

П-57

5541-

Министерство просвещения УССР  
КИЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
им. А. М. ГОРЬКОГО

---

В. В. ПОПКОВИЧ

# МОДЕЛИ В КУРСЕ ФИЗИКИ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

(Специальность № 13, 731—методика преподавания физики)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата педагогических наук

Киев — 1971 г.

НБ НПУ  
імені М.П. Драгоманова



100313690

Работа выполнялась в Нижне-Тагильском государственном педагогическом институте, в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта и в Киевском государственном педагогическом институте им. А. М. ГОРЬКОГО.

Научный руководитель — кандидат педагогических наук, доцент **БУГАЕВ А. И.**

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук, профессор **ФЕДОРЧЕНКО А. М.**, кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник **ГОНЧАРЕНКО С. У.**

Внешняя рецензия: кафедры физики Луцкого педагогического института им. Л. УКРАИНКИ.

Высшее учебное заведение: КГ ПИ им. А. М. Горького

Автореферат разослан «    » 1971 г.

Защита диссертации состоится «    » 1971 г.  
на заседании ученого совета Киевского государственного педагогического института им. А. М. ГОРЬКОГО.

Адрес: Киев, 30, Бульвар Шевченко, 22/24.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета.

Новая программа по физике отразила важную идею сочетания классической и современной физики, выдвинув на первый план задачу ознакомления школьников с приемами мышления, применяемыми в современной физике. Новое содержание образования надо реализовать более совершенными и эффективными методами. Основная идея новой программы по физике — повышение научного уровня преподавания, изложение физических явлений на микроструктурном и энергетическом уровнях — отвечает усилению роли физических теорий в обучении. Одним из путей решения этой проблемы является осуществление связи наглядности обучения с теоретическим обоснованием учебного материала.

Развитие физики требует изучения и совершенствования ее познавательного аппарата и методологических принципов. Эту задачу подчеркнул президент АН СССР М. В. Келдыш<sup>1)</sup> на общем собрании АН СССР: «Большое практическое значение будет иметь разработка вопросов, связанных с анализом логики научного познания на современном этапе развития естественных наук».

Одна из наиболее актуальных теоретико-познавательных проблем, связанная с методологией естествознания — это проблема роли метода моделирования. Особое значение места и роли этого важного метода исследования, подчеркивается советскими и зарубежными учеными, учеными социалистических стран. Если в гносеологии, в психологии, в физике эта задача успешно решается, в частности, выяснена роль модельных представлений в процессе познания, то в педагогике, в частных методиках этому вопросу еще уделяется недостаточно внимания. В методической литературе по физи-

---

<sup>1)</sup> «Вестник АН СССР», 1969, 12, стр. 30.

ке до последнего времени мало внимания уделялось освещению функции моделей в обучении.

В реферируемой диссертации предпринята попытка анализа роли моделей в обучении физике. Эта одна из мало исследованных проблем, стоящих на стыке ряда наук: физики, теории познания, логики и психологии, педагогики и методики физики. Объектом нашего исследования явились материальные и идеальные модели, применяемые в физических теориях.

Материальные модели в современной науке и технике получили широкое распространение в качестве средства экспериментального исследования. Назначение материальных моделей заключается в воспроизведении структуры и сущности изучаемого объекта или явления. Такие модели имеют определенные пространственные и временные свойства, подобные оригиналу, поэтому они наглядны, т. е. непосредственно воспринимаются органами чувств. Исследование показало, что физические модели могут с успехом применяться в обучении, особенно на ранних стадиях изучения материала.

Идеальные (мысленные) модели создаются в сознании на основе аналогий с чувственно-воспринимаемыми объектами и явлениями в процессе абстрагирующей деятельности сознания. С точки зрения психологии они характеризуются как общие представления, взаимодействующие с понятиями. Возникновение модельных представлений характеризуется диалектическим взаимодействием чувственного и рационального, конкретного и абстрактного в процессе мыслительной деятельности. Поэтому анализ эвристической функции моделей в обучении физике с необходимостью включает психологический аспект.

Люди мыслят образами и понятиями. Образами объективной реальности являются идеальные представления. Если объект и представление о нем подобны, сходны в существенных чертах, то такое представление может быть моделью. Идеальные модели выполняют описательную, интерпретаторскую и объяснительную функции. Законы объективного мира разнообразны по содержанию. Их можно разделить на причинные, структурные, функциональные и др. Характер моделей зависит от характера закона. Поэтому соответствующие модели-представления можно подразделить на структурные, функциональные, информационные и т. д. Экспериментальное обучение показало, что модели-представления помогают учащимся познавать свойства объектов и явлений, недоступ-

ных непосредственному чувственному восприятию, способствующему формированию физических понятий.

Наряду с моделями-представлениями в физике широко применяются знаковые модели, основанные на том, что свойства объекта выражаются с помощью семантических правил посредством определенных символов, кодов, знаков.

В работе показано, что для учебного познания наибольший интерес представляют такие знаковые модели: графики, таблицы, энергетические диаграммы, математические уравнения физических процессов или явлений, математический формализм теорий. В работе рассмотрены примеры использования некоторых знаковых моделей в практике преподавания.

К решению ряда вопросов, связанных с идеальными моделями, можно прийти лишь на основе анализа истории физики как науки, на что так же обращено внимание в данном исследовании.

