устанавливающего запрет на макроскопическую детализацию структуры квантовых процессов.

4. Физический вакуум и эволюция форм материи.

Физический вакуум, являющийся основой всей существующей физической реальности, — это сложная многокомпонентная пространственно распределенная динамическая система, способная к перестройке своей внутренней структуры, которая может эволюционно развиваться в режиме самоорганизации и самовоспроизведения. Такой режим динамического развития определяет как глобальные свойства Вселенной в целом, так и локальные характеристики и свойства распределенной в ней материи [4, с. 193]. Физический анализ показывает, что все эти свойства Вселенной согласованы друг с другом на очень высоком уровне точности, что возможно лишь в режиме чрезвычайно сильной самоорганизации системы.

Начало «лестницы» эволюционного синергетизма начинается в глубинах квантово-релятивистской гравитации, обусловившей возможность появления уникального космологического явления, называемого Большим Взрывом, и последующих затем стадий микро- и макроэволюции материи. Микроэволюция привела к образованию атомов и молекул и явилась предпосылкой возникновения макроэволюции, в результате которой появились макротела и их системы вплоть до галактических и внегалактических.

Важнейшим фактором, определившим характер развития Вселенной, является квантованность действия, которая применительно к квантово-релятивистским явлениям представляется обобщенным соотношением неопределенностей

$$\Delta E \Delta l \geq \frac{1}{2} \hbar c$$

где ΔE — масштаб энергетических вариаций, проявляющихся в соответствующей структурной нише стабильной материи; Δl — характерный пространственный масштаб соответствующей области пространственной локализации структурированных элементов «весомой материи».

Это соотношение, обусловленное проявлением и действием фундаментальных принципов квантовой физики, определяет энергетические и пространственные масштабы материализованных структур, которые возникают в результате фазовых превращений физического вакуума и космической плазмы после Большого Взрыва и фиксируются на определенной энерго-пространственной «ступеньке» структурного облика реального мира. Расширяясь и остывая после Большого Взрыва, Вселенная стала формировать ряд разрешенных структурно различных образований материи, образуя своеобразную «квантовую лестницу» (рис. 1). Этот процесс образования новых форм и структурных единиц материи шел закономерно и последовательно.

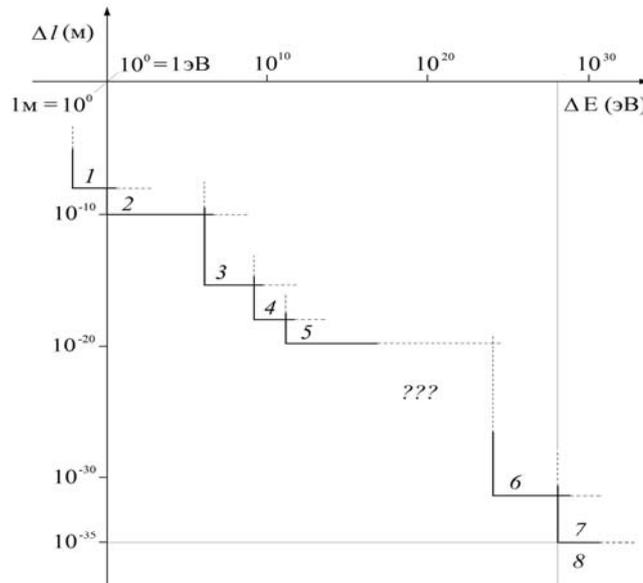


Рис. 1. Квантовая лестница, реализуемая на основе соотношения неопределенностей $\Delta E \Delta l \geq \hbar c / 2 = 10^{-7} \text{ эВ} \cdot \text{м}$, где ΔE — характерная энергия возбуждения (в электрон-вольтах) «элементарных» структурных единиц соответствующей области микромира, Δl — величина их пространственного масштаба, измеряемая в метрах. Диаграмма построена в логарифмическом масштабе. Отдельные секторы диаграммы представляют различные структурные уровни физического мира: 1 — молекулярный, 2 — атомный, 3 — ядерный, 4 — барионный, 5 — электрослабых взаимодействий, 6 — великого объединения, 7 — супервеликого объединения, 8 — субпланковской физики. Числовые значения физических параметров, представленных на диаграмме, имеют приблизительный, оценочный характер. $E_{Pl} = 10^{28} \text{ эВ}$, $L_{Pl} = 10^{-35} \text{ м}$ — соответственно планковский предел для энергии возбуждений и пространственный масштаб, с которого начинается субпланковская физика

