

Семантическая составляющая точных наук: проблемы и возможные пути решения

Благин Анатолий Вячеславович¹, Попова Инна Григорьевна²

¹доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики,
Донской государственный технический университет.

Россия, г. Ростов-на-Дону. ORCID: 0000-0002-4513-6986. E-mail: a-blagin@mail.ru

²кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики,
Донской государственный технический университет.

Россия, г. Ростов-на-Дону. ORCID: 0000-0002-8045-5915. E-mail: inna111109@rambler.ru

Аннотация. В работе обсуждаются научные аспекты важнейшего в педагогической деятельности процесса – процесса восприятия, усвоения и запоминания новых научных представлений в области точных наук. Показано, что во многих случаях упор делается на емкость информации (достигаемую с помощью формул и чертежей), точность (построение математических моделей заключается в ряде требований-ограничений, накладываемых на изучаемый объект, который заменяется упрощенным его образом), и при этом без должного внимания остается семантическая составляющая, пространство смыслов. Такое состояние дел существенно понижает эффективность учебного процесса. Поэтому выявление причин дефицита смысловой составляющей и поиск путей его преодоления является актуальной задачей. В работе осуществлена попытка выявить некоторые аспекты семантико-дефицитного изложения точных наук (на примере физики) и предложить возможные алгоритмы обеспечения излагаемых научных фактов смыслами. Комплекс этих алгоритмов, предлагаемый авторами, включает эвристический (перманентное открытие знания самим субъектом познания) и проблемный (формулировка вопросов, на которые дает ответы физика, в виде парадоксов) подходы. Обсуждаются, в частности, вопросы о смысле псевдовекторов в физике; об орбите Луны, о скользкости льда; о силовых линиях магнитного поля. Авторские идеи могут быть охарактеризованы как развитие эвристического и проблемного подхода. Однако в комбинации упомянутых подходов возникают эмерджентные эффекты, которые могут стать основой создания новых образовательных методик. Выводы работы об эффективности сочетания указанных методов и системного обращения к фокусам внимания обучающихся, закрепленным в их предшествующем опыте, могут повысить эффективность и привлекательность процесса обучения молодежи как в системе среднего профессионального образования (СПО), так и в высшей школе.

Ключевые слова: семантическое пространство, проблемная ситуация, учебный процесс, эвристические методы, физика.

Введение. Проблема, путем решения которой посвящена настоящая работа, существует давно. Однако она не формулируется, как правило, во всей ее полноте. По этой причине не существует универсальных методов ее решения; отдельным исследователям в какой-то степени удается решать ее индивидуально и интуитивно [20]. Вопрос можно сформулировать так: для всякого ли научного представления существует способ его описания, полностью соответствующий когнитивным способностям субъекта познания? Оптимистичный ответ на этот вопрос содержится в утверждении А. И. Герцена: «Трудных наук нет, есть только трудные изложения, то есть непереваримые...» [1, стр. 172]. Представляется, что это высказывание должно быть путеводной звездой каждого, причастного к научно-педагогическому труду. Однако звучит утверждение классика несколько безапелляционно. Почему? Потому что процесс познания имеет многоуровневую структуру. Когда преподаватель раскрывает перед студентами некий новый для них факт, требующий нестандартного описания (в случае точных наук – почти всегда математического описания!), он опирается на их предшествующий опыт. Не будем

брать во внимание то, что этот опыт у студентов индивидуален и поэтому весьма различается от одного субъекта к другому. Предположим, что такой опыт приблизительно у всех слушателей и наблюдателей одинаков. Далее в игру вступают собственно когнитивные способности, различие типов доминирующего механизма восприятия (визуальный, слуховой, моторно-двигательный), умение анализировать и сопоставлять, и здесь возможны самые различные варианты восприятия. Очевидно, не все эти варианты станут органичной компонентой процесса освоения компетенций, предписанных рабочей программой дисциплины и учебным планом. На первый взгляд, понятный тезис «записывается» в неокортекс [21] и затем проявляется в последующих логических операциях, осуществляемых студентом/старшеклассником. И нередко этот тезис становится элементом заблуждений! Чаще всего эти заблуждения не критичны, однако искажают понимание процессов действительности будущим участником научных исследований или промышленного производства. В качестве примера можно привести часто встречающиеся в учебной литературе по физике некорректные высказывания типа «Траектория Луны относительно Солнца представляет собой винтовую линию», «Коньки легко скользят по льду вследствие того, что давление, которое на них оказывается, вызывает подтаивание верхнего слоя льда»; «Силовые линии магнитного поля всегда замкнуты». Эти вопросы получают должную интерпретацию ниже. В иных случаях нарушение семантического пространства неявное: смысл какого-то высказывания получает гипертрофированную форму. Пример из физики: «На экранах старых телевизоров можно было наблюдать рябь, сопровождающуюся характерным шумом в динамиках. Эти сигналы были сгенерированы почти 14 млрд лет назад, когда в первый миллион лет существования Вселенной излучение отделилось от вещества и начало свое долгое путешествие в космосе. Называют это излучение реликтовым». При этом редко отмечают, что доля реликтового излучения в шумах приборов, снабженных кинескопами, не превышает 3–5 %. Еще один пример из физики: «При изучении вращательного движения важную роль играет вектор угла поворота, связанный с направлением вращения правилом правого винта». Казалось бы, все правильно. Но здесь пропущено одно слово – должно быть «вектор угла элементарного поворота» (или просто «вектор элементарного поворота»). То есть, угол поворота, которому ставится в соответствие вектор $d\varphi$, должен быть весьма мал ($d\varphi \ll 1$). Отметим, что угол в физике не имеет единицы измерения; используется математическая мера – радианы, так что прямой угол, например, равен приблизительно 1,57 радиан, точно – $\pi/2$ радиан). Если условие малости не выполнено, математические преобразования приведут к ошибкам. Ниже этот вопрос также обсуждается.

