

ПЕДАГОГИКА

УДК 372.853

А.В. Баранов, А.И. Родионов

ФОРМИРОВАНИЕ БАЗОВЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О МАТЕРИИ, ДВИЖЕНИИ И ЭНЕРГИИ В КОНТЕКСТЕ ГНОСЕОЛОГИИ И ОНТОЛОГИИ XXI В.

Представлено исследование проблемы формирования у обучающихся базовых представлений о материи, движении и энергии в курсе физики с учетом их гносеологических и онтологических трансформаций в XXI в. Исследование проводилось на основе анализа результатов контрольных мероприятий (включая PISA) в области естественнонаучных представлений, содержания учебников и учебных пособий, высказываний известных ученых о роли физики, работ в сфере гносеологии и онтологии физических понятий.

Ключевые слова: обучение физике; формирование системы научных понятий у обучающихся; материя; движение материи; энергия.

Постановка проблемы. Цель исследования

О дидактических достоинствах курса физики неоднократно говорилось во многих публикациях [1–11]. Для научной и педагогической общественности совершенно очевиден тот факт, что физика как учебная дисциплина является бесспорным инвариантом школьного образования XXI в. [7–10] и остается необходимым фундаментом для большинства направлений подготовки в университетах [2, 4, 8, 9]. По мнению Дэвида Хестенеса (медаль Эрстеда за выдающийся вклад в преподавание физики), в происходящих реформациях образования физике должно отводиться центральное место, так как знакомство с ее концепциями и методологией позволяет сформировать у обучающихся когнитивный базис для понимания многих проявлений реальности, не обязательно имеющих физическое происхождение [8]. Характерным примером доказательств последнего является появившееся в конце XX в. научное направление, связанное с применением методологии физики к анализу различных процессов в обществе, – эконофизика. Специалистами, работающими в этой области, на основе использования методов квантовой и статистической физики были, в частности, спрогнозированы национальные и мировые кризисы [12].

В школьном и университетском образовании физика служит краеугольным камнем в основании фундаментальных знаний, которые формируют научное мировоззрение [5, 9, 13] и стратегическое мышление, крайне необходимые человеку для существования в усложняющейся реальности и актуализации современной парадигмы непрерывного образования [13]. Очевидно, к преподаванию физики как важнейшей фундаментальной дисциплине требуется подходить с большой ответственностью, не допуская поверхностного отношения к изложению предмета и его профанации [1, 2, 11].

Успешное изучение и адекватное восприятие содержания любой науки невозможны без освоения ее терминологии или понятийного аппарата. Как подчеркнул академик А.В. Усова, «...*формирование системы научных понятий у учащихся школ и студентов вузов является одной из ведущих задач процесса обучения*» [14. С. 12].

Проводимые педагогические исследования показывают, что к моменту окончания школы и вуза у многих обучавшихся уровень сформированности научных понятий оказывается весьма низким [2, 6, 7, 10, 11, 14]. И в наибольшей степени это касается физики [2, 10, 11].

Наш опыт работы со школьниками и абитуриентами, преподавание физики и теоретической механики в техническом университете, анализ результатов тестирования (включая данные PISA) демонстрируют, что системному и последовательному формированию понятийного аппарата у обучающихся не уделяется должного внимания как в школьном курсе физики, так зачастую и в вузовском. Ряд определений понятий и формулировок законов, до сих пор кочующих по учебникам и транслируемых учителями и преподавателями, не выдерживает критики [3, 4, 11]. Особенно много терминологических неточностей и парадоксальных дефиниций встречается в самом первом разделе курса физики – «Механика», в котором у обучающихся должны закладываться важнейшие представления о базовых концепциях науки [11]. А между тем в своем докладе на Президиуме РАН (27 октября 2009 г.) академик Л.Б. Окунь констатировал, что в школах и даже в вузах сегодняшнее изложение физики фактически ограничивается представлениями начала XX в. [15].

Что же тогда говорить о физике века XXI!

Целью исследования является определение ключевых составляющих для процесса формирования в курсе физики базовых представлений о материи, движении и энергии в контексте гносеологии и онтологии XXI в.

Методология и результаты исследования

Раз в три года, начиная с 2000 по 2015 г., работала Международная исследовательская программа PISA (Programme for International Student Assessment) по оценке образовательных достижений учащихся 72 стран. В 2015 г. эксперты констатировали, что в последние годы показатели учащихся российских школ по естественным наукам остались практически без изменений – на уровне ниже среднего [16, 17].

С целью выявления степени владения понятийным аппаратом и умения пользоваться им для анализа

конкретных ситуаций нами проводилось входное тестирование студентов технического университета на начальной стадии освоения курса общей физики.

Для иллюстрации результатов анализа приведем некоторые из перечня вопросов, приводивших многих тестируемых к замешательству:

1. Что такое «физическая величина»?
2. Почему выражения «величина массы», «величина силы» являются некорректными?
3. Какие физические величины называются аддитивными?
4. Чем единица измерения отличается от размерности физической величины?
5. Может ли движение тела быть равномерным, если у тела есть ускорение?
6. Почему первый закон Ньютона не является следствием второго закона?
7. Может ли энергия тела принимать отрицательные значения?
8. Может ли работа силы трения быть положительной величиной?
9. Должно ли вещество сохраняться в процессе взаимодействий?

Наблюдавшееся замешательство студентов во многом обусловлено отсутствием элементарных знаний определений физических понятий, не говоря уже о понимании законов и умении анализировать физические ситуации.

Безусловно, такое положение дел может быть связано не только с отсутствием у обучающихся достаточной внутренней мотивации при изучении физики, но и с возможными методическими упущениями педагогов.

Вот лишь несколько *примеров высказываний*, встречающихся в том числе в учебниках и учебных пособиях и демонстрирующих поверхностное отношение к используемым понятиям, определениям и формулировкам при изложении механики:

1) **«материальная точка – это тело, размерами которого можно пренебречь».**

После такого «определения» для студентов может казаться совершенно необъяснимым факт, что понятие «материальная точка» не работает при описании движения микрообъектов (например, электронов в атоме или в сверхрешетке). Ведь, казалось бы, что размерами микрообъектов как раз и можно пренебречь при анализе их пространственного перемещения!

