

И. Г. Пустильник ФОРМИРОВАНИЕ У УЧАЩИХСЯ НАУЧНЫХ ПОНЯТИЙ

Усвоение научных понятий — важнейший результат обучения. Несмотря на многолетний опыт обучения, школа непрерывно ищет новые пути введения учащихся в мир понятий современной науки. Об актуальности этой проблемы свидетельствуют многочисленные публикации в нашей и зарубежной литературе. Только в отечественной печати за последние пять лет опубликовано около тысячи работ, посвященных различным аспектам формирования у обучаемых научных понятий (1).

Такой интерес к формированию понятий у учащихся вызван тем, что усвоение понятий способствует интеллектуальному развитию детей. Однако такой результат достигается не автоматически, необходима научно осмысленная методика обучения, которая позволяла бы превратить процесс формирования понятий в процесс интеллектуального развития учащихся.

В структуре знаний понятиям принадлежит определяющая роль. Революции в науке совершались прежде всего тогда, когда коренным образом преобразовывались фундаментальные понятия. Примерами служат такие научные революции, как смена геоцентрической системы мира гелиоцентрической, аристотелевской механики — ньютоновой, примитивных механистических представлений о невесомых жидкостях в теории теплоты — молекулярно-кинетической теорией, понятия о дальном действии — фарадеевско-максвелловской идеей близкого действия (идеей поля).

Революция в физике XX в., обусловленная появлением релятивистской и квантовой теорий, затронула все здание науки, ее основы, и прежде всего — ее фундаментальные понятия. Она коснулась самых глубинных основ миропонимания — знания о строении материи, о законах ее движения, о пространстве и времени, о причине и следствии и др.

Не ставя перед собой цель готовить из учащихся физиков, биологов, химиков, школа стремится к тому, чтобы содержание образования, стиль мышления ее выпускников соответствовали современному уровню науки, производства, общественного сознания. Однако проблема формирования у учащихся современных научных понятий оказалась чрезвычайно трудной. Попытки включения в школьные программы

физики, химии и других дисциплин представлений современной науки (например, квантовых, релятивистских, статистических идей) пока не увенчались существенными успехами, и эти нововведения все еще выглядят экзотическими добавками к «старым» разделам. Решение этой проблемы упирается в неразработанность важнейших методологических вопросов методики обучения в школе.

О том, к каким интеллектуальным потерям в развитии учащихся приводит недостаточная разработка методики формирования понятий, говорит следующий пример. На наш вопрос «Что вы знаете об электро́не? ядре? атоме? молекуле?» более 200 выпускников школ указали лишь на различие структуры объектов. Представления учащихся об атоме, молекулах напоминают представления о матрешках, вкладываемых одна в другую. В очень небольшом числе ответов (менее 10%) упоминаются качественные различия в состоянии движения структурных элементов на разных уровнях строения материи. Квантовые добавки в курсах физики и химии не повлияли на сложившиеся у учащихся механистические представления.

Трудность проблемы введения учащихся в мир современных научных идей заключается в том, что в процессе развития науки и смены картин мира не происходит простая замена одних понятий другими, а совершается *видоизменение* понятий.

Такие фундаментальные понятия, как пространство и время, виды материи и формы ее движения, состояние материального объекта, непрерывность и дискретность, масса, энергия и т. п., претерпели глубокие изменения в современной науке. При этом в классической области они сохранили прежний смысл (в качестве предельных приближений). Ситуация такова, что в физике, например, несмотря на новизну квантовых и релятивистских подходов, необходима опора на классические понятия.

Эта сторона особенно глубоко раскрыта в работах Н. Бора, который писал: «... как бы далеко ни выходили явления за рамки классического объяснения, все опытные данные... должны описываться при помощи классических понятий» (2, с. 60). Анализируя последствия научной революции XX в., Бор указывает на то, что «для однозначного применения некоторых самых элементарных понятий требуются предпосылки, о которых раньше и не подозревали. Тем самым мы получили урок и по линии теории познания, причем урок этот касается и тех проблем, которые лежат далеко за пределами физики» (2, с. 97).

Нет сомнения, что этот урок касается и проблем методики формирования у учащихся физических и естественнонаучных понятий на протяжении всех лет обучения. Остановимся на некоторых из них.

Каким должен быть понятийный базис учебного предмета? Какова структура системы понятий? Система понятий учебного предмета не тождественна понятийной системе базовой науки. Помимо понятий, относящихся к базовой науке, система понятий учебного предмета включает и методологические понятия, и общенаучные, и прикладные.