Анализируя психолого-педагогические труды ряда ученых (А. И. Берга, В. Г. Болтянского, П. Я. Гальперина, В. М. Глушкова, М. А. Данилова, Б. П. Есипова, Л. В. Зацкова, В. А. Крутецкого, А. Н. Леонтьева, Н. А. Менчинской и др.) диссертант пришел к выводу, что метод моделей может быть применен для решения некоторых дидактических задач, в частности, он позволит организовать учителю целенаправленное формирование аналитико-синтетической деятельности учащихся в процессе обучения, будет способствовать поэтапному формированию умственных действий.

Построение и изучение моделей с целью получения нового знания об изучаемых объектах и явлениях, называется моделированием. Следовательно, моделирование — это метод исследования, основанный на замещении объекта моделью. Моделирование является одним из методов познания объективной реальности. Оказалось, что без специального формирования модельных представлений учебное познание обойтись не может. Таким образом была поставлена цель отобрать материальные и идеальные модели для средней школы и разработать методику формирования модельных представлений при изучении физических теорий, с целью улучшения наглядности обучения и активизации познавательной деятельности учащихся.

Для достижения этой цели нами изучались и обобщались:

1. Состояние преподавания физики в средней школе, техникумах и на курсах по подготовке в институт.

2. Научно-методическая литература по данной проблеме.

3. Результаты педагогического эксперимента в школах по проверке эффективности предложенной методики.

4. Личный педагогический опыт.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и библиографии.

Во «Введении» дается обоснование актуальности темы исследования, производится выбор методов исследования. В первой главе «Предмет и задачи исследования» (Роль моделей в науке и в обучении) проведен обзор и критический анализ литературы по моделям, применяемым в физике. Вначале приводятся некоторые исторические сведения. Метод моделирования, как один из важнейших методов познания, используется в науке давно. Еще древние атомисты строили мысленные модели атомов. В качестве модели движения атомов они использовали образ пылинок, беспорядочно движущихся в солнечном луче. В течение многих столетий шла борьба мнений между сторонниками геоцентрической и гелиоцентрической моделями Вселенной. Модели всегда применялись в физике и играли значительную роль в процессе познания. В работе рассмотрены примеры моделирования для изучения свойств и строения газов, жидкостей и твердых тел, электрических и оптических явлений, в атомной физике.

Классическая физика считала модели средством сведения всех явлений к механике. Такая точка зрения получила название «механицизм». Невыполнимость этого требования явилась одной из причин «кризиса в физике», суть которого гениально вскрыл В. И. Ленин в работе «Материализм и эмпириокритицизм». Возможность неоднозначного построения механических моделей привела к абсолютизации феноменологических методов в физике. Развитие физической картины мира, вызванное теорией относительности и квантовой механикой, привело к некоторой временной дискредитации моделей. Модели стали рассматриваться как классический способ объяснения явлений. Но следует иметь в виду, что в классической физике либо модели в целом, либо способ связи ее элементов рассматривались как тождественные или прямо аналогичные реальности. В современной физике эта связь может быть многоступенчато опосредованной, а элементы, хотя и почерпнутые из макроскопической области, могут толковаться совершенно иначе по сравнению с их генетическим прообразом. Модели современной физики не яв-

ляются «картинно-наглядными» как модели Дж. Томсона и Н. А. Умова, они чаще выступают в качестве идеальных (информационных, логических) и функциональных моделей.

Теоретическая физика требует для выражения своей сущности понятие «объект», а значит и «модель». Эти термины должны употребляться, т. к. наше знание выведено из опыта. Без чувственной или рациональной опоры знание не может развиваться. Сложность взаимодействия физических тел вызывает необходимость в приближениях, основанных на упрощенных моделях. Поэтому неправильно мнение, что развитие физики приведет к ликвидации модельных представлений. Объекты физики становятся все более непосредственно невоспринимаемыми, по этой причине чувственная опора дается самостоятельными, по отношению к объекту, идеальными моделями.

Начальным этапом изучения физического явления служит феноменологический способ исследования. При этом, модели или не используются вообще, или играют иллюстративную роль. В работе приводятся примеры таких моделей. В дальнейшем с развитием физики, устанавливается связь явлений со структурой вещества. В этом случае используются модели, понимаемые как мысленные отражения объекта.

В диссертации приведена классификация моделей, которая не претендуя на самостоятельное значение, введена с целью выделения того подкласса моделей, которые явились объектом нашего исследования. Анализируя работы советских и зарубежных ученых (Б. Г. Ананьева, Т. Аппеля, Н. Бора, М. Борна, Л. О. Вальта, В. Гейзенберга, Н. Мюкке, Д. И. Пеннера, С. Л. Рубинштейна, Э. В. Шпольского, В. А. Штоффа, А. Эйнштейна) автор приходит к выводу, что наиболее пригодными для средней школы являются, так называемые материальные и идеальные (мысленные) (логико-математические и знаковые) модели, в которых сочетаются различные виды абстракции с наглядными образами.

Здесь же рассмотрена проблема наглядности в преподавании физики. Проанализированы различные подходы к этой проблеме в современной физике, показана роль моделей как средства наглядности. Классическая физика считалась наглядной, потому что ее объекты имели чувственно воспринимаемые аналоги. В этом смысле квантовую физику следует считать «ненаглядной». Но неверно считать, что квантовые объекты абсолютно ненаглядны, если понимать наглядность в широком смысле, как чувственное восприятие вообще. Во-

ображаемые модели в квантовой физике имеют иной вид, чем классические модели. В квантовой механике модель в целом, или ее часть, не отождествляется с объектом. Связь модели с объектом опосредована. Моделирование объектов квантовой физики обладает определенной спецификой. При моделировании микрообъектов следует помнить, что модель-макро явление, поэтому при переходе от модели к микрообъекту обнаруживается качественное различие в закономерностях, проявляющееся в принципе дополнителности. По этой причине, для моделирования микрообъектов используют абстрактно-логические, (информационные) модели, отражающие различные стороны объекта атомной физики.