Материальная точка это не реальное тело! Это *идеальная модель*, которая используется нами для описания механического движения реального объекта, который движется поступательно, или нас интересует только поступательная составляющая движения объекта вне зависимости от его размеров. И только эксперимент может продемонстрировать будет ли данная модель адекватно описывать движение реального тела или нет;

2) **«масса есть мера инертности тела, зависящая от скорости».**

Масса тела *при ее однозначном определении* не может зависеть от скорости, так как является инвариантом внешнего движения тела, а мерой инертности является «постольку, поскольку...и только при малых скоростях» [18. С. 4];

3) **«энергия не возникает из ничего, и не исчезает бесследно, а только переходит из одной формы в другую».**

Но энергия не флюид и не субстанция! Это *физическая величина*, представляющая собой *универсальную динамическую скалярную меру* всякого физического движения материального объекта, аддитивную относительно вкладов этих движений, и, стало быть, *размерное число*. Разумеется, число «ни возникать, ни исчезать» не может! Но оно может, будучи *количественной мерой свойства материи, оставаться неизменным (сохраняться) при определенных условиях!*

Фридрих Энгельс в своем эпохальном философском труде «Диалектика природы» фактически сформулировал закон о сохранении движения материи [19]. *Неуничтожимым является именно движение материи! Это оно не возникает из ничего и не исчезает бесследно, а может только переходить из одной формы в другую;*

4) **«масса превращается в энергию».**

Эти две *размерные физические величины* являются лишь *количественными мерами* определенных свойств материи. Они связаны друг с другом: энергия покоя тела, определяемая его внутренними движениями, связана с его массой [15, 20]. Внутреннее движение тел, как показывает опыт, может трансформироваться во внешнее движение *с соответствующим перераспределением составляющих полной энергии* [20, 21]. Но превращение массы в энергию, то есть, условно говоря, «килограмма» в «джоули»! Это, очевидно, *абсурд* [21. С. 17].

А вот элементарные частицы могут претерпевать «превращения». Например, нейтрон может превратиться в набор частиц, состоящий из протона, электрона и антинейтрино. Электрон и позитрон, взаимодействуя, превращаются в два фотона. При этом результирующие продукты таких превращений не входят в состав первичных компонент. Удивительные свойства реальности! Но, безусловно, *никаких «превращений массы в энергию» при этом не происходит!* Хотя в последнем примере вместо двух частиц, обладающих массой, образуются два безмассовых (в рамках современной парадигмы) фотона.

Приведенные нами примеры встречающихся высказываний демонстрируют настораживающий факт, что уже при изложении механики – базового раздела физики – в сознании обучающихся могут быть заложены неверные представления о *фундаментальных понятиях* не только физики, но и естествознания в целом – представления о *материи, движении и энергии*.

Как здесь снова не вспомнить слова академика А.В. Усовой о том, что одной из актуальных проблем, стоящих перед педагогикой и связанных с процессом формирования понятий у учащихся школ и студентов вузов, является *«...раскрытие методологического знания о фундаментальных научных понятиях, таких как материя, движение, энергия»* [14. С. 13].

А проводимые исследования показывают, что в современном образовательном дискурсе представления о материи, движении и энергии могут различаться даже при изложении таких предметов естественнона-

учного цикла, как, например, физика, химия и биология [22–26].

Педагогам необходимо осознавать, что формирование понятийного аппарата у обучающихся является одним из наиболее сложных и трудоемких процессов. Требуется максимально ответственно подходить к этому процессу, своевременно уточнять и корректировать как содержание используемых понятий, так и способы их формирования [1]. При этом не стоит забывать, что в качестве опорной методологической системы при формировании понятийного аппарата фундаментальных знаний о Природе выступает диалектика. Понимание гносеологического и онтологического аспектов формирования понятий может помочь педагогам правильно расставлять акценты при их введении и использовании в образовательном процессе.

Прежде чем обсуждать особенности базовых представлений о фундаментальных понятиях, уточним, что именно *с современных позиций изучает физика и как она это делает*.

Согласно исходным положениям методологии, у каждой науки следует различать «объект» и «предмет» исследования (изучения) [27. С. 118]. *Объект исследования* – это та действительность (реальность), с которой исследователь («субъект») имеет дело, на что направлено его внимание [Там же]. *Предмет исследования* – это та сторона, тот аспект, та точка зрения, с которой исследователь познает объект, выделяя при этом главные, наиболее существенные (*с точки зрения исследователя*) признаки объекта [Там же].

Объектом изучения для физики является *материя*.

Предметом изучения для физики являются *фундаментальные структуры, движения и взаимодействия материи*. Они служат реальным базисом для устройства, эволюции, многообразия и сложности материального мира нашей Вселенной.

В основе изучения реальности в физике лежит *научный метод познания* и особенности его циклической схемы, разворачивающейся поэтапно во времени (по В.Г. Разумовскому): *«факты реальности – гипотеза – модель – предсказания модели – эксперимент – факты реальности»* [6. С. 18].

Гипотеза и модель, выступая этапами научного метода, представляют собой *продукты деятельности человеческого сознания*. Это наши предположения и представления о свойствах изучаемой реальности. Конечной целью появления и развития этих представлений является *понимание!* На этом этапе *наукой* и вводятся *понятия*, которые *с точки зрения исследователей* отражают и характеризуют свойства изучаемых аспектов реальности. Именно система введенных научных понятий служит семантической основой языка, с помощью которого *происходит развитие самой науки, а также трансляция знаний и представлений о реальности в процессе обучения*. Безусловно, система научных понятий со временем может претерпевать определенные трансформации [1, 7, 9]. Понятия уточняются в процессе постоянной реализации научного метода применительно к изучаемой реальности.

Окончательным критерием правильности наших представлений, адекватности используемых понятий

и моделей всегда является *эксперимент*. Ряд физических экспериментов, поставленных в XX и XXI вв., продемонстрировал такие свойства реальности, о которых в XIX в. даже не подозревали. Наукой были выдвинуты революционные гипотезы и предложены *новые понятия и модели* для описания поведения реальности (специальная и общая теории относительности, квантовая физика, космология и т.п.).

При изложении физических концепций чрезвычайно важно донести до обучающихся мысль о том, что необходимо *различать реально существующие материальные объекты (с их разнообразными проявлениями) и модельные представления о них*, которые формирует наука в процессе познания. *Модели* отображают действительность в главном, в существенном с позиций вопросов, поставленных наукой в конкретной проблеме, которую требуется решить. Вопрос о соответствии той или иной модели изучаемому явлению разрешается только совокупным опытом на данный момент. Вопрос об адекватности *Реальности* лежит еще глубже.

Какие же *базовые представления о материи, движении и энергии* должны быть преподнесены обучающимся, исходя из сегодняшнего научного понимания реальности? Представления, учитывающие как гносеологический, так и онтологический аспекты процесса познания!

Материя. В гносеологическом контексте под материей понимается *философская категория для обозначения всей объективной реальности, данной нам в ощущениях (непосредственно или опосредованно), отражаемой нашим сознанием, но не зависящей от него*. Такое определение, данное В.И. Лениным в известной работе «Материализм и эмпириокритицизм», носит обобщенный *гносеологический характер*, является универсальным и предполагает возможное существование видов материи, еще не известных науке на данный момент времени, в силу ограниченности наших знаний о реальности.