Далее рассмотрим предложение из экологии – «Леса – «легкие» планеты». Это, безусловно, так. Но леса – не единственные «легкие» планеты. Это около 10 % легких планеты – именно такая примерно доля лесов в производстве кислорода на планете. Зеленая растительность суши составляет не более 15 %; остальное – океан. Точнее, цианобактерии (сине-зеленые водоросли). Вот где даже «не точным» наукам следует придерживаться методической выверенности.

Однако иногда такой физический подход к различным объектам, в котором предполагается их стандартное поведение, может приводить к серьезным просчетам и даже катастрофам. Поучительна здесь физика циркония (Zr). Цирконий – уникальный металл, обладающим малым сечением захвата нейтронов. При этом он относится к самым тугоплавким материалам. Это обусловило использование сплавов на основе Zr в ядерной энергетике. В частности, в производстве ТВЭЛОВ (тепловыделяющих элементов). Такие сплавы использовались и на АЭС «Фукусима», на которой в марте 2011 г. произошла масштабная радиационная авария. Непосредственной причиной явилось особо мощное цунами, возникшее в результате «Великого восточно-японского землетрясения», но, как это чаще всего бывает, к катастрофе привел целый комплекс факторов. Немаловажной причиной явилась блокировка теплоотвода от рабочей зоны реактора, которая, в свою очередь, стала следствием паро-циркониевой реакции, идущей с большим тепловым эффектом. Такие реакции были хорошо изучены, но в инструкциях по эксплуатации ядерного реактора, составленных на основе как научных данных, так и мирового технологического опыта, важность паро-циркониевых реакций недооценивалась [9; 17]. Конечно, говорить, что виною всему – дефицит смысловой составляющей процесса подготовки инженеров – операторов АЭС было бы неверно, но вклад этого дефицита однозначно имел место.

Попытаемся проследить тот путь, которым проникает семантическая недостаточность в учебный процесс, и высказать возможные решения этой комплексной проблемы. Авторы анализируют имеющуюся литературу и обращаются к собственному опыту преподавания фи-

зики студентам ЮРГПУ (НПИ) имени М. И. Платова, Донского государственного технического университета и слушателям регионального «Центра выявления и поддержки одаренных детей «Ступени успеха».

Обсуждение и анализ проблемных ситуаций в семантическом пространстве точных наук. Рассмотрим отмеченные выше, а также другие примеры, иллюстрирующие важность сформулированной проблемы.

Механика – обширная и исторически первая часть физической науки. Казалось бы, в ее текстовом и устно излагаемом арсенале должно быть все отточено и доведено до автоматизма. Однако такое представление обманчиво. Устоявшиеся некорректные тезисы – дидактические единицы «выжили» до настоящего времени. Уже определение «материальной точки», с которого начинается большинство учебных курсов физики, страдает некорректностью. Вот это определение: «Материальной точкой называется тело, размерами которого в данной задаче можно пренебречь» (именно такое определение можно встретить во многих базовых учебниках по физике как для средней школы, так и для вузов). Но что значит, во-первых, «пренебречь размерами», например, в задаче, в которой брусок скользит по наклонной плоскости? Пренебречь можно, например, размерами Земли при рассмотрении ее орбитального движения в поле тяготения Солнца. Однако в ряде случаев, когда движение носит исключительно поступательный характер, а тело в процессе, описываемом в условии задачи, не деформируется, мы просто имеем возможность описывать движение тела, записывая уравнения механики для любой его конкретной точки. Во-вторых, не выделен модельный аспект понятия (более осмысленными в физике представляются лексические конструкции типа «в приближении мелкой воды...», «в рамках модели абсолютно черного тела...»). Таким образом, корректным определением материальной точки следует считать следующее: это модель тела, «размеры и форма которого несущественны в условиях данной задачи» [15]. Термин «пренебречь» использовать можно, но его смысл необходимо пояснять – см., например, [8]. Можно задаться вопросом – есть ли необходимость в таких тонкостях, не сродни ли такие уточнения некой демагогии? Конечно же, ответ однозначен – базовые основы должны излагаться точно и скрупулезно, от того, как именно они будут восприняты, будет зависеть то, насколько успешно будущий специалист сможет ориентироваться в профессиональной информации и, в конечном счете, мыслить.

Продолжая экскурс в методику преподавания механики, вернемся к понятию «вектора элементарного поворота». Для малых поворотов $d\varphi_1$ и $d\varphi_2$ справедливо $d\varphi_1 + d\varphi_2 = d\varphi$, где $d\varphi$ – результирующее угловое смещение. Однако, как отмечается в [6], это не будет выполняться для конечного поворота тела: можно, например, повернуть мяч для регби большим «диаметром» на 90° вокруг оси X , затем на такой же угол вокруг оси Y ; результирующий поворот не будет являться суммой первых двух поворотов.