Если физические модели имеют пространственную протяженности, т. е. чувственно воспринимаемы (наглядны), то в атомной физике широко применяются знаковые модели, не имеющие пространственного подобия с изучаемым объектом. Следовательно, модели не включают наглядности, в узком смысле этого слова, в качестве обязательного свойства. Процесс познания представляет собой единство чувственной и рациональной ступеней. Без учета взаимосвязи и обратного влияния логического на чувственное нельзя понять роль идеальных моделей в познании. В результате влияния логической ступени познания, в модельном представлении отражаются и такие свойства, которые не могут быть получены из непосредственного наблюдения. Следовательно, процесс наглядного изучения сущности явления на моделях основан на единстве конкретно-чувственных и абстрактно-логических, практических и теоретических моментов. Образ — это результат сложной переработки прошлых впечатлений, обобщения и абстрагирования, осуществляемого на базе представлений<sup>1)</sup>. Таким образом, наглядность в широком смысле, есть чувственное восприятие вообще, т. е. является особенностью процесса познания. Поэтому, идеальные модели, в том числе и знаковые, обладают определенной наглядностью, проистекающей из их чувственной формы. Далее, в § 3, рассмотрена роль моделей в дидактике. Мы придерживались классификации моделей, данной А. А. Шибановым<sup>2)</sup>. «С точки зрения дидактики модели по своей форме могут быть разделены на три группы: вещественные, изобразительные, мыслительные (логические)». Под вещественными моделями понимают ма-

<sup>1)</sup> В. А. Штофф. Моделирование и философия. М., 1966, стр. 285.

<sup>2)</sup> А. А. Шибанов. Моделирование в обучении. «Советская педагогика», 1967, № 4, стр. 49.



кеты, муляжи. демонстрационные приборы. Изобразительные модели — это схемы, в том числе электро- и радиосхемы, чертежи, таблицы. Они выполняют некоторую эвристическую функцию, как средства наглядности. Главное внимание в нашем исследовании уделено «мыслительным» (идеальным) моделям, понимаемым как описание, как последовательное изображение изучаемого объекта, его структуры или явлений, происходящих с ним.

В обучении моделирование преследует цели: выделить основные элементы педагогического процесса и обосновать использование моделей, как наиболее рациональных учебных пособий. Это не означает сокращения роли физического эксперимента. Наоборот, физический эксперимент как прием и метод обучения должен развиваться в сочетании с теоретическим объяснением. Но если ранее физический эксперимент служил целям показа или иллюстрации явлений, то в настоящее время больше внимание следует уделять опытам, вскрывающим механизм и природу физических процессов, недоступных непосредственному наблюдению по тем или иным причинам.

Следовательно, моделирование является одним из методов преподавания. В основе этого метода лежит изучение физического объекта, процесса или явления на основе экспериментально или теоретически установленных фактов с помощью моделей. Материальная или идеальная модель, выступающая в качестве заместителя объекта (процесса, явления) служит для учащихся предметом изучения.

Во второй главе «Методика формирования модельных представлений при изучении физических теорий» рассмотрены пути введения идеальных моделей в пропедевтическом и в систематическом курсе физики средней школы. В § 1 установлено, что при изучении физических теорий, особенно на первой ступени обучения, простые модели способствуют формированию общих физических понятий. К числу основных понятий, подлежащих специальному формированию в VI—VII классах, следует отнести атом, молекулу, газ, жидкость, кристаллы, электрон и др. На первых порах атомы элементов упрощенно можно представлять в виде шаров определенного диаметра и массы. Молекулы можно представлять в виде тел сложной формы, образующихся путем перекрытия или плотной упаковки шаров различных или одинаковых диаметров. Необходимо подчеркивать, что рисунки учебника изображают модели атомов и молекул. По этой причине, уже в VI классе рекомен-

дуются познакомить учащихся с методом моделирования и ввести понятие «модель». Зарождению правильных представлений о структуре вещества способствуют демонстрации объемных моделей молекул, кристаллов. Формированию наглядного представления о газе помогают модельные опыты на приборах Р. Поля, А. Эйхенвальда и аналогичных им. Механизм давления газа вскрывается на основе взаимодействия тел, при этом также полезны модельные опыты, описанные в литературе.

Некоторые представления о строении жидкости можно создать с помощью плоскостных моделей из сыпучих тел. В работе описана лабораторная работа (Экспериментальное домашнее задание), с помощью которого изучается структура жидкого состояния на модели.

Наглядную картину расположения частиц в кристаллах дают условные схемы (наглядные модели), так называемые, кристаллические решетки. Но они должны сопровождаться демонстрацией **объемных моделей, которые** не трудно изготовить собственными силами.

В диссертации также рассмотрены с точки зрения возможности моделирования вопросы формирования понятий: температуры, внутренней энергии и количества теплоты. Приводится описание прибора, с помощью которого моделируется молекулярно-кинетическая картина теплопередачи. Сформированные модельные представления, объединенные молекулярно-кинетической теорией в сочетании с энергетическим подходом будут способствовать уяснению механизма изменения агрегатного состояния вещества. Этот вывод совпадает с исследованиями Н. А. Кокорина и Н. А. Родиной.