Познание существующих разновидностей материи приводит к появлению *онтологических определений материи*, носящих конкретный содержательный характер. Примером онтологической формулировки является определение, приведенное в работе [28. С. 70]: *«Материя (в онтологическом аспекте) – это совокупность всех вещей во Вселенной (микрочастиц, атомов, молекул, макротел, мегател и полей), обладающая такими всеобщими свойствами, как пространственная бесконечность, вечность во времени, движение и развитие, причинность и закономерность, единство прерывности и непрерывности и другие, а также всеобщая “чувствительность”, или “духовность”, а на определенной стадии развития – психика и сознание»*.

Современная физика, опираясь на результаты анализа множества наблюдений и экспериментов, констатирует, что материя в нашей Вселенной представлена *разными формами*. В начале XXI в., в отличие от физики начала XX в., наука выделяет пять разновидностей материи в наблюдаемой и изучаемой нами части Вселенной [29–35]:

– вещество;

- поле;
- физический вакуум;
- темная материя;
- темная энергия.

Если вещество и поле относительно хорошо изучены, то последние три разновидности требуют более детальных исследований, выдвижения гипотез, формулировки модельных представлений и постановки верифицирующих экспериментов.

Вещество во Вселенной организовано в структуры различного уровня: атомы, молекулы, кристаллы, планеты, звезды, Человек При изложении содержания курса физики необходимо продемонстрировать обучающимся исключительно важный факт реальности, связанный с существованием определенной иерархии структурных форм организации вещества [36].

Все известные нам *вещественные структуры* в конечном счете состоят из элементарных частиц, одной из отличительных характеристик которых является масса, определяющая энергию покоя частиц. Современная парадигма физики (или «стандартная модель») сводит структурные частицы к шести бесструктурным кваркам и трем бесструктурным лептонам [29, 30, 34]. Те и другие являются фермионами – частицами с полуцелым спином, проявляющими свойства индивидуалистов, подчиняясь принципу запрета Паули.

Поле, согласно стандартной модели, также представлено своеобразными частицами – квантами полей – переносчиками взаимодействий (фотон, глюон, W-, Z-бозоны, возможно и гравитон) [29, 30, 34]. Сегодня известны четыре фундаментальных взаимодействия: сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное. Они и обуславливают существование, а также иерархию различных структур вещества: сильное – атомных ядер, электромагнитное – атомов и молекул, гравитационное – планет, звезд, галактик. Благодаря слабому взаимодействию в звездах происходит термоядерные реакции синтеза более тяжелых (по сравнению с водородом) ядер химических элементов (слабое взаимодействие ответственно за превращение нейтрона в протон).

В отличие от частиц вещества, некоторые частицы, определяющие фундаментальные взаимодействия (фотон, глюон, гравитон), являются безмассовыми ($m = 0$). Все они являются бозонами – частицами с целым спином, проявляющими свойства коллективистов.

Безмассовые частицы существуют только в движении, обеспечивая обменное поле взаимодействие частиц вещества. В силу присутствия определенной иерархии структур (от элементарных частиц до Метагалактики) и детерминированности проявлений нашей Вселенной, мы полагаем, что подобное возможно лишь в том случае, если скорость распространения таких фундаментальных взаимодействий является одинаковой, предельной и инвариантной величиной, т.е. фундаментальной постоянной! Впервые как факт реальности это было установлено для электромагнитного взаимодействия (эксперимент Майкельсона – Морли). Значение скорости света (скорость фотонов) в вакууме и оказалась тем предельным фундаментальным значением

скорости материальных объектов в наблюдаемой нами Вселенной. Для частиц с ненулевой массой такое значение скорости недостижимо (подтверждено экспериментами на ускорителях заряженных частиц), а для безмассовых частиц это значение скорости является единственно возможным и инвариантным.

Физический вакуум. Под физическим вакуумом в современной физике понимают пространство с *низшим энергетическим состоянием его квантованных полей*. Нулевые колебания полей сопровождаются постоянным рождением и исчезновением виртуальных частиц в соответствии с принципом неопределенности Гейзенберга [32]. Такое проявление реальности и соответствующее ему представление квантовой теории поля уже подтверждены экспериментально: эффект Казимира [37] и лэмбовский сдвиг энергетических уровней атомов [38] обусловлены нулевыми колебаниями электромагнитного поля физического вакуума.

Темная материя и темная энергия. Согласно представлениям современной космологии, на обычную (барионную) материю во Вселенной приходится лишь 4%. Около 23% приходится на темную материю и 73% – на темную энергию [33, 35]. Темная материя вызывает эффект гравитационного притяжения, как и обычная барионная материя. А вот темная энергия, преобладающая во Вселенной, вызывает эффект гравитационного отталкивания. Физическая природа темной материи и темной энергии пока неизвестна [31, 33, 35].

Движение. Под движением в диалектике понимаются любые изменения, происходящие с материальными объектами в Пространстве и Времени (гераклитовское «Все течет, все изменяется»). По Ф. Энгельсу «Движение, рассматриваемое в самом общем смысле слова, т.е. понимаемое как способ существования материи, как внутренне присущий материи атрибут, обнимает собой все происходящие во вселенной изменения и процессы, начиная от простого перемещения и кончая мышлением» [19. С. 50].

Таким образом, источником движения является сама материя. Это способ ее существования. Это неотъемлемое свойство материи. Данное определение понятия «движение» носит гносеологический характер. Не уточняя конкретные виды движения материи, оно подразумевает познавательный аспект, ориентирующий исследователей на анализ любых возможных видов изменений. Открытие и анализ существующих форм движения материи приводят к конкретным онтологическим представлениям о свойствах реальности. В физических науках выделяют, экспериментально и теоретически изучаются различные формы движения материи, такие, например, как механическая, тепловая, электромагнитная, ядерная, спиновая.

И как уже упоминалось ранее, по Ф. Энгельсу движение материи сохраняется, но при этом может изменять свою форму. Движение как имманентное свойство материи проявляется в таких трансформациях: механическая форма движения может трансформироваться в тепловую форму, тепловая форма – в электромагнитную и т.п.

Анализ реальных фактов позволяет в физике ввести *количественные меры движения* и соотношения между ними, математически отражающие сохранение движения с учетом возможной трансформации его формы. Движениям *ставятся в соответствие меры – физические величины* – размерные обобщенные числа (скаляры, векторы, тензоры, спиноры...) [11].

Введение меры в контексте закона сохранения движения материи предполагает необходимость:

– дать ей *определение как сохраняющейся* при условии сохранения или стационарности движения и сконструировать ее *аддитивной*;

указать *способ или способы ее измерения*;

указать *способ или способы ее вычисления*.

Энергия. В качестве универсальной скалярной меры всех физических движений материи выступает энергия. Энергия является скалярной мерой, поскольку движения, в которых участвует материальный объект, могут быть разного типа. Энергия *аддитивна относительно вкладов всех движений объекта*.

Такое определение энергии носит обобщенный гносеологический характер, предполагающий существование различных форм движения материи. Онтологическое содержание понятия может быть развернуто только в ходе применения научного метода к конкретным проявлениям реальности.