Рассмотрим далее вопрос о траектории Луны. Известно, что Луна, двигаясь со скоростью около 30 км/с, совершает оборот вокруг Солнца относительно звезд по эллиптической (но близкой к круговой) орбите за 365 сут. 6 ч. 9 мин. 9 с. Луна имеет скорость относительно Земли приблизительно 1 км/с; время ее оборота составляет 27 суток 7 часов 43 минуты 12 с. Как же выглядит траектория Луны в системе отсчета, связанной с Солнцем?

Вопрос задавался старшеклассникам – победителям олимпиад по физике различных уровней. После недолгой дискуссии обучающиеся пришли к верному заключению о том, что рисунок, часто встречающийся на страницах научно-популярных статей (рис. 1а) неправилен: наличие петель соответствует участкам с отрицательной относительно Солнца скоростью (что невозможно).

Ряд участников дискуссии предложили другой вариант (рис. 1б). Он тоже ошибочен, хотя его можно увидеть даже в некоторых учебниках. Почему он неверен? Потому что сила притяжения Луны к Солнцу более чем в 2 раза превышает силу земного тяготения – поэтому траектория не может иметь «вогнутых» по отношению к Солнцу участков (их наличие означало бы «убегание» Луны от Солнца). Траектория, таким образом, должна быть выпуклой. Произвольно проведенная через две точки гелиоцентрической орбиты секущая не должна содержать других точек пересечения.

Такие доводы приводят к логическому тупику. И задача преподавателя – вначале обозначить эту проблему, а потом дать возможность слушателям найти ее решение. Решение же нигде, кроме небесной механики, не встречается: это кривая, напоминающая правильный до-

декагон (двенадцатиугольник) с закругленными вершинами (рис. 2). (На самом деле правильной фигуры не получится, поскольку звездный год содержит не целое число месяцев – отношение этих времен составляет примерно 13,38).

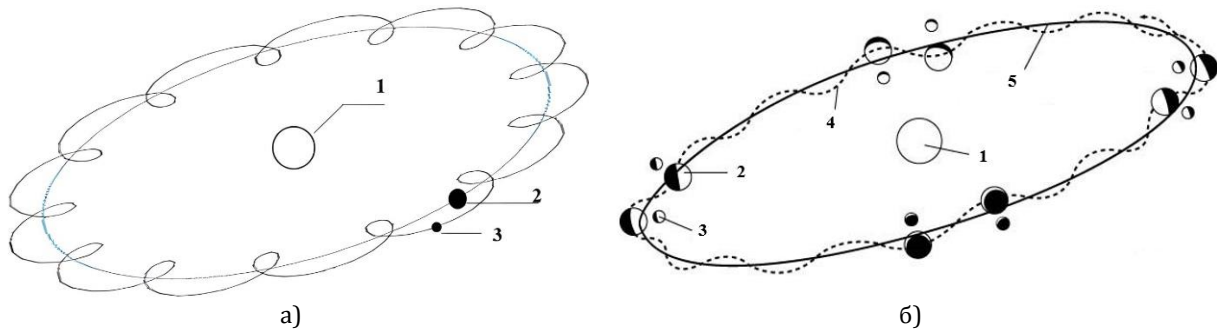


Рис. 1. Попытки неверного представления: Луна и Земля в их совместном движении вокруг Солнца:
а) винтовая линия; б) «синусоида»
1 – Солнце, 2 – Земля, 3 – Луна, 4 – траектория Луны, 5 – траектория Земли

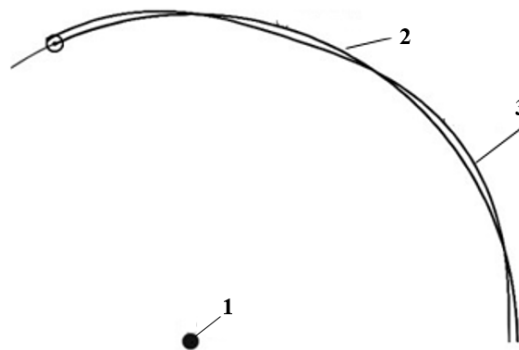


Рис. 2. Гелиоцентрические траектории Земли и Луны. 1 – Солнце; 2 – орбита Земли; 3 – орбита Луны

Семантическое пространство здесь должно быть сопряжено с графикой. И если удалить поисковый этап – просто представить правильный вариант как факт, будет утрачена возможность овладения эвристическими навыками. Будет получена информация. Но не будет усвоено знание.

Поэтому эвристические методы сохраняют свою актуальность; особенно важны они при изучении именно точных наук. В работе [10] приведены убедительные примеры эффективности этих методов – поиск старшеклассниками ответов на вопросы, связанные с относительным движением Солнца, Земли и Луны (хотя термин «эвристические» явно не используется).

Крайне интересен вопрос о скольжении коньков. Выше говорилось о неверном объяснении (якобы малое трение обусловлено тонким слоем воды, образующейся при повышенном давлении в процессе скольжения конькобежца). Достаточно предложить несложный мысленный эксперимент, результаты которого сразу же опровергнут это объяснение – просто представить легкую льдинку – например, небольшую сосульку, брошенную под малым углом на обширную плоскую поверхность льда. Она пройдет достаточно большое расстояние, прежде чем остановится. Кроме того, и при сильном морозе коньки неплохо скользят по льду. Но из фазовой диаграммы (рис. 3) видно, что ниже температуры (-22°C) жидкая фаза существовать не может.

