

Министерство образования Республики Беларусь
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГРОДНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ЯНКИ КУПАЛЫ»

Н.М. ПОПКО, Л.Н. ХУТОРСКАЯ

**МЕТОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИЗУЧЕНИЯ
КЛАССИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ
В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ**

Учебное пособие по курсу
«Методика преподавания физики»
для студентов специальности Н.02.01.00 «Физика»,
магистрантов и аспирантов специальности 13.00.02
«Теория и методика обучения и воспитания (физика)»

Под редакцией Г.А. Гачко

Гродно 2001

УДК 53 (075.8)
ББК 22.3я73
П 57

Рецензенты: доктор физико-математических наук, зав. кафедрой атомной физики и физической информатики БГУ А.П.Клищенко;
кандидат физико-математических наук, ст. преподаватель кафедры общей физики ГрГУ В.В.Война.

Рекомендовано советом физико-технического факультета ГрГУ имени Янки Купалы.

Попко Н.М.

Методическая система изучения классической электродинамики
П 57 в курсе общей физики: Учеб. пособие / Н.М.Попко, Л.Н.Хуторская;
Под ред. Г.А.Гачко. — Гродно: ГрГУ, 2001. — 238 с.

ISBN 985-417-305-4.

В пособии обосновывается необходимость целостной методической системы изучения курса общей физики на примере раздела классической электродинамики. В нем раскрываются наиболее важные методы и приемы изучения данного раздела, рассматриваются подходы к модернизации традиционной методической системы изучения классической электродинамики в курсе общей физики путем введения блочно-модульного принципа на основе современных информационных технологий.

УДК 53 (075.8)
ББК 22.3я73

ISBN 985-417-305-4.

© Попко Н.М., Хуторская Л.Н., 2001

ВВЕДЕНИЕ

Требования к профессиональной подготовке, т.е. к знаниям и умениям специалиста-физика определяются новой квалификационной характеристикой. При ее реализации возникает ряд проблем дидактического характера, которые нуждаются в специальном исследовании. Как эффективно организовать обучение физике, являющейся основой мировоззрения и специальных знаний будущего ученого, инженера, преподавателя? Как преодолеть обострившееся противоречие между ростом объема необходимых знаний и возможностью их усвоения студентами в установленные сроки? Какой минимум знаний и умений необходимо при этом формировать? Что действительно важно студенту знать и уметь и чем можно пренебречь? Как связаны между собой учебное знание и учебное умение в различных измерениях (дидактическом, психологическом, техническом, методологическом)?

На все эти вопросы авторы пособия ищут ответы. Основное содержание пособия связано с методологическим обоснованием целостной методической системы обучения студентов общей физике на примере раздела «Классическая электродинамика: цели, содержание, методы и приемы, средства обучения, деятельность преподавателя и студентов». В ряде случаев описаны новые подходы к модернизации традиционной методической системы в целом и отдельных ее элементов при изучении классической электродинамики. При изложении применяется большое количество рисунков, таблиц, которые несут самостоятельную информационно-методическую нагрузку, делают изложение вопросов лаконичным, наглядным. Изложение иллюстрируется многочисленными конкретными примерами. Дается пример блочно-модульного подхода к изучению классической электродинамики в рамках курса общей физики.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности Н.02.01.00 «Физика», магистрантов и аспирантов специальности 13.00.02 «Теория и методика обучения и воспитания (физика)».

ГЛАВА 1. МЕТОДОЛОГО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ МЕТОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ В УНИВЕРСИТЕТЕ

1.1. Основные аспекты анализа традиционной системы изучения классической электродинамики как раздела курса общей физики

В настоящее время университетское физическое образование находится в процессе значительных преобразований, цель которых — поднять его на новый качественный уровень, соответствующий новым условиям и требованиям современного общества в XXI веке.

В весьма упрощенном виде на рис. 1 представлен процесс моделирования педагогической деятельности, когда на основе первичной традиционно сложившейся модели обучения получают все более полные теоретические модели (модернизированную и инновационную) и нормативную модель (модели), которые впоследствии реализуются в проектах, планах, программах практической педагогической деятельности.

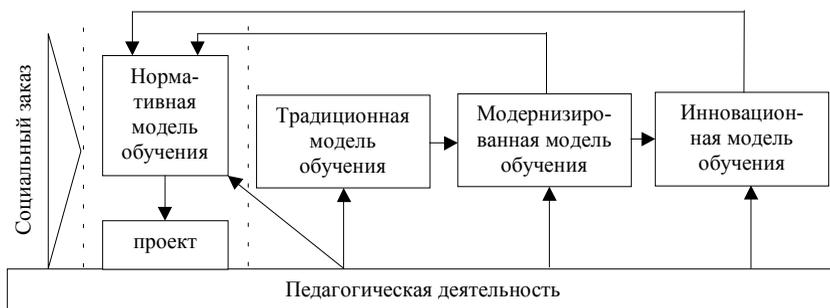


Рис. 1

Для решения поставленных перед университетом задач в области физического образования необходимо прежде всего проанализировать все, что было достигнуто в результате внедрения современного содержания образования и современной дидактики физики высшей школы, выявить как положи-

тельные его стороны, так и отрицательные. Закрепить и развить все достижения современной вузовской дидактики физики и устранить недостатки — одна из главных задач дидактики на современном этапе ее развития.

Классическая электродинамика — один из важнейших разделов вузовского курса общей физики. В нем студенты изучают электромагнитные взаимодействия. *Электродинамика* является наукой о свойствах и закономерностях поведения особого вида материи — электромагнитного поля.

В современной электродинамике выделяются *три основных раздела*: классическая, квантовая и электродинамика движущихся сред. *Классическая электродинамика* — это теория электромагнитного поля Максвелла и электронная теория Лоренца. *Квантовая электродинамика* — это квантовая теория электромагнитного поля и его взаимодействия с заряженными частицами. *Электродинамика движущихся сред* изучает особенности электромагнитных явлений в движущихся средах, т.е. рассматривает процесс распространения электромагнитных волн.

Анализ современного содержания и структуры раздела классической электродинамики, выявление их достоинств и вместе с тем недостатков диктуют необходимость поисков путей дальнейшего совершенствования преподавания этого традиционного раздела. Это требует теоретического анализа не только проблем содержания, структуры, но и устоявшихся методов, организационных форм изучения этого раздела.

Один из компонентов теоретического исследования — анализ недостатков в знаниях и умениях студентов, выявление причин этих недостатков на основе установления их связи со структурой, содержанием учебной информации, изучаемой на лекциях, семинарских, практических, лабораторных занятиях, т.е. в разных организационных формах учебной деятельности.

Другая важнейшая сторона теоретического анализа — выявление и обоснование того ценного, положительного, что содержится в современном изучении классической электродинамики и позволяет искать пути дальнейшего его совершенствования.

В исследование также входит анализ тех новых педагогических требований, которые определяются социальным заказом общества вузу, что нашло отражение в современных концепциях формирования образованного специалиста-профессионала XXI века, в новых квалификационных характеристиках и других новых нормативных документах университетского образования. В частности, должно быть пересмотрено отношение к целям и задачам обучения в вузе.

Кроме сообщения студентам определенной суммы знаний, обладающих непреходящей ценностью, важной педагогической задачей должно быть *развивающее обучение* — развитие творческого мышления студентов, их способности к самостоятельному приобретению знаний.

Согласно выводам современной педагогической психологии, развитие в процессе обучения зависит от формирования у студентов определенного уровня теоретического мышления, т.е. умения применить общие принципы, теории, идеи к анализу частных вопросов. Существенным условием успешности такого обучения служит достижение определенной степени обобщенности учебного материала, усовершенствование его логической структуры на учебных занятиях всех видов: лекциях, лабораторном практикуме, практических, семинарских занятиях, включающих учебно-исследовательскую работу студентов. Генерализация учебного материала — один из путей повышения научного уровня обучения.

В теоретическое исследование проблемы входит сопоставление уровней изучения классической электродинамики в разные периоды вузовского образования (исторический аспект анализа).

Существенный компонент теоретического исследования — научно-методический анализ основных понятий, законов, теорий классической электродинамики. Он позволяет выделить важнейшие дидактические идеи, на основе которых может быть проведено обобщение учебной информации. Этот анализ дает возможность определить способы изложения учебного материала, так как достижение высокого научного уровня преподавания требует приведения трактовки основных понятий, законов и теорий в соответствие с их пониманием в

современной науке. Не менее важен анализ технического обеспечения изучения классической электродинамики: оснащение компьютерной техникой, лабораторным и демонстрационным оборудованием.

Значительная часть результатов выполненного исследования, изложенная в настоящем пособии, *проходила экспериментальную проверку*. По этим результатам сделаны доклады, обсуждены на ряде научных конференций (международная конференция «Современный физический практикум», г. Самара, сентябрь 2000 г.; учебно-научно-практическая конференция в Центре проблем развития образования «Учебное знание как основа порождения культурных форм в университетском образовании», г. Минск, ноябрь 2000 г.; II областной семинар учителей, март 2001 г.; международная конференция «Технообраз», май 2001 г.).

Главной тенденцией, которую мы наблюдаем в университетском изучении классической электродинамики, является *тройная цикличность*. Первый цикл — знакомство в школе с основными электродинамическими понятиями, законами, теориями. Второй — изучение классической электродинамики в рамках курса общей физики университета. Третий цикл связан с изучением квантовой электродинамики в курсе теоретической физики.

Каковы основные принципы формирования знаний электродинамики?

Методика формирования разных видов знаний электродинамики соответствует общедидактическим принципам обучения, таким, как принципы научности, связи эмпирических знаний с теоретическими, наглядности формирования понятий, доступности изучаемой информации и др.

При построении же конкретной методики изучения классической электродинамики используются следующие принципы:

- установления причинно-следственных связей;
- соответствия учебных знаний и методов познания научным;
- оптимизации экспериментального установления физических фактов, возможности перехода от нескольких частных фактов к обобщенному факту или эмпирическому закону;

- целенаправленного включения в качестве объекта в познавательную деятельность студентов изучаемых явлений, теорий, законов;

- принцип единства фундаментальных предметных и методологических, мировоззренческих знаний (предполагает изучение понятий, законов, теорий и методов их установления, получения и использования для обоснования теоретических положений);

- принцип экспериментального обоснования изучаемых теоретических положений: изучаемые факты, эмпирические законы или теоретические положения должны быть обоснованы средствами учебного эксперимента или ссылками на научный эксперимент;

- принцип актуализации противоречия между эмпирическими или теоретическими знаниями студентов и способностью студентов доказать их истинность;

- принцип завершенности этапа формирования знаний: проведение или умозрительное изучение эксперимента, объяснение факта, явления, закона и рассмотрение его значения для развития науки;

- формирование умений планировать и предсказывать результаты эксперимента, оценка уровня знаний и др.

Какова последовательность чтения разделов курса «Общая физика»?

В традиционных учебных планах физических специальностей классических университетов приняты *две различные* последовательности чтения раздела курса «Общая физика»:

1) механика → молекулярная физика → электричество и магнетизм → оптика → основы атомной и ядерной физики;

2) механика → электричество и магнетизм → оптика → основы атомной и ядерной физики → молекулярная физика.

Перенос молекулярной физики в конец курса объясняют тем обстоятельством, что лишь после знакомства с квантовыми явлениями возможно полноценное понимание квантовой статистики. Это, несомненно, справедливо, но перенос молекулярной физики в конец курса неудобен из-за невозможности привлекать молекулярные и термодинамические соображения к объяснению таких электрических и оптических эф-

фффектов, как термоэлектрические, эффект Фарадея, механизмы электропроводимости, электронную теорию дисперсии и многое другое.

«Электричество и магнетизм» разбивают *на две части*:

1) первая часть посвящена изучению электростатики и магнитостатики в вакууме, явления электромагнитной индукции и квазистационарного переменного тока;

2) вторая посвящена магнитным и электрическим полям в веществе, механизмам электропроводности различных сред, электромагнитным волнам (рис. 2).

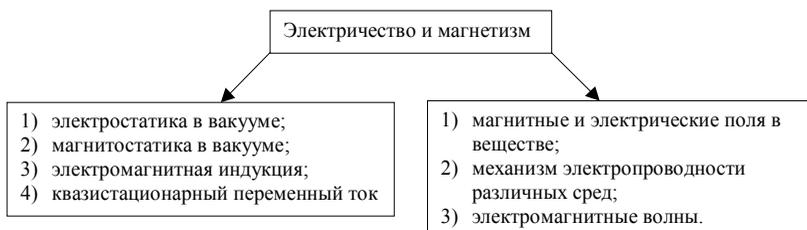


Рис. 2

Исторический анализ показывает, что концепции изучения классической электродинамики постоянно изменялись и обновлялись в зависимости от требований к профессиональной подготовке специалиста-физика — выпускника университета. Эти требования, как правило, определяются квалификационной характеристикой (КХ). Специалист-физик должен знать минимум содержания образовательной программы и минимальный объем умений по применению этого содержания.

Данные сравнительно-педагогических исследований показывают, что, несмотря на различия образовательных систем, содержания учебных программ, общие представления о традиционной организации учебного процесса в разных странах мира имеют *сходные черты*. Традиционной формой сообщения новых знаний является *лекция* — одновременное занятие с аудиторией, в ходе которого преподаватель сообщает, передает информацию, формирует умения и навыки, опираясь на предъявление нового материала, его воспроизведение студентами, оценивает результаты этого воспроизведения.

Традиционное обучение носит преимущественно репродуктивный характер. Работа преподавателя ориентирована прежде всего на сообщение знаний и способов действий, которые передаются студентам в готовом виде, предназначены для воспроизводящего усвоения; преподаватель является единственным инициативно действующим лицом учебного процесса. Попытки преобразовать традиционное обучение связаны с дидактическими поисками «нового воспитания».

Обычный подход состоит в том, что все темы сначала излагаются формально и абстрактно и лишь в дальнейшем полученный материал связывается с имеющимся и формируемым у студентов опытом. На практических или лабораторных занятиях, по-видимому, это замедляет процесс познания для студентов. Другой подход состоит в признании того, что физика представляет собой описание реально происходящих явлений, и поэтому изложение каждой темы начинается с конкретных опытов и наблюдений, которые в своем большинстве знакомы студенту из школьного курса. Такой способ изложения лучше отражает действительный ход развития физики, т.е. физические законы рассматриваются как обобщения конкретных наблюдений. Затем при изложении материала используются основы дифференциального и интегрального исчисления.

Этот подход представляет собой вводный курс общей или экспериментальной физики. Уровень изложения классической электродинамики занимает промежуточное положение между уровнями школьной и вузовской программ. Такое изложение материала не связано с какой-либо определенной программой изучения классической электродинамики. Еще одной характерной особенностью здесь является стремление к своевременному раскрытию физической сущности рассматриваемых явлений. Все это способствует формированию углубленного представления о природе изучаемого явления. Такое изложение материала органично соответствует новому подходу к подготовке молодых специалистов различного уровня, при котором значительно повышается роль самостоятельной работы студентов. Этот подход может сыграть важную роль и в своевременном развитии творческих способностей студентов.

Однако его реализация требует значительного не только технического, но и методического оснащения, разработки теории конструирования творческих заданий студентам.

Раздел классической электродинамики — достаточно сложный как по содержанию, объему, так и по решаемым образовательным, воспитательным и развивающим задачам обучения. Мы поставили перед собой цель — *проанализировать* (начиная с 1900 года) опыт изучения классической электродинамики в высшей школе. При ее реализации было определено на разных исторических этапах понятийное содержание самого раздела, его структура, методические концепции изложения материала. Результатом анализа явилось выявление сходства и различия курсов. Концепции изучения классической электродинамики в университете у разных авторов различны. Нами освещаются результаты анализа учебных пособий по изучению электродинамики, изданных, после 1900 года.

На пороге XX столетия изучение классической электродинамики начинается не с электростатики, как в современных курсах, а с магнетизма. Например, профессор П.А.Зилов в 1900 году в курсе «Электричество» [1] в первую очередь рассматривал магнитное поле, магнитное влияние, а затем — электрическое поле. Изложение материала в этом курсе содержит достаточно полное для того времени экспериментальное обоснование. Необходимые выводы делаются на основе опытов. Математические выводы применяются сравнительно редко. Для описания опытов используются простые приборы. Например, при опытном исследовании магнитного поля П.А.Зилов использует обыкновенную магнитную стрелку компаса. Результаты исследований позволяют определить направление поля. Ученый дает объяснение земного магнетизма: земля есть магнит, доказывает, что намагниченный железный шар действует на магнитную стрелку совершенно так же, как Земля. Закон Кулона, тождественный ньютоновскому закону всемирного тяготения, дал повод применить принцип невесомых жидкостей к объяснению магнитных явлений. В 1911 году выходит переработанное издание курса «Электричество» П.А.Зилова, где автор дополняет содержание курса необходимыми, по его мнению, опытными данными.