Концепция энергии пронизывает всю физику. Вероятно, нет ни одного раздела современной физики, где бы не использовалось понятие энергии и не фигурировал бы закон сохранения энергии. Применение последнего для анализа явлений и процессов хотя и не позволяет однозначно вскрыть динамику и механизмы их протекания, но *накладывает фундаментальные ограничения на количественные соотношения* для ряда физических величин, характеризующих движения и связанные с ними взаимодействия материальных объектов. Эти фундаментальные ограничения как раз и определяются фактом *сохранения движения материи* и выражаются *количественно в форме закона сохранения энергии*.

Концепция энергии и закон сохранения энергии являются одними из наиболее сложных представлений и понятий для восприятия обучающимися [22, 26]. И это неудивительно, ведь даже высказывания выдающихся ученых-физиков свидетельствуют о непросто-м отношении к ним в научном мире (если не принимать во внимание чисто формальное использование понятия энергии и закона ее сохранения при анализе конкретных процессов). Вот как в своих знаменитых лекциях говорил об энергии Ричард Фейнман:

«Важно понимать, что физике сегодняшнего дня неизвестно, что такое энергия. Мы не считаем, что энергия передается в виде маленьких пиллюль. Ничего подобного. Просто имеются формулы для расчета определенных численных величин, сложив которые, мы получаем число – всегда одно и то же число. Это нечто отвлеченное, ничего не говорящее нам ни о механизме, ни о причинах появления в формуле различных членов» [39. С. 74].

Проблема осознания концепции энергии существует уже на протяжении около двух столетий [22. Р. 1363].

Канадский физик Марио Бунге, известный своими трудами в области философии науки, процитировав данное высказывание Фейнмана и проведя собственный анализ энергетической концепции, пришел к выводу, что энергию следует отнести к наиболее общим онтологическим понятиям, имеющим отношение не только к физике [40. Р. 458]. По мнению М. Бунге, энергия является универсальным свойством материи, проявляющимся в ее изменениях (движениях). Энергия это не материальный объект, не состояние или процесс. Это свойство, а значит, оно может быть представлено *функцией* (классическая физика) или *оператором* (квантовая физика) [40. Р. 459].

Очевидно, что, как и ряд других физических величин (например, температура и масса), энергия является величиной, которая не может быть сразу воспринята и однозначно понята обучающимися (особенно в школьном курсе) только за счет знакомства с этим понятием в форме некоторой универсальной дефиниции. Она нуждается в последовательном прогрессивном конструировании смысла, что может быть достигнуто только *в процессе использования понятия энергии* при решении и обсуждении *физических проблем с различным контекстуальным содержанием*.

Необходимо осознать, что наши высказывания и рассуждения о том, что *«энергию нельзя ни создать, ни уничтожить»* и что она способна *«перетекать»* или *«распространяться в пространстве»*, могут привести к формированию у обучающихся неверного представления о некотором *субстанциональном содержании этого понятия*. А утверждения о том, что энергия *«способна совершать работу»*, окончательно могут превратить ее в реально существующую *«работающую вещь»* [22. Р. 1362]. Такое толкование понятия энергии уже на рубеже XIX–XX вв. вызывало критику в работах крупнейших представителей науки – Г. Герца, А. Пуанкаре и М. Планка [22. Р. 1362].

При изложении курса физики требуется периодически заострять внимание обучающихся на том, что энергия это количественная мера, а не специфическая субстанция! А все высказывания по поводу неуничтожимости, превращения или распространения энергии по сути своей являются *своеобразными метафорами*. Необходимо вводить в рассмотрение понятие *носителя энергии*, поскольку бессмысленно говорить об *энергии как самостоятельной сущности*. Это количественная мера, введенная для характеристики свойства материи – ее движения. Только с материальными объектами можно ассоциировать и связывать энергию.

Представление об энергии как аддитивной мере движения наиболее глубоко находит свое отражение в *специальной теории относительности* (СТО). Движения *материального объекта* делятся на его *внутренние движения, определяющие качества* этого объекта как *такового*, и его *внешние* по отношению к другим объектам движения [11, 18].

В отсутствие внешних сил для *поступательного движения* тела массой m энергия складывается из энергии покоя $E_0 = mc^2$, связанной со всеми внутренними движениями и взаимодействиями объекта, и кинетической энергии внешнего движения.

В общем случае (произвольная система частиц) величина E_0 связана с определенной составляющей полной энергии материального объекта – *энергии объекта в системе центра инерции*. Таким образом, в релятивистской концепции (концепции СТО) масса – это не мера количества вещества и не мера инертности, а *мера* всех (в том числе и непознанных еще) *внутренних движений материального объекта*, определяющих с точки зрения физики этот объект как таковой. В таком контексте масса оказывается определенной однозначно и является *инвариантом для внешнего движения*. Поэтому, согласно современной трактовке СТО, масса от скорости зависеть не может [20, 21, 41, 42]. В отличие от энергии системы, масса не является аддитивной величиной (масса системы не равняется сумме масс ее составляющих).

Так выглядят основные аспекты, на которые, по мнению авторов, необходимо обратить внимание при решении актуальной проблемы изложения в курсе физики вопросов, связанных с определением фундаментальных понятий естествознания – материи, движения и энергии. Появление инновационных проектов развития школьного физического образования в стиле концепций физики XXI в. [43, 44] отнюдь не упрощает сложившуюся ситуацию, а еще больше заостряет внимание на проблеме формирования у обучающихся адекватных представлений о фундаментальных понятиях естествознания.

Как же построить обучение физике в старших классах школы и на младших курсах вуза, чтобы проблема формирования базовых представлений находила свое последовательное решение?

Безусловно, формирование у обучающихся представлений *о материи, движении и энергии* не является одномоментным актом, сводящимся к системе дефиниций и трансляции определенного содержательного контента, связанного с современными концепциями. Это достаточно протяженный во времени *процесс* становления в сознании обучающихся *картины физической реальности* через призму *научных представлений* о ней. Поэтому при изложении курса физики в качестве важной опоры должна выступать циклическая схема *научного метода познания: факты реальности – гипотеза – модель – предсказания – эксперимент – факты реальности* [6]. Только в этом случае, наряду с восприятием информационного содержания курса, в сознании обучающихся возможен не менее важный *когнитивный процесс* – процесс осмысления того, каким образом можно анализировать реальность, формировать и использовать модельные представления, объяснять поведение реальности, делать прогнозы.

Как создание живописного полотна начинается с эскиза, детальное изложение содержания картины физической реальности следует начинать с *эскизной ретроспекции современных представлений* о ней. Примером может служить начальный экскурс в известных лекциях Р. Фейнмана [39]. В нем выдающийся ученый и педагог сразу вводит нас в увлекательный мир современных представлений физики о материи, движении и энергии. Попутно обсуждается метод, используемый наукой при решении проблем.

И весь экскурс Р. Фейнмана, да и весь курс, постоянно сопровождаются вопросами, иногда очень неожиданными для аудитории: «*Что значит «понять» что-либо?»* [39. С. 39].