Таким образом, учебный предмет состоит из четырех подсистем понятий (3). Так, в курсе физики можно выделить следующие блоки понятий, отличающихся различной степенью общности и отвечающих образовательным задачам современной школы:

1) общенаучные понятия (например, «информация», «структура», «система», «взаимодействие», «материя», «движение», «пространство», «время» и др.); общенаучные понятия формируются всеми учебными предметами; все еще остается недостаточно разработанной методика их формирования, нет единой дидактической линии, слабы межпредметные связи, нет согласования во времени между предметами;

2) методологические понятия, отражающие процесс научного познания (например, «эксперимент», «наблюдение», «гипотеза», «научный факт», «закон», «теория», «принцип» и др.); в каждом предмете даются свои толкования этим понятиям, применяются свои специфические методы их формирования;

3) собственно физические понятия, состоящие из трех крупных подсистем: структуры материи, ее движения, взаимодействия ее элементов; методически целесообразно выделить понятия о фундаментальных постоянных физики («квант действия» — «постоянная Планка», «скорость света», «элементарный заряд» и др.); фундаментальные константы являются основой для раскрытия идей и выводов современной науки без привлечения специального математического аппарата; они играют роль критериев применимости тех или иных теорий при переходе от одних масштабов действительности к другим и дают возможность осуществлять преемственность развития понятий в учебном процессе;

4) прикладные понятия, отражающие применение физических знаний в важнейших направлениях технического прогресса.

са («механизация», «электрификация», «автоматизация», «электронизация», «связь» и др.).

Система понятий, таким образом, предполагает не только (и не столько) овладение определенной суммой знаний, но и развитие у учащихся научного склада мышления, познавательных интересов, умения решать познавательные и жизненные проблемы. Решению этих глобальных образовательных задач способствуют огромные потенциальные возможности, которые заключены в самой природе развивающихся понятий.

В истории науки понятия выполняют двойную роль, являясь и *результатом*, и *инструментом* исследования. В учебном познании понятия выполняют аналогичную роль, что определяет методическую линию их формирования, основанную на приоритете в учебном процессе активной познавательной деятельности учащихся по отношению к другим формам обучения.

В двойственной функции понятий проявляется противоречие между состоянием сформированности понятия и процессом его развития. Эта противоречивая природа понятий и предоставляет огромные возможности для интеллектуального развития учащихся при обучении.

Замечательной особенностью физики, химии и других естественнонаучных дисциплин и их уникальностью как учебных предметов является сочетание теоретического и экспериментального методов исследования. Это позволяет вовлекать учащихся в предметно-преобразующую деятельность, тем самым «примерять» знания и понятия к реальным вещам и процессам, что порождает новые проблемы и вызывает необходимость и потребность их разрешения. Таким образом, мышление учащихся проявляется не только в словесных формулировках, но и в практических делах, в оперировании приборами, установками, различными материалами и в их преобразовании.

Развертывая познавательную деятельность учащихся по известному познавательному циклу (осознание проблемы, выдвижение гипотезы, проектирование и осуществление экспериментальной проверки гипотезы, обоснование и формулировка теоретических выводов и следствий), мы органически включаем в учебный процесс противоречия. Разрешение этих противоречий учащимися и способствует развитию мышления учащихся, осознанию сущности понятий, умению оперировать ими в конкретных ситуациях, психологически готовит к ограничению сферы применимости понятий. Овладение наукой и ее понятиями становится творческой, осознанной работой уча-

щихся, а не простым заучиванием готовых формулировок. Нельзя не вспомнить слова Гегеля (не только философа, но и педагога!): «Поэтому совершенным извращением нужно считать *играющую педагогику*, которая серьезное хотела бы преподнести под видом игры и которая предъявляет к воспитателям требование, чтобы они опустили до уровня детского понимания своих учеников, вместо того, чтобы детей поднять до серьезного дела» (4, с. 86).

В организации познавательной деятельности школьников можно выделить условно два этапа: этап становления понятия, соответствующий первичному накоплению знаний (это этап эмпирического обоснования понятия), и этап применения понятия для дальнейшего познания (это этап творческого использования понятия).

При разворачивании деятельности на первом этапе существенно то, что понятия не являются непосредственными логическими выводами из отдельных опытов. Об этом неоднократно писал А. Эйнштейн: «Понятия никогда нельзя логически вывести из опыта безупречным образом, но для дидактических, а также эвристических целей такая процедура неизбежна» (5, с. 572). На этом этапе особенно существенна интуиция исследователя. Эйнштейн, говоря о связи понятия с опытом, указывал, что «существует лишь интуитивная (психологическая) связь, которая постоянно "возобновляется"» (5, с. 570). Обратим внимание в этих словах на роль *интуиции* в познании, которая почти выпала из сферы интересов педагогики и психологии. Между тем, как видим, интуиции в познании отводится очень важная роль. Прекрасно сказал А. Пуанкаре: «Доказывают при помощи логики, изобретают при помощи интуиции» (6, с. 357). Пуанкаре настойчиво советовал педагогам развивать такое интеллектуальное качество учащихся, как интуиция: «Главная цель обучения математике — это развитие известных способностей ума, а между этими способностями интуиция отнюдь не является наименее ценной. Благодаря ей мир математических символов остается в соприкосновении с реальным миром» (6, с. 357). Разумеется, сказанное относится не только к математике, но и к другим предметам.