Увидевший свет в 1931 году и переизданный позднее (1962 год) курс классической электродинамики профессора Геттингенского университета Р.В.Поля «Введение в современное учение об электричестве» [2] имеет свою специфику. Основную задачу автор видит в разработке экспериментальной базы учения об электричестве и магнетизме, на основе чего дается реальное представление о природе электрических и магнитных явлений. Р.В.Поль начинает с введения основных понятий, затем рассматривает приборы для измерения силы тока и напряжения. В центре внимания — закон Ома и его интерпретация. Р.В.Поль указывает размерность исследуемых величин, формирует количественные представления о них. Структура материала данного курса позволяет выяснить взаимосвязь между отдельными экспериментальными фактами и понятиями.

В дальнейших своих курсах, например, «Учение об электричестве» (1962 год) [3] Р.В. Поль углубляет экспериментальный подход к изучению классической электродинамики. Автор проводит строгое разграничение между тем, что является опытным фактом, и тем, что является его теоретической интерпретацией. Он вводит в учение об электричестве знакомые каждому из повседневной жизни понятия об электрическом токе и электрическом напряжении, экспериментально поясняет принципы и устройство приборов для измерения этих величин, вводит теоретический материал об электрическом поле и электрическом заряде.

В 1932 году был издан переводной курс «Магнетизм и электричество» Э.Гримзеля [4]. Анализируя структуру содержания курса, автор предпочитает начать его с магнетизма. В первую очередь он излагает основные понятия о магнетизме, затем идут электростатика, электродинамика, электромагнетизм и электромагнитная индукция. Наибольшее внимание автор уделяет электромагнитной индукции.

Традиционный курс классической электродинамики в XX веке наиболее ярко представлен учебными пособиями, созданными К.А.Путиловым [5], С.Э.Фришем и А.В.Тиморевой [6], И.Е.Таммом [7], Р.В.Подем [3], фейнмановскими лекциями [8], берклевским курсом физики [9]. Однако указанные выше учеб-

ники и другие издания наряду с блестящим, неординарным освещением изучаемого материала, в то же время содержит налет некоторой каноничности, завершенности, ограниченности уровня изучаемых вопросов, пренебрежения анализом современного состояния ставших уже классическими проблем физики.

В 1957 году был предложен курс лекций Д.В.Сивухина «Общий курс физики. Электричество» [10]. Его преимуществом является выяснение физического смысла и содержания основных положений и понятий науки об электричестве, установление границ применимости физических законов, применение идеализированных моделей и схем, что позволяет развивать у студентов навыки физического мышления и умение самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи. Основное внимание уделяется понятиям и общим принципам, которые позволяют объяснить сущность электрических и магнитных явлений. Автор широко пользовался методами термодинамики, поскольку, по его мнению, без применения термодинамики невозможно полное и ясное изложение не только частных, но и общих вопросов макроскопической электродинамики.

Последующие университетские курсы продолжают очень верную для традиционного обучения задачу *экспериментального обоснования* теории электричества и магнетизма. Например, А.Н.Матвеев в 1983 году при изложении университетского курса «Электричество и магнетизм» [11] для студентов физических специальностей вузов в первую очередь предлагает не электростатику, а основные понятия, связанные с зарядами, силами и электромагнитным полем. С учетом пределов их применимости знания студентов о законах электромагнитных явлений, полученных из курса физики средней школы, преобразуются в современное научное знание. Автор обосновывает теорию в свете современного состояния экспериментальных основ электромагнетизма. В качестве экспериментальных основ теории электричества и магнетизма он берет инвариантность элементарного заряда, закон Кулона, принцип суперпозиции для электрического поля, закон Био-Савара, принцип суперпозиции для магнитного поля, силу Лоренца,

закон электромагнитной индукции Фарадея, токи смещения Максвелла, закон сохранения заряда и закон сохранения энергии. Например, вопрос об экспериментальном обосновании закона Кулона для больших расстояний А.Н. Матвеев излагает без упоминания о его связи с нулевой массой покоя фотонов. Последним разделом этого курса являются уравнения Максвелла как результат обобщения и математической формулировки установленных в эксперименте закономерностей. Достоинством курса является методика изложения, основанная на индуктивном в сочетании с дедуктивным методом изложения в соответствии с принципами научного познания физических закономерностей.

В 1990 году вышло в свет издание Е.М.Гершензона и Н.Н.Малова «Курс общей физики. Электричество и магнетизм» [12]. В нем изложены вопросы электростатики и постоянного электрического тока, природа электропроводности, явление электромагнетизма и электромагнитной индукции, теория Максвелла, переменный ток и электромагнитные волны, магнитные свойства вещества. Особое внимание уделено объяснению физического смысла изучаемых явлений.

Электромагнитные явления наряду с гравитационными определяют в макромире практически все процессы. При этом в естественных процессах, происходящих на Земле, первенствующая роль принадлежит именно электромагнитным взаимодействиям. Электрические и магнитные явления рассматриваются практически без учета статических закономерностей, присущих большому числу заряженных частиц, и их особенностей.

Проделав сравнительный анализ некоторых курсов классической электродинамики и выделив их общие признаки, такие, как последовательность, формирование основных понятий и вопросов, модельные представления и др., можно сделать заключение:

1) в содержании курсов классической электродинамики усиливалась теоретическая компонента учебного материала при одновременном внимании к экспериментальным основам курса; уравнения Максвелла рассматриваются как обобщения опытных фактов;

2) в анализируемых курсах основное внимание уделяется вопросам, связанным с новыми понятиями электродинамики и общими принципами, управляющими электрическими и магнитными явлениями; меньше внимания уделено электрическим и магнитным свойствам вещества;

3) в анализируемых курсах классической электродинамики превалирует индуктивный метод, и, тем не менее, процесс обобщения идет непрерывно и целенаправленно на протяжении всего изложения;

4) что касается технических и прочих применений учения об электричестве, то этим вопросам в университетских курсах уделяется значительно меньшее внимание, чем они того заслуживают;

5) требуется новый подход к созданию учебной литературы.

Среди проблем вузовских учебных пособий *приоритетны*: усиление их воспитательной роли; реализация задач дифференциации и индивидуализации обучения студентов; создание вариативных учебников по разным основаниям; отражение компьютеризации обучения, а также инновационных процессов в сфере дидактики; методическая поддержка при проектировании учебного процесса, приобщение студентов к семинарской работе; формирование интереса к физике и создание положительного эмоционального фона учебных занятий. Применение технологичных учебных пособий в значительно большей степени, чем традиционных, способствует решению указанных проблем. Это связано с тем, что действующие учебники содержат набор лишь учебной информации, а *технологичный учебник* включает также *методическую часть*, предлагающую технологии *активного* ее усвоения. В связи с этим, для него характерна многокомпонентная структура в отличие от трехкомпонентной учебников информационного типа (параграфы, вопросы, упражнения). В этом отношении учебник А.Н.Матвеева «Электричество и магнетизм» выгодно отличается от других.

В учебном пособии целесообразны, кроме теоретической части (учебные параграфы), и методические, составленные, например, из обучающих блоков: опыты, наблюдение, повторение, «решите задачу», самоподготовка, самопроверка, поиск алгоритма, «решите проблему» и др.

Таким образом, в развитии учебно-методического обеспечения процесса изучения электродинамики оптимален подход, при котором структура учебного пособия подвергается модификациям, а разнообразие форм предъявления учебной информации облегчает студенту и преподавателю проектирование учебного процесса с конкретными дидактическими целями.

Многокомпонентная структура учебника дает возможность методически трансформировать учебный материал в соответствии с актуальными образовательными задачами при высокой степени самостоятельности учебной работы студентов.

Благодаря четкому структурному построению учебника он легко может преобразовываться в компьютеризированную форму, поэтому его можно рассматривать как модель учебника нового поколения.

В современном виде классическая электродинамика явилась завершением длительного исторического периода накопления и осмысления экспериментальных фактов в области электрических и магнитных явлений — новой по сравнению с механической и тепловой сферами движения.

С точки зрения В. Гейзенберга к электродинамике относят систему теорий, включающих феноменологическую теорию Максвелла, электронную теорию и специальную теорию относительности (СТО).

Интерпретация электромагнитного поля как материальной сущности особого рода, обычная для современного понимания электродинамики, окончательно утвердилась лишь после создания СТО. Однако она вытекает из уравнений Максвелла, ибо последние (вместе с уравнениями Ньютона) приводят к законам сохранения энергии и импульса при включении поля в рассматриваемую систему. Кардинально важен и вывод теории о возможности существования свободного поля как самостоятельного объекта, потерявшего связь с зарядами. В электродинамике появляется важнейшая константа — скорость распространения электромагнитных взаимодействий в вакууме. Все это вместе взятое и приводит к полевой концепции, в которой поле — не математическое вспомогательное понятие (что имеет место в механике с ее дальностью действия), а физическая реальность.

Макроскопическая электродинамика Максвелла никак не учитывает атомизма вещества и электрического заряда. В конце XIX в. Г.Лоренц предпринял попытку грандиозного объединения идей атомизма и теории Максвелла в единую электронную теорию строения вещества. На основе уравнений Максвелла им постулирована система уравнений для микроскопических зарядов в пустоте. Вещество же рассматривается как система электрических заряженных частиц; никаких феноменологических характеристик вещества дополнительно не вводится, но предполагается, что частицы не только возбуждают электромагнитное поле, но испытывают действие его, подчиняясь механике Ньютона. Такая система уравнений поля называется системой Максвелла-Лоренца; в ней фигурируют истинные напряженности поля; учет же зарядов вещества и соответствующие усреднения микроскопических полей приводят к уравнениям Максвелла. Кроме того, выясняется сущность электромагнитных характеристик вещества, а вместе с тем и физический смысл связи напряженностей и индукций макроскопического поля.

Электронная теория явилась завершением так называемого классического периода развития физики, для которого характерна недооценка качественных различий между явлениями, протекающими в различных пространственно-временных областях, уверенность в универсальности физических законов.

1.2. Современные концепции формирования специалиста-профессионала XXI века

Смена государственно-политического устройства и социально-экономического строя ряда стран, в том числе и Беларуси, в конце нынешнего столетия на фоне бурного технологического развития мирового сообщества создала принципиально новую ситуацию в сфере высшего образования. Происходит коренное изменение не только содержания подготовки специалистов, организационных форм деятельности высших учебных заведений, тематики научных работ, но и меняется место высшей школы в жизни общества, взаимоот-

ношения вузов с другими сферами общественной деятельности, происходит смена приоритетов личности (социальный заказ, см. рис. 1). Все это изменения предопределяют переоценку целей и содержания образования (см. рис. 3).

В настоящее время в педагогике высшей школы можно выделить несколько инновационных направлений, концепций, подходов к обучению, в рамках которых *реализуются разные модели обучения.*

Концепции гуманизации, демократизации и индивидуализации форм обучения являются следствием общей тенденции развития цивилизации. В традиционном обучении наиболее отчетливо выделяются следующие дидактические и психолого-педагогические концепции: концепция проблемного обучения (М.Н.Махмутов), концепция усвоения основных элементов социальной культуры (И.Я.Лернер), концепция управления учением (Н.Ф.Талызина), концепция содержательного обобщения (В.В.Давыдов, Д.Б.Эльконин).

Современные концепции — *концепции разного уровня общности*, их можно условно разделить на *три* разнопорядковые группы: концепции онтологического характера, гносеологического характера и концепции, имеющие практический (нормативно-прикладной) характер.

В современных концепциях формирования образованного специалиста-профессионала XXI века учитывается, что в XXI веке идет смена научной картины мира, переход от квантово-полевой картины, построенной на идеях теории относительности и квантовой механики, к новой, в основе которой лежат идеи нелинейных явлений, хаоса, самоорганизации. Меняется информационная парадигма общества.

Обзор современных *концепций физического образования* показывает, что они касаются различных аспектов образования: целеполагания, содержания, технологии, компьютеризации, физического эксперимента, развития познавательной активности студентов, нормативных требований к специалистам-выпускникам, гуманитаризации и гуманизации и др. Относительно педагогической науки можно говорить о полипарадигмальности и методическом плюрализме. Понятие «парадигма» было введено в обиход американским методологом

науки Томасом Куном. Оно включает в себя идеалы и нормы, которые используются в обучении не всеми педагогами. Рассмотрим некоторые из них. Традиционная образовательная стратегия базируется на «*парадигме обучения*». Она ориентирована на успешную *трансляцию знаний* от преподавателей к студентам. При этом доминирующая роль преподавателя, кумулятивный характер обучения, опора только на индивидуальный успех и соревнование студентов, субъективная оценка знаний без учета обратных связей уже не обеспечивают решения задач университетского образования. В условиях формирования новой парадигмы, информатизации человеческого общества предъявляются новые требования к каждому члену общества.

Новая парадигма — парадигма учения — призвана не столько обеспечить должную информированность студента в определенной области знаний (в том числе при изучении классической электродинамики), сколько сформировать эффективную мотивацию к их перманентному обновлению и расширению как на студенческой скамье, так и в будущей профессиональной деятельности. Она способствует не только получению академических знаний, но и выработке навыков принятия решений, осуществления многообразных коммуникаций. Реализация этой парадигмы в образовательном процессе достаточно сложна из-за своей многоаспектности и сложности в переориентации видов деятельности преподавателя и студентов, требует *разработки* соответствующей *дидактической системы*. При этом возникает множество различных проблем. Одна из них — проблема включения преподавателя и студента в *интерактивный* процесс *совместного* учебного творчества по усвоению знаний, умений.

Сегодня образование столкнулось с новыми реалиями: возникновением международного информационного пространства (Internet и др.), использованием информационных компьютерных технологий как средства исследования коммуникативной стратегии образовательного процесса. За этим видится переход к принципиально *новому типу обучения* — **учению** посредством организации более эффективной познавательной деятельности студентов.

Использование современных компьютерных и мультимедийных технологий знаменует собой смену традиционной парадигмы образования как *объяснительно-иллюстративной* на *деятельностную* или *мыследеятельностную*. Задача высшей школы состоит в том, чтобы сформировать у специалистов-профессионалов стиль научного мышления, а не навыки механического усвоения предлагаемых знаний.

Важное направление — *моделирование* физических процессов при обучении в дидактических компьютерных средах. Компьютерное моделирование при изучении физики в основном используется в двух формах: как визуализация процессов и как их математическое моделирование — вычислительный эксперимент. Существенно реже используют компьютер в «живом эксперименте» — как измерительную систему и средство обработки информации. Учебный физический эксперимент развивается в направлениях: 1) модернизации традиционного метрологического оборудования для выполнения лабораторного эксперимента; 2) моделирования процессов с помощью компьютера; 3) выполнения «живого эксперимента» с использованием интерфейсных блоков, сопрягаемых с ЭВМ, и датчиков физических величин. Методика использования компьютеров в других учебных ситуациях только начинает складываться.

Отставание среднего уровня подготовки выпускника вуза от переднего края развития науки требует перехода на качественно иной уровень преподавания классической электродинамики, который связывают с концепцией опережающего обучения, имеющей несколько аспектов. Один из них понимается широко: вузовское образование должно подготавливать выпускников при необходимости к самостоятельному овладению новыми актуальными профессиями. Различают несколько более узких аспектов трактовки опережающего обучения. Например, под этим понимается обсуждение и критический анализ физических моделей и идеализаций, используемых в классической электродинамике. Цель такого анализа — не просто констатировать ограниченность соответствующего подхода, а вскрыть природу этой ограниченности, выявить пути построения более общих теорий, нежели

классическая электродинамика. При этом раскрывается внутреннее единство и логическая взаимосвязь различных курсов электродинамики. Например, обсуждение в электродинамике приближения точечных зарядов выводит на проблему нелокальности, калибровочной инвариантности электромагнитного поля — на идею калибровочных полей и т.д. (рис. 3).