Предъявление начального эскиза будущей картины является важным элементом для *мотивации обучающихся*. Такое предъявление может заинтересовать и даже заинтриговать их. Дальнейшее изложение курса должно приводить к углублению и детализации разворачивающейся картины физической реальности, последовательного формирования в сознании обучающихся понятийного аппарата.

Кардинальную роль может сыграть *проблемный способ изложения*, связанный, в частности, с постановкой вопросов, значимых для содержания и восприятия курса. Достаточно очевидны самые первые «простые» вопросы, которые обозначают *объект, предмет и метод физики* как науки: «*Что изучает физика?»*, «*Как она это делает?»*, «*Что из этого получается?»*.

Необходимо с самого начала ввести в рассмотрение понятие «*объект*». И прежде чем прозвучит ответ на вопрос «*Что изучает физика?»*, следует предложить обучающимся разбить некоторый список *знаковых объектов реальности* на две категории – *материальные и нематериальные объекты*. Обсуждение результата такого разбиения позволит естественным путем ввести обобщенное гносеологическое понятие «*материя*»!

А далее возникает вопрос «*Существуют ли какие-то общие по своей сути свойства у принципиально разных материальных объектов?»*. И обсуждение должно привести к ответу: «*Структура, движение, взаимодействие*».

Тогда и появляются утверждения о том, что изучает физика:

Объект изучения физики – *материя*.

Предмет изучения физики – *фундаментальные структуры, движения и взаимодействия материи*.

После этого необходим *мотивирующий «популярный» экскурс* в современные представления физики о структурах, движениях и взаимодействиях материи. Большой интерес могут вызвать вопросы, касающиеся иерархии материальных структур во Вселенной, концепции тонкой настройки Вселенной и антропного принципа. Современные мультимедийные средства и доступ к информационным базам Интернета позволяют сопроводить обсуждение выразительным *визуальным рядом*.

Ответ на вопрос *о методе* должен привести к изложению особенностей и этапов *научного метода познания*. Как результат работы человеческого сознания в соответствии с этим методом и формируются наши научные представления о материи – *концептуальные модели реальности*. Требуется объяснить и примерами продемонстрировать, что процесс формирования концептуальных моделей и «окончательных» физических теорий достаточно непростой, иногда даже драматичный в своих проявлениях, приводящих к научным революциям и революциям в человеческом осознании реальности.

Очень важен предварительный разговор с обучающимися о *языке науки*. В процессе изучения реально-

сти физика формирует свой язык – систему понятий, обозначая и определяя их: *объекты реальности* (вещество, тело, поле, ...), *свойства объектов реальности* (движение, взаимодействие, инертность, ...), *количественные характеристики свойств объектов реальности* (скорость, сила, масса, энергия...), *элементы идеализированных моделей реальности* (материальная точка, абсолютно твердое тело, идеальный газ, идеальная жидкость, ...). В процессе обсуждения и вводятся *физические величины*, являющиеся *мерами свойств* материальных объектов. Среди таких мер особую роль играет *энергия – универсальная мера*, связанная с движением материи, трансформацией форм движения и сохранением движения. Необходимо привести примеры различных форм движения, количественных выражений для соответствующей энергии и примеры «работы» закона сохранения энергии.

Такой начальный экскурс в учебный предмет должен послужить опорой для последующего более детального изложения *разделов физики*, в которых понятия *материи, движения и энергии* должны получать свое дальнейшее наполнение и смысловое развертывание. В этом изложении, неизбежно употребляя устоявшиеся метафорические высказывания и аналогии, не следует забывать о том, что необходимо различать выделяемые нами *свойства реальности* и определяемые нами *меры* этих свойств.

И необходимо чаще задавать обучающимся «простой» вопрос — «*Что это такое?*» [4. С. 9].

Заключение

Процессу формирования понятийного аппарата у обучающихся должно уделяться самое пристальное внимание, так как понятийный аппарат является семантической основой языка, на котором происходит передача и усвоение знаний. Решение актуальной проблемы обучения, связанной с раскрытием методологического знания о фундаментальных понятиях естествознания, должно опираться на современное прочтение, претерпевшее определенные трансфор-

мации, связанные с гносеологическим и онтологическим аспектами, обусловленными последними данными науки.

В статье фокусируется внимание как на современных представлениях физики, так и на общепило-софских определениях, которые необходимо учитывать в процессе формирования у обучающихся адекватных базовых представлений о материи, движении и энергии.

Гносеологическое определение материи, данное в диалектике, должно продемонстрировать школьникам и студентам принципиальную возможность познания материальной составляющей реальности, *данной нам в ощущениях, отражаемой нашим сознанием, но не зависящей от него*. Раскрытие онтологии этой реальности показывает познаваемость материального мира и демонстрирует открытые Человеком различные формы материи с их структурными особенностями и возможными трансформациями. Необходимо познакомить обучающихся с современными представлениями парадигмы стандартной модели и концепцией иерархии материальных структур.

Гносеологическое определение движения материи, лежащее в основании диалектики, позволяет наполнить его конкретным содержанием, формирующим онтологию понятия с опорой на открытия XX–XXI вв. Разнообразие форм движения материи должно иллюстрироваться примерами их взаимных превращений и диалектической концепцией сохранения движения материи.

Обсуждение проблемы понятия энергии должно приводить к пониманию обучающимися различия между свойством материи – движением и количественной мерой этого свойства – энергией. Для разных форм движения количественная мера может выражаться по-разному (например, энергия движущегося электрона и энергия движущегося фотона). Прекрасной иллюстрацией содержания закона сохранения энергии является релятивистская концепция об энергии покоя и ее изменении при трансформации внутреннего движения объектов во внешнее движение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суханов А.Д. К вопросу об определении понятий и формулировок законов в физике // Физическое образование в вузах. 2003. Т. 9, № 1. С. 88–93.
2. Гладун А.Д. Профанация в преподавании физики // Физическое образование в вузах. 2004. Т. 10, № 4. С. 5–7.
3. Идиатулин В.С. Физика как наука и учебная дисциплина // Физическое образование в вузах. 2006. Т. 12, № 1. С. 23–37.
4. Николаев В.И. О дидактических достоинствах курса физики // Физическое образование в вузах. 2006. Т. 12, № 2. С. 8–14.
5. Пурешева Н.С., Гурина Р.В. Интерпретации физической картины мира // Знание. Понимание. Умение. 2011. № 2. С. 50–55.
6. Разумовский В.Г. Решение проблемы научной грамотности – неотложная перспектива развития физического образования // Сибирский учитель. 2012. № 3 (82). С. 12–25.
7. Синенко В.Я. Естественнонаучные знания – основа современного образования. Новосибирск : Изд-во НИПКиПРО, 2012. 314 с.
8. Hestenes D. Remodeling science education // European Journal of Science and Mathematics Education. 2013. Vol. 1, № 1. P. 13–22.
9. Ларченкова Л.А. О факторах, определяющих формирование научного мировоззрения учащихся основной школы // Сибирский педагогический журнал. 2013. № 6. С. 14–18.
10. Баранов А.В. Физика как инвариант школьного образования XXI века // Сибирский учитель. 2013. № 6 (91). С. 5–7.
11. Баранов А.В., Родионов А.И. О концепции энергии в курсе физики // Преподавание естественных наук, математики и информатики в вузе и школе: сб. материалов X Междунар. науч.-метод. конф. Томск : Изд-во ТГПУ. 2017. С. 91–94.
12. Хавинсон И.Ю. Экономифизика: от анализа финансов до судьбы человечества // Пространственная экономика. 2015. № 1. С. 144–166. DOI: 10.14530/se.2015.1.144–166.
13. Пушкарев Ю.В., Пушкарева Е.А. Фундаментальное знание в непрерывном образовательном процессе: методология и аксиология проблемы // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. 2016. № 1 (29). С. 87–98. DOI: 10.15293/2226–3365.1601.0
14. Усова А.В. Некоторые методические аспекты проблемы формирования научных понятий у учащихся школ и студентов вузов // Мир науки, культуры, образования. 2011. № 4 (29). С. 11–14.