Вопрос о том, почему лед скользкий, очень непросто. И он до настоящего времени окончательно не проработан, хотя догадка о том, что все дело – в особых поверхностных свойствах льда, была высказана еще М. Фарадеем почти 200 лет назад. Несомненно одно: на поверхности льда присутствует промежуточный слой, свойства которого отличаются от свойств обеих фаз – и жидкой воды, и льда [7; 20]. В отличие от воды, он обладает вязкостью, в десятки-в десятки раз превышающую таковую для воды. И в отличие от льда, молекулы этого слоя имеют частоту колебаний, приблизительно в 70 000 раз большую. Очевидно, необходимы дальнейшие исследования. И оставить вопрос открытым для слушателей – важно. Крайне непродуктивно представлять излагаемые науки как совокупность раз и навсегда установленных истин. Необходимо четко отделять известное от непознанного.

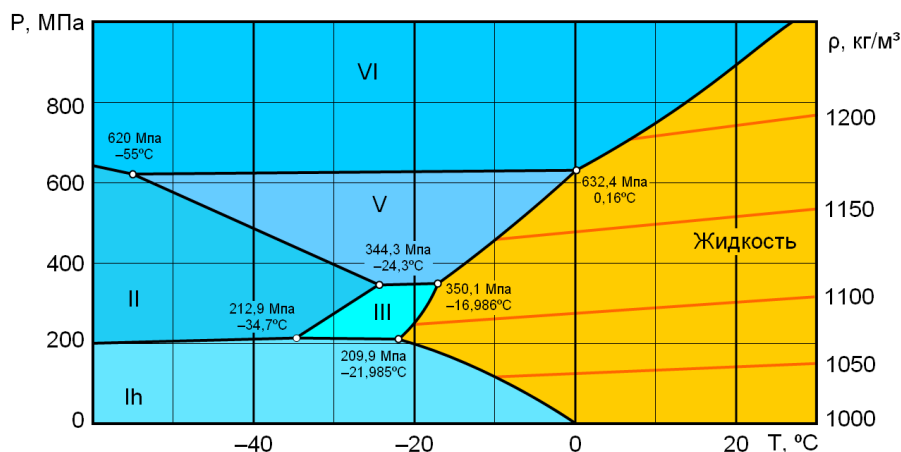


Рис. 3. Фазовая диаграмма воды [9]

Остановимся еще на одном заблуждении, устойчиво живущем в курсах физики – как школьном, так и вузовском. Это вопрос о замкнутости силовых линий магнитного поля. Силовые линии магнитного поля – важное модельное представление, с которого начинается изучение магнитных явлений еще в 7–8 классах, причем, на наглядном образе – полосках железных опилок, формируемых на стекле, который размещают над полюсами постоянного магнита и слегка постукивают. Такая модель позволяет, по сути, визуализировать главную характеристику магнитного поля – вектор магнитной индукции. Но практически во всех учебниках содержится категорическое утверждение: «... магнитные линии всегда замкнуты». Утверждение ошибочно именно своей категоричностью. Вдумчивый анализ вопроса можно найти в работе [2]. Авторы статьи заключают, что «магнитные линии не имеют истоков и стоков, однако это не означает, что магнитные линии всегда являются замкнутыми кривыми... при умеренных расстояниях от проводов с токами магнитные линии имеют запутанный, хаотический вид и лишь в редких случаях замыкаются...». На рис. 4 видна картина линий в достаточно простой ситуации, когда магнитное поле создается двумя скрещенными (перпендикулярными друг другу, но не имеющих контакта) проводами.

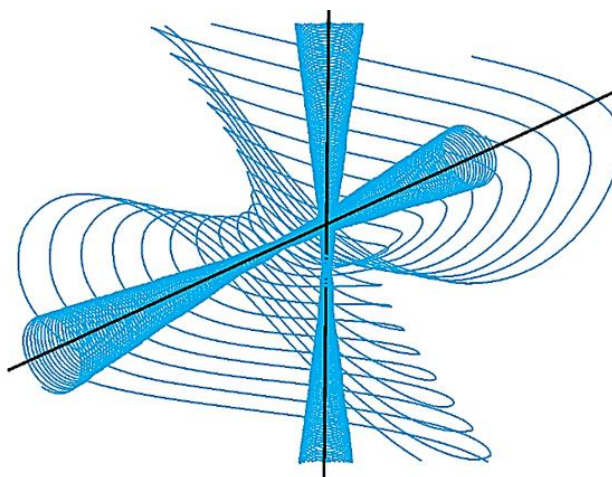


Рис. 4. Магнитное поле двух одинаковых взаимно перпендикулярных токов

Рисунок отображает наиболее интересную область поля – в окрестности точки максимального сближения проводников. «Конусы» с более плотным расположением линий есть образы индивидуальных полей проводников; более разреженные линии – это результат их наложения в более удаленном пространстве. Видно, что значительная часть линий уходит на бесконечность, не пересекаясь.

Аналогичные выводы следуют и из анализа, представленного в [3]. Автор иллюстрирует свои выкладки рассмотрением нескольких относительно простых ситуаций и утверждает, что в общем случае при произвольной геометрии токов практически все линии будут неза-

мкнуты. Интересен вывод, который по достоинству оценят математики – замкнутость столь же редкое исключение, как рациональные числа в континууме действительных чисел. Остается добавить – с рекомендацией преподавателям физики привнести это в учебный процесс, что будь магнитные линии всегда замкнутыми, активность Солнца была бы почти незаметна. Не было бы солнечных вспышек, магнитных бурь, полярных сияний.