На втором этапе развития понятие выступает в качестве инструмента познания, стимулируя постановку и решение учащимися новых познавательных проблем.

В качестве примера рассмотрим введение понятия светового кванта. Традиционно исходным является исследование явле-

ния фотоэффекта, экспериментальное обнаружение многих закономерностей его проявления.

Сквозь обилие фактов на первых порах учащимся трудно увидеть проявление квантовой природы света в фотоэффекте. Тем более что ряд существенных сторон фотоэффекта трудно выявить с помощью школьных опытов (например, зависимость кинетической энергии фотоэлектронов от частоты света). Между тем в школьных учебниках упор делается именно на этой стороне явления.

Методику введения понятия кванта на основе фотоэффекта можно значительно улучшить. Для этого исходным надо сделать простой экспериментальный факт: фотоэффект безынерционен! Это легко наблюдается в известном опыте по облучению ультрафиолетовым светом заряженной цинковой пластинки, соединенной с электрометром: пластинка начинает *немедленно* разряжаться после начала освещения! Несложные рассуждения показывают необъяснимость этого факта с позиций волновой теории. В этих рассуждениях нужно опираться на знания учащимися строения атома, почерпнутые из химии и физики (ядро и электронная оболочка; конечная энергия ионизации, измеряемая несколькими электрон-вольтами). Если, согласно волновым представлениям, считать энергию излучения «размазанной» по фронту волны, то на долю электрона в металлической пластинке придется столь ничтожный поток энергии, что потребовалось бы много дней для накопления энергии выхода! Следовательно, экспериментальный факт — безынерционность фотоэффекта — пришел в противоречие с представлениями школьников о волновой природе светового излучения: свет «способен» вопреки волновой теории одновременно передавать электронам металла энергию, достаточную для «выхода» из металла. Так учащиеся подводятся к идее кванта света. Эта идея выступает на первых порах как гипотеза, которую следует проверить экспериментально.

Проверку квантовой гипотезы осуществляют на втором этапе познавательной деятельности учащихся: на основе закона сохранения энергии и формулы Планка для энергии светового кванта (пока гипотетической!) «устанавливается» формула Эйнштейна для фотоэффекта и рассматриваются ее следствия (красная граница фотоэффекта, зависимость кинетической энергии фотоэлектронов от частоты света и др.) Проектируются опыты, с помощью которых проверяются следствия квантовой гипотезы Планка — Эйнштейна. Так учащиеся подводятся

к идее светового кванта в результате разрешения противоречия между опытом и волновыми представлениями.

Понятие светового кванта применяется в дальнейшем как инструмент познания при изучении строения атома (спектры излучения и поглощения атомов, дискретность энергетических состояний атомов и др.). При этом возникают новые проблемы, например, проблема корпускулярных и волновых свойств материи.

Рассмотрим в качестве иллюстрации методику введения и развития понятия электрического сопротивления. Первичное введение этого понятия в учебном курсе физики связано с исследованием зависимости силы тока в проводнике от напряжения (экспериментально устанавливается пропорциональность силы тока и напряжения на проводнике). На основе простых и доступных опытов выясняется, что коэффициент пропорциональности зависит от свойств проводника. В дальнейшем, опираясь на простейшие электронные представления, высказывается гипотеза о природе сопротивления металлического проводника (столкновения движущихся под влиянием электрического поля электронов с ионами кристаллической решетки). Так понятие электрического сопротивления, появившись впервые как выражение результата экспериментального исследования, становится инструментом дальнейшего познания (например, «предсказывается» зависимость сопротивления от температуры, материала, геометрии проводника). Проектируются опыты, с помощью которых проверяется справедливость гипотетических рассуждений. В дальнейшем эмпирическое понятие сопротивления служит инструментом для исследования проводимости полупроводников и других вопросов.

Приведенные примеры показывают, что для успешного формирования понятий необходима работа всех учителей по подготовке и развитию стиля мышления учащихся, которому присущи в большой мере диалектические качества (разрешение противоречий, возникающих в процессе анализа всех фактов, связанных с анализируемой проблемой; умение учитывать, сопоставлять разные стороны действительности; готовность под давлением фактов изменить, модернизировать прежние представления; способность предполагать существование границ применимости этих представлений и др.) Подчеркнем, что этот стиль мышления является и *предпосылкой*, и

результатом познавательной деятельности школьников, приводящей к усвоению научных понятий (7).