Представляется весьма важным формирование модельных представлений об электрических объектах и явлениях на первом этапе обучения физике. Повышение теоретического уровня курса физики 6 — 7 классов требует формирования микроструктурных представлений. Многие электрические явления объясняются с помощью электронной теории на основе модели свободных электронов. Усвоение довольно сложных понятий об электроны и строении атома облегчается, если рассматривать опыты Милликена-Иоффе и Резерфорда, что и сделано в новом учебнике физики для 7 класса. Но эти опыты легче объяснить, если им предпослать модельные опыты, описанные в работе. Рекомендуется также при изучении «Постоянного электрического тока» использование гидродинамиче-

ских аналогий, подробно исследованных С. Е. Каменецким<sup>1)</sup> и другими учеными и методистами, с учетом критических замечаний, высказанных в данном исследовании.

Во втором параграфе рассмотрены модели в систематическом курсе физики (в механике, в разделе, посвященном строению и свойствам вещества, в электричестве, в оптике и атомной физике).

Психолого-педагогические исследования доказывают, что создание чувственных образов объектов и явлений способствует запоминанию и воспроизведению изучаемого материала. При формировании физических понятий также важна психологическая опора на чувственный образ (модельное представление). Так при определении механического движения вначале нужно, опираясь на опыт учащихся, с помощью эксперимента (например, стробоскопическим методом) создать наглядный образ этого явления. (Учителя физики следует предостеречь от буквального понимания стробоскопического метода. Стробоскопическое представление движения, по справедливому замечанию Гегеля, может создать в сознании учащихся при некритическом использовании метафизическое представление о движении). При изучении механического движения часто отвлекаются от второстепенных, в данной задаче, свойств тел (размеров и структуры и т. п.), сохраняя главное — массу тела, ее инертность. Такая модель реального тела получила название материальной точки. Формированию этого важного представления уделено внимание в данной работе.

Вместе с тем, в школьной практике возможны и другие идеализации (абсолютно твердое тело, абсолютно упругое тело, идеальная жидкость). Необходимость изучения данных моделей в механике диктуется целым рядом обстоятельств.

В диссертации приводятся описания известных мысленных опытов Галилея, позволивших открыть принцип инерции и факт постоянства ускорения свободного падения тел в пустоте. Рассмотрены также возможные способы моделирования гравитационного поля с помощью магнитного поля, методика изучения понятий орбитального и спинового моментов импульса частицы, описаны некоторые модели (энергетическая диаграмма потенциальной энергии тяготеющих тел и график потенциальной энергии колеблющейся частицы). Здесь же подчеркивается важность практических работ иссле-

<sup>1)</sup> С. Е. Каменецкий, Аналогии в курсе физики средней школы, «Известия АПП РСФСР», вып. 106. 1959.

довательского характера с применением метода моделирования, в частности, для изучения гравитационного поля.

Учение о строении и свойствах вещества является важной составной частью знаний о природе. Свойства газов, жидкостей и твердых тел описывают с молекулярной точки зрения. Такой подход дает достаточно полное описание макроскопических свойств вещества с помощью микроскопических постоянных на основе статистического метода. Большинство уравнений основаны на моделях молекул в виде твердых шаров и описываются с помощью парных взаимодействий.

В учебной литературе описаны некоторые идеальные модели (идеальный газ, кристаллическая решетка, модели атомов). На наш взгляд этим ограничиться нельзя, поэтому в диссертации рассмотрены и другие идеальные модели-представления (неидеальный газ, «дырочная» и «решеточная» модели жидкости, идеальный и реальный кристалл, некоторые модели атомов). Автор считает, что перечисленные модели могут с успехом применяться в преподавании раздела «Строение и свойства вещества» как на уроках объяснения нового материала, так и при выполнении лабораторных и практических работ, при решении задач.

Приводится методика изучения темы «Свойства газов и паров» в соответствии с рекомендациями диссертанта. Здесь уточняется определение идеального газа, изысканы возможности элементарного определения абсолютной температуры, рассмотрены опыты моделирующие давление газа, вводится гипотеза молекулярного беспорядка и на ее основе — различные способы вывода уравнения состояния идеального газа. Сформулированы условия некоторых задач на расчет числа молекул в единице объема газа, средней кинетической энергии и средней квадратичной скорости поступательного движения молекул газа.

В этом же параграфе обсуждаются модели, помогающие описанию структуры конденсированного состояния. Анализируя литературные данные, автор приходит к выводу, что наряду с известными наглядными моделями кристаллов (пространственной решеткой), необходимо использовать объемные модели плотно упакованных структур. Уточняются понятия «пространственная решетка», «кристаллическая структура» и «кристаллическая решетка».

В диссертации обосновывается необходимость изучения

строения атома в конце темы «Строение и свойства вещества», перед разделом «Электричество». Это позволит поднять научный уровень изучения электрических явлений, шире использовать электронную теорию, базирующуюся на модели свободных электронов, как заряженных шариках, находящихся в стационарном электрическом поле. Автор считает, что одной из задач школьного курса физики является знакомство учащихся с современными сведениями о свойствах электрона. Понятие «электрон» формируется в сознании учащихся еще при изучении первоначальных сведений об электричестве. В старших классах это понятие должно стать предметом специального изучения. Такая возможность открывается в случае перенесения части темы «Строение атома» в раздел «Электростатика» 10 класса или в раздел «Строение и свойства вещества» 9 класса.

В работе рассмотрены различные модели атомов (Э. Резерфорда, Н. Бора, Де Бройля), дающие возможность формировать наглядное представление о структуре атома. Изложению этих вопросов предшествует объяснение опытов Резерфорда вначале на основе модели Томсона, затем планетарной модели, известной учащимся из 7 класса. При этом возможна демонстрация модельных опытов, разработанных Л. В. Воробьевым<sup>1)</sup>.