15. Окунь Л.Б. О движении материи. М. : Физматлит, 2012. 228 с.
16. http://fulledu.ru/news/school/news/3660_pisa-uroven-znaniy-rossiyskih-shkolnikov-nizhe-sre.html (дата обращения: 18.07.2017).
17. http://obrnadzor.gov.ru/common/upload/RON_PISA_Kravtsov.pdf (дата обращения: 18.07.2017).
18. Родионов А.И., Ким А.И. Теоретическая механика: конспект лекций с приложениями. Ч. 3. Динамика. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. 240 с.
19. Энгельс Ф. Диалектика природы. М. : Политиздат, 1987. XVI; 349 с.
20. Okun L.B. Mass versus relativistic and rest masses // *American Journal of Physics*. 2016. Vol. 77, Issue 5. P. 430–431. DOI: 10.1119/1.3056168
21. Розман Г.А. Может ли масса превращаться в энергию // *Физическое образование в вузах*. 2006. Т. 12, № 2. С. 15–19.
22. Coelho R.L. On the Concept of Energy: Eclecticism and Rationality // *Science & Education*. 2014. Vol. 23, Issue 6. P. 1361–1380. DOI:10.1007/s11191-013-9634-1
23. Dreyfus B.W., Gouvea J., Geller B.D., Sawtelle V., Turpen C., Redish E.F. Chemical energy in an introductory physics course for the life sciences, *Am. J. Phys.* 2014. Vol. 82, № 5. P. 403–411. DOI:10.1119/1.4870391
24. Hartley L.M., Momsen J., Maskiewicz A., D'Avanzo C. Energy and Matter: Differences in Discourse in Physical and Biological Sciences Can Be Confusing for Introductory Biology Students // *BioScience*. 2012. 62 (5). P. 488–496. DOI:10.1525/bio.2012.62.5.10
25. Lancor R. An Analysis of Metaphors Used by Students to Describe Energy in an Interdisciplinary General Science Course // *International Journal of Science Education*. 2015. Vol. 37, Issue 5–6. P. 876–902. DOI:10.1080/09500693.2015.1025309
26. Lancor R. Using Metaphor Theory to Examine Conceptions of Energy in Biology, Chemistry, and Physics // *Science & Education*. 2014. Vol. 23, Issue 6. P. 1245–1267. DOI:10.1007/s11191-012-9535-8
27. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология научного исследования. М. : Либроком, 2010. 280 с.
28. Гумницкий Г.Н., Зеленцова М.Г. Философское понятие материи в аспекте соотношения категорий вещи и свойства // *Известия вузов. Сер. «Гуманитарные науки»*. 2016. Т. 7, № 1. С. 66–70.
29. Johansson K.E. Exploring quarks, gluons and the Higgs bosons // *Physics Education*. 2013. Vol. 48, № 1. P. 96–104. DOI:10.1088/0031-9120/48/1/96
30. Johansson K.E., Watkins P.M. Exploring the standard model of particles // *Physics Education*. 2013. Vol. 48, № 1. P. 105–114. DOI:10.1088/0031-9120/48/1/105
31. Saha A., Choudhury P.D. What is dark energy and dark matter // *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2017. Vol. 8, № 3. P. 146–152.
32. Мартыненко А.П. Вакуум в современной квантовой теории // *Соросовский образовательный журнал*. 2001. Т. 7, № 5. С. 86–91.
33. Новиков И.Д. Темные объекты и темная материя // *Земля и Вселенная*. 2009. № 5. С. 5–12.
34. Окунь Л.Б. Элементарное введение в физику элементарных частиц. 3-е изд., испр. и доп. М. : Физматлит, 2009. 128 с.
35. Черепашук А.М. Новые формы материи во Вселенной // *Земля и Вселенная*. 2010. № 1. С. 3–18.
36. Дубицкая Л.В. Содержание понятия «вещество» в курсе естествознания профильной школы // *Вестник ВСГУТУ*. 2015. № 3 (54). С. 137–142.
37. Wilson C.M., Johansson G., Pourkabirian A., Simoen M., Johansson J.R., Duty T., Nori F., Delsing P. Observation of the dynamical Casimir effect in a superconducting circuit // *Nature*. 2011. Vol. 479. 17 November. P. 376–379. DOI: 10.1038/nature10561
38. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Атомная физика. М. : Наука, 1986. Т. V, Ч. 1. 426 с.
39. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике: Т. 1, 2: Современная наука о природе. Законы механики. Пространство. Время. Движение: пер. с англ. Т. 1, 2. Изд. 11. URSS, 2014. 448 с.
40. Bunge M. Energy: Between Physics and Metaphysics // *Science and Education*. 2000. Vol. 9, № 5. P. 457–461. DOI: 10.1023/A: 008784424048.
41. Гольдман В.М., Новоселов В.И. Понятие массы в классической и релятивистской динамике // *Методология и методика формирования научных понятий у учащихся школ и студентов вузов / под ред. О.Р. Шефер: материалы Усовских чтений: XX Междунар. науч.-практ. конф., 4–5 апреля, 2013 г. Челябинск. Часть 1. Челябинск : Край Ра, 2013. С. 136–141.*
42. Мамулай А.А., Сыркин Е.С., Човпан А.А. Изложение понятия массы в специальной теории относительности в рамках курса общей физики // *Физическое образование в вузах*. 2010. Т. 16, № 3. С. 62–69.
43. Wiener G.J., Schmeling A.M., Hopf M. Why not start with quarks? Teachers investigate a learning unit on the subatomic structure of matter with 12-year-olds // *European Journal of Science and Mathematics Education*. 2017. Vol. 5, № 2. P. 134–157.
44. Марков В.Н. Основы современной квантово-релятивистской физики и космологии как инновационный проект развития школьного физического образования // *Известия РГПУ им. А.И. Герцена*. 2015. № 173. С. 147–156.