С другой стороны, можно привести примеры отдельных удачных изложений и интерпретаций. Так, в литературе трудно найти вразумительное определение понятия «псевдовектор». Достаточно корректно и понятно оно изложено в [5]. В частности, говорится о произвольной векторной величине \mathbf{b} , изменение которой с течением времени может быть охарактеризовано как вращение с угловой скоростью ω . Утверждается, что для \mathbf{b} справедливо представление

$$\frac{d\mathbf{b}}{dt} = [\omega\mathbf{b}].$$

В квадратных скобках – векторное произведение величин ω и \mathbf{b} . Вектор ω , с которым уже проделана операция векторного умножения, объявляется «не совсем обычным вектором», и указана причина: если систему координат «отразить в зеркале», то величина ω должна поменять знак – только в этом случае не изменят знака векторы скорости V и координаты r частицы. Это обстоятельство и делает величину ω «псевдовектором», в отличие от истинных векторов V и r . Далее отмечается, что векторное умножение любых истинных векторов приводит к псевдовектору, и высказывается очень важное утверждение – «...объявлять векторной любую величину, имеющую направление и представимую в трех проекциях, было бы неразумно. Повышенные требования к объекту, претендующему на звание вектора, придают истинно векторным законам дополнительную доказательную силу».

Анализ, проведенный специалистами в области методологии научного познания, показывает, что в самой устоявшейся практике обучения физике десятилетиями устойчиво существуют и наследуются из одного поколения педагогов в другое семантико-методические ошибки при использовании идей, принципов, фундаментальных понятий-категорий, логики научного метода познания – многого из того, что образует методологическую культуру учителя, преподавателя физики [12]. Так, например, авторы указанной работы подчеркивают, что даже в учебниках часто происходит смешение понятий физического объекта и модели, что негативно влияет на формирование физического мышления обучаемых. Эта проблема решается, но решаться она должна на фундаментальном уровне – начиная с пересмотра школьных учебников и актуальных программ повышения квалификации учителей и преподавателей физики. Успешно зарекомендовавшими себя на практике начинаниями в этом направлении являются разработка и использование моделей занятий по физике, также разбор методологических оснований учебных материалов на курсах переподготовки и повышения квалификации кадров (методики Ю. А. Саурова, М. П. Уваровой [14]).

Отдельный интерес представляют особенности семантического содержания учебного процесса, осуществляемого на иностранном языке. На основе полученного авторами опыта преподавания физики на английском языке можно отметить ценность сопоставления перед слушателями особенностей определений и интерпретаций физических явлений в природе и технике, принятых в российской и зарубежной учебной литературе. Так, широко используемой в механике величине $p = mV$ (импульсу, равному произведению массы и скорости), в англоязычной литературе соответствует термин «momentum». Слово это напрямую заимствовано из латыни, с которой оно переводится как «напор». В русскоязычной литературе понятия «натиск», «напор» не имеют прямого соответствия с физическими величинами; но это не так в трудах основоположников (отметим в этой связи фундаментальный труд И. Ньютона [4]). Слово «Impulse» в англоязычных книгах служит для обозначения коротких сигналов, чаще электромагнитных. В России такое толкование тоже имеет место, и это просто второе значение термина «импульс».

Известно, что российские специалисты в области теоретической механики избегают использования термина «импульс», предпочитая говорить «количество движения», и в этом смысле они ближе к основоположникам, чем авторы учебников по общей физике и преподаватели.

Логика, близкая к основоположникам, восходит к унитарности: при переходе к механике вращательного движения нельзя обойтись без понятия «момент импульса» – у основопо-

ложников и в учебниках на английском языке (см., например, [4; 22]) этот переход просто отмечается определением «угловой»: «angular momentum» («угловой момент»). Своя логика, легко понятная вчерашним школьникам, есть и в русскоязычных учебных пособиях: «момент импульса» по аналогии с «моментом силы» несложно воспринять как произведение «плеча» (расстояния до оси вращения) на импульс ($\vec{L} = [\vec{r}, m\vec{V}]$). Рассказ о таких особенностях можно было бы продолжить. Наилучшая, на наш взгляд, тактика – рассказывать о таких семантических особенностях слушателям, изучавшим школьную физику на английском языке. По сути, такая тактика может рассматриваться как развитие методики полилингвального обучения, которой в последние годы уделяется особое внимание (см., например, [11]). При наличии достаточного учебного времени это представляется полезным и в учебном процессе, осуществляемом на русском языке.

На важность смысловой компоненты учебного процесса обращают внимание авторы [18; 19; 23], однако сколь-либо аргументированные попытки анализа семантического содержания представлений точных наук в современном учебном процессе не предпринимались. Авторы выражают надежду, что в данной работе этот пробел в какой-то степени восполнен.

