УДК 53:371.3(07)

Рустемов Б.Х.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ШКОЛЬНОГО КУРСА ФИЗИКИ

Ключевые слова: физические понятия и законы, причинно-следственная связь, полевая структура, область целостности в поле рациональных чисел, идеальная модель.

В настоящее время основной проблемой в теории и методике обучения школьного курса физики является повышение теоретического уровня учебного материала. Сразу заметим, что обобщения в разных разделах курса неравноценны. Если механика самим Ньютоном изложена в классической форме теоретического обобщения и традиционно сохраняет в той или иной мере эту форму на любом, в том числе и школьном уровне изложения, то уже в следующем разделе «Молекулярная физика» обобщения не носят всеобъемлющего характера. Не выделено теоретических ядер в школьной «Электродинамике», «Колебаниях и волнах», «Квантовой физике». Такое положение обосновывается сложностью математического аппарата классической электродинамики и квантовой механики для школьников. Решение этой проблемы хотя и очень сложно, но диктуется современными требованиями общества к школьному физическому образованию. Однако она пока остается открытой.

Психологами В.В. Давыдовым и Д.Б. Элькониным доказана возможность дедуктивного построения обучения уже в начальных классах с применением более высоких, чем обычно, теоретических обобщений. Они при этом предлагают построить содержание учебного материала при формировании учебных понятий, при котором ученики прежде всего обнаруживают генетически исходную всеобщую связь, определяющую целостную структуру всей совокупности подобных понятий. Так, для математических понятий всеобщей основой выступает общее отношение величины, для школьной грамматики роль такой всеобщей основы выполняет отношение формы и значения слова. Поскольку эти общие связи можно выразить в виде моделей (формул, графических схем), то школьников учат использовать эти модели. Такой подход позволяет ученикам раньше усваивать знания общего и абстрактного характера и уже из них выводить более частные и конкретные знания [7].

Однако, несмотря на такое преимущество предложенного выше метода обучения для школьного курса физики, его использование в настоящее время не представляется возможным из-за неопределенности той всеобщей основы, которая объединяет физические знания в систему. По нашему мнению, основной причиной этого является неопределенность полевой структуры физических понятий и законов.

Понятие «поле» хотя и трактуется в различных научных направлениях по-разному, суть его остается неизменной. Например, это понятие в физике трактуется как материальная среда, в которой происходит процесс взаимодействия, а в математике оно используется для обозначения группы множеств, обладающих некоторыми общими свойствами. В лингвистике понятию «поле» дается следующее определение: «Поле – совокупность языковых единиц (главным образом лексических единиц), объединенных общностью содержания (иногда также общностью формальных показателей) и отражающих понятийное, предметное или функциональное сходство изучаемых явлений» [6].

Как показывают лингвистические исследования по определению полевой структуры учебного материала, для этого в первую очередь необходимо расчленение учебного материала на структурные элементы по их общим признакам [3]. Анализ соответствующей научной и научно-методической литературы показал, что отсутствуют какие-либо попытки определения полевой структуры физических понятий и законов как основной структуры школьных физических знаний. Предлагаемый фрагмент исследования восполняет этот пробел, который препятствовал вести обучение школьному курсу физики на более высоком научном уровне.

В данной работе как всеобщая основа систематизации физических понятий и законов используется причинно-следственная связь, которая непосредственно отражается как инвариантная всеобщая связь во всех – механической, электродинамической, квантово-полевой – картинах мира. Утверждение причинно-следственной связи как всеобщей связи физических знаний соответствует диалектическому духу современной физической науки.

Применение причинно-следственной связи как всеобщей связи позволяет расчленить структуру физических понятий и законов на величины, характеризующие причину, следствие и условие протекания процесса (состояние объекта). Логическое определение о причинно-следственных связях в данной работе послужило теоретической основой выдвижения следующих гипотез [2].

Первая гипотеза. Отношение между физическими величинами, характеризующими причины и следствие в физических понятиях и законах, является прямо пропорциональным.

Вторая гипотеза. Отношение между физическими величинами, характеризующими следствие и условие протекания процесса (состояние объекта), является прямо либо обратно пропорциональным.

Подтверждение первой гипотезы экспериментальными фактами и систематизация физических понятий и законов (таблица) на этой основе позволили выявить всеобщее отношение (основное отношение) для физических понятий и законов в виде $a = bc$, где a, b, c – соответственно физические величины, характеризующие причину, следствие и условие протекание процесса (состояние физического объекта).