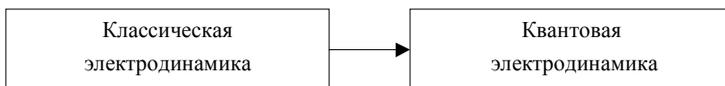


Рис. 3

Такие «отступления» от канвы основного курса классической электродинамики будут *подготавливать* студентов к восприятию современной физики, снимут многие трудности, в том числе и психологические, усвоения новых непривычных идей. Реализация концепции опережающего обучения требует решения проблемы и отыскания истоков, предпосылок более высшего знания в старом более низшем и более знакомом (см. рис. 3). Другой вариант этой концепции — необходимость новой организации содержания общего курса физики путем изложения принципиальных вопросов на глубоком уровне. Ее максимальная реализация позволит не повторять в теоретическом курсе многое из того, что было изучено в общем курсе и за счет этого ввести новые разделы теоретического курса, такие, как общая теория относительности (вместе с релятивистской космологией), теория квантованных полей и др., содержащие интересные философские вопросы, обсуждение которых важно в плане гуманизации образования.

Концепцию о соотношении классической и современной физики предлагают также реализовать путем *модернизации учебного плана*. Считается, что метод включения в курс общей физики новых вопросов и новых элементов теории себя исчерпал. Реализация схемы может быть осуществлена двумя путями. Первый состоит в том, что основные разделы курса излагаются *без деления* на общую и теоретическую физику, современная физика изучается в научных семинарах (рис. 4).

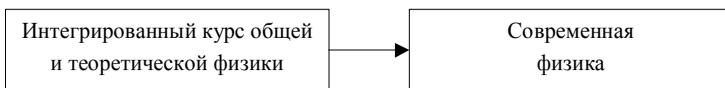


Рис. 4

Другой путь состоит в введении вместо курса общей физики *двух параллельно* изучаемых курсов — экспериментального, подкрепляемого физическим практикумом, и курса, излагающего основные законы физики без сложных приложений. Затем — курс теоретической физики, и после него — современной физики. Эта схема (рис. 5) требует осторожности при ее реализации.

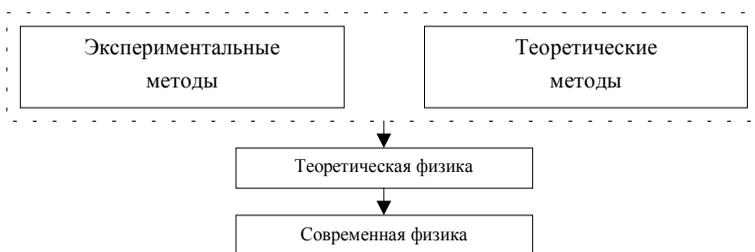


Рис. 5

Еще одно направление *изменения учебного плана* — введение дополнительного учебного курса по компьютерному моделированию физических процессов и компьютерному управлению физическим экспериментом. Компьютерный «накат» и организация математического моделирования не должны заменять постановку натурального эксперимента.

В последнее время существенное развитие получила *концепция формирования методических и модельных представлений* у студентов при изучении физики, в том числе и классической электродинамики. Сегодня физика представляет собой всеобъемлющее, универсальное знание о природе. Если в течение последних 70 лет физика рассматривалась и фактически являлась основой технического и технологического образования, то в XXI веке она становится частью *широкой мировоззренческой подготовки* студентов как будущих специалистов. Это обстоятельство требует переосмысления не только

содержания физического образования, но и методики подачи материала, поскольку важное значение приобретает задача интеграции естественнонаучных знаний.

Современное физическое образование сталкивается с проблемой реализации в обучении принципа научности. Стремительный рост научного знания, оперирование теориями, построенными с применением сложного математического аппарата, — все это приводит к ситуации, когда изучить физику в полном объеме на должном уровне последних достижений не представляется возможным. Решение этой проблемы видится в перестройке содержания образования с тем, чтобы сосредоточить основное внимание на основополагающих принципах современной физики: актуальных подходах к получению информации об объектах и явлениях действительности, способах ее теоретического осмысления, т.е. *методологии физики*. Эта концепция изменяет методы контроля эффективности процесса обучения, позволяя выявлять представленность в картине мира, сформированной у студента, общенаучных и физических представлений современным научным взглядам.

Существуют различные подходы *методологии физики* к рассмотрению любого физического вопроса: 1) методы обучения возможно конструировать с различной степенью детализации и обобщения, структурированные в соответствии с тремя уровнями методологии ее уровней: конкретных законов, физических теорий, фундаментальных законов природы и методологических принципов физики; 2) изучение материала возможно планировать различными группами методов, соответствующими структурной триаде современной физики: экспериментальной, теоретической и вычислительной. Всеобщий уровень методологии науки целесообразно использовать при содержательном обобщении знаний студентов в мировоззренческие структуры.

Эта концепция предполагает построение *личностно-ориентированной модели науки*, поскольку методологически разноуровневое и структурно разностороннее рассмотрение любого вопроса физики построено на знании преподавателем индивидуальных, психологических особенностей студентов.

Одним из важнейших методов познания является моделирование — построение и изучение моделей реально существующих явлений. Более того, некоторые сторонники этой методологической концепции развитие науки в целом трактуют как «теоретическое моделирование». Особенно сказывается несформированность у студентов модельных представлений при изучении объектов классической электродинамики и других разделов, в которых многие объекты непосредственно не воспринимаются органами чувств, объектов, которые вообще нельзя представить наглядно. Изложение теоретического материала с явным использованием моделей, объяснением их иерархии и границ применимости, безусловно, снимает серьезные противоречия и затруднения студентов.

Одной из новых является *концепция вариативного обучения*. Вариативное обучение — вариант личностно-ориентированного обучения. В основе его лежит принцип индивидуализации и дифференциации обучения. Каждый студент имеет индивидуальные способности, интересы, склонности. Путем использования различных способов их учета (создание мини-групп студентов, использование различных вариантов индивидуальных заданий и т.д.) возможно способствовать их дальнейшему развитию.

К концепции вариативного обучения примыкает *концепция деверсификации*. Она предъявляет требования к преподавателю по обеспечению индивидуальных образовательных маршрутов обучающемуся по принципам: знай, что развивается в твоём ученике и сумей это обеспечить; знай свой предмет и излагай его ясно, используй последние достижения психологии, педагогики и методики.

Для *личностно-гуманитарных концепций* физического образования характерны попытки устранить разрыв между ориентацией на профессиональный аспект образования, которая преобладала в последнее время, и запросами личности, ее субъективной сущностью. Сущность личностно-гуманитарной концепции видится в том, чтобы связать гуманитарный потенциал изучаемого предмета с построением образовательного пространства, в котором формируются собственно лич-

ностные (смысловые, ценностные, мировоззренческие) функции и свойства индивида, преодолеваются узкофункциональные представления о целях изучения дисциплины и предполагается приобщение студентов к гуманитарному потенциалу науки. Согласно этой концепции требуется максимальный учет личностных свойств участников образовательного процесса, и это делает его вариативным. Поэтому-то говорят о множественности концепций, «полипарадигмальности» личностно-ориентированного образования. Личностно-гуманитарная парадигма современного образования адекватна новому гуманитарному самосознанию человеческого сообщества и будет, по предсказаниям ее приверженцев, в числе лидирующих образовательных идей XXI века.

Авторы концепции *новой организации* курса физики уделяют особое внимание поиску *оптимального сочетания* лекционных и семинарских занятий, отводя последним и по объему, и по цели значительное внимание.

Концепция, отражающая взгляд на обучение как на процесс передачи информации студенту и, следовательно, на учебный процесс как *информационную технологию, уточняется*. Действительно, общепринятые этапы информационных технологий: чтение → переработка → передача информации присутствуют в учебном процессе. Существенное же отличие состоит в том, что самым важным в учебном процессе является субъект — личность студента, развитие и обучение которой нужно заранее проектировать. Эта концепция позволяет осмыслить и выявить *операциональный состав* учебной деятельности с учебной информацией в рамках конкретного предмета с помощью ориентировки на идеи этапов информационных технологий. Процесс получения информации по любой изучаемой проблеме с точки зрения студента должен описываться как активный процесс в действиях по добычанию (поиску) и отбору ее из разных источников. Деятельность по переработке учебной информации начинается уже в процессе ее целенаправленного отбора, а затем обязательно включает приемы систематизации и моделирования. Все вместе — это *преобразование исходной информации*, т.е. самый важный этап обучения: только в процессе преобразования объекта по-

знания происходит развитие познающей личности. Наконец, *моделирование информации* (структурно-логические схемы, таблицы, графовые модели в физике) — это ее своеобразная упаковка для передачи или хранения.

Осмысление с дидактических позиций *этапов функционирования информации* позволяет при использовании этой концепции обогатить палитру приемов учебной деятельности студентов.

Сочетание информационного и деятельностного подходов в обучении обогащает друг друга и позволяет разработать *интегрированную информационно-деятельностную концепцию образования*, которая в конечном итоге характеризует *парадигму продуктивного обучения*, т.е. обучение через создание студентом образовательных продуктов.

Образовательная концепция всеединства (заимствованная из философии русского космизма) основывается на том, что все области научного знания объединяет общее — человек. И физика — это не наука о физических явлениях в природе и химии... Перед нами всюду одно и то же — проекция человека на тот или иной срез исследуемого предмета. А так как в каждую эпоху мы немного иные, то и наши высказывания о мире звучат по-разному. Это называют прогрессом науки. Но модели, образы, метафоры и у физиков, и у гуманитариев едины.

Так что не стоит, по мнению приверженцев этой концепции, студенту-физику изучать культурологию. Лучше построить курс физики так, чтобы в нем звучали и культурологическая, и социологическая компоненты.

Концепция гуманизации и гуманитаризации физического образования все чаще звучит в последнее время. Смысл, который включается в эти понятия, связан, с одной стороны, с насыщением образовательного процесса «естественников» гуманитарными знаниями (гуманитаризация), и, с другой стороны, с целевой направленностью естественно-научного образования в интересах человека, с учетом его запросов и перспектив развития общества (гуманизация).

Однако существует и другой аспект — «гуманитарность», связанный с особенностями познания человеком окружающего

мира. Суть его в том, что на каждом этапе исторического развития человечество вырабатывало некоторый организующий принцип, в соответствии с которым осуществлялся отбор объектов научного рассмотрения. Этот принцип был отражением общекультурных ценностей. Примерами таких принципов являются «принцип простоты», «принцип относительности» и т.д. В настоящее время на первое место выдвигается принцип, согласно которому «все влияет на все». Именно с ним человечество входит в XXI век. Физика как составная часть общечеловеческой культуры должна раскрываться при показе тесной взаимосвязи материального и духовного начал в жизни человека. Процесс же воспитания студентов осуществляется при обучении эпизодически и разрозненно. Для устранения этого недостатка необходима разработка новых форм и технологий преподавания физики.

Концепция формирования ценностного отношения к знаниям в процессе профессиональной подготовки предполагает переход к *новому* пониманию роли и назначения учебного предмета «Общая физика» в формировании личности студента. Этому в первую очередь будет способствовать понимание ценности приобретаемых знаний. Определяющая ценность физического образования все еще усматривается лишь в том, чтобы студенты достаточно прочно усвоили необходимые знания и умения. Отношение студентов к учению, процессу познания, к оценочным суждениям относительно того или иного элемента знаний, факта, понятия, закона, теории и, как результат — научной картины мира является, согласно этой концепции, весьма значимым в физическом образовании. Ценностно-ориентационная составляющая обучения неотделима от предметно-познавательной, органически включена в нее и составляет мотивационную, смысловую основу обучения. Наделение личностным смыслом усваиваемого студентом содержания образования формирует активную позицию в его учебной деятельности.

Концептуально-теоретическая *модель гуманитаризации* физического образования включает следующие основные направления:

1) выявление и всестороннее использование этико-гуманистического потенциала физики с акцентированием его аксиологических аспектов;

2) многоаспектное использование историзма;

3) выявление и анализ философского, методологического содержания теоретических положений;

4) установление и использование связей между различными областями человеческого знания и культуры;

5) интеграция и использование методов познания и исследования естественных и гуманитарных наук;

6) усиление эмоционально-ценностного аспекта обучения и его эстетической направленности за счет широкого использования произведений художественной литературы, музыкального и изобразительного искусств, иллюстрирующих смысл, эстетическую и общекультурную значимость изучаемых явлений и законов;

7) усиление экологических аспектов обучения, формирование эколого-аксиологического подхода к будущей профессии и гражданской деятельности на основе концепции коэволюции природы и общества;

8) включение в число объектов физического познания человека во множестве его связей с окружающим миром, а именно: человек — физический объект и физическая система, место человека в мире, обусловленность свойств организма физическими условиями среды обитания и т.п.;

9) последовательная замена информационных методов обучения концептуально-аналитическими, обеспечивающими креативный уровень образования и создающими условия для творческого самовыражения, самореализации личности и развития способностей адаптации в быстроменяющихся условиях современного общества;

10) развитие информационной культуры студента в условиях формирования новой парадигмы информатизации человеческого общества;

11) использование личностно-ориентированной, вариативной педагогики обучения, индивидуализированной в зависимости от типа мышления и психологических особенностей студента.

Предстоит концептуально-содержательная разработка и апробация системы гуманитарно-ориентированных учебно-методических пособий, дидактических средств и компьютерных программ по курсу общей физики.

Концепция усиления воспитательной функции обучения в последнее время является актуальной, т.к. а) произошла смена приоритетов образования; б) процесс воспитания студентов осуществляется эпизодически и разрозненно. Приобщению студентов к системе общечеловеческих ценностей, формированию гражданина способствует огромный потенциал, заключенный в физике.

К основным содержательным элементам, раскрывающим взаимосвязь и взаимодополнительность науки и культуры в физическом образовании, относятся:

1) общие основания науки и культуры (идеи, принципы, понятия и т.п.);

2) общекультурные ценности естественнонаучного знания;

3) взаимодействие и взаимообусловленность науки и искусства;

4) взаимосвязь науки и культуры на различных этапах развития науки;

5) научная картина мира и культура;

6) культурное наследие;

7) сближение естественнонаучной и гуманитарной сфер культуры, естественнонаучного и гуманитарного знания;

8) изучение и сохранение материальных памятников культуры;

9) культура и творчество ученых;

10) стратегия познания, стиль мышления как отражение культуры соответствующей эпохи.

Раскрыть взаимосвязь науки и культуры в учебных курсах, в том числе и в электродинамике, можно за счет включения соответствующих сведений в лекции, при обсуждении специальных вопросов на семинарских занятиях; при решении физических задач общекультурного содержания; на основе физического эксперимента (демонстрационного и лабораторного), при использовании разнообразных дидактических материалов.

Разрабатывается также концепция обучения, в которой процесс потребления знаний и создание новых совмещений во времени — это *обучение на основе поисковой деятельности* студента. Эта концепция позволяет формировать качества творческой личности и получать общественно значимый интеллектуальный продукт — гипотезы, изобретения и открытия, обучать не столько знаниям, сколько средствам и способам их использования. При этом ведущая деятельность в обучении — не учебная, а поисково-изобретательская, включающая синтез решения ключевых задач с применением эвристических технологий.

Концепция повышения логической грамотности студентов в процессе изучения физики предполагает целенаправленное знакомство и применение студентами в решении конкретных задач логических операций и законов (анализа, синтеза, обобщения, сравнения, законами противоречия, достаточного основания, исключенного третьего, тождества). Для успешного овладения физическими знаниями и умениями необходим достаточно высокий уровень логической грамотности.

Приведенный выше обзор современных концепций модернизации физического образования показывает, что подходы к решению накопившихся за многие годы образовательных проблем многообразны, что не существует легких решений в области выработки и реализации общей стратегии развития физического образования в университете.

1.3. Концептуальные основы совершенствования методической системы изучения классической электродинамики

Требования к профессиональной подготовке, т.е. к знаниям и умениям специалиста-физика определяются новой квалификационной характеристикой (КХ). При ее реализации возникает ряд проблем дидактического характера, которые нуждаются в специальном исследовании. Как эффективно организовать обучение физике, являющейся основой мировоззрения и специальных знаний будущего ученого, инженера,

преподавателя? Как преодолеть обострившееся противоречие между ростом объема необходимых знаний и возможностью их усвоения студентами в установленные сроки? Какой минимум знаний и умений необходимо при этом формировать? Что действительно важно студенту знать и уметь и чем можно пренебречь? Как связаны между собой учебное знание и учебное умение в различных измерениях (дидактическом, психологическом, техническом, методологическом)?

Развитие вузовской дидактики может осуществляться как инновационный процесс: замена устаревших и неэффективных средств новыми для данных условий и более эффективными, использование новых идей, технологий.