Заключение. В работе сделан беглый абрис круга вопросов, редко обозначаемых как проблемы, в общем русле современной педагогической практики – вопросов о семантической составляющей точных наук; о пространстве смыслов в образовательном процессе по физике и другим точным наукам. Молчаливо предполагается, что именно «точность», облеченная в емкие и однозначные формулы, чертежи, свойственные учебным материалам по физике, химии, прочим естественным наукам, гарантирует содержательной части этих наук в учебном процессе защиту от неверной трактовки и, как следствие, от некорректного понимания, попросту – от заблуждений. Авторы попытались показать, что такой взгляд далек от реальности: на деле сопровождение обучающихся на их пути к знаниям точных наук весьма уязвимо при ненадлежащем отношении к содержанию образовательного действия. Ошибки, транслируемые десятилетиями из одних изданий базовой учебной литературы в другие, – красноречивое подтверждение этой ситуации. В работе это обсуждается на ряде достаточно интересных и известных примеров из физики. Путь преодоления семантической неопределенности авторы видят в эвристической и проблемной направленности процесса преподавания. Проводить границу между познанным и неизвестным; обозначать существующие «белые пятна»; предлагать получение ответов на основе ранее усвоенных знаний и логики; предоставлять альтернативные образцы терминологии и смыслового содержания усваиваемых понятий – вот круг активностей, которые авторы актуализируют, несмотря на то, что эти методики не являются неким ноу-хау, а в достаточной мере знакомы ученым и преподавателям. Представляется, что в работе они представлены под новым углом зрения, и в комплексе.

В заключение хотелось бы привести малоизвестные строки Альберта Эйнштейна: «Люди, овощи или космическая пыль – все мы исполняем танец под непостижимую мелодию, которую издали наигрывает невидимый музыкант...» [13, с. 60]. Эти слова заставляют задуматься о красоте и величии окружающего мира. Тот же Эйнштейн писал, что самым непостижимым в этом великом мире кажется его постижимость [16]. Однако процесс постижения очень сложен и трудоемок. И этот факт накладывает на всех нас, причастных к педагогическому труду, особую ответственность.

Список литературы

1. Герцен А. И. Былое и думы // Собр. соч. : в 30 т. Т. 10. Ч. 5. Гл. 10. М. : Изд-во АН СССР, 1956. С. 172.
2. Горбатый И., Эпиктетов Д. Линии магнитного поля – простые и сложные // Квант. 2015. № 3. С. 34–36.
3. Ершов А. П. Электромагнитное поле : курс лекций для ФМШ. Новосибирск : Изд-во НГУ, 2007. 56 с.
4. Исаак Ньютон. Математические начала натуральной философии: пер. с англ. М. : Наука, 1989. 692 с.
5. Кингсен А. С., Локшин Г. Р., Ольхов О. А. Основы физики. Курс общей физики : учебн. : в 2 т. Т. 1. Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика / под ред. А. С. Кингсена. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001. 560 с.
6. Леденев А. Н. Физика : учебное пособие для вузов : в 5 кн. Кн. 1.
7. Леенсон И. А. Почему лёд скользкий // Химия и жизнь. 2018. № 11. Механика. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. 240 с.
8. Основы физики : в 3 т. Т. 1 / Н. П. Калашников, М. А. Смондырев. Изд. 2-е, электрон. М. : Лаборатория знаний, 2021. 545 с.

9. Певзнер Л. ТРИЗ-5 для «чайников». Типовые ошибки в развитии технических систем. Изд. 2-е. Издательские решения, 2020. 161 с.
10. Перевоицков Д. В. Освоение научного метода познания и формирование естественно-научной грамотности школьников при решении физических задач с астрономическим содержанием // Вестник Вятского государственного университета. 2020. № 1 (135). С. 94–103. DOI: 10.25730/VSU.7606.20.011 3.
11. Попов Н. И., Яковлева Е. В. Методические особенности полилингвального обучения математике иностранных студентов в вузе // Вестник Вятского государственного университета. 2020. № 2 (136). С. 64–75.
12. Сауров Ю. А., Уварова М. П. О методологической культуре учителя физики // Физика в школе. 2023. № 4. С. 3–10.
13. Сушко Юрий. Альберт Эйнштейн. Во времени и пространстве. М. : АСТ, 2016. С. 60. URL: <https://top-reading.net/bookread/33205-yurii-sushko-albert-einstejn-vo-vremeni-i-prostranstve/page-60>.
14. Уварова М. П. Модель урока как средство формирования методологической культуры учителей физики // Настоящее и будущее физико-математического образования : мат-лы докладов VI всероссийской научно-практической конференции. 01 ноября 2023 // отв. ред. Ю. А. Сауров. Киров : Радуга-ПРЕСС, 2023. С. 42–46.
15. Физика для инженеров : учебник / А. В. Благин, Т. С. Беликова, Т. П. Жданова и др.; под ред. А. В. Благина; Донской государственный технический университет. Ростов н/Д : ДГТУ, 2022. 601 с.
16. Эйнштейн Альберт. Цитаты и афоризмы / пер. Н. Холмогоровой. М. : КоЛибри : Азбука-Аттикус, 2015. 320 с.
17. Якушкин А. А., Высикайло Ф. И. Проблемы разрушения поверхности оболочек тепловыделяющих элементов ядерных энергетических установок // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-Математика. 2018. № 4. С. 92–111.
18. Abakumova I. V., Godunov M. V., Grishina A. V. Identification of Markers for Models of Meaning Constructs // International Journal of Cognitive Research in Science Engineering and Education. 2020. № 8 (2). Pp. 53–58. DOI: 10.5937/IJCRSEE2002053A.
19. Abakumova I. V., Zorina E. S. Sense-making techniques in educational process and their impact on the personal characteristics of students // International Journal of Cognitive Research in Science Engineering and Education. № 5 (2). Pp. 41–46. DOI: 10.5937/ijcrsee1702041A.
20. Canale L., Comtet J., Cohen C. et al. Nanotheology of Interfacial Water during Ice Glodng // Phys. Rev. 2009. X9. 041025. Pp. 041025-1-9.
21. Jon H. Kaas. The origin and evolution of neocortex: From early mammals to modern humans (англ.) // Progress in Brain Research. 2019. Vol. 250. Pp. 61–81.
22. Paul Fishbane. Physics for Scientists and Engineers (3rd Edition) / Upper Saddle River, New Jersey. 2005. P. 1379.
23. Pishchik V. I. Value-Semantic Bases of Ideas About the Profession and Satisfaction with the Profession of Higher School Teachers // International Journal of Cognitive Research in Science Engineering and Education. 2020. № 8 (2). Pp. 69–81. DOI: 10.5937/IJCRSEE2002069P.
24. Tavukcu T., Kalimullin A. M. Analysis of Articles on Education and Instructional Technologies (Scopus) / A. Litvinov, N. Shindryaeva, V. Abraukhova, N. Abdikeev // International Journal of Emerging Technologies in Learning. 2020. № 15 (23). Pp. 108–120. DOI: 10.3991/ijet.v15i23.18803.