Система физических понятий и законов

№	Физическое понятие, закон	Причина, *a*	Следствие, *b*	Состояние объекта, *c*
1	Скорость, $v = \frac{S}{t}$	v	S	$\frac{1}{t}$
2	Ускорение, $a = \frac{\Delta v}{t}$	Δv	a	t
3	II закон Нютона, $F = ma$	F	a	m
4	Закон Гука, $F = k\Delta x$	F	Δx	k
5	Давление, $P = \frac{F}{S}$	F	P	S
6	Количество теплоты, $Q = cm\Delta T$	Q	ΔT	cm
7	Закон Бойля–Мариотта, Pv = const T	P	$\frac{1}{v}$	const T
		v	const T	const T
8	Закон Ома для участка цепи, $U = IR$	U	I	R
9	Освещенность, $E = \frac{\Phi}{S}$	Φ	E	S
10	Энергия кванта, $E = h\nu$	ν	E	h

Однако выявленное выше основное отношение в изложенном виде не дает никаких конкретных сведений о структуре физических понятий и законов. С этой точки зрения является целесообразным разделение универсального множества на подмножества по заданным свойствам.

Пусть F – универсальное множество, образованное объединением и пересечением множеств A, B, C и D, где A, B, C, D соответственно числовые множества физических величин, характеризующих причину, следствие, условие протекания процесса и окружающую среду. Универсальное множество F изображается с помощью диаграммы Эйлера–Венна (рисунок) [9].

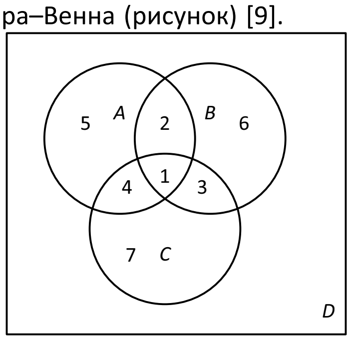

Диаграмма Эйлера–Венна

Диаграмма Эйлера–Венна делает наглядными следующие утверждения, касающиеся множеств A, B, C, D [5]:

1. Пересечение множеств коммутативно: для любых множеств A и B имеем

$$A \cap B = B \cap A.$$

Это свойство вытекает из определения операции пересечения множеств A и B.

2. Пересечение множеств ассоциативно: для любых множеств A, B, C имеем

$$(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C).$$

Это позволяет записывать выражение $(A \cap B) \cap C$ без скобок и находить пересечение любого числа множеств.

3. Если $A \subset B$, $A \cap B = A$, т.е. если множество A является подмножеством множества B, то элементами, принадлежащими одновременно A и B, являются элементы множества A, т.е. $A \cap B = A$.

В частности, для любого множества A имеем: $A \cap A = A$, $A \cap \varnothing = \varnothing$, $A \cap F = A$.

4. Объединение множеств коммутативно: для любых множеств $A \cup B$ имеем

$$A \cup B = B \cup A \text{ (коммутативность).}$$

5. Объединение множеств ассоциативно: для любых множеств A, B и C имеем

$(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$
(ассоциативность).

Это свойство позволяет писать выражение $(A \cup B) \cup C$ без скобок и говорить про объединение любого числа множеств.

6. Если $B \subset C$, т.е. если множество B является подмножеством множества A, то элементами, принадлежащими одновременно A и B, являются элементы множества A, т.е. $A \cup B = A$. В частности, для любого множества A имеем:

$A \cap A = A$, $A \cap \varnothing = \varnothing$, $A \cap F = A$.

7. Связь между операциями пересечения и объединения множеств отражает свойства дистрибутивности, т.е. для любых множеств A, B и C справедливы равенства:

а) $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup C\ (A \cap C)$;

б) $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$.

8. Множество D является подмножеством универсального множества F, не принадлежащим объединению множеств A, B, C.

9. Разделение по заданным свойствам универсального множества F образует следующие подмножества:

а) (1) $A \cap B \cap C$, (2) $A \cap B \cap \tilde{C}$, (3) $\tilde{A} \cap B \cap C$, (4) $A \cap \tilde{B} \cap C$, (5) $A \cap \tilde{B} \cap \hat{C}$;

б) (6) $\hat{A} \cap B \cap \hat{C}$, (7) $\hat{A} \cap \tilde{B} \cap C$, (8) $\tilde{A} \cap \tilde{B} \cap \hat{C}$.

Вышеприведенные математико-логические утверждения и выявленное отношение в виде $a = bc$ позволяют написать следующие алгебраические выражения для физических понятий и законов.