Организация и управление процессом модернизации методической системы изучения классической электродинамики основываются на определенной базе, которая включает:

1) *банк* применяемых в вузах *педагогических технологий* изучения классической электродинамики, информационную базу их концепций, алгоритмов, учебно-методического, материально-технического, организационного обеспечения;

2) критерии выбора модернизации педагогической технологии, отправные позиции *проектирования* новой образовательной практики изучения классической электродинамики;

3) *механизмы включения* (использования, внедрения, освоения) инновационной педагогической технологии в реальный учебно-воспитательный процесс;

4) *банк диагностического инструментария* для обеспечения оценки эффективности модернизированной технологии в сравнении с имеющимися результатами.

Вопросы совершенствования преподавания общего курса физики в последнее время интенсивно обсуждаются на достаточно представительных форумах: съезде российских физиков-преподавателей [13], научно-методической конференции «Современный физический практикум» [14], международном конгрессе «Наука и образование на пороге III тысячелетия» [15]. Однако решения новой складывающейся парадигмы образования касаются либо очередного изменения программ и содержания лекционного или лабораторного кур-

сов, либо широкого внедрения новых демонстрационных и лабораторных установок, либо компьютерных технологий. Нередко рассматриваются принципы построения и структура раздела общего курса физики с выделением инвариантной, фундаментальной составляющей содержания курса на основе максимального приближения к процессу научного исследования, осуществляемого вне лекционных и лабораторных занятий, при выполнении студентами курсовых и дипломных работ. Перечень лабораторных практикумов формируется, по существу, стихийно, основываясь на наличии материально-технического обеспечения и пристрастия преподавателя к тем или иным темам курса. В *новой*, еще складывающейся *парадигме физического образования* провозглашается, что назначение образования — не в том, чтобы вооружить будущего специалиста-физика некой суммой знаний, а в том, чтобы сформировать умения применять полученные знания в любой деятельности — практической, теоретической, познавательной, профессиональной и др.

Концептуальные основы изучения раздела классической электродинамики включают в себя ряд *общих* положений, в которых сформулированы:

- основные цели и задачи раздела как базы для изучения теоретической электродинамики и специальных дисциплин;
- основы формирования опыта творческой деятельности студентов и их эмоционально-ценностных отношений;
- принципы построения содержания раздела в соответствии со всеми организационными формами;
- основные виды знаний, умений и навыков, которые должны приобрести студенты при изучении классической электродинамики;
- структура раздела;
- информационно-деятельностная технология обучения, направленная на превращение традиционного «усвоения содержания» в деятельность по овладению знаниями и методами физической науки;
- освоение студентами научного языка раздела (тезауруса электродинамики);

- согласование отдельных тем раздела на основе принципа генерализации учебного материала.

Кроме того, система общих положений *дополняется* положениями, направленными на изменение (модернизацию) дидактической системы изучения классической электродинамики:

- тесная взаимосвязь *содержания* лекций, семинарских, лабораторных занятий;

- широкое использование физического практикума с а) организацией по его итогам конференций (семинаров); б) решением студентами в ходе практикума исследовательских и конструкторских задач; в) использованием компьютера для комплексного измерения физических величин, автоматизации измерительных процессов;

- деление курса по ступеням (блокам), включающим научную методологию и научные методы исследования;

- самостоятельное планирование, разработка и конструирование лабораторных работ студентами;

- использование разнообразных методов преподавания и учения (демонстрационного и мысленного экспериментов; построение аналогий; методов преобразования информации о состоянии математических систем в электронном импульсе и др.);

- многозадачные наборы по степеням сложности, по числу законов, явлений, процессов лекционных и лабораторных демонстраций (с помощью одной лабораторной базы можно иллюстрировать значительное число физических законов, процессов);

- формирование практикума как основной составной части курса электродинамики (выполнение каждой лабораторной работы предусматривает изучение основных физических явлений именно на опыте — изучение явлений, умения проведения эксперимента; осмысление и обобщение полученных результатов);

- представление в практикуме всех тем курса классической электродинамики и др.

Реализация этих положений определяет реорганизацию учебного процесса и изменения *дидактической системы в целом*, а не только отдельных ее элементов. При этом модер-

низация системы должна осуществляться на основе современных представлений о психологических процессах усвоения знаний и умений (применим в описании информационно-психологический подход).

Для упрощения анализа вначале *ограничим* предмет рассмотрения одноаспектным анализом дидактической системы — с точки зрения *взаимосвязи знаний и умений*, формируемых у студента при изучении курса общей физики, в частности, классической электродинамики. Такой анализ нам представляется наиболее важным, определяющим конечный результат подготовки специалиста-физика. Все учебные дисциплины, в том числе и классическая электродинамика, характеризуются не только информационно-теоретическим содержанием, но и своей практической применимостью, что в дидактическом аспекте осуществляется в процессе формирования знаний и умений. При этом научно-теоретическая подготовка (т.е. формирование знаний) обычно *опережает* практику (т.е. формирование умений). Помимо этого, процессы формирования знаний и умений в вузе *разделены* между собой, что проявляется в том, что на лекционных занятиях формируются знания, а на лабораторных — экспериментальные умения.

Поставим перед собой две задачи: 1) проанализировать традиционный подход к взаимосвязи знаний и умений студентов при изучении классической электродинамики (как раздела курса общей физики) в университете; 2) выделить возможные пути изменения (модернизации) всех основных компонентов дидактической системы подготовки специалиста-физика на основе концепции взаимосвязанного формирования знаний и умений.

Будем исходить из того, что *процесс формирования* у студента необходимых для профессиональной подготовки *умений* становится *более значимым*, нежели процесс формирования *знаний*, многие из которых студент не может никогда и нигде применить. Этот процесс необходимо рассматривать в разных аспектах связи с процессом формирования умений. Это концептуальное положение является весьма важным для мо-

дернизации всей дидактической системы изучения классической электродинамики, особенно ее основных организационных форм (о чем речь пойдет в гл. 5 п. 5.3).

Второе не менее важное концептуальное положение базируется на рассмотрении понятия «образовательная система», выделив которое можно определять пути совершенствования образовательной системы. Система (от греч. *systema* — целое, составленное из частей; соединение) — множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующих определенную целостность, единство. Подходы к этому понятию могут быть разной степени общности. Например, образовательная система, рассматриваемая как состоящая из трех подсистем: образовательной стратегии, педагогической технологии и дидактических технологий, позволяет создать условия для объединения усилий обучающихся и обучаемых на решении общих задач повышения эффективности формирования, восприятия и переработки учебной информации в рамках единого технологического комплекса. Рассматривая образовательную систему как технологический комплекс, объединяют содержательно-целевые, философские, психологические и дидактические аспекты анализа.

Системный подход основан на использовании важнейшего положения диалектики о взаимосвязи явлений природы. Он предполагает рассмотрение исследуемого явления или объекта в их развитии (изменении) при взаимодействии с окружающей средой. Объект, с точки зрения системного подхода, изучается во всей совокупности его свойств, структурных особенностей и связей. Система может содержать десятки тысяч элементов. При этом не представляется возможным одновременно оптимизировать все элементы (подсистемы). С помощью современных ЭВМ решаются задачи оптимизации путем композиции подсистем (элементов), т.е. объединения их в блоки, либо декомпозиции (дробления) системы. На рис. 6 представлена общая схема иерархии системного подхода к изучению классической электродинамики.

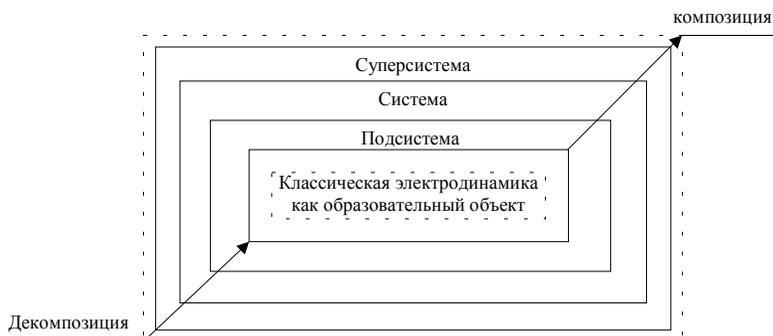


Рис. 6

Образовательная система изучения классической электродинамики является составной частью суперсистемы (или надсистемы) современной электродинамики. Все части системы должны рассматриваться не обособленно, а в обязательном взаимодействии друг с другом. Более того, самую низшую в иерархическом подчинении часть — классическую электродинамику как объект — будем рассматривать как самостоятельную отдельную систему.

В *дидактической системе* подготовки специалиста-физика выделим следующие взаимосвязанные *компоненты*: целеполагание (I); информационно-содержательное обеспечение (II); материально-техническое обеспечение (III), организационно-временное обеспечение (IV); методическое обеспечение (V); результаты обучения (VI) (рис. 7). Дидактическая система — это искусственно созданная система, и потому она может управляться и изменяться. Каждый компонент дидактической системы имеет свою специфику. Рассмотрим отдельные компоненты, построив их анализ с позиции взаимосвязи знаний и умений.

Целеполагание — первый (I), центральный компонент системы — достаточно сложный и определяется современными концепциями формирования образованного специалиста-профессионала XXI века. С позиции взаимосвязи знаний и умений цели обучения — это проектируемый идеальный конечный результат обучения.

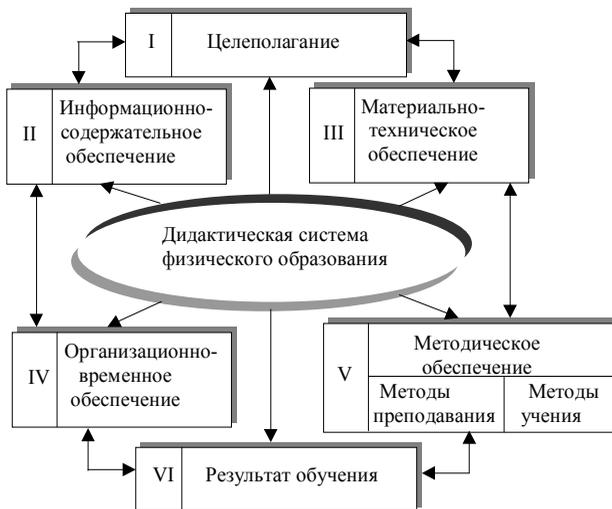


Рис. 7

Наиболее эффективным для решения стоящих перед вузом целей и задач является *технологический подход* к обучению, в рамках которого реализуется модель полного усвоения знаний и умений. Он существенно отличается от традиционного. В традиционном обучении всегда фиксируются параметры условий обучения (одинаковое для всех время, способ представления информации). Единственное, что остается незафиксированным, — это результаты учебного процесса, которые характеризуются заметным разбросом в том, что именно эти результаты будут заранее определенными, постоянными и одинаковыми для всех, а условия обучения начнут изменяться и подстраиваться под достижения всеми студентами заданного результата — полного усвоения знаний и умений. Модель полного усвоения знаний и умений представляет собой процесс с заранее планируемыми результатами обучения и включает в себя совокупность видов деятельности, используемых преподавателем: 1) постановка учебных целей, их максимальное уточнение и формулировка с ориентацией на достижение результатов; 2) подготовка учебных материалов (II компонент) и организация всего хода обучения в соот-

ветствии с выработанными целями (III-IV компоненты), оценка текущих результатов, коррекция обучения, направленная на достижение поставленных целей (V компонент), заключительная оценка результатов (VI компонент). Результатом профессионального обучения являются те знания и умения, которые *реально* усвоены студентами.

Разницу между *проектируемыми* и *реально усвоенными* знаниями и умениями можно обнаружить только при решении студентами конкретных практических профессиональных задач. Именно поэтому необходим контрольный аппарат для проверки и оценки результатов обучения. При этом адекватная с целью обучения проверка результатов основана на применении знаний, т.е. умений. Усвоение знаний можно проверить *только* при проверке соответствующих умений. Другими словами, знания без их практического применения являются «знаниевым багажом», который может быть и не востребован на практике. Статус умений в этом плане более высок для профессиональной подготовки специалиста. Например, чтобы студент мог усвоить знание общих принципов эксплуатации физических приборов, ему не нужно учить наизусть эти принципы (усваивать знания о них), а нужно организовать работу по эксплуатации физических приборов, в ходе которой будут сформированы необходимые для этого умения. Знания о принципах эксплуатации приборов необходимы для «обслуживания» этих умений.

Специальная и профессиональная подготовка физика существенно зависит от глубины усвоения той *базы знаний и умений*, которая входит во II компонент дидактической системы — *информационно-содержательный*. Трансформация и детализация базы знаний и умений, заложенных в квалификационной характеристике (КХ) специалиста, на уровень каждой учебной дисциплины предполагает построение *дерева целей*, которые конкретизируются в перечне знаний и умений, формируемых при изучении отдельных разделов и тем.

В педагогике продукт (результат) обучения (VI компонент) рассматривается как целостное образование, как система. Его основными подсистемами являются: 1) знания; 2) умения, навыки; 3) опыт эмоционально-ценностного от-

ношения к знаниям, предмету и процессу познания; 4) опыт творческой деятельности (рис. 8).



Рис. 8

1 и 2 подсистемы (знания и умения) — стержень, остов учебной дисциплины. Они всегда указываются в программах. Но если мы хотим достичь полного их усвоения, то следует учитывать логику усвоения 3 и 4 подсистем, необходимых для развития мышления и творческих способностей студентов, и воспитательный аспект результатов обучения, т.е. отношение к предмету, мировоззрение, поведение (как проявление отношения).

Другими словами, в продукты обучения (VI компонент) входят:

- мировоззрение личности;
- кругозор и эрудиция;
- качества ума, развитие интеллекта личности (операции и приемы мышления, способы, формы, методы познавательной деятельности);
- умение учиться, потребность приобретать и пополнять знания;
- навыки самообразования;
- активность;
- работоспособность (умственная и физическая) личности;
- воспитанность (нравственная, эстетическая, экологическая, политехническая и др.);

- профессиональная ориентация и подготовка к жизни и другие характеристики опыта творческой деятельности и эмоционально-ценностного отношения.

Общую же динамику продуктивности учебного процесса выражают следующими уровнями обучения (усвоения): I уровень — знакомства; II уровень — репродукции; III уровень — полноценные знания; IV уровень — трансформации знаний.

Принципы построения *содержания* курса классической электродинамики (II компонент): 1) фундаментальность; 2) преемственность; 3) системность; 4) логичность; 5) наглядность.

Одной из ведущих идей повышения научного уровня изучения электродинамики и определения содержания этого раздела является *генерализация учебного материала*, его обобщение *на основе важнейших теорий* классической электродинамики: теории Максвелла и Лоренца. Отбор содержания и определение структуры раздела проводятся в соответствии с этой идеей, которая позволяет оценить и выделить главное в содержании с точки зрения образования, развития студентов и формирования мировоззрения и отбросить то, что утратило научную ценность и практическую значимость. *Основная задача электродинамики* состоит в отыскании поля по заданному распределению зарядов и токов в пространстве. В принципе, она разрешается при задании начальных и граничных условий. Возможна и *обратная задача* — нахождение распределения зарядов и токов по их полю.

Качественное *отличие* вузовской подготовки по физике от школьной состоит в переходе от ориентации на изучение явлений и эмпирический уровень познания к освоению методов физического исследования и формированию у студентов теоретического уровня мышления.

Важнейшие теоретические и экспериментальные методы классической электродинамики изучаются при рассмотрении электромагнитного взаимодействия между материальными объектами.

Электромагнитные взаимодействия проявляются в тех пространственных масштабах, в которых осуществляется наша повседневная жизнь. Практически все «силы», обуславливающие физические явления в нашем повседневном окружении,

за исключением силы тяготения, являются, в конечном счете, электромагнитными. Конечно, все многообразные связи и явления не могут быть описаны законами электродинамики, поскольку на каждом уровне явления существуют свои специфические черты и закономерности. Однако электромагнитные взаимодействия на всех уровнях являются в определенном смысле элементарной связью, с помощью которой образуется вся цепь связей. Этим определяется практическое значение электромагнитных явлений.

Чрезвычайно велико значение теории электромагнитных явлений. Она является первой релятивистски инвариантной теорией, которая сыграла решающую роль в возникновении и обосновании теории относительности и явилась тем «полигоном», на котором проходили проверку многие новые идеи.

Существенно общепhilosophическое и мировоззренческое значение электромагнетизма. Например, в рамках электромагнитных явлений отчетливо проявляются особенности полевой теории существования материи, прослеживаются взаимопревращения ее видов и различных видов энергии.