Статья представлена научной редакцией «Педагогика» 18 июня 2018 г.

THE PROBLEM OF THE FORMATION OF THE BASIC CONCEPTS OF MATTER, MOTION AND ENERGY IN THE CONTEXT OF THE 21ST-CENTURY GNOSEOLOGY AND ONTOLOGY

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal, 2018, 435, 177–186.

DOI: 10.17223/15617793/435/23

Alexander V. Baranov, Novosibirsk State Technical University (Novosibirsk, Russian Federation). E-mail: baranov@corp.nstu.ru

Andrey I. Rodionov, Novosibirsk State Technical University (Novosibirsk, Russian Federation). E-mail: rodionov@corp.nstu.ru

Keywords: teaching physics; formation of system of scientific concepts; matter; motion of matter; energy.

The article presents a study on the problem of the formation of the basic concepts about matter, motion and energy in physics courses. The preliminary stage of the study was devoted to the analysis of results of questionnaires and control activities (including PISA) for schoolchildren and students in the field of natural science representations. The authors' analysis has demonstrated a fairly low average level of acquisition of scientific concepts in the field of natural science. This led the authors to realize the existing problem. The formation of a system of scientific concepts in schoolchildren and students is one of the most important tasks of the education system. The conceptual apparatus is the semantic basis of the language for knowledge transfer and acquisition. Therefore, the formation of the conceptual apparatus requires a very close attention. The solution of the topical problem of teaching connected with the disclosure of methodological knowledge about the fundamental concepts of natural science (matter, motion and energy) must be based on a modern reading that has undergone certain transformations connected with the gnoseological and ontological aspects conditioned by the latest data of science. The authors analyzed the content of physics textbooks and manuals, the statements of famous scientists about the role of physics, works in the sphere of gnoseology and ontology of physical concepts, and also with the nature of the problems associated with the acquisition of the concepts while learning physics. The article focuses attention both on modern ideas of physics and on general philosophical definitions that must be taken into account in the formation of adequate basic ideas about matter, motion and energy. The gnoseological definition of matter, given in dialectics, should demonstrate the fundamental possibility of knowing the material component of the reality, given to us in our senses, reflected by our consciousness, but not de-

pendent on it. Disclosure of the ontology of this reality shows the cognizability of the material world and demonstrates the various forms of matter discovered by man with their structural features and possible transformations. It is necessary to teach students modern concepts of the standard model's paradigm and the concept of the hierarchy of material structures. The gnoseological definition of the motion of matter, which lies at the basis of dialectics, allows us to fill it with concrete content that forms the ontology of the concept, based on the discoveries of the 20th and 21st centuries. The variety of motion forms should be illustrated by examples of their mutual transformations and by the concept of conservation of the motion of matter. Discussion of the concept of energy should lead to an understanding of the difference between the fundamental property of matter – its motion, and the quantitative measure of this property – energy. For different forms of motion, the quantitative measure can be expressed in different ways (for example, the energy of a moving electron and the energy of a moving photon). An excellent illustration of the content of the energy conservation law is the relativistic concept of the rest energy and its changes in transformations of internal motions of objects into external motions.