1. $ab = ba$;
2. $(ab)c = a(bc)$;
3. $(a + b) + c = a + (b + c)$;
4. $a(b + c) = ab + bc$;
5. $a + (bc) = (ab) + (ac)$;
6. $\tilde{a} = \frac{1}{a}, \tilde{b} = \frac{1}{b}, \tilde{c} = \frac{1}{c}$;
7. $\tilde{a}a = 1, \tilde{b}b = 1, \tilde{c}c = 1$.

В вышеприведенной диаграмме Эйлера–Венна четко вырисовывается целостность полевой структуры физических понятий и законов.

Как видно из рисунка, круги, изображающие множества A, B, C, пересекаются. Наличие переходной зоны между множествами A, B, C объединяет данные множества в целостную систему и делает границы между ними нечеткими, неясными. По этому поводу Л.В. Щерба писал: «...надо помнить, что ясны лишь крайние области. Промежуточные же в самом первоисточнике – в сознании говорящих – оказываются колеблющимися, неопределенными. Однако это-то неясное и колеблющееся и должно больше всего привлекать внимание…» [1].

Подмножества (1) $A \cap B \cap C$, (2) $A \cap B \cap \tilde{C}$, (3) $\tilde{A} \cap B \cap C$, (4) $A \cap \tilde{B} \cap C$, (5) $A \cap \tilde{B} \cap \tilde{C}$, (6) $\tilde{A} \cap B \cap \tilde{C}$, (7) $\tilde{A} \cap \tilde{B} \cap C$, (8) $\tilde{A} \cap \tilde{B} \cap \tilde{C}$, образованные пересечением множеств A, B, C, и их математические обозначения показывают, что любому элементу этих множеств найдется обратный элемент относительно операции умножения, т.е. $\tilde{a} = \frac{1}{a}$, $\hat{b} = \frac{1}{b}$, $\hat{c} = \frac{1}{c}$. Такой вывод отменяет необходимость проверки второй гипотезы и позволяет утверждать, что причинно-следственная связь в физических понятиях и законах выражается отношениями в виде $a = bc$ либо $a = \frac{b}{c}$. Примером этому могут служить формулы, записанные в виде: $\upsilon = \frac{S}{t}$ и $\Delta\upsilon = at$. Обозначая $\frac{1}{t} = \tilde{c}$ и $t = c$, можно записать $\tilde{c} \cdot c = 1$, где 1 – нейтральный элемент множества C относительно операции умножения.

Теперь кратко изложим физический смысл математических отношений порядка $a < b$; если $a < b$ и $b < c$, то $a < c$; $ac < bc$ [5].

Отношение порядка $a < b$ обозначает временную последовательность происходящих явлений, и данное отношение показывает, что явление, которое является причиной возникновения другого явления, которое называется следствием, происходит раньше по времени.

Математическое предложение «если $a < b$, $b < c$, , то $a < c$» выражает конечность скорости распространения физических взаимодействий. Отношение порядка $ac < bc$ выражает необратимость физических процессов и является выражением II закона термодинамики.

Вследствие того положения, которое математика занимает внутри теоретической физики, нет необходимости доказывать вышеприведенные алгебраические выражения и они принимаются как аксиомы. Немецкий физик-теоретик Г. Иос по этому поводу пишет о том, что в задачу физика-теоретика не входить давать математические доказательства. Он должен полагаться на безошибочность предоставленного ему математикой инструмента. Даже в тех случаях, когда он сам вынужден создавать себе инструмент, он может не задерживаться на математических доказательствах существования, если результат физически очевиден. Во всяком случае, строгие требования чистой математики часто находятся в противоречии с реальными физическими условиями [4]. Тут мы должны учитывать тот факт, что известные нам законы движения, как предполагает астроном из Пулковской обсерватории Н.А. Козырев, – это лишь некоторая приближенная форма точных законов, которые еще предстоит открыть [10].

Вышеизложенные доводы и выявленные признаки полевой структуры физических понятий и законов позволяют нам в качестве их теоретической модели принять готовую математическую структуру – теоремы о простых свойствах поля рациональных чисел и в его поле области целостности. Эти теоремы и их доказательства излагаются в литературе [5].

Когда физическая теория или теоретическая модель строится на основе готовых математических структур, она описывается на языке математики, а физические предложения присоединяются к соответствующим теоремам [10]. Следуя этому правилу, можно излагать теоретическую модель физических понятий и законов следующим образом.