Возможны *два пути изучения теории электромагнитных явлений*. При изучении *без теории относительности* в качестве экспериментальных основ теории электричества и магнетизма взяты инвариантность элементарного заряда, закон Кулона, принцип суперпозиции для электрического поля, закон Био-Савара, принцип суперпозиции для магнитного поля, сила Лоренца, закон электромагнитной индукции Фарадея, токи смещения Максвелла, закон сохранения заряда и закон сохранения энергии.

При изучении *с теорией относительности* закон Био-Савара, принцип суперпозиции для магнитного поля и сила Лоренца перестают играть роль независимых экспериментальных фактов в формулировке теории. Этот путь используется с максимальным упрощением математического аппарата. Он включает в себя следующие этапы. Рассматривается релятивистская природа магнитного поля. Выводится формула взаимодействия прямолинейных токов, текущих по параллельным бесконечно длинным проводникам, получается сила Лоренца исходя из электрического взаимодействия зарядов. Полевая интерпретация этих результатов позволяет найти

индукцию магнитного поля тока, текущего по прямолинейному, бесконечно длинному проводнику. Принцип суперпозиции для магнитного поля является теперь следствием принципа суперпозиции для электрического поля.

Переход к индукции магнитного поля произвольных токов и вывод соответствующих уравнений проводятся при использовании независимости локальных соотношений от значений физических величин в других точках. Затем теоретически выводится закон Био-Савара и тем самым завершается анализ связи, которая существует в рамках релятивистских представлений о пространстве и времени между инвариантностью элементарного электрического заряда, законом Кулона, принципом суперпозиции для электрического поля и законом Био-Савара, силой Лоренца и принципом суперпозиции для магнитного поля.

IV компонент дидактической системы — *организационно-временное обеспечение* подготовки специалиста традиционно отражает это в сложившихся организационных формах обучения: лекциях, семинарских, практических, лабораторных занятиях, самостоятельной внеаудиторной работе студентов.

Задача интенсификации процесса изучения классической электродинамики может быть решена на основе: 1) модернизации структурирования учебного материала; 2) использования современных технологий обучения.

Система мероприятий и соответствующее *методическое обеспечение* (V компонент) базируются на общих концепциях: 1) универсального междисциплинарного принципа обучения и на 2) интеграции высшего образования и академической фундаментальной науки.

С этой целью реализуются внутренние резервы совершенствования всех блоков содержания: естественнонаучного, математического и специального образования; создается универсальная логическая связь изложения отдельных тем; устанавливаются информационные связи между дисциплинами; проводится согласование программ, учебников по фундаментальным дисциплинам, разработка экспериментальных учебников, компьютеризированного лабораторного практикума; разрабатывается методическое обеспечение дистанционного образования; создается электронная энциклопедия и т.д.

Основные принципы, на которых базируется *преподавание* классической электродинамики:

- системность и генерализация — максимальное внимание усвоению студентами базовых, системообразующих понятий и законов;

- принцип преемственности и сбалансированности учебных дисциплин (математики и классической электродинамики);

- индивидуальная работа студентов (тренировочная и творческая) как основная форма учебной работы;

- опора на эксперимент;

- повышенное внимание к математике как к языку науки.

Согласно исследованиям психологов, максимально эффективным средством развития личности студента является технология осуществления *деятельностного подхода* в обучении. Поэтому в V компоненте особо выделена составляющая, связанная с учением. Технология деятельностного подхода основана на широком применении разнообразных видов самостоятельной вариативной деятельности студентов. Она позволяет развивать познавательный интерес к физике. Психологи доказали и обосновали, что интерес возникает в самостоятельной познавательной деятельности студентов.

При этом ряд основополагающих тезисов должны быть приняты априори:

а) изучение электродинамики и физические исследования студентов неразделимы;

б) классическая электродинамика — важнейший системообразующий элемент естественнонаучного и технического знания, высокотехнического производства;

в) изучение электродинамики должно строиться так, чтобы прививать студентам универсальный способ получения знаний, приводящий к выработке системного мышления; изучение классической электродинамики должно сопровождаться формированием у студентов умения пользоваться современной вычислительной техникой при решении сложных физических задач, моделировании физических процессов и компьютерных управлений физическими экспериментами;

г) в условиях нестабильного общества, когда старые идеалы и ценности разрушены, а новые только определяются, значение воспитательной работы возрастает. Вся система учебно-воспитательной работы должна быть поставлена на службу гуманистическим идеалам.

ГЛАВА 2. ЦЕЛЕПОЛАГАНИЕ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТА И ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КЛАССИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

2.1. Нормативные требования к изучению электродинамики в университетском курсе общей физики

Целеполагание определяется современными концепциями формирования образованного специалиста-профессионала XXI века. В них учитывается, что на пороге XXI века идет смена научной картины мира, переход от квантово-полевой картины, построенной на идеях теории относительности и квантовой механики, к новой, в основе которой лежат идеи нелинейных явлений, хаоса, самоорганизации. Результатом профессионального обучения являются те знания и умения, которые *реально* усвоены студентами.

Получив необходимые знания и умения, специалист должен знать минимум содержания образовательной программы. Специальная и профессиональная подготовка физика существенно зависит от глубины усвоения *общей базы знаний и умений*.

Образовательный стандарт высшего образования Республики Беларусь [16] является основополагающим исходным документом, на основе которого разрабатывается весь учебно-методический комплекс изучения предметов в университете, начиная с учебных программ и заканчивая учебниками, методическими пособиями и различными средствами обучения. Стандарт физического обучения — это документ, определяющий содержание курса физики по ступеням обучения и требования к подготовке студентов по предмету. Предметом нашего рассмотрения является раздел общей физики «Электричество и магнетизм».

Специалист-профессионал должен иметь представление:

- о структурной организации материи, фундаментальных физических законах, явлениях и эффектах;
- о современных научных методах познания природы, о соотношениях эмпирического и теоретического в познании;

- о сущности и социальной значимости своей будущей профессии;

- об основных проблемах в области профессиональной деятельности;

- о принципах рационального природопользования, влиянии научно-технической деятельности на биосферу;

- о новейших открытиях в естествознании.

Специалист-профессионал должен **владеть:**

- умениями и навыками самообразования и самосовершенствования;

- идейным фундаментом современной физики;

- знаниями фундаментальных явлений и эффектов в области физики;

- компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации;

- основами психолого-педагогических знаний и методикой преподавания физики и информатики.

Специалист-профессионал должен **уметь использовать:**

- эффективные формы и методы обучения;

- знания по планированию, организации и анализу своей деятельности;

- новые технологии обучения.

Специалист-профессионал должен **иметь опыт:**

- применения полученных знаний и приобретенных навыков в профессиональной деятельности;

- использования научной литературы по физике;

- постановки задач, связанных с реализацией профессиональных функций;

- работы в коллективе, принятия решений при наличии различных мнений.

Одним из основных пунктов в образовательном стандарте высшего образования Республики Беларусь является квалификационная характеристика специалиста-физика, которая включает в себя назначение специалиста, общие требования к знаниям и общие требования к умениям специалиста. Приведем базу общих детализированных требований знаний и умений КХ.

Назначение специалиста

Специалист должен быть подготовлен (после адаптации) к организационно-управленческой, научной, производственной и преподавательской деятельности в области экспериментального исследования физических процессов на различных уровнях структурной организации материи при различных физических условиях; к теоретическому анализу эффектов и явлений и предсказанию новых физических закономерностей на основе современных теоретических представлений, математических и компьютерных методов; к разработке приборов на основе новых материалов и физических принципов; к созданию новых технологий, использующих математические методы и компьютерную технику; к работе по математическому моделированию разнообразных процессов и объектов.

Специалист предназначен, главным образом, для работы в академических, вузовских и отраслевых научно-исследовательских институтах; проектных и научно-производственных организациях, предприятиях и объединениях; управленческих и экспертных учреждениях различных министерств и ведомств; бюро, фирмах и прочих организациях различных форм собственности; учреждениях системы высшего, среднего и среднего специального образования Министерства образования РБ и других министерств и ведомств; аналитических, физических, физико-химических, физико-математических лабораториях промышленных, медицинских и сельскохозяйственных предприятий, а также организаций и учреждений, использующих сложную физическую аппаратуру, методы математического моделирования и физического контроля.

Общие требования

Специалист должен иметь высокий уровень гуманитарных, социальных, общенаучных, общих профессиональных и специальных знаний, позволяющий успешно осуществлять после присвоения ему соответствующей квалификации или академической степени профессиональную адаптацию при накоплении практических навыков в НИИ, учебных учрежде-

ниях, на предприятиях соответствующего профиля и последующую активную творческую деятельность.

Имея фундаментальную научную и практическую подготовку, специалист должен уметь самостоятельно принимать профессиональные решения с учетом их социальных и экологических последствий, непрерывно пополнять свои знания, анализировать исторические и современные проблемы экономической и социальной жизни общества, знать место и роль в ней своей профессиональной деятельности, проблемы и тенденции мирового развития.

Специалист должен владеть государственными языками (белорусским, русским) в объеме, необходимом для исполнения своих служебных обязанностей, уметь использовать в профессиональной деятельности как минимум один из иностранных языков, знать основы мировой и отечественной культуры, иметь потребность в постоянном профессиональном, культурном и физическом самосовершенствовании.

Общие требования к знаниям специалиста

Специалист ***должен знать***:

- *основы социально-гуманитарных дисциплин*, включая историю науки и техники, мировую и отечественную культуру, основы эстетики и искусства, этику, религиоведение, философию, социальную психологию, экономические теории, политологию, правоведение, один из иностранных языков на уровне базовой подготовки;

- *естественнонаучные дисциплины*, создающие фундамент теоретических знаний по специальности, включая высшую математику, методы математической физики, программирование и математическое моделирование, астрономию и основы экологии;

- *общепрофессиональные и специальные дисциплины*, создающие теоретическую базу знаний и практических навыков по специальности, в том числе методы планирования и проведения физических экспериментов, общие принципы эксплуатации физической аппаратуры, общие приемы сбора, систематизации и обработки информации, включая общую и теоретическую физику, радиоэлектронику, основы автоматизации эксперимента, теорию групп, физику твердо-

го тела, физику лазеров, спектры и строение молекул, физику волновых процессов, физику биосистем, физику конденсированных сред, педагогику и методику воспитательной работы, методику преподавания физики, методику преподавания информатики, технические средства обучения;

- *специальные дисциплины*, создающие углубленную базу знаний по соответствующей специализации, в том числе методы исследования физических систем различного уровня сложности, методы статистической обработки результатов измерений.

Общие требования к умениям специалиста

Специалист *должен уметь*:

- на научной основе организовывать свой труд, владеть компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации в сфере его профессиональной деятельности;

- приобретать новые знания, используя современные информационные технологии;

- творчески применять полученные знания и приобретенные навыки в профессиональной деятельности;

- планировать, организовывать и вести научно-исследовательскую, научно-производственную, опытно-конструкторскую работу;

- диалектически мыслить и аргументировать свою точку зрения, анализировать факты и прогнозировать развитие событий, принимать решения с учетом экономических, социальных и этических требований, осуществлять математическое моделирование физических явлений, активно использовать для решения профессиональных задач вычислительную технику, оценивать исторические и современные проблемы и тенденции, готовить научные материалы, составлять рефераты, обзоры, рецензии;

- самостоятельно принимать решения, разрабатывать и вести техническую документацию, организовывать работу исполнителей и делопроизводство;

- рассчитывать эффективность проектных и технологических решений с учетом конъюнктуры рынка;

- принимать участие в научных исследованиях, связанных с совершенствованием и развитием физики, современных ее направлений и физических методов исследования;

- организовывать и вести обучение рабочего и среднего технического персонала, осуществлять мероприятия по предотвращению производственного травматизма и профессиональных заболеваний;

- преподавать физику и информатику в средних, средних специальных и высших учебных заведениях;

- планировать, организовывать и вести научно-методическую и учебно-методическую работу.

Основные вопросы, которые должен знать студент по курсу «Электричество и магнетизм»:

- электрический заряд и его свойства; закон Кулона; напряженность электрического поля; электростатическая теорема Гаусса;

- потенциальный характер электростатического поля; разность потенциалов; связь между напряженностью поля и потенциалом; уравнение Пуассона;

- электростатическая индукция; поле при наличии проводников; электрическая емкость; конденсаторы;

- поляризация диэлектриков; поляризованность; поле при наличии диэлектриков; вектор электрического смещения;

- энергия системы точечных зарядов и системы заряженных проводников; объемная плотность энергии электрического поля;

- электрический ток и его основные характеристики; законы Ома и Джоуля-Ленца; правила Кирхгофа;

- природа проводимости металлов и полупроводников, ее зависимость от температуры; сверхпроводимость;

- электрические явления в контактах твердых проводников одинакового типа проводимости; электронно-дырочный переход; электронные полупроводниковые приборы;

- эмиссия электронов с поверхности твердых проводников; закон трех вторых; электронные вакуумные приборы;

- электролитическая диссоциация; проводимость электролитов; электролиз; электродные потенциалы; химические источники тока;

- ионизация и рекомбинация в газах; несамостоятельные и самостоятельные газовые разряды; электронные газонаполненные приборы;

- опыты Эрстеда и Ампера; сила Лоренца; индукция магнитного поля; магнитное поле движущегося заряда; закон Био-Савара; магнитные поля прямолинейного и кругового токов;

- закон Био-Савара-Ампера; формула Ампера; теорема Гаусса для магнитного поля; теорема о циркуляции вектора магнитной индукции;

- намагничивание вещества; намагниченность; магнитное поле при наличии магнетиков; напряженность магнитного поля;

- опыты Фарадея; электромагнитная индукция; правило Ленца; токи Фуко; скин-эффект;

- взаимная индукция; теорема взаимности; самоиндукция; энергия магнитного поля; трансформаторы;

- критерии квазистационарности; переходные процессы в цепях с постоянной э.д.с., содержащих емкость и индуктивность;

- свободные электромагнитные колебания в параллельном контуре;

- вынужденные колебания в параллельной и последовательной цепях под воздействием синусоидальной э.д.с.; резонанс напряжений и резонанс токов;

- ток смещения; уравнения Максвелла;

- закон сохранения энергии электромагнитного поля; вектор Умова-Пойнтинга; скорость распространения электромагнитного возмущения.

2.2. Дерево целей в деятельности студента и преподавателя при изучении электродинамики

Любая искусственная система, в том числе и система образования, для эффективного функционирования нуждается в определении целей развития, причем обязательным условием является их постоянное корректирование с целью максимальной адаптации к окружающей среде. Цели системы определяют и стратегию ее развития, модернизации.

Целеполагание — сознательный процесс выявления и постановки целей и задач педагогической деятельности (см. I компонент на рис. 3).

Цель педагогического воздействия является определяющим элементом педагогической деятельности. От нее зависят содержание и средства получения результатов. Целеполагание — достаточно *сложная система*. Педагогические цели могут быть разного масштаба, образуют различную иерархию. Совокупность иерархизированных учебных, познавательных и воспитательных целей называют таксономией целей. Слово «таксономия» происходит от греческих слов *taxis* — располагать по порядку, *nomos* — закон. Понятие таксономия впервые было заимствовано зарубежными учеными для систематизации образовательных целей из биологии, где этим понятием обозначается классификация объектов на основе их естественной взаимосвязи. Кроме того, все используемые для описания объектов категории располагаются внутри таксономии в иерархической зависимости — по нарастающей сложности. Важно, что преподаватель, опираясь на таксономию учебных операциональных целей, может более четко представить, спроектировать деятельность студентов.

Студенты в свою очередь также определяют *свои цели учебной деятельности*. Таким образом, любая деятельность (как преподавателя, так и студента) имеет в своей основе структурно-функциональную схему, представленную на рис. 9.

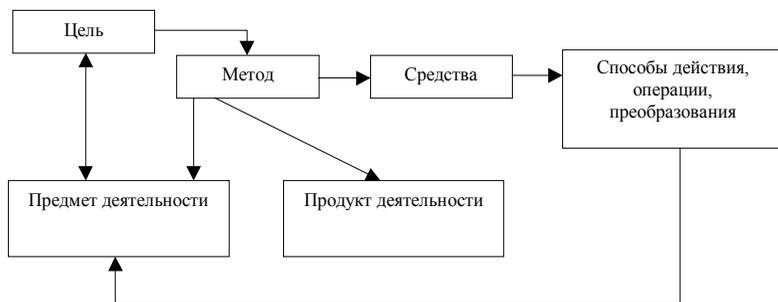


Рис. 9

Цели деятельности преподавателя и цели деятельности студента в учебно-познавательном процессе *не совпадают* (цели преподавания и цели учения). Согласно новой парадигме образования, в центре внимания преподавателя долж-

на быть деятельность учения со всеми ее основными структурными элементами, в том числе и с целями. При описании таксономии целей нередко прибегают к форме графа. Граф — это схема определенного вида. Она состоит из точек A_0, A_1, A_2, \dots , которые называются *вершинами*. Отрезки A_0A_1, A_0A_2, A_0A_3 называются *ребрами*. *Деревом* называется связный граф, не содержащий циклов.