Каждая ступень квантовой лестницы отличается от соседних различными по величине вариациями энергии ΔE и пространственными размерами структурных образований Δl . Поэтому каждая ступень имеет отношение к явлениям, которые характеризуются особыми свойствами и представляют собой отдельную область физики. Достоверно известны и хорошо изучены несколько ее ступеней: атомная (где энергии квантовых переходов $\Delta E \sim 1$ эВ и типичные размеры $\Delta l \sim 10^{-10}$ м); ядерная ($\Delta E \sim 10^6$ эВ, $\Delta l \sim 10^{-14}$ м) и субъядерная ($\Delta E \sim 10^9$ эВ, $\Delta l \sim 10^{-18}$ м).

Запуск в настоящее время Большого адронного коллайдера позволит достичь энергии в тераэлектронвольт и тем самым познать новую область физической реальности на пути раскрытия тайн происхождения Вселенной. Ниже энергии атомов имеются еще две ступени, очень важные для возникновения и развития феномена жизни. Это молекулы и макромолекулы. Чем меньше вариация энергии на квантовой лестнице, тем более выраженной становится специфичность соответствующих структур: ... барионы и мезоны \rightarrow ядро \rightarrow атом \rightarrow молекула \rightarrow макромолекула \rightarrow жизнь.

Существование квантовой лестницы имеет глубокий физический смысл [2, с. 197]: более тонкая (мелкомасштабная) его структура не проявляет себя и не участвует в энергетическом обмене до тех пор, пока средняя «тепловая» энергия не достигнет соответствующего уровня энергии квантового возбуждения. Так, при исследовании явлений на уровне энергии атомов никак не проявляется внутренняя структура ядер, а в изучении газов при нормальных температурах и давлении — внутреннее строение атомов. Иными словами, объект, имеющий внутреннюю структуру с точки зрения более высокой энергетической ступени, оказывается бесструктурным во всех явлениях на любой низшей ступени, поскольку энергии, характерные для этих ступеней, меньше пороговой энергии его возбуждения (атом является элементарной частицей в газовой кинетике, ядро — в атомной физике и т. д.). В пределах же каждой ступени соответствующая квантово-физическая система имеет обширную спектроскопию с характерным расстоянием между уровнями энергии ΔE , и при этом не может иметь нулевую энергию основного состояния, поскольку она определяется энергией физического вакуума.

Это позволяет сформулировать *спектральный принцип*, констатирующий, что в любой замкнутой квантовой системе существуют жестко фиксируемые и измеряемые спектры определенного рода наблюдаемых физических величин. Собственные значения этих величин индексируют устойчивые стабильные состояния этих систем, которые описываются соответствующими наборами собственных функций Ψ_i . Строго говоря, данное утверждение нельзя рассматривать как некий самостоятельно действующий онтологический принцип. Это только феноменологическая констатация наблюдаемого проявления и действия все той же квантовой формы движения объектов микромира.

Фактор структурного морфогенеза различных форм стабильной материи является важнейшим онтологическим положением современной физической картины мира и позволяет конструктивно объединить в единую концептуальную систему весь комплекс основополагающих физических принципов, используемых в построении содержания современной физики в образовании.

Теперь обратимся к другой стороне рассматриваемого вопроса. На каких педагогических и методических принципах может быть построено изучение современной физике в школе? Выскажем по этому поводу несколько общих соображений.