Теорема 1. Пусть поле $F = \langle F, +, -, \cdot, 1 \rangle$ является универсальным множеством, включающим числовые значения физических величин a, b, c – характеризующих соответственно причину, следствие и условие протекания процесса (состояние объекта) в структуре физических понятий и законов. Тогда для элементов a, b, c этого поля выполняются следующие отношения:

(1) если $ab = 1$, то $a \neq 0$ и $b = a^{-1}$;

(2) если $ac = bc$ и $c \neq 0$, то $a = b$;

(3) если $ab = 0$, то $a = 0$ или $b = 0$;

(4) если $a \neq 0$ и $b \neq 0$, то $ab \neq 0$;

(5) $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$ тогда и только тогда, когда $ad = bc$, $b \neq 0$ и а $\neq 0$;

(6) $\frac{a}{b} \pm \frac{c}{d} = \frac{ad \pm bc}{bd}$;

(7) $\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{ac}{bd}$;

(8) $\frac{a}{b} + \frac{(-a)}{b} = 0$ и $-(\frac{a}{b}) = -\frac{a}{b}$;

(9) если $a \neq 0$ и $b \neq 0$ тогда, $(\frac{a}{b})^{-1} = \frac{b}{a}$;

(10) $\frac{ac}{bc} = \frac{a}{b}$.

Теорема 2. Для любой области целостности существует поле частных. Если F и P – поля частной в кольце K, то существует изоморфизм поля P на поле F в себя, т.е количественные отношения переходят в качественные.

Теорема 3. Бинарное отношение <, которое означает «раньше» в причинно-следственной связи, обладает следующими свойствами:

(1) для любого a, b, c из Q если $a < b$ и $b < c$, то $a < c$;

(2) для любых a, b из Q имеет место только $a < b$;

(3) для любых a, b из Q , если $a < b$, то $a + c < b + c$;

(4) для любых a, b, c из Q , если $a < b$ и $0 < c$, то $ac < bc$.

Первым выводом, получаемым из любой физической теории или теоретической модели, является закон сохранения энергии, так как именно этот закон является критерием истинности теоретического построения.

Как известно, закон сохранения энергии впервые был открыт путем обобщения экспериментальных фактов. После этого данный закон был обоснован в классической механике. Наконец, был выяснен более глубокий смысл этого закона как следствие симметрии времени. В построенной модели этот закон отражается в математическом предложении (2) в теореме (1), согласно которой если $ac = bc$ и $c \neq 0$, то $a = b$. С математической точки зрения равенства $a = b$ и $b = a$ эквивалентны. С физической точки зрения они отражают их инвариантность относительно поворота времени, т.е. относительно T-симметрии [10].

Обозначение закона сохранения энергии в виде $a = b$ позволяет выявить более глубокую сущность таких физических законов, как закон сообщающихся сосудов ($P_1 = P_2$), закон отражения света ($\alpha = \beta$), I закон термодинамики ($\Delta Q = \Delta U + A$) как частных случаев общего закона сохранения энергии.

Отношение, которое выражает закон сохранения энергии в модели, математически доказывается следующим образом: если $ac = bc$ и $c \neq 0$, то $a = (ac)c^{-1} = (bc)c^{-1} = b$, т.е. $a = b$.

Учитывая, что из небольшого числа исходных математических выражений теоретической модели получается неограниченное число конкретных выводов, описываемых ее предметной областью, ограничимся сообщением о том, что получаемые выводы являются вполне достаточными для преподавания школьного курса физики на более высоком научном уровне. Отметим также, что предлагаемая модель вполне удовлетворяет предъявляемым требованиям к теоретическим учебным моделям: выводы, получаемые из модели, посильны и понятны школьникам, а математический аппарат доступен студентам педагогических высших учебных заведений.

Литература

1. *Бабайцева В.Б.* Русский язык. Синтаксис и пунктуация. М.: Просвещение, 1979.
2. *Гетманова А.Д.* Логика. М.: Высшая школа, 1986.
3. *Иванова И.П.* О полевой структуре частей речи в английском языке // Теория языка, методы его исследования и преподавания. Л.: Наука, 1981. С. 125–129.
4. *Иос Г.* Курс теоретической физики. Ч. 1. Механика и электродинамика. М.: Гос. учеб.-пед. изд-во, 1963.
5. *Куликов Л.Я.* Алгебра и теория чисел. М.: Высшая школа, 1979.
6. Лингвистический энциклопедический словарь / под. ред. В.Н. Ярцевой. М.: Советская энциклопедия, 1990.
7. Педагогика: учеб. пособие для студ. пед. ин-тов / под ред. Ю.К. Бабанского. М.: Просвещение, 1983.
8. *Печенкин А.И.* Математическое обоснование в развитии физики. М.: Наука, 1984.
9. *Столяр А.А.* Логическое введение в математику. Минск: Вышэйшая школа, 1971.
10. *Чернин А.Д.* Физика времени. М.: Наука, 1987.