Многие ученые-физики и педагоги (М. Борн, Дж. Оппер, Д. И. Пеннер, Э. В. Шпольский и др.) склоняются к мысли, что модель атома Резерфорда-Бора при всей ее доступности и наглядности не удовлетворяет полностью современным требованиям. По этой причине следует в конце курса физики ввести «оболоченную» модель атома, в которой учтена вероятность распределения электрического заряда электронов в пространстве вокруг ядра атома.

Во второй же главе (§ 2) обосновывается роль электронной теории в преподавании электричества и необходимость формирования представлений об электронном «газе» и электрических свойствах тел. Применение научной теории приносит особенно большую пользу в преподавании тогда, когда осуществление должной наглядности невозможно. В этом случае большую помощь окажут идеальные модели. В систематическом курсе физики приобретенные ранее знания дополняются и углубляются. Феноменологическая сторона электроста-

<sup>1)</sup> Л. В. Воробьев. Изучение опыта Резерфорда в факультативном курсе «Строение и свойства вещества», «Физика в школе», 1970, № 2.

тики дополняется электронной теорией на основе модели «свободных» электронов. На первый план, при этом, выдвигают роль элементарных частиц (электронов и протонов), как носителей электрического заряда. Особое внимание уделяется такому объяснению электрических явлений, которое способствует закреплению закона сохранения электрического заряда. Учащиеся должны твердо усвоить, почему при электризации трением оба тела электризуются разноименными, равными по абсолютной величине зарядами. Считаем необходимым обратить внимание учащихся на то, что при электризации главную роль играет величина работы выхода, а не концентрация свободных электронов. По этой причине, на второй ступени обучения физике необходимо ввести понятие работы выхода электрона. Формированию этого важного понятия способствует энергетическая модель, описанная в работе.

В этой же теме предлагается изучать физические свойства диэлектриков. Описана возможная методика изложения этого вопроса и применяемые модели типов поляризации. Далее дана рекомендация об изучении знаковых моделей электростатических полей не только с помощью линий напряженности, но и дополненных эквипотенциальными кривыми. (Проекциями эквипотенциальных поверхностей на плоскость чертежа).

Считаем целесообразным понятие электрического тока вводить с применением стационарного электрического поля, созданного в проводнике источником напряжения. Основное внимание следует обращать на то, что при существовании стационарного электрического поля в проводнике свободные электроны под действием электрической силы  $F = eE$  приобретают ускорение. В результате упорядоченного перемещения электронов проводимости образуется электрический ток. Его величина может быть подсчитана по известной формуле  $I = envS$ , где  $v$  — скорость направленного движения электронов проводимости. Рекомендуются демонстрации, моделирующие электрический ток с помощью приборов В. С. Зенчука и Н. П. Нечипорука. В диссертации предлагается обращать внимание на сохранение хаотичного теплового движения электронов в проводнике при прохождении тока. Приведены подсчеты скорости хаотического движения электронов на основе модели Друде-Лоренца и скорости «дрейфа» электронов проводимости под влиянием стационарного электрического поля. Обращено внимание на энергетические процессы в проводнике.

При изучении электрического сопротивления резисторов необходимо подчеркнуть, что оно является свойством проводника, независимо от того, проходит по проводнику ток или нет. Как известно, электрическое сопротивление резистора изучается и преподавается. На первой ступени обучения можно ограничиться введением понятия электрического сопротивления, объяснить в доступной форме причину сопротивления и дать расчетную формулу  $R = \rho \frac{l}{S}$ . В старших

классах нужно подробнее разобрать сущность электрического сопротивления, обосновать зависимость сопротивления от геометрических размеров, материала, примесей и температуры. При введении понятия «электрическое сопротивление» нужно напомнить учащимся, что под действием постоянной силы тело движется равноускоренно. Если в проводнике существует стационарное электрическое поле, то свободные электроны в нем должны двигаться равноускоренно, т. е. должна расти скорость электронов, а значит величина электрического тока. Но опыт показывает, что при постоянном напряжении ток в проводнике со временем не меняется. Следовательно проводник обладает электрическим сопротивлением (как-бы «трением»), благодаря которому скорость направленного движения электронов сохраняется постоянной.

В работе приведен упрощенный вывод формулы зависимости сопротивления металлического проводника от температуры. (Для вывода этой формулы достаточно ознакомить в механике учащихся с элементами колебательного движения, в частности, с формулой квазиупругой силы  $F = -KX$  и с тем фактом, что энергия гармонического колебания пропорциональна квадрату амплитуды). Объяснение механизма зависимости сопротивления от температуры дано, как рассеяние потока электронов проводимости на тепловых колебаниях кристаллической структуры.

Рекомендуется дать простое объяснение явления сверхпроводимости на основе двухжидкостной и энергетической моделей. Теоретический вывод закона Ома дан на основе электронных представлений известным способом. При этом показаны границы применимости закона Ома для участка цепи. (На наш взгляд, с пределами классического объяснения проводимости металлов и элементами зонной теории проводимости уместно познакомить учащихся в конце курса, при изучении элементов квантовой механики).

В разработанной методике изложения магнитного поля показана эффективность применения моделей для объяснения магнитных свойств вещества. Хотя в условиях средней школы не может быть со всей полнотой раскрыта природа диа-, пара-, и ферромагнетизма, все же желательно ознакомить учащихся с элементарными объяснениями этих явлений. Такое объяснение можно строить на базе модельных представлений об элементарных круговых токах, магнитного момента электрона и атома, спина электрона. На занятиях представляется возможным знакомить учащихся с опытами Штерна и Герлаха, Эйнштейна и Де Гааза, Иоффе и Капицы.