The semantic component of the exact sciences: problems and possible solutions

Blagin Anatoly Vyacheslavovich¹, Popova Inna Grigorievna²

¹Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, head of the Department of Physics, Don State Technical University. Russia, Rostov-on-Don. ORCID: 0000-0002-4513-6986. E-mail: a-blagin@mail.ru

²PhD in Physical and Mathematical Sciences, associate professor of the Department of Physics, Don State Technical University. Russia, Rostov-on-Don. ORCID: 0000-0002-8045-5915. E-mail: inna111109@rambler.ru

Abstract. The paper discusses the scientific aspects of the most important process in pedagogical activity – the process of perception, assimilation and memorization of new scientific ideas in the field of exact sciences. It is shown that in many cases the emphasis is on the capacity of information (achieved with the help of formulas and drawings), accuracy (the construction of mathematical models consists in a number of requirements-restrictions imposed on the studied object, which is replaced by a simplified image of it), and at the same time the semantic component, the space of meanings, remains without due attention. This state of affairs significantly reduces the effectiveness of the educational process. Therefore, identifying the causes of the semantic component deficiency and finding ways to overcome it is an urgent task. The paper attempts to identify some aspects of the semantic-deficient presentation of exact sciences (using the example of physics) and propose

possible algorithms for providing the stated scientific facts with meanings. The complex of these algorithms proposed by the authors includes heuristic (permanent discovery of knowledge by the subject of knowledge himself) and problematic (formulation of questions answered by physics in the form of paradoxes) approaches. In particular, the issues of the meaning of pseudovectors in physics, the orbit of the Moon, the slipperiness of ice, and magnetic field lines are discussed. The author's ideas can be characterized as the development of a heuristic and problematic approach. However, in the combination of these approaches, emergent effects arise, which can become the basis for the creation of new educational methods. The conclusions of the work on the effectiveness of combining these methods and systematically addressing the focuses of attention of students, fixed in their previous experience, can increase the effectiveness and attractiveness of the learning process for young people both in the system of secondary vocational education (SPE) and in higher education.

Keywords: semantic space, problem situation, educational process, heuristic methods, physics.