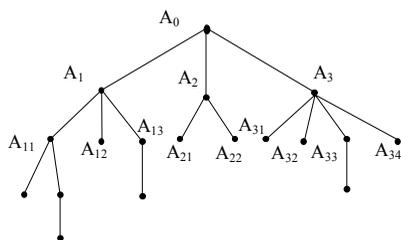


Рис. 10

ранная вершина A_0 называется *корнем* дерева; каждая вершина дерева может служить его корнем (см. Оре О. Графы и их применение. — М.: Мир, 1965). В качестве примера приве-

Для каждой пары его вершин существует единственная соединяющая их цель. Если граф несвязный и не содержит циклов, то каждая его связная компонента будет также деревом. Пользуясь терминологией, принятой в ботанике, эти графы называют *парком*, или *лесом*. Первоначально выб-

дем граф формул типа $A = \frac{B \cdot C^2}{2}$ на рис. 11.

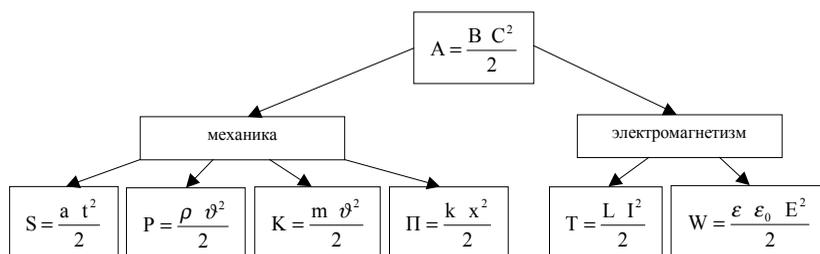


Рис. 11

Любую систему или подсистему можно представить в виде дерева целей, педагогического парка целей, разработку которого необходимо осуществлять, исходя из общих требований: соблюдение иерархии целей согласно системным методам; относительной стабильности целей для рассматриваемых

мого периода времени; полноты совокупности целей; отражения в дереве целей как теоретических, так и прикладных аспектов обучения.

Цели образования нередко *подменяются* зафиксированными образовательными стандартными задачами (подцелями) получения определенных знаний по определенным конкретным дисциплинам. Тот очевидный факт, что научно-технический прогресс достигнут в результате ломки междисциплинарных границ и использования систем знаний, в обучении в должной мере не учитывается. Результат — неподготовленность специалистов к самостоятельной деятельности в современных условиях, в первую очередь выражающаяся в недостаточных знаниях методологии решения комплексных проблем, в том числе и перед современной физикой, отсутствии навыков поведения в организационных системах и знаний закономерностей их развития, размытых нравственных ориентирах.

По нашему мнению, *главной целью образования* A_0 должна явиться подготовка специалиста и человека, способного выйти за рамки конкретной науки, видеть мир в целом, уметь получать и обрабатывать информацию, быть готовым к разработке и реализации концепций развития предметной области с учетом достижений не только естественнонаучных, но и общественных наук.

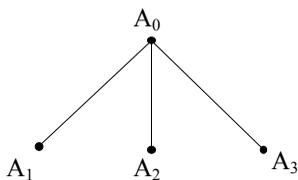


Рис. 12

Определяемая этой целью стратегия образования должна включать, в частности, A_1 — *развитие* у студентов *системного подхода* и навыков использования *системного анализа* в конкретных областях, A_2 — ориентацию образовательного процесса на обоснование студентами *методологии обработки и использования информации*, A_3 — увеличение в образовательном процессе объема самостоятельных работ, связанных с *актуальными проблемами современной физики*, систематический и регулярный пересмотр содержания специальной подготовки с учетом перспектив развития физической науки и техники (рис. 12).

Цель A_0 называют *генеральной целью*. Генеральные цели образования — это государственные цели, общественный заказ. Они разрабатываются специалистами, принимаются правительством, фиксируются в законах и других документах. Стандарты образования, квалификационные характеристики могут входить в это дерево целей. Трансформация и детализация базы знаний и умений, заложенных в квалификационной характеристике (КХ) специалиста на уровень каждой учебной дисциплины, предполагают построение дерева целей, которые конкретизируются в перечне знаний и умений, формируемых при изучении отдельных разделов тем.

В следующую ступень могут входить цели отдельных образовательных систем и этапов образования. Например, цели обучения в вузе на разных курсах разные.

Деревья целей изучения отдельных тем, лекций, семинаров, лабораторных и практических занятий *составляются каждым преподавателем*, исходя из главной цели. Сформулируем в качестве примера дерево целей по преподаванию классической электродинамики (в университетском курсе общей физики) (рис. 13).

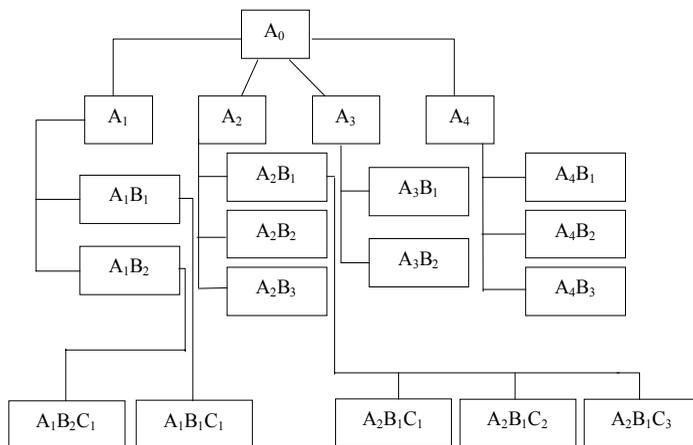


Рис. 13

Здесь уровень 0 — генеральная цель; цели первого уровня — A_j ; подцели первого уровня — A_1V_j ; цели второго уровня — V_j ; подцели второго уровня A_1V_j ; цели третьего уровня — C_q ; подцели третьего уровня — $A_1V_jC_q$.

Уровень 0.

Изложение классической электродинамики в курсе общей физики.

Уровень А (сопоставьте с рис. 13).

A_1 — Дать панораму понятий, законов, моделей, методов исследования электромагнитного взаимодействия.

A_2 — Выработать умения оперировать полученными знаниями.

A_3 — Разработать методы формирования у студентов эмоционально-ценностного отношения к изучению классической электродинамики.

A_4 — Разработать программу формирования опыта творческой деятельности студентов.

Уровень В.

A_1V_1 — Разработать программу формирования у студентов физического мировоззрения.

A_4V_1 — Разработать программу развития физического мышления студентов.

A_4V_2 — Применить новые компьютерные технологии обучения, нацеленные на компьютеризацию самой интеллектуально-познавательной деятельности студента.

A_4V_3 — Переосмыслить и перестроить традиционную систему форм организации учебных занятий.

A_4V_1 — Практически обучить студентов применению физических методов в творческой самостоятельной деятельности.

Уровень С.

$A_1V_1C_1$ — Повысить информационную емкость единиц изучаемого содержания.

$A_2V_1C_1$ — Переосмыслить методы самостоятельной работы студентов (методов учения).

$A_2B_1C_2$ — Применить в самостоятельной работе студентов ЭВМ.

$A_2B_1C_3$ — Обеспечить возможность выбора студентами заданий различных уровней сложности.

К примеру, для построения программы формирования диалектико-материалистического мировоззрения в курсе электродинамики (A_1B_1) ставят конкретные четыре задачи. Во-первых, углубляются знания студентов о строении вещества, продолжается формирование представлений о частицах, входящих в состав атомов, их движении и взаимодействии. Во-вторых, вся совокупность вопросов, связанных с изучением электрических и магнитных полей, в том числе и таких вопросов, как близкое действие и дальнее действие, энергия электрических и магнитных полей, подводит студентов к пониманию материальности электромагнитного поля. В-третьих, изучение закона сохранения электрического заряда дает возможность формировать представления о диалектическом единстве изменяющегося и сохраняющегося в природе. В-четвертых, для формирования представлений о путях познания явлений природы большое значение имеет использование модельных представлений, которые кладутся в основу построения теории. Имеются в виду, в частности, такие модели, как точечный заряд, бесконечная равномерно заряженная плоскость, электронный газ и др.

Принято различать также собственно педагогические задачи и функционально-педагогические задачи на изменение студента, перевод его из одного состояния в другое. Эти цели описывают *задаваемые качества личности студента*.

Функциональные задачи — это задачи *отдельных педагогических актов*: активизация познавательной деятельности студента, организация обслуживания, решение задачи и т.д. Это частные задачи по отношению к педагогическим задачам, их система ведет к решению общих педагогических задач по формированию заданных свойств студента. На рис. 14, 15 представлены, соответственно, деревья целей по *формированию творческой личности студента* и по *активизации познавательной деятельности*.

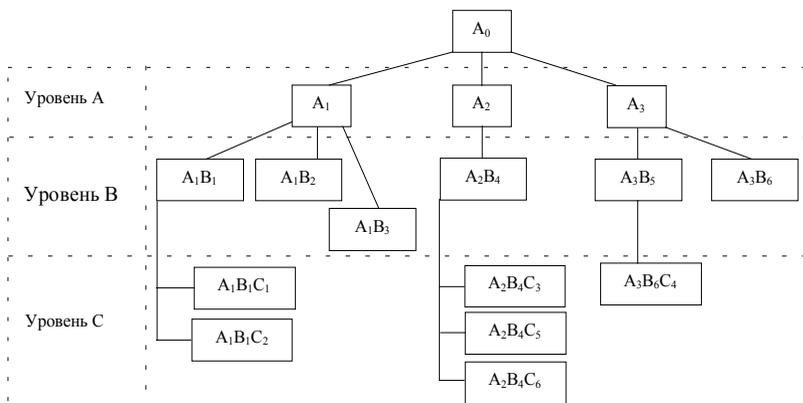


Рис. 14

Уровень 0.

Формирование творческой личности студента.

Уровень А.

A_1 — Качества творческой личности студента и критерии их оценки.

A_2 — Индивидуальная эвристическая деятельность и коллективное творчество.

A_3 — Новые технологии формирования опыта творческой личности.

Уровень В.

A_1B_1 — Поиск и развитие творчески одаренных студентов.

A_1B_2 — Анализ учебной деятельности студентов с целью ориентации на творчество.

A_1B_3 — Проведение целенаправленных бесед по тематике научного исследования.

A_2B_4 — Изучение и применение методов организации эвристической деятельности в студенческой группе на практических занятиях.

A_3B_5 — Проведение научно-технических конференций и семинаров в игровой форме.

A_3B_6 — Организация исследовательской работы студентов на лабораторных занятиях.

Уровень С.

$A_1B_1C_1$ — Разработка заданий по определению уровня развития творчества студентов.

$A_1B_1C_2$ — Обучение на лабораторных занятиях методам моделирования физических процессов.

$A_2B_4C_3$ — Построение у каждого студента системы собственной творческой деятельности.

$A_3B_6C_4$ — Использование результатов исследовательских лабораторных работ в курсовом и дипломном проектировании.

$A_2B_4C_5$ — Организация исследовательской работы студентов на современных ЭВМ и микропроцессорных комплексах.

$A_2B_4C_6$ — Обучение студентов методам АРИЗ и ТРИЗ.

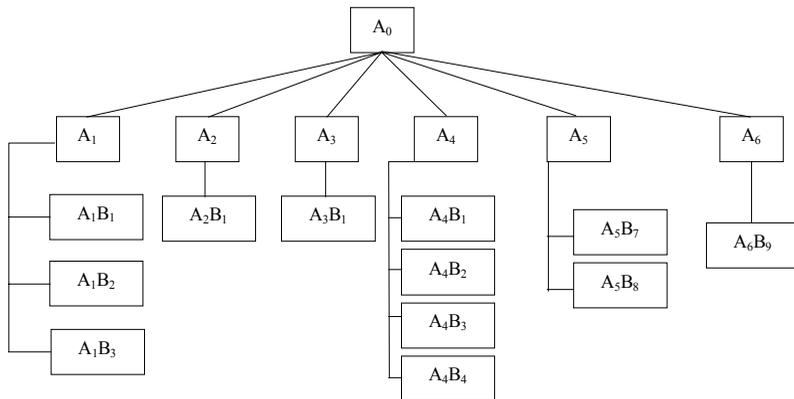


Рис. 15

Уровень 0.

A_0 — Активизация познавательной деятельности студентов (генеральная цель как одна из подсистем комплексной подготовки специалиста).

Уровень А.

A_1 — Организация проблемных учебных занятий.

A_2 — Игровые методы проведения занятий.

A_3 — Обучение студентов индивидуальным и коллективным видам творчества.

A_4 — Разработка комплексной программы и технологии активизации познавательной деятельности студентов.

A_5 — Проведение исследовательских лабораторных индивидуальных занятий по выбору студента.

A_6 — Организация самообучения с помощью аудиовизуальных технических средств.

Уровень В.

A_1B_1 — Проведение проблемных лекций.

A_1B_2 — Организация в процессе проведения занятий дискуссий, диалогов, анализа парадоксов.

A_1B_3 — Проведение научно-практической конференции по тематике проблемных лекций.

A_2B_1 — Внедрение в процесс обучения организационно-деловых игр.

A_3B_1 — Проведение научно-практической конференции и семинарского занятия в игровой форме.

A_4B_1 — Внедрение рейтинговой оценки знаний и умений студентов.

A_4B_2 — Составление нового методического обеспечения лабораторных занятий.

A_4B_3 — Реорганизация технического обеспечения лабораторных занятий.

A_4B_4 — Реорганизация последовательности изучаемого содержания на лекциях и лабораторных занятиях.

A_4B_6 — Организация системы тестирования на практических и лабораторных занятиях.

A_5B_7 — Разработка тематики и общего алгоритма исследовательских лабораторных индивидуальных занятий.

A_5B_8 — Создание банка данных исследовательских компьютерных заданий.

A_6B_9 — Разработка методических рекомендаций по самообучению студентов.

Предложенные схемы формирования деревьев целей могут совершенствоваться, конкретизироваться и развиваться в требуемых направлениях. При этом сами деревья целей могут входить в педагогический «парк» или систему в качестве подсистем. В этом случае преподавателю предоставляется возможность сделать ряд конкретных упорядочений, сводящихся к следующим процедурам:

1) исключение возможных дублирований учебно-методических модулей (целей и подцелей различных ранговых иерархий) в деревьях единого педагогического «парка»;

2) замена менее эффективных приемов (модулей) в отдельных деревьях «парка» на более эффективные;

3) установление логических, учебных и кибернетических обратных связей между отдельными учебно-методическими модулями деревьев, а также между различными деревьями педагогического «парка»;

4) объединение нескольких деревьев в одно общее дерево, минимизированное при оптимизации педагогического «парка».

Построение и оптимизация педагогического «парка» — творческая работа, требует принятия определенной концепции обучения как преподавателем, так и студентом. Она определяет массив педагогической информации (дидактические приемы, которые способствуют реализации генеральной цели) и позволяет оценить педагогическое мастерство, достигнутые результаты обучения, воспитания и развития студентов, делает труд преподавателя творческим, превращает его в исследователя учебно-воспитательного процесса.

ГЛАВА 3. СОДЕРЖАНИЕ КЛАССИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ И ПУТИ ЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

3.1. Виды знаний, формируемых при изучении электродинамики

Знания — это проверенные практикой результаты познания окружающего мира, его верное отражение в мышлении человека. Знания классифицируют по разным основаниям (рис. 16).



Рис. 16

По форме отражения выделяют:

1) знаковые, вербальные знания, закодированные в знаковой, языковой форме, теоретические знания. Электродинамика богата формулами (знаковые знания) и вербальными знаниями;

2) образные знания, представленные в образах, воспринятых органами чувств; вещественные знания, существующие в предметах труда;

3) процедурные знания — те, которые заключены в умениях и навыках, в технологии, в процедуре творческого процесса.