Изложение электромагнетизма в нашем исследовании строится на основе действия магнитного поля на движущийся заряд. Вначале на основе опытов, разработанных Г. А. Рязановым, Н. М. Шахмаевым, вводится сила Лоренца. Затем исходя из силы Лоренца дается определение магнитной индукции. Магнитное поле в веществе складывается из магнитного поля тока проводимости и молекулярных токов вещества. Все молекулярные токи образуют усредненное магнитное поле, характеризующееся вектором магнитной индукции. Направленные вектора магнитной индукции перпендикулярно вектору силы Лоренца. Этот факт подтверждается опытами Плантэ, Г. А. Рязанова, описанными в работе в упрощенной модификации.

На последующих уроках вводится элемент тока, устанавливается закон Ампера, изучается сила взаимодействия двух параллельных проводников с током, магнитная проницаемость веществ. В таком случае упрощается методика введения вектора напряженности магнитного поля. ( $H = \frac{B}{\mu_0}$ ).

Изложение оптики строится на основе единства колебательных и волновых процессов различной природы, с широким привлечением идеальных моделей. В работе приведен анализ моделей, применяемых в оптике и дано их возможное описание в средней школе. Модельное представление об электромагнитном поле вначале формируется с помощью механических аналогий, а затем — демонстрационных моделей типа цепочки Брега (Модель Б. Ю. Миргородского<sup>1</sup>). Рекомендуется также рассмотреть модели: идеальный и естественный свет, когерентные источники излучения, монохроматический

<sup>1</sup> 1) Б. Ю. Миргородский. Модель для демонстрации свойств электромагнитного поля. «Физика в школе», 1968, № 6.



свет, точечный источник света, световой пучок и световой луч. В работе рассмотрены пути формирования основных понятий волновой оптики с привлечением моделей на основе аналогий со звуковыми волнами, с использованием новых приборов (Н. М. Шахмаева, У. Кока и др.).

Хотя возможности демонстрационного эксперимента в средних школах неизмеримо выросли и существуют прямые методы наблюдения явлений интерференции и поляризации света, возможно моделирование этих явлений доступными средствами. В диссертации описаны муаровые модели, которые несложно изготовить. В этом случае можно демонстрировать интерференцию и дифракцию света с помощью проекционной аппаратуры при любых возможностях физического кабинета.

Законы отражения и преломления света рекомендуется объяснять как с позиции корпускулярной, так и волновой и электромагнитной теорий света. Это позволит в дальнейшем обосновать корпускулярно-волновой дуализм света. В работе приведено возможное объяснение оптических явлений на микроскопическом уровне, с привлечением электромагнитной, электронной и квантовой теорией. При этом, в качестве структурных элементов используется модель электромагнитной волны и модель фотонного «газа». Показана ограниченность таких представлений.

Корпускулярно-волновой дуализм света формируется с начала изучения оптики. По существующей программе квантовый характер излучения подтверждается фотоэффектом (порогом фотоэффекта). Но следует иметь в виду, что фотоэффект не так уж очевидно подтверждает квантовую природу излучения. Поэтому, необходимо рассматривать опыты Боте и С. И. Вавилова. Тем более, что опыт С. И. Вавилова может служить примером явления, в котором свет одновременно проявляет и волновой и корпускулярный характер. Примером явления, которое может быть объяснено как с точки зрения электромагнитной, так и с точки зрения фотонной теорией света, может служить световое давление. В диссертации дан элементарный вывод формулы светового давления как с позиции электромагнитных и электронных представлений, так и с позиции фотонной теории.

Если не учитывать нелинейные эффекты, то ансамбль фотонов можно моделировать в виде идеального газа, например, для температурного излучения в полости. Для отдельного

же фотона невозможно создать классической модели. Но можно сформировать дополнительные модели, характеризующие фотон с разных сторон. В настоящее время общепринятой интерпретацией микрообъекта считается вероятностная интерпретация М. Борна, Н. Бора. Как считает Э. В. Шпольский, если принять статистическое толкование волн вероятности, то «можно сохранить и волновые пакеты в качестве удобного метода рассуждений». Подобные модели, в сочетании с математическим описанием и знаковыми моделями, позволяют сформировать в сознании учащихся квантовый характер света.

В третьем параграфе сделана попытка изыскать возможность моделирования объектов квантовой механики в школьном курсе физики. Как считают многие ученые (А. Ф. Иоффе, Я. Б. Зельдович, А. В. Косолапова, В. Г. Кулаков, И. И. Логвинов, Д. И. Пеннер, И. Г. Пустыльник и др.) без включения элементов квантовой механики знания учащихся о микромире окажутся незавершенными. Можно согласиться с такой точкой зрения. Квантовое описание развивает мышление учащихся. Кроме того, современная химия также нуждается в квантово-механических представлениях. В работе рассмотрены некоторые мысленные опыты, помогающие формированию таких важных понятий, как корпускулярно-волновой дуализм материи, соотношение неопределенностей, туннельный эффект. Дана критика идеалистических выводов из соотношения неопределенностей.

В заключительной части второй главы рассмотрен квантовый механизм электропроводности твердых тел и некоторые вопросы методики изучения элементарных частиц в школе, современные взгляды на структуру и модели элементарных частиц, приведены применяемые модели нуклонов.

Таким образом, в диссертации предпринята попытка усовершенствования содержания и методики изучения физических теорий в школьном курсе физики, путем широкого привлечения материальных и идеальных моделей.