REFERENCES

1. Sukhanov, A.D. (2003) K voprosu ob opredelenii ponyatiy i formulirovok zakonov v fizike [On the definition of concepts and formulations of laws in physics]. *Fizicheskoe obrazovanie v vuzakh – Physics in Higher Education*. 9(1). pp. 88–93.
2. Gladun, A.D. (2004) Profanation in physics teaching. *Fizicheskoe obrazovanie v vuzakh*. 10(4). pp. 5–7. (In Russian).
3. Idiutulin, V.S. (2006) Physics as a Science and Educational Subject. *Fizicheskoe obrazovanie v vuzakh – Physics in Higher Education*. 12(1). pp. 23–37. (In Russian).
4. Nikolaev, V.I. (2006) On Didactic Merits of General Physics. *Fizicheskoe obrazovanie v vuzakh – Physics in Higher Education*. 12(2). pp. 8–14. (In Russian).
5. Purysheva, N.S. & Gurina, R.V. (2011) Interpretatsii fizicheskoy kartiny mira [Interpretations of the physical picture of the world]. *Znanie. Poni-manie. Umenie*. 2. pp. 50–55.
6. Razumovskiy, V.G. (2012) Reshenie problemy nauchnoy gramotnosti – neotlozhnaya perspektiva razvitiya fizicheskogo obrazovaniya [Solving the problem of scientific literacy is an urgent perspective for the development of physical education.]. *Sibirskiy uchitel'*. 3 (82). pp. 12–25.
7. Sinenko, V.Ya. (2012) *Estestvennonauchnye znaniya – osnova sovremennogo obrazovaniya* [Natural science knowledge is the basis of modern education]. Novosibirsk: Izd-vo NIPKiPRO.
8. Hestenes, D. (2013) Remodeling science education. *European Journal of Science and Mathematics Education*. 1(1). pp. 13–22.
9. Larchenkova, L.A. (2013) On the factors that determine secondary school students' scientific view of the world formation. *Sibirskiy pedagogicheskiy zhurnal – Siberian Pedagogical Journal*. 6. pp. 14–18. (In Russian).
10. Baranov, A.V. (2013) Fizika kak invariant shkol'nogo obrazovaniya XXI veka [Physics as an invariant of schooling in the 21st century]. *Sibirskiy uchitel'*. 6 (91). pp. 5–7.
11. Baranov, A.V. & Rodionov, A.I. (2017) [On the conception of energy in a physics course]. *Prepodavanie estestvennykh nauk, matematiki i informatiki v vuze i shkole* [Teaching natural sciences, mathematics and computer science in university and school]. Proceedings of the X International Conference. Tomsk: Tomsk State Pedagogical University. pp. 91–94. (In Russian).
12. Khavinson, I.Yu. (2015) Econophysics: from finance analysis to the fate of mankind. *Prostranstvennaya ekonomika – Spatial Economics*. 1. pp. 144–166. (In Russian). DOI: 10.14530/se.1.144–166
13. Pushkarev, Yu.V. & Pushkareva, E.A. (2016) Fundamental'noe znanie v nepreryvnom obrazovatel'nom protsesse: metodologiya i aksiologiya problemy [Fundamental knowledge in the continuous educational process: methodology and axiology of the problem]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta – Bulletin NSPU*. 1 (29). pp. 87–98. DOI: 10.15293/2226–3365.1601.08
14. Usova, A.V. (2011) Nekotorye metodicheskie aspekty problemy formirovaniya nauchnykh ponyatiy u uchashchikhsya shkol i studentov vuzov [Some methodological aspects of the problem of the formation of scientific concepts among school and university students]. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. 4 (29). pp. 11–14.
15. Okun', L.B. (2012) *O dvizhenii materii* [On the motion of matter]. Moscow: Fizmatlit.
16. Fulledu.ru. (2016) *PISA: Uroven' znaniy rossiyskikh shkol'nikov nizhe srednego* [PISA: The level of knowledge of Russian schoolchildren is below average]. [Online]. Available from: http://fulledu.ru/news/school/news/3660_pisa-uroven-znaniy-rossiyskih-shkolnikov-nizhe-sre.html. (Accessed: 18.07.2017).
17. Kravtsov, S.S. (2015) *Itogi uchastiya v mezhdunarodnom issledovanii PISA-2015* [Results of participation in international research PISA-2015]. [Online]. Available from: http://obrnadzor.gov.ru/common/upload/ron_pisa_kravtsov.pdf. (Accessed: 18.07.2017).
18. Rodionov, A.I. & Kim, A.I. (2010) *Teoreticheskaya mekhanika: konspekt lektsiy s prilozheniyami* [Theoretical mechanics: lecture notes with appendices]. Pt. 3. Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University.
19. Engels, F. (1987) *Dialektika prirody* [Dialectics of nature]. Moscow: Politizdat.
20. Okun, L.B. (2016) Mass versus relativistic and rest masses. *American Journal of Physics*. 77(5). pp. 430–431. DOI: 10.1119/1/3056168
21. Rozman, G.A. & Pan'kova, S.V. (2006) Can Mass Turn into Energy? *Fizicheskoe obrazovanie v vuzakh – Physics in Higher Education*. 12(2). pp. 15–19. (In Russian).
22. Coelho, R.L. (2014) On the Concept of Energy: Eclecticism and Rationality. *Science & Education*. 23(6). pp. 1361–1380. DOI:10.1007/s11191–013–9634–1
23. Dreyfus, B.W. et al. (2014) Chemical energy in an introductory physics course for the life sciences. *Am. J. Phys.* 82(5). pp. 403–411. DOI:10.1119/1.4870391
24. Hartley, L.M., Momsen, J., Maskiewicz, A. & D'Avanzo, C. (2012) Energy and Matter: Differences in Discourse in Physical and Biological Sciences Can Be Confusing for Introductory Biology Students. *BioScience*. 62(5). pp. 488–496. DOI:10.1525/bio.2012.62.5.10
25. Lancor, R. (2015) An Analysis of Metaphors Used by Students to Describe Energy in an Interdisciplinary General Science Course. *International Journal of Science Education*. 37(5–6). pp. 876–902. DOI:10.1080/09500693.2015.1025309
26. Lancor, R. (2014) Using Metaphor Theory to Examine Conceptions of Energy in Biology, Chemistry, and Physics. *Science & Education*. 23(6). pp. 1245–1267. DOI:10.1007/s11191–012–9535–8
27. Novikov, A.M. & Novikov, D.A. (2010) *Metodologiya nauchnogo issledovaniya* [Methodology of scientific research]. Moscow: Librokom.
28. Gumnitskiy, G.N. & Zelentsova, M.G. (2016) Filosofskoe ponyatie materii v aspekte sootnosheniya kategoriy veshchi i svoystva [The philosophical concept of matter in the aspect of the correlation between the categories of things and properties]. *Izvestiya vuzov. Ser. "Gumanitarnye nauki"*. 7(1). pp. 66–70.
29. Johansson, K.E. (2013) Exploring quarks, gluons and the Higgs bosons. *Physics Education*. 48(1). pp. 96–104. DOI:10.1088/0031–9120/48/1/96
30. Johansson, K.E. & Watkins, P.M. (2013) Exploring the standard model of particles. *Physics Education*. 48(1). pp. 105–114. DOI:10.1088/0031–9120/48/1/105
31. Saha, A. & Choudhury, P.D. (2017) What is dark energy and dark matter. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 8(3). pp. 146–152.
32. Martynenko, A.P. (2001) Vacuum in modern quantum theory. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal – Soros Educational Journal*. 7(5). pp. 86–91. (In Russian).

33. Novikov, I.D. (2009) Dark Objectes and Dark Matter. *Zemlya i Vseleennaya*. 5. pp. 5–12. (In Russian).
34. Okun', L.B. (2009) *Elementarnoe vvedenie v fiziku elementarnykh chastits* [Elementary introduction to the physics of elementary particles]. 3rd ed. Moscow: Fizmatlit.
35. Cherepashchuk, A.M. (2010) New forms of matter in the Universe. *Zemlya i Vseleennaya*. 1. pp. 3–18. (In Russian).
36. Dubitskaya, L.V. (2015) The content of the concept “substance” in the course of natural science of profile school. *Vestnik VSGUTU*. 3 (54). pp. 137–142.
37. Wilson, C.M., et al. (2011) Observation of the dynamical Casimir effect in a superconducting circuit. *Nature*. 479. 17 November. pp. 376–379. DOI: 10.1038/nature10561
38. Sivukhin, D.V. (1986) *Obshchiy kurs fiziki. Atomnaya fizika* [General course of physics. Atomic physics]. Vol. 5. Pt. 1. Moscow: Nauka.
39. Feynman, R., Leighton, R. & Sands, M. (2014) *Feynmanovskie leksii po fizike: T. 1, 2: Sovremennaya nauka o prirode. Zakony mekhaniki. Prostranstvo. Vremya. Dvizhenie* [The Feynman Lectures on Physics: Vols 1, 2: Modern science of nature. The laws of mechanics. Space. Time. Movement]. 11th ed. Translated from English. Moscow: URSS.
40. Bunge, M. (2000) Energy: Between Physics and Metaphysics. *Science and Education*. 9(5). pp. 457–461. DOI: 10.1023/A: 008784424048.
41. Gol'dman, V.M. & Novoselov, V.I. (2013) [The concept of mass in classical and relativistic dynamics]. *Metodologiya i metodika formirovaniya nauchnykh ponyatiy u uchashchikhsya shkol i studentov vuzov* [Methods and techniques for the formation of scientific concepts in school and university students]. Proceedings of the Usov Readings: XX International Conference. Chelyabinsk. 4–5 April 2013. Part 1. Chelyabinsk: Kray Ra. pp. 136–141. (In Russian).
42. Mamulay, A.A., Syrkin, E.S. & Chovpan, A.A. (2010) Mass in Special Relativity in General Physics Course. *Fizicheskoe obrazovanie v vuzakh – Physics in Higher Education*. 16(3). pp. 62–69. (In Russian).
43. Wiener, G.J., Schmeling, A.M. & Hopf, M. (2017) Why not start with quarks? Teachers investigate a learning unit on the subatomic structure of matter with 12-year-olds. *European Journal of Science and Mathematics Education*. 5(2). pp. 134–157.
44. Markov, V.N. (2015) The fundamentals of quantum relativity physics and cosmology as an innovative project of school physics education. *Izvestiya RGPU im. A.I. Gertsena – Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Science*. 173. pp. 147–156. (In Russian).

Received: 18 June 2018