По психологическому уровню выделяют: знание — узнавание — воспроизведение — понимание — применение — автоматические действия — отношение и знание — потребность.

Простейшей смысловой системой является *понятие*. Понятие есть знание существенных свойств (сторон) предметов

и явлений окружающего мира, знание *существенных связей и отношений* между ними.

Рассмотрим вариант классификации знаний по месту и роли в классической электродинамике (рис. 17).

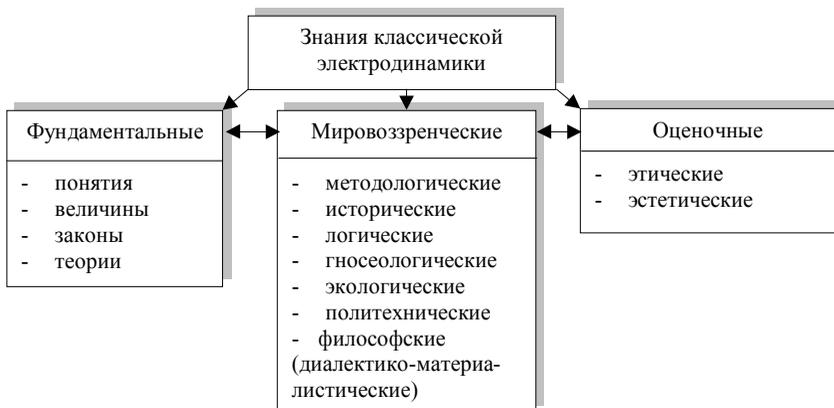


Рис. 17

Функции каждого вида знаний серьезно исследуются в дидактике физики как высшей, так и средней школы. В наибольшей степени исследованы функции фундаментальных знаний (электромагнитное взаимодействие и его законы, электромагнитное поле, электрический заряд). Однако вся система знаний в их комплексе до сих пор не исследована.

Мировоззренческие знания — это одно из основных средств обучения студентов физике. К ним относятся знания разных уровней методологии науки (всеобщего, общенаучного, частнонаучного): исторические, логические, гносеологические, экологические, политехнические, философские.

Философские знания, формируемые в электродинамике, — это диалектико-материалистические знания (основные категории материализма и законы диалектики), это знания об особенностях электромагнитной формы движения материи, электрических и магнитных свойствах материи (поле как вид материи). Формально-логические знания — это знания о формах

мышления — понятиях, суждениях, умозаключениях и способах их построения. Гносеологические знания — это знания о закономерностях и этапах процесса познания электрических и магнитных явлений; основных операциях познания, которые в то же время являются и логическими операциями. Знание методологии науки физики — это знание методологических понятий — физической картины мира, физических теорий и принципов, путей построения физических теорий. Исторические знания — это историко-научные знания, связанные со становлением фундаментальных физических идей и теорий.

Перечисленные виды знаний не являются знаниями собственно науки физики. Элементы приведенной на рис. 17 системы знаний находятся в определенных отношениях и связях. Например, логические операции, обслуживающие процесс мышления, являются и гносеологическими операциями, обслуживающими процесс познания. Гносеологические и историко-научные знания дополняют друг друга в процессе познания в соответствии с принципом единства исторического и логического. Системообразующими являются гносеологические знания, т.к. они обеспечивают целостность мировоззренческих знаний.

Упорядоченность разных видов знаний в соответствии с повышением уровня их обобщенности образует основу иерархии системы знаний. Как система мировоззренческие знания противопоставляются предметным фундаментальным знаниям, так как именно в них они проявляют себя как средство обучения студентов данному курсу.

Выделенная ниже система предметных и внепредметных знаний классической электродинамики позволяет более определенно и однозначно определить программу курса соответствующих знаний курса как обязательный минимум, который должен быть усвоен студентами при изучении классической электродинамики.

Формой выражения изучаемых предметов являются программы учебных дисциплин, где дается детальный перечень основных разделов и тем изучаемых предметов, последова-

тельность их изучения, методические и организационные указания, исходя из целей и задач обучения. Задачей отдельных программ является указание плана действий для преподавателей и студентов, использование средств и методов при изучении тех или иных предметов. В программах указывается также литература по данному курсу — основная и дополнительная. Но этого явно недостаточно, так как *содержание предмета* — это не просто сумма сведений, правил, законов, теорий, это *система* научных сведений, исходящая из *содержательной модели деятельности* специалиста, его квалификационной характеристики.

Проанализируем содержание раздела классической электродинамики:

а) выделим идеи, лежащие в основе раздела и основных содержательных линий раздела;

б) выделим основные виды знаний — понятий, законов, теорий, экспериментальных фактов, требований к ним (см. фрагмент табл. 1);

в) выделим формируемые умения — специальные и общеучебные и требования к ним; выявим возможности развития мышления студентов, формирования эмоционально-ценностного отношения и опыта творческой деятельности при изучении раздела.

Приведем базу общих (недетализированных) знаний и умений КХ.

Специалист-физик **должен знать:**

1) методы планирования и проведения физических экспериментов;

2) общие принципы сбора, систематизации и обработки информации;

3) общие принципы эксплуатации физической аппаратуры.

Специалист-физик **должен уметь:**

1) на научной основе организовать свой труд, владеть компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации в сфере его профессиональной деятельности;

2) приобретать новые знания, используя современные информационные технологии;

- 3) творчески применять полученные знания и приобретенные навыки в профессиональной деятельности;
- 4) планировать, организовывать и вести научно-исследовательскую, научно-производственную, опытно-конструкторскую работу;
- 5) диалектически мыслить и аргументировать свою точку зрения;
- 6) анализировать факты и прогнозировать свою точку зрения;
- 7) осуществлять математическое моделирование физических явлений;
- 8) активно использовать для решения профессиональных задач вычислительную технику;
- 9) оценивать исторические и современные проблемы и тенденции;
- 10) готовить научные материалы, составлять рефераты, обзоры, рецензии;
- 11) самостоятельно принимать решения;
- 12) разрабатывать и вести техническую документацию;
- 13) организовывать работу исполнителей и делопроизводство;
- 14) рассчитывать эффективность проектных и технологических решений с учетом конъюнктуры рынка;
- 15) принимать участие в научных исследованиях, связанных с совершением и развитием физики, современных ее направлений и физических методов исследования;
- 16) организовывать и вести обучение рабочего и среднего технического персонала, осуществлять мероприятия по предотвращению производительного травматизма и профессиональных заболеваний;
- 17) преподавать физику и информатику в средних специальных и высших учебных заведениях;
- 18) планировать, организовывать и вести научно-методическую и учебно-методическую работу.

Таблица 1

Фрагмент основных видов знаний при изучении раздела курса общей физики
«Электричество и магнетизм»

Явления	Понятия	Величины	Законы	Закономерности	Правила	Теории	Модели
1	2	3	4	5	6	7	8
Взаимодействие заряженных тел; электризация	Взаимодействие, электрический заряд; электрическое поле; потенциальность поля	Электромагнитная сила, электрический заряд; напряженность эл. поля; поток вектора напряженности; разность потенциалов	Закон Кулона; теорема Гаусса	Связь между напряженностью и потенциалом; уравнение Пуассона	Принцип суперпозиции сил и полей	Дальнодействие, близкодействие	Точечный заряд; эл.-ст. поле
Электростатическая индукция; стекание заряда с острия	Равновесие зарядов внутри и на поверхности проводника; электрическая емкость	Поверхностная плотность электрического заряда; электрическая емкость		Зависимость поверхностной плотности зарядов от кривизны поверхности	Теорема Ирншоу; метод электрических изображений		Плоский, цилиндрический, сферический конденсаторы, эл.-ст. экран
Поляризация диэлектриков; преломление силовых линий на границе двух диэлектриков	Связанный эл. заряд; неполярные и полярные диэлектрические и макроскопические поля	Дипольный момент; связанный эл. заряд; поляризованность; диэлектрическая восприимчивость; диэлектрическая проницаемость	Теорема Гаусса для диэлектриков; уравнение Мосотти-Клаузиуса	Связь между вектором поляризации и связанным эл. зарядом		Электронная теория поляризации полярных и неполярных диэлектриков	Поляризация эл. смещения, дипольная поляризация, поляризация ионного смещения
Локализация электрической энергии в электрическом поле	Энергия заряженного конденсатора; энергия системы заряженных тел; энергия электростатического поля	Энергия; работа; объемная плотность энергии эл. поля			Вычисление сил методом виртуальных перемещений		
Электрический ток; тепловое и электрохимическое действия электрического тока	Упорядоченное движение заряженных частиц; электрический ток; носители тока; электродвижущая сила	Дрейфовая скорость; плотность электрического тока; сила тока; проводимость; сопротивление; удельная проводимость; удельное сопротивление; электродвижущая сила; работа и мощность электрического тока	Закон сохранения электрического заряда; закон Ома; закон Джоуля-Ленца	Сопротивление последовательно и параллельно соединенных участков цепи	Правила Кирхгофа; расчет токов в массивных проводниках с применением теоремы Гаусса		Линейная цепь

1	2	3	4	5	6	7	8
Проводимость твердых тел; явление Пельтье; эффект Зеебека	Энергетические зоны металлов, полупроводников и диэлектриков; энергия Ферми; природа проводимости металлов и полупроводников; контактная разность потенциалов; электронно-дырочный переход	Удельная проводимость металлов; энергия активации; энергия Ферми	Дифференциальная формула законов Ома и Джоуля-Ленца; закон Видемана-Франца; закон Пельтье	Зависимость электропроводности от температуры; зависимость контактной разности потенциалов от температуры; вольт-амперная характеристика полупроводникового диода	Расщепление энергетических уровней и образование зон	Классическая теория электропроводности; зонная теория твердых тел	Модель идеального электронного газа и применение к нему статистики Максвелла-Больцмана и Ферми-Дирака
Электрический ток в вакууме; эмиссия электронов	Термоэлектронная работа выхода; эмиссия электронов с поверхности твердых тел; ток насыщения	Термоэлектронная работа выхода электрона; энергия Ферми; плотность термоэлектронного тока; ток насыщения; коэффициент вторичной эмиссии	Уравнение Богуславского-Ленгмюра	Вольт-амперная характеристика вакуумного диода			Идеальный вакуумный диод
Проводимость газов; ионизация и рекомбинация в газах	Ионизация газа; объемная и поверхностная рекомбинация; несамостоятельные и самостоятельные газовые разряды	Производительность ионизатора; коэффициент рекомбинации; энергия ионизации; ток насыщения; плотность тока насыщения	Закон Пашена		Измерение потенциала ионизации методом электронного удара		Тлеющий, дуговой, искровой, коронный разряды
Проводимость электролитов; диссоциация и рекомбинация в электролитах	Электролиты; диссоциация и рекомбинация в электролитах; слабые и сильные электролиты; анионы и катионы; электролиз; первичные и вторичные реакции; электродный потенциал	Степень диссоциации; скорость ионов; электропроводность электролитов; эквивалентная концентрация раствора; электролитного вещества; электродный потенциал	Закон Оствальда; законы электролиза Фарадея	Зависимость степени диссоциации от концентрации и температуры		Теория электролитической диссоциации Аррениуса	

Дидактический анализ приведенной базы знаний и умений позволяет сделать три вывода. Во-первых, взаимосвязь знаний и умений в этих перечнях отражена недостаточно полно, лишь на уровне информационно-деятельностного подхода к содержанию физического образования. Во-вторых, перечень формируемых умений значительно *превышает* перечень знаний. И это не случайно. Достаточно полный набор и высокое качество умений обучаемых — это гарантия высокого качества их будущей профессиональной деятельности. В-третьих, в базе знаний и умений оба подмножества *рядоположены*. Это, видимо, является отражением того, что логика усвоения знаний отлична от логики усвоения умений.

Содержание классической электродинамики является основой дидактического совершенствования и реконструирования материала, разработки педагогических технологий.

Возможности изучения основных идей учения Максвелла об электромагнитном поле, уравнений Максвелла, к примеру, основаны на индуктивном и дедуктивном методах изложения вопросов: либо 1) уравнения Максвелла рассматриваются как завершающее обобщение изучения электромагнитных явлений либо 2) изучаются электромагнитные явления на основе использования уравнений Максвелла.

Логическая структура учебного материала в классической электродинамике имеет в своей основе логику науки, но определяется еще *совокупностью дидактических целей* и требований, особенностями *учебно-познавательного процесса*.

В дидактической системе виды знаний соединены кратчайшими логическими связями, количество доказательств сведено к минимуму, максимум внимания уделяется главным, наиболее общим и значимым сведениям и идеям. В этом заключается *принцип оптимального содержания* дидактической системы знаний.

Второе важнейшее требование к построению дидактической структуры знаний в рассматриваемом разделе вытекает из принципа *систематичности* обучения в его современном, расширенном понимании, включающем требования системности передаваемой информации. Задача обучения включает пос-

ледовательное формирование систем в индивидуальных знаниях студентов: частно-понятийных, внутриспредметных, межпредметных и т.д. Подход к видам знаний *с системных позиций* реализуется и в структуре предъявляемой информации в классической электродинамике, и в использовании основанных на ней приемов систематизации и обобщения знаний.

Наконец, построение дидактической структуры знаний не может не учитывать одно из самых современных требований формирования способов умственной деятельности студентов — умения самостоятельно пополнять свои знания, ориентироваться в потоке научной информации. В дидактической системе содержания классической электродинамики студенту должны предъявляться не только предметные знания, но и *наиболее рациональные методы овладения знаниями*.

Классическая электродинамика как раздел курса общей физики включает в свое содержание еще *два элемента*: опыт творческой деятельности и опыт эмоционально-ценностной деятельности студента. На рис. 18 схематично показана дидактическая структура содержания классической электродинамики.

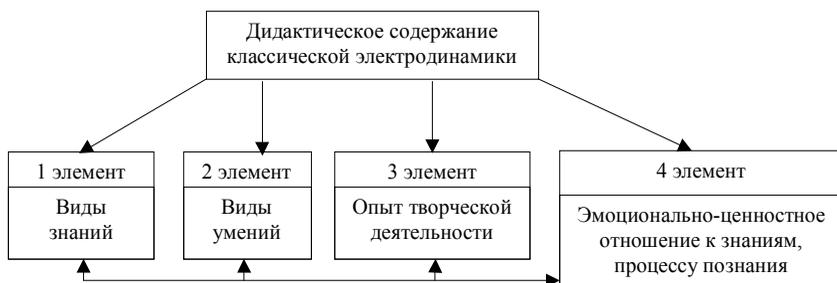


Рис. 18

3.2. Виды умений

Умение определяется как способность личности к эффективному выполнению определенной деятельности на основе имеющихся знаний в измененных или новых условиях.

Навыки — это способность выполнять какие-либо действия автоматически, без поэлементного контроля. Поэтому иногда говорят, что навык — это автоматизированное умение. По характеру преобладающих психических процессов выделяют двигательные (моторные), чувственные (сенсорные) и умственные (интеллектуальные) умения и навыки. Знания, умения и навыки определяют так называемую «обученность» студента, т.е. объем сведений, информации, имеющихся в памяти, и элементарных умений и навыков по их воспроизведению.

Выделяют следующие группы формируемых *умений*: общеучебные, специальные и требования к ним. В 3.1. приведен перечень общеучебных умений.

Перечислим специальные *основные умения*, формируемые при изучении темы «Электрическое поле»:

решать задачи:

- на закон сохранения электрического заряда и закон Кулона;

- на движение и равновесие заряженных частиц в электрическом поле;

- на расчет электрических полей с помощью теоремы Гаусса-Остроградского;

- на применение формул напряженности, напряжения, потенциала, работы электрического поля, электроемкости, энергии;

объяснять:

- явления электризации разными способами, пьезоэлектрический эффект;

- механизм поляризации диэлектриков;

пользоваться и знать:

- устройство и действие электрометра;

- устройство и действие конденсатора постоянной и переменной емкости.

Одной из центральных педагогических задач усвоения темы является формирование общеучебного умения *выделять главное, существенное* в учебном материале. Одним из путей формирования этого умения является переструктуризация учебного материала на основе систематизации и классификации, построения структурно-логических схем и др. В качестве примера приведем систематизацию формул электростатики (табл. 2).