Третья глава «Результаты педагогического эксперимента» представляет собой описание организации и методики проведения педагогического эксперимента. Экспериментальное обучение преследовало цели проверки эффективности метода моделирования в преподавании физики и методики формирования модельных представлений. Здесь обсуждаются экспериментальные данные и проведена оценка результатов работы и их значения для улучшения методики пре-

подавания физики в средней школе при изучении основных физических теорий.

Вначале изложены задачи и методика организации констатирующего и сравнительного эксперимента, дано поурочное распределение материала исследуемых тем. Констатирующий эксперимент проводился в 1956—63 гг. в школах № 32, 42, 66, 69 г. Нижнего Тагила, в Нижне-Тагильском строительном техникуме. Сравнительный педагогический эксперимент велся в классах с физическим уклоном в средней школе № 44 г. Нижнего Тагила в 1964—66 гг., в средних школах № 23, 33, 79 г. Днепропетровска и в средней школе № 5 ст. Синельниково-II в 1968—70 гг. Отдельные положения диссертации проверялись в Днепропетровском Промышленно-экономическом техникуме, на подготовительных курсах института.

При проведении экспериментального обучения необходимо было выяснить: а) насколько доступно учащимся изложение материала по нашим методическим разработкам; б) насколько сознательно учащиеся усваивают учебный материал и какие трудности они встречают при этом, а также, насколько понимают они условность моделей; в) проверить некоторые физические модели в практике преподавания; г) выяснить, влияют ли модели на эффективность изучения механизма физических явлений; д) как формируются структурные представления при использовании метода моделирования; е) насколько модели способствуют активизации познавательной деятельности учащихся и улучшают наглядность обучения; ж) как отражается на знаниях учащихся знакомство с научными методами исследования, в частности, с моделированием.

В период подготовки к экспериментальному обучению учителя были ознакомлены с календарными планами, методическими разработками, были даны консультации по методике изложения нового материала, методике постановки демонстраций, проведения лабораторных и практических работ с использованием метода моделирования, закрепления материала в опытных классах. Совместно с учителями изучались пути формирования модельных представлений, а также восприятие и усвоение учащимися физических теорий и, на этой основе,— всего учебного материала (по избранным темам). Одновременно изучался процесс усвоения учебного материала учащимися контрольных классов.

В процессе экспериментального обучения был собран значительный материал (протоколы ответов учащихся во время индивидуальных бесед, письменные ответы на анкеты, кон-

трольные работы, записи опроса учащихся на уроках и т. д.). Результаты педагогического эксперимента подвергались математической обработке в соответствии с требованиями теории вероятности и математической статистики.

Педагогический эксперимент дал возможность утверждать, что учащиеся экспериментальных классов лучше усваивают основные физические теории, имея предварительно сформированную модельную базу, чем учащиеся контрольных классов. Факторный анализ результатов контрольных работ в своих группах классов показал, что средний процент успеваемости и средний балл оценок в экспериментальных классах выше, чем в контрольных. Исследование многоугольников частот выпадения оценок показало, что в экспериментальных классах полигоны частот имеют правостороннюю асимметрию, что указывает на тенденцию получения основной массой учащихся высокого балла. Это свидетельствовало о более высоком уровне усвоения знаний учащимися опытных классов. Контрольные классы имели незначительную левостороннюю асимметрию, что говорило о нормальном законе распределения частот выпадения оценок. Форма многоугольника распределений почти симметрична относительно моды (здесь под модой понимается наиболее вероятная оценка). Это означало, что в контрольных классах одинаково часто встречаются учащиеся как с высоким, так и с низким, относительно своей моды баллом.

При одинаковых оценках за контрольную работу, качество ответов учащихся экспериментальных классов значительно выше, чем в контрольных классах. В работе приведены примеры таких ответов из разных тем курса физики. Ответы учащихся контрольных классов во многих случаях были поверхностны и недостаточно обоснованы. Так, значительная часть учащихся контрольных классов не могла объяснить что такое «модель молекулы»; обосновать с позиций молекулярно-кинетической теории давление газа, строение жидкости, дефекты в кристаллах. Учащиеся в контрольных классах хуже справлялись с задачами на газовые законы. Особые затруднения вызывали задачи с переменной массой газа и на расчет числа молекул в единице объема.

Большая разница в ответах учащихся экспериментальных и контрольных классов наблюдается по таким вопросам: представления о поле, проводимость металлов, зависимость сопротивления от температуры, природа магнетизма, квантовые свойства света, дуализм материи.

Обзор литературы, экспериментальное обучение позволяют сделать такие выводы:

1. Развитие конкретного мышления учащихся должно происходить в диалектическом единстве с абстрактным мышлением. Абстрактное мышление следует развивать как можно раньше. Особенно большую роль играют в физике абстракция идеализации и противопоставляющая абстракция. Прием противопоставляющей абстракции позволяет выделить существенные и несущественные признаки объекта, явления. При этом формируются модельные представления, которые в дальнейшем становятся «носителями» понятий.

2. Опираясь на исследования психологов, можно заключить, что в переносе приема противопоставляющей абстракции в сферу представлений важную роль играет наглядный материал. Наглядность обучения облегчает усвоение знаний, поэтому при работе с учащимися следует исходить из эксперимента, образа и все внимание направлять на формирование моделей воображения.