Мы не придерживаемся того взгляда, что построение учебного материала должно строго и последовательно следовать принципу историзма, точнее той исторической канве, по которой шло становление и развитие релятивистской и квантовой физики в действительности. Иногда целесообразно эту последовательность нарушить, переставляя местами исторические «причины» и «следствия», подводя онтологические обоснования под физические принципы, открытые и сформулированные в сугубо феноменологическом ключе. Для обоснования такого рода действий приведем сравнение. Исторически квантовая физика на начальном этапе своего развития возникла как дисциплина сугубо феноменологическая. В 30-е гг. XX столетия в концептуальном плане она была очень похожа на классическую термодинамику первой половины XIX в. В те времена в термодинамике еще не было раскрыто естество «теплоты». Позднее введение и обоснование концепции «молекулярного хаоса» позволило понять и объяснить природу действия основных принципов классической термодинамики. Нечто аналогичное произошло в квантовой физике. Система основных принципов квантовой механики, выраженных в форме, которая возникла в первые десятилетия XX столетия, имела репутацию науки весьма сложной и не совсем понятной. Мир квантовых вероятностей совершенно не поддавался логическому объяснению в рамках традиционной гносеологии. Позднее, когда в квантово-релятивистской физике был открыт феномен физического вакуума и было осознано, что в этой подстилающей субструктуре господствует квантовый хаос, генерируемый виртуальными частицами, возникло понимание физических причин и природы стохастичности квантово-физических динамических процессов. Концепция физического вакуума квантовой теории поля, подвела онтологическую основу под квантово-релятивистскую физику, придала ее основополагающим феноменологическим принципам новый аспект осмысления.

С другой стороны, изучение современной физики не должно быть оторвано от концептуальных идей, появившихся в историческом процессе познания. Современная физика — это новый этап в последовательном развитии человеческой культуры и научного познания мира. В свое время атомистическая концепция Демокрита и его последователей привела к ньютоновской механике и механической картине мира, опирающейся на понятие дискретности материи (вещества) и абсолютно пустого пространства. Последующее отрицание Аристотелем пустого пространства способствовало появлению другой — субстанциональной концепции пространства, которая затем получила свое развитие в представлении материи в виде поля в классической электродинамике Максвелла.

Современная квантово-релятивистская физика, установив, что физический вакуум является по сути онтологизирующей субструктурой всей объективной реальности, тем самым объективировано доказала гениальную догадку древних мыслителей о наличии единого «первоначала» Мира, которое они называли «физисом». Квантово-релятивистский вакуум отличается от «ничего» тем, что имеет универсальные постоянные, которые могут служить аналогом всеединства.

Современная космология пытается понять и ответить на вопрос: насколько однозначно и неотвратно эволюционное развитие нашей Вселенной привело к возникновению естественных физических условий, при которых только и оказалось возможным возникновение и развитие человека? Это обстоятельство называют антропным принципом, оно имеет глубокий онтологический смысл. Наша Вселенная обладает уникальным набором числовых значений различных физических характеристик мега-, макро- и микромира, а именно такого единственно возможного их набора, который, собственно, и обеспечивает условия и возможности для возникновения жизни и разума во Вселенной.

Использование мировоззренческого и культурологического аспектов в обучении позволяет связать в единое целое весь процесс длительного научного познания мира человеком, показать роль и место в этом процессе классической и современной физики и тем самым исторически проследить развитие взглядов на устройство мироздания — от классической (механической) физической картины мира к неклассической (квантово-полевой) и далее к постнеклассической (эволюционной) естественнонаучной картине мира. В последней Вселенная предстает в виде сложноорганизованной динамической системы, закономерности саморазвития которой приводят к естественному эволюционному процессу развития форм неживой и живой материи.

Одним из важнейших принципов современного образования является принцип *фундаментализации*, выражаемый, в частности, в требовании системно-структурного подхода к построению учебного материала. Реализация такого подхода к содержанию современной физики в школьном курсе представляется далеко не тривиальной задачей. Необходимыми условиями здесь являются:

1) выделение основополагающих теоретических и эмпирических положений (принципов) квантовой и релятивистской физики, представленных в доступной для восприятия учащихся форме;

2) наличие онтологической основы, связывающей эти принципы и обеспечивающей общую концептуальную направленность, логическую стройность и генерализацию всего содержания.

Такой основой в предлагаемом нами методическом подходе является концепция физического вакуума.

В психолого-педагогической теории развивающего обучения выделение и развертывание теоретических принципов связано с формированием содержательных обобщений. Этот процесс предполагает два этапа: 1) выделение посредством анализа совокупности фактов их существенных связей, которые выступают как единый источник, как генетическая основа всех других особенностей изучаемого целого; 2) развертывание абстрактной сущности из нерасчлененной внутренней связи в многообразии конкретных явлений и фактов, в единство многообразия развивающегося целого [3, с. 126].