References

1. Herzen A. I. *Byloe i dumy* [Byloye i dumy] // Coll. works : in 30 vols. Vol. 10. Part 5. Chapter 10. M. Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1956. p. 172.
2. Gorbatyj I., Epiketov D. *Linii magnitnogo polya – prostye i slozhnye* [Lines of the magnetic field – simple and complex] // *Kvant – Quantum*. 2015. No. 3. Pp. 34–36.
3. Ershov A. P. *Elektromagnitnoe pole : kurs lekcij dlya FMSH* [Electromagnetic field : a course of lectures for FMSH]. Novosibirsk. NSU Publishing House, 2007. 56 p.
4. Isaac Newton. *Matematicheskie nachala natural'noj filosofii: per. s angl.* [Mathematical principles of natural philosophy: transl. from English] M. Nauka (Science), 1989. 692 p.
5. Kingsep A. S., Lokshin G. R., Ol'hov O. A. *Osnovy fiziki. Kurs obshchej fiziki : uchebn. : v 2 t. T. 1. Mekhanika, elektrichestvo i magnetizm, kolebaniya i volny, volnovaya optika* [Fundamentals of Physics. General Physics course : textbook : in 2 vols. Vol. 1. Mechanics, electricity and magnetism, vibrations and waves, wave optics] / ed. by A. S. Kingsep. M. FIZMATLIT, 2001. 560 p.
6. Ledenev A. N. *Fizika : uchebnoe posobie dlya vuzov : v 5 kn. Kn. 1* [Physics : textbook for universities : in 5 books. Book 1].
7. Leenson I. A. *Pochemu lyod skol'zkiy* [Why ice is slippery] // *Himiya i zhizn'* – Chemistry and life. 2018. No. 11. Mechanics. M. FIZMATLIT, 2005. 240 p.
8. *Osnovy fiziki : v 3 t. T. 1 – Fundamentals of physics : in 3 vols. Vol. 1* / N. P. Kalashnikov, M. A. Smon-dyrev. 2nd ed., electron. M. Laboratory of Knowledge, 2021. 545 p.
9. Pevzner L. *TRIZ-5 dlya "chajnikov". Tipovye oshibki v razvitiy tekhnicheskikh sistem. Izd. 2-e* [TRIZ-5 for dummies. Typical errors in the development of technical systems. 2nd ed.]. Publishing solutions, 2020. 161 p.
10. Perevoshchikov D. V. *Osvoenie nauchnogo metoda poznaniya i formirovanie estestvenno-nauchnoj gramotnosti shkol'nikov pri reshenii fizicheskikh zadach s astronomicheskim soderzhaniem* [Mastering the scientific method of cognition and the formation of natural science literacy of schoolchildren in solving physical problems with astronomical content] // *Vestnik Vyatskogo gosudarstvennogo universiteta – Herald of Vyatka State University*. 2020. No. 1 (135). Pp. 94–103. DOI: 10.25730/VSU.7606.20.011.
11. Popov N. I., Yakovleva E. V. *Metodicheskie osobennosti polilingval'nogo obucheniya matematike inostrannykh studentov v vuze* [Methodological features of multilingual teaching mathematics to foreign students at the university] // *Vestnik Vyatskogo gosudarstvennogo universiteta – Herald of Vyatka State University*. 2020. No. 2 (136). Pp. 64–75.
12. Saurov Yu. A., Uvarova M. P. *O metodologicheskoy kul'ture uchitelya fiziki* [On the methodological culture of a physics teacher] // *Fizika v shkole – Physics at school*. 2023. No. 4. Pp. 3–10.
13. Sushko Yuriy. *Al'bert Eynshtejn. Vo vremeni i prostranstve.* [Albert Einstein. In time and space]. M. : AST, 2016. p. 60. Available at: <https://topreading.net/bookread/33205-yurii-sushko-albert-einshtein-vo-vre-meni-i-prostranstve/page-60>.
14. Uvarova M. P. *Model' uroka kak sredstvo formirovaniya metodologicheskoy kul'tury uchitelej fiziki* [The lesson model as a means of forming the methodological culture of physics teachers] // *Nastoyashchee i budushchee fiziko-matematicheskogo obrazovaniya : mat-ly dokladov VI vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 01 noyabrya 2023 – Present and future of physics and mathematics education : materials of reports of the VI All-Russian scientific and practical conference. November 01, 2023* // ed. by Yu. A. Saurov. Kirov. Raduga PRESS, 2023. Pp. 42–46.
15. *Fizika dlya inzhenerov : uchebnik – Physics for Engineers: textbook* / A. V. Blagin, T. S. Belikova, T. P. Zhdanova, etc.; ed. by A. V. Blagin; Don State Technical University. Rostov-na-Donu. DSTU, 2022. 601 p.
16. *Albert Einstein. Citaty i aforizmy* [Quotes and aphorisms] / transl. N. Kholmogorova. M. KoLibri : ABC-Atticus, 2015. 320 p.
17. Yakushkin A. A., Vysikajlo F. I. *Problemy razrusheniya poverhnosti obolochek teplovodyayushchih elementov yadernyh energeticheskikh ustanovok* [Problems of destruction of the surface of shells of fuel elements of nuclear power plants] // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Fizika-Matematika – Herald of Moscow State Regional University. Series: Physics-Mathematics*. 2018. No. 4. Pp. 92–111.

18. *Abakumova I. V., Godunov M. V., Grishina A. V.* Identification of Markers for Models of Meaning Constructs // International Journal of Cognitive Research in Science Engineering and Education. 2020. No. 8 (2). Pp. 53–58. DOI: 10.5937/IJCRSEE2002053A.
19. *Abakumova I. V., Zorina E. S.* Sense-making techniques in educational process and their impact on the personal characteristics of students // International Journal of Cognitive Research in Science Engineering and Education. No. 5 (2). Pp. 41–46. DOI: 10.5937/ijcrsee1702041A.
20. *Canale L., Comtet J., Cohen C. et al.* Nanotheology of Interfacial Water during Ice Gloding // Phys. Rev. 2009. X9. 041025. Pp. 041025-1-9.
21. *Jon H. Kaas.* The origin and evolution of neocortex: From early mammals to modern humans // Progress in Brain Research. 2019. Vol. 250. Pp. 61–81.
22. *Paul Fishbane.* Physics for Scientists and Engineers (3rd Ed.) / Upper Saddle River, New Jersey. 2005. P. 1379.
23. *Pishchik V. I.* Value-Semantic Bases of Ideas About the Profession and Satisfaction with the Profession of Higher School Teachers // International Journal of Cognitive Research in Science Engineering and Education. 2020. No. 8 (2). Pp. 69–81. DOI: 10.5937/IJCRSEE2002069P.
24. *Tavukcu T., Kalimullin A. M.* Analysis of Articles on Education and Instructional Technologies (Scopus) / A. Litvinov, N. Shindryaeva, V. Abraukhova, N. Abdikeev // International Journal of Emerging Technologies in Learning. 2020. No. 15 (23). Pp. 108–120. DOI: 10.3991/ijet.v15i23.18803.

Поступила в редакцию: 15.05.2024

Принята к публикации: 27.06.2024