3. Наглядность связана с чувственностью, опытом. В этом смысле наглядность является существенным свойством модели. По этой причине, модели, как физические, так и идеальные, можно считать средством наглядности процесса познания, а значит и обучения. Особое значение в преподавании имеют физические модели, обладающие наглядностью. Такие модели имеют пространственную протяженность, то есть наглядно, чувственно воспринимаемы. Наряду с этим, для исследования микрообъектов в оптике, атомной физике широко используются знаковые, функциональные модели, не имеющие пространственного подобия с изучаемым объектом. Особое место среди знаковых моделей занимают в физике модели явлений, отображаемых в конфигурационных пространствах (пространстве скоростей, импульсов, энергий) и среди них, энергетические и зонные модели. Эти модели могут применяться в средней школе в старших классах, так как эксперимент показал, что они доступны учащимся. Такие модели создают чувственную опору для «ненаглядных» объектов квантовой физики.

4. Необходимость применения моделей в обучении вытекает из сложности процесса познания. В физике большую группу составляют явления, непосредственно, чувственно невоспринимаемые. Большинство демонстраций показывают лишь вне-

пнее проявление процессов, не вскрывая их механизма. Модельные опыты дополняют физический эксперимент. Они так же могут применяться при объяснении таких явлений, которые в силу своей сложности не могут быть показаны в школе. Применение моделей приучает учащихся делать умозаключения по аналогии, что способствует развитию логического мышления. Следовательно, модели являются средством активизации познавательной и мыслительной деятельности учащихся.

5. Применение моделей в обучении физике не означает снижение роли физического эксперимента. Но если ранее физический эксперимент носил, в основном, иллюстративный характер, служил целям показа физических явлений, то в связи с усилением роли физических теорий в школьном курсе, в настоящее время необходимо центр тяжести перенести на эксперименты, которые будут способствовать пониманию природы и механизма физических явлений, связи их со структурой вещества, с появлением и развитием основных физических теорий. Этому требованию удовлетворяют модельные опыты.

6. Часть идеальных моделей уже изучается в средней школе (материальная точка, абсолютно твердое тело, идеальный газ, кристаллическая решетка, модели атома). Представляется возможным включить в программу некоторые, наиболее простые идеальные (воображаемые) модели, являющиеся необходимым промежуточным звеном в процессе учебного познания. Такими моделями могут быть на современном этапе развития науки следующие модели: система отсчета, абсолютно упругое тело, спин частицы, реальный газ, идеальные жидкости, модели молекул, модели плотноупакованных структур, модель электрона, модели ядер атомов и др. Педагогический эксперимент показал, что эти модели доступны учащимся.

7. Модели агрегатных состояний вещества следует демонстрировать в динамике. Например, состояние газа — с помощью прибора Поля или Эйхенвальда-Разживина, структуру жидкости — на модели Принса-Регеля на вибростенде, кристаллическое состояние — на подвижных моделях плотно упакованных шаров. Шире использовать модели молекул, дающие наглядные представления о сравнительных размерах частиц, их расположении, валентных углах. При объяснении природы электрического тока в металлах применять модели Зенчука, Нечипорука. При изучении магнетизма использовать модели, помогающие формировать представление о магнит-

ном орбитальном и спиновом моментах электрона, позволяющие вскрыть природу магнетизма и т. д.

8. Наряду с физическими моделями шире привлекать наглядные, математические и знаковые модели, такие как: потенциальные кривые (энергетические диаграммы), модели энергетических уровней и зон, схемы, таблицы, рисунки и графики, особенно при изучении оптики и атомной физики.

9. Среди лабораторных работ увеличить долю исследовательских работ, объясняющих физическое явление методом моделирования на несложном оборудовании. Так можно изучить: движение тела в поле центральных сил с помощью движения магнита в магнитном поле, строение жидкости — с помощью модели, электростатические поля, моделируя их на основе электрогидродинамических аналогий с помощью электропроводной бумаги, отражение и преломление света — на механической модели, туннельный эффект, опыт Резерфорда и др.

10. Применять методы моделирования и аналогий при решении физических задач.

Результаты экспериментального обучения обсуждались с учителями, ведущими опытное преподавание, на кафедре физики Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта и на кафедре методики физики Киевского государственного педагогического института им. А. М. Горького. С отдельными фрагментами диссертации автор неоднократно выступал на различных конференциях: I республиканская конференция молодых ученых, курсы повышения квалификации учителей физики г. Киева и Киевской области, областные педагогические чтения в г. Киеве, августовские совещания учителей г. Днепропетровска, научно-техническая юбилейная конференция Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта (секция физики) и др. Работа получила одобрение и положительные отзывы.

Основное содержание диссертации нашло свое отражение в статьях автора:

1. Роль моделей в физике. Тезисы докладов I республиканской конференции молодых ученых, Днепропетровск, 1969.

2. Изучение распределения молекул по высоте в поле силы тяжести, «Физика в школе», 1970, № 5.

3. Элементарный вывод формулы светового давления, «Вечерняя средняя школа», 1970, № 6.

4. Модели в механике, «Радянська школа», 1971, № 3.

### Принято в печать:

5. Индуктивный и дедуктивный методы в преподавании физики. Сборник «Методика преподавания физики в школе», вып. 6, (на украинском языке). «Радянська школа», Киев, 1971.

6. К вопросу наглядности в современной физике и роли моделей в обучении. Сб. «Преподавание физики в школе», вып. 8 (на укр. языке). «Радянська школа», Киев, 1971.

7. Из опыта проведения факультативных занятий. Лабораторная работа. «Изучение строения жидкости на модели». «Физика в школе», 1971.

8. Моделирование опыта по определению числа Авогадро. Сб. «Методика преподавания физики в школе», вып. 7 (на укр. языке), «Радянська школа», Киев 1972.

9. Лабораторные работы по электричеству с применением метода моделирования. Сб. «Преподавание физики в школе», вып. 9 (на укр. языке), «Радянська школа», Киев, 1972.