Это как раз и не осуществляется в должной мере, если просто следовать исторической традиции в изучении квантовой и релятивистской физики, опираясь на уровень достижений и понимания начала XX в. Здесь надо иметь в виду, что становление и развитие новой физики происходило в существенно ином методологическом ключе, чем формирование классической физики. Мощный теоретический прорыв в сферу ее действия, осуществленный в начале XX в. группой гениальных ученых — А. Эйнштейном, Н. Бором, Л. де Бройлем, П. Дира-

ком и др., привел к тому, что квантовая и релятивистская физика вначале появилась в форме необычных (с позиции классической физики) математических структур и теоретических концепций, в которых эвристически угаданные ее принципы намного опередили экспериментальные возможности их верификации. Пересказ исторической фабулы выдающихся открытий, осуществленных на *эвристическом уровне*, в настоящее время не может соответствовать принципу фундаментализации современного образовательного процесса — у него несколько иные педагогические задачи. Начинать надо не с постулирования догадок великих ученых, а с выбора определяющих экспериментальных фактов, таких, в которых действие фундаментальных принципов квантовой и релятивистской физики проявляется отчетливо и явно. Это позволит вычленить ее основополагающие начала из соответствующей системы экспериментальных данных путем их анализа, определенной теоретической интерпретации и обобщения. Такой способ действия можно было бы назвать методом обращения. Он позволит построить процесс обучения современной физике в соответствии с «естественной» гносеологической процедурой, определяемой хорошо известной методологической формулой: экспериментальные факты → теоретические принципы → практика, — и тем самым реализовать структуру процесса содержательного обобщения, направленного на формирование теоретического и творческого мышления школьника.

Последовательное развитие и реализация выделенных психолого-педагогических и методологических положений, касающихся изучения современной квантово-релятивистской физики, приводит к определенной методической концепции, попытки реализации которой нами предприняты в учебном пособии [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вайскопф В.* Физика в двадцатом столетии. М.: Мир, 1977. 272 с.
2. *Готфрид К., Вайскопф В.* Концепции физики элементарных частиц. М.: Мир, 1988. 240 с.
3. *Давыдов В. В.* Проблемы развивающего обучения. М.: Педагогика, 1986. 240 с.
4. *Латыпов Н. Н., Бейлин В. А., Верешков Г. Н.* Вакуум, элементарные частицы и Вселенная. М.: Изд-во МГУ, 2001. 230 с.
5. *Марков В. Н., Пухов Н. М.* Современная физика: Концептуальные и методические основы изучения. Тамбов: Изд-во ТГУ, 2007. 384 с.
6. *Пухов Н. М., Марков В. Н.* Космос. Вакуум. Кванты: Современная физическая картина мира. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2008. 304 с.
7. *Эйнштейн А.* Эфир и теория относительности // Собрание научных трудов. Т. 1. М.: Наука, 1965. С. 682–689.

REFERENCES

1. *Vajskopf V.* Fizika v dvadcatom stoletii. M.: Mir, 1977. 272 s.
2. *Gotfrid K., Vajskopf V.* Konceptii fiziki jelementarnyh chastic. M.: Mir, 1988. 240 s.
3. *Davydov V. V.* Problemy razvivajuwego obuchenija. M.: Pedagogika, 1986. 240 s.
4. *Latypov N. N., Bejlin V. A., Vereshkov G. N.* Vakuum, jelementarnye chasticy i Vselenaja. M.: Izd-vo MGU, 2001. 230 s.

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫХ ДИСЦИПЛИН

5. *Markov V. N., Puhov N. M.* Sovremennaja fizika: Konceptual'nye i metodicheskie osnovy izuchenija. Tambov: Izd-vo TGU, 2007. 384 s.

6. *Puhov N. M., Markov V. N.* Kosmos. Vakuum. Kvanty: Sovremennaja fizicheskaja kartina mira. SPb.: Izd-vo RGPU im. A.I. Gercena, 2008. 304 s.

7. *JEjnshtejn A.* JЕfir i teorija otnositel'nosti // *Sobranie nauchnyh trudov.* T. 1. M.: Nauka, 1965. S. 682–689.