Основные формулы электростатики

Понятия	Основные формулы, вытекающие из определения понятия
Напряженность \vec{E}	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$
Напряжение U	$U_{12} = \frac{A_{12}}{q}$
Потенциал φ	$\varphi_1 = \frac{A_{1\infty}}{q}$
Емкость C	$C = \frac{q}{U}$
Энергия W	$W = \frac{1}{2}CU^2$

3.3. Формирование опыта творческой деятельности студентов при изучении классической электродинамики

Сегодня делаются первые серьезные шаги в направлении раскрытия внутренних механизмов творческой мыслительной деятельности человека. В психологии научного творчества получены весьма важные результаты, многие из которых непосредственно касаются особенностей становления нового в процессах обучения и приобрели форму своеобразных афоризмов:

- учить новому не столь уж трудно, гораздо труднее перечувствовать;

- не столь трудно освоиться с новыми идеями, гораздо труднее отказаться от старых;

- легче усвоить тысячу новых фактов в какой-нибудь области, чем новую точку зрения на немногие уже известные факты;

- не грубые заблуждения, а тонкие неверные теории — вот что тормозит раскрытие научной истины и т.д.

Творческие задания подразделяются:

1) на *изобретательские* (инженерно-физические), по возможности, приближенные к реальным задачам;

2) *исследовательские*, целью которых является получение новых результатов. При этом новизна здесь часто носит *субъективный* характер. Главным условием является решаемость задач в условиях данной лаборатории (рис. 19).



Рис. 19

Развитие и наполнение опыта творческой деятельности студентов — один из важнейших компонентов целей обучения.

Творческая деятельность является органической частью учебно-воспитательного процесса и имеет свой результат (продукт), а следовательно, может подчиняться процедуре проверки качества этого результата.

Результат творческой деятельности студента в учебно-познавательных процессах, как правило, субъективен, однако, иногда он может представлять собой продукт, имеющий некоторое общественное значение, например, созданный студентом прибор, компьютерная программа, которые затем используются при изучении электродинамики другими студентами. Главный же результат творческой деятельности — овладение студентом такими видами деятельности, которые позволяют ему самостоятельно искать и открывать новое для себя. Например, решать новый тип задачи, самостоятельно проводить наблюдение и т.д. Формирование упомянутых видов деятельности требует от преподавателя а) разработки разного типа творческих задач и использования их при изучении электродинамики; б) организации их выполнения студентами; в) проверочно-оценочной деятельности преподавателя.

Наиболее сложна деятельность преподавателя по отбору и разработке творческих задач. Рассмотрим ее подробнее.

Под творческим заданием мы понимаем задание, алгоритм выполнения которого студенту неизвестен. Любая из программных лабораторных работ, любое экспериментальное задание могут быть поставлены как творческие.

Например, на базе одного и того же оборудования ставят разные цели и подбирают экспериментальные задания таким образом, чтобы в процессе их выполнения студенты показали именно контролируемые навыки или их систему.

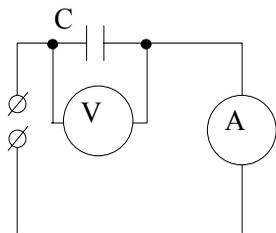


Рис. 20

Оборудование: бумажный конденсатор емкостью 2-10 мкФ на напряжение 400 В или больше, амперметр и вольтметр переменного тока.

Задание 1. Студент подбирает самостоятельно оборудование и составляет цепь по схеме на рис. 20.

Задание 2. Студент самостоятельно подбирает оборудование для определения значения емкостного сопротивления

конденсатора C : $x_c = \frac{U}{I}$ и $x_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot \nu \cdot C}$.

Задание 3. Указывает границы погрешности измерения

емкостного сопротивления конденсатора $C = \frac{1}{2\pi \cdot \nu \cdot x}$.

Задание 4. Студент выбирает из двух конденсаторов тот, который обладает наименьшим емкостным сопротивлением.

Следовательно, для того, чтобы составить творческие задания разного уровня, преподаватель выявляет, какие практические умения требуются для его выполнения. Из предложенных 4-х заданий задание 4 — творческое, оно требует для своего выполнения 11 операций, каждая из которых необходима для выполнения задания. Перечислим их: умения чертить и читать схему; опознать и подобрать приборы, собрать схему, измерить силу тока, напряжение, знать формулы емкостного сопротивления конденсатора, емкости конденсатора, подставить численные значения величин, найденных в про-

цессе измерения и данных в условии задания, рассчитать, найти погрешности измерения, записать значения x_c и C , сравнить их между собой.

Таким образом, важно при подборе и составлении заданий проанализировать их таким образом, чтобы определить, какие именно исполнительные действия должен проделать студент, чтобы его выполнить, а преподаватель — оценить контролируемые умения. Другими словами, задания надо подбирать так, чтобы они выступали в качестве *измерителей* сформированных знаний, умений студентов. Рекомендуется составлять перечень таких знаний и умений для *каждого* задания.

Различают творческие задания двух видов по требованию дать ответ либо на вопрос «почему?» (т.е. объяснить явления), либо на вопрос «как сделать?».

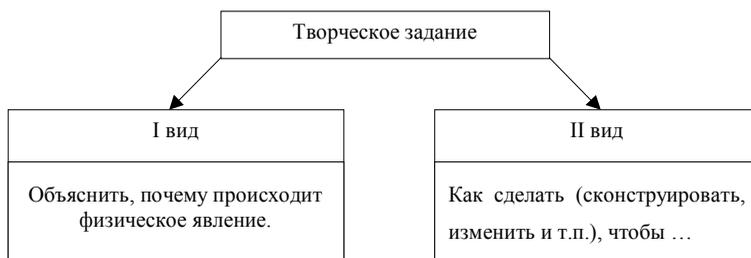


Рис. 21

Творческие задания целесообразно также классифицировать по видам вопросов, по-разному активизирующих мышление студента (рис. 21). Информационные вопросы активизируют, главным образом, память, восприятие (например, рассмотрите и опишите устройство данного конденсатора). Аналогичные вопросы активизируют аналитико-синтетическую деятельность мозга (например, изменится ли емкость конденсатора, если в схеме изменить ...). Проблемные вопросы отличаются от обычных тем, что в них содержится скрытое противоречие, они открывают возможность неоднозначного решения, в прошлом опыте того студента, которому его задают, нет готовой схемы (например, сравните две экспериментальные установки и сделайте обобщение об их эффективности для измерения силы тока).



Рис. 22

3.4. Модульно-блочный подход к содержанию раздела

Рассмотрим и проанализируем распределение содержания учебного материала раздела «Электричество и магнетизм» по блокам (табл. 3–5).

Таблица 3

Содержание тем и подтем лекционных занятий

Содержание	Количество аудиторных часов	В %
Введение	2 часа	4%
Постоянное электрическое поле	13 часов	26%
Взаимодействие заряженных тел	2	
Электростатическое поле в вакууме	3	
Проводники в электростатическом поле	3	
Диэлектрики в электростатическом поле	3	
Энергия электростатического поля	2	
Постоянный электрический ток	13 часов	26%
Линейные цепи постоянного тока	2	
Электрический ток в твердых телах	4	
Электрический ток в вакууме	2	
Электрический ток в газах	3	
Электрический ток в электролитах	2	
Электромагнетизм	12 часов	24%
Взаимодействие движущихся электрических зарядов	2	
Стационарное магнитное поле в вакууме	2	
Стационарное магнитное поле в магнетиках	3	
Электромагнитная индукция	3	
Энергия магнитного поля	2	
Электромагнитные колебания и волны	10 часов	20%
Квазистационарные электрические токи	2	
Собственные электромагнитные колебания	2	
Вынужденные электромагнитные колебания	2	
Уравнения Максвелла	2	
Электромагнитные волны	2	
Всего:	50 часов	100%

Анализ содержания тем и подтем лекционных занятий позволил установить, что наибольшее количество часов отдано изучению тем «Постоянное электрическое поле» и «Постоянный электрический ток».

Физический практикум наряду с лекционной частью является основной формой учебных занятий. Однако нередко он рассматривается как некий второстепенный, не имеющий самостоятельной ценности элемент образовательного процесса. Такой подход к физпрактикуму приводит к неоправданному завышению роли тренажеров в лабораторных учебных комплексах. Очевидно, что столь формализованный практикум не позволяет в процессе его выполнения выяснить причину противоречий между опытом и теорией, понять важность и плодотворность разрешения этих противоречий. Это приводит к формированию у студентов однобокого понимания научного метода познания электромагнитных явлений и процессов, не позволяет понять необходимость модельного «способа мышления».

Таблица 4

Содержание тем лабораторных работ

№ п/п	Темы лабораторных работ	Кол-во часов
1.	Техника безопасности. Электроизмерительные приборы.	4
2.	Изучение электростатических полей методом электролитической ванны.	4
3.	Изучение законов постоянного тока.	4
4.	Изучение принципа электрических компенсационных измерений.	4
5.	Изучение принципа электрических мостовых измерений.	4
6.	Изучение зависимости электропроводности металлов и полупроводников от температуры.	4
7.	Изучение работы полупроводникового выпрямителя.	4
8.	Изучение вакуумного диода и определение удельного заряда электрона.	4
9.	Снятие характеристик и определение параметров вакуумного триода.	4
10.	Определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли.	4
11.	Измерение индуктивности, емкости и проверка закона Ома для переменного тока.	4
12.	Измерение мощности и сдвига фаз в цепях переменного тока.	4
13.	Изучение резонанса напряжений и токов.	4
14.	Изучение ферромагнетизма.	4
15.	Электрические свойства диэлектриков.	4

На лекциях же студентам преподносится теория, рассматривающая лишь те стороны электромагнитных явлений, ко-

которые она считает самыми важными. Если знакомство студентов с реальным миром явлений ограничится только этими сторонами, то у них может создаться впечатление, что это и есть весь реальный мир, а не отдельные его стороны и модельные представления о нем.

Лабораторный практикум, понимаемый как иллюстрация лекционного курса, не может добавить реальных штрихов к рисуемой в теории электродинамической картины мира, у студентов легко утрачивается представление о том, каким образом создавалась эта картина и какие усилия потребовались для ее создания. Вследствие этого студенты не готовы к анализу реальных ситуаций, предлагаемых им в задачах на практических занятиях. Они достаточно быстро обнаруживают, что лабораторная практика с ее многочисленными источниками ошибок зачастую находится в противоречии с соотношениями, разработанными в теории.

Таблица 5

Содержание тем практических занятий

№ п/п	Содержание	Кол-во часов
1	2	3
1.	Закон Кулона.	2
2.	Напряженность электрического поля.	2
3.	Теорема Гаусса.	2
4.	Потенциал электрического поля.	2
5.	Проводники в электрическом поле.	2
6.	Конденсаторы.	2
7.	Диэлектрики в электрическом поле.	2
8.	Энергия электростатического поля.	2
9.	Основные законы постоянного тока.	2
10.	Электрический ток в различных средах.	2
11.	Однородные и неоднородные участки электрической цепи постоянного тока.	2
12.	Работа и мощность в цепях постоянного тока.	2
13.	Правила Кирхгофа.	2
14.	Контрольная работа.	2
15.	Взаимодействие движущихся электрических зарядов.	2
16.	Теорема о циркуляции вектора магнитной индукции.	2
17.	Магнитное поле в магнетиках.	2

1	2	3
18.	Электромагнитная индукция. Закон Фарадея.	2
19.	Самоиндукция. Индуктивность.	2
20.	Переходные процессы в цепях с постоянной ЭДС.	2
21.	Метод векторных диаграмм.	2
22.	Символьный метод расчета цепей синусоидального тока.	2
23.	Контрольная работа.	2

Чтобы добиться осознания студентами принципиальной важности введения модельных представлений, понимания их ограниченности, необходимо в центр внимания физического практикума поставить анализ причины различия экспериментальных результатов и выводов теории.

При выполнении физпрактикума студент должен исследовать реальные явления и объекты, на модели которых распространяются законы электродинамики. При таком проведении практикума у студентов вырабатывается умение оценивать и располагать влияющие на результаты эксперимента факторы по степени их важности.

3.5. Методологические знания

Система методологических знаний и умений студентов при изучении классической электродинамики объединяется вокруг следующих компонент учебного материала:

- 1) методы экспериментального познания электромагнитных явлений, научный эксперимент в электродинамике;
- 2) теории и методы теоретического познания электромагнитных явлений;
- 3) стержневые методологические идеи, принципы классической электродинамики;
- 4) основные закономерности развития электродинамики как учения об электромагнитном взаимодействии.

Все фундаментальные физические теории разделяют на две группы — *динамические* и *статистические* теории. В динамических теориях величины подчиняются однозначным (динамическим) закономерностям; статистические теории основаны на вероятностных (статических) закономерностях. К динамическим теориям относятся *классическая механика*

(она была создана в XVII-XVIII вв.), *механика сплошных сред*, т.е. гидродинамика (XVIII в.) и теория упругости (начало XIX в.), *феноменологическая термодинамика* (XIX в.), классическая электродинамика, включая волновую оптику (XIX в.), *специальная и общая теория относительности* (начало XX в.).

В этих теориях состояние физического объекта (системы) однозначно определяется заданием точных значений тех или иных величин. В классической механике, например, состояние системы задается значениями координат и проекций скоростей частиц. В механике сплошных сред вместо набора координат и скоростей частиц используют функции, описывающие распределение в пространстве определенных величин — плотности, давления, скорости и др. В термодинамике состояние системы описывают термодинамические параметры — объем, температура, давление и др. В электродинамике рассматриваются напряженности и индукции электрического и магнитного полей.

Во всех динамических теориях величины, определяющие состояние системы, являются непрерывными функциями пространственных координат и времени. Существенно, что знание значений этих величин в начальный момент времени позволяет, в принципе, однозначно определить значения величин в любой последующий момент. Почти все фундаментальные динамические системы были созданы в XVIII-XIX вв.; с ними связано становление физики как науки, охватывающей широкий круг явлений — механических, тепловых, электрических, магнитных, оптических. Из динамических теорий лишь теория относительности создана в XX в. После ее создания в самом начале века новые динамические теории не появлялись.

Первая статистическая физическая теория — статистическая механика — возникла во второй половине XIX в. на основе фундаментальных работ Максвелла и Больцмана. Применение этой теории к тепловым процессам позволяет объяснить важнейшие положения феноменологической термодинамики.

На рубеже XIX и XX в. Лоренц заложил основы элект-

ронной теории вещества — микроскопической электродинамики. Это означало, что статистические методы начали распространяться на электрические и магнитные явления. В основе статистической механики лежало предположение, что вещество имеет дискретную структуру — состоит из молекул (во второй половине XIX в. это было далеко не общепризнанным); микроскопическая электродинамика основывалась на предположении о дискретности электрических зарядов.

В рамках микроскопической электродинамики объяснялись учения о теплоте и электромагнетизме. Это позволило П.Ланжевону (1872—1946) построить в 1905 г. теорию парамагнетизма вещества.

В 1910 г. Эйнштейн создал теорию рассеяния света на микроскопических неоднородностях среды, обусловленных флуктуациями ее плотности; тем самым получили объяснение явления голубого цвета неба и красного цвета заходящего солнца.

Квантовая механика явилась решающим аргументом в пользу фундаментальности статистических закономерностей. Современная концепция, утверждающая примат статистических закономерностей, была выдвинута Бором, Гейзенбергом, Борном, Ланжевеном и др.

Из фундаментальных статистических теорий, базирующихся на основе квантовой механики, отметим квантовую электродинамику, теорию слабых взаимодействий, квантовую хромодинамику. Более глубокое проникновение в сущность материи потребовало перехода от динамических теорий к статическим. Некоторые из статических теорий возникли как своеобразные аналоги созданных ранее динамических теорий; можно сказать, что они создавались на базе соответствующих динамических теорий (статистическая механика на базе классической, микроскопическая электродинамика на базе электродинамики Максвелла). Однако большинство статических теорий с самого начала развивались как именно статистические; для них аналогия с динамическими теориями в принципе невозможна.

Итак, даже самый общий взгляд на историю возникновения фундаментальных физических теорий позволяет сделать вывод, что динамические теории соответствовали пер-

вomu этапу в процессе познания, тогда как на следующем этапе главную роль стали играть статистические теории. Отсюда видно, что вероятностные закономерности являются более глубокими, более фундаментальными по сравнению с динамическими.

На рис. 24 и в табл. 6, 7 мы представили фундаментальные и частные теории электродинамики. Концептуальные (или идеальные, теоретические) модели для одного и того же реального объекта могут быть различными (в разных физических теориях). Например, электромагнитное поле может быть представлено и как некоторая непрерывная среда (наподобие эфира), и как совокупность силовых линий (у Фарадея), и как совокупность волн, и как совокупность осцилляторов. Все это будут разные модели одного и того же реального объекта.