Остановимся на одной из самых трудных проблем современной дидактики: как ввести школьников в чрезвычайно динамичный мир современного естествознания. Например, как отразить в курсе физики идеи квантовой и релятивистской теории? Многолетние исследования этой проблемы позволили нам найти новый подход к методике формирования научных понятий у учащихся. Сформулируем основные положения этого подхода:

— *обусловленность усвоения понятий современной науки развитием диалектического мышления учащихся* (главным образом путем широкого включения в учебный познавательный процесс);

— *системный подход в формировании понятий* (он подразумевает комплексный учет требований дидактики, логики, психологии в разработке методической стратегии; системообразующим фактором является овладение научным стилем мышления, присущим современной науке);

— *спиральное развертывание содержания учебного предмета* (предполагает реализацию современного подхода к понятиям на всех этапах их формирования; например, уже в рамках изучения классической механики можно подводить учащихся к пониманию ее ограниченности малыми скоростями по сравнению со скоростью света в вакууме. Реализация принципа спирального развертывания системы понятий изложена в работах 8; 9; 10. В них показаны возможности подведения учащихся к пониманию современных идей на ранних стадиях обучения физике, например в рамках классической механики);

— *дидактический аспект принципа соответствия* (является педагогическим отражением введенного впервые Н. Бором физического принципа соответствия: выводы более общей новой теории в предельных случаях совпадают с выводами более узкой теории. В педагогических целях принцип соответствия как бы прочесывается в обратном порядке: он должен помочь подвести понятия классической физики к предельному переходу «снизу». В физике такими «точками перехода» часто являются фундаментальные постоянные — скорость света, квант действия и др. Именно включение этих постоянных в орбиту мышления учащихся на ранних этапах изучения физики позволяет реализовать требование спирального развертывания содержания понятий);

— *опора на законы сохранения* (позволяет в процессе преподавания раскрыть генезис некоторых фундаментальных понятий, обобщить их. Особенно существенна роль законов сохранения в перенесении понятий, введенных в механике, на другие области явлений). Реализация рассмотренных положений методики формирования понятий, как показал педагогический эксперимент, дает заметный эффект в повышении уровня интеллектуального развития учащихся и в усвоении ими сложных понятий современного естествознания.

В заключение приведем слова академика П. Л. Капицы, педагогические идеи которого во многом стимулировали нашу работу: «Воспитание творческих способностей в человеке основывается на развитии самостоятельного мышления. На мой взгляд, оно может развиваться в следующих направлениях: умение научно обобщить — индукция; умение применять теоретические выводы для предсказания течения процесса на практике — дедукция; и, наконец, выявление противоречий между теоретическими обобщениями и процессами, происходящими в природе, — диалектика» (11, с. 253).

Литература

1. *Формирование научных понятий в процессе обучения*: Библиографический список литературы. Челябинск: Изд-во ЧГПИ, 1994. Вып. 2.
2. *Бор Н.* Атомная физика и человеческое познание. М.: Иностранная литература, 1961.
3. *Пустильник И. Г.* Преемственность системы формирования у учащихся фундаментальных физических понятий // *Обучение физике как системный процесс*: Межвуз. сб. науч. тр. Куйбышев, 1985.
4. *Гегель Г. В. Ф.* Энциклопедия философских наук: В 3 т. Т. 3. Философия духа. М.: Мысль, 1977.
5. *Эйнштейн А.* Собрание научных трудов. Т. 4. М.: Наука, 1967.
6. *Пуанкаре А.* О науке. М.: Наука, 1983.
7. *Пустильник И. Г.* Формирование физических понятий и развитие диалектического мышления у учащихся // *Совершенствование процесса формирования научных понятий у учащихся школ и студентов педвузов*: Тез. докл. Всесоюз. научно-практич. конф. Ч. 1. Челябинск, 1986.
8. *Каменецкий С. Е., Пустильник И. Г.* Электродинамика в курсе физики средней школы. М.: Просвещение, 1978.
9. *Пустильник И. Г.* Дидактический аспект принципа соответствия // *Физика. Методология. Мирозозрение*: Межвуз. тематический сб. Владивосток: Изд-во ДГУ, 1985.
10. *Пустильник И. Г., Угаров В. А.* Специальная теория относительности в средней школе. М.: Просвещение, 1975.
11. *Капица П. Л.* Эксперимент. Теория. Практика. М.: Наука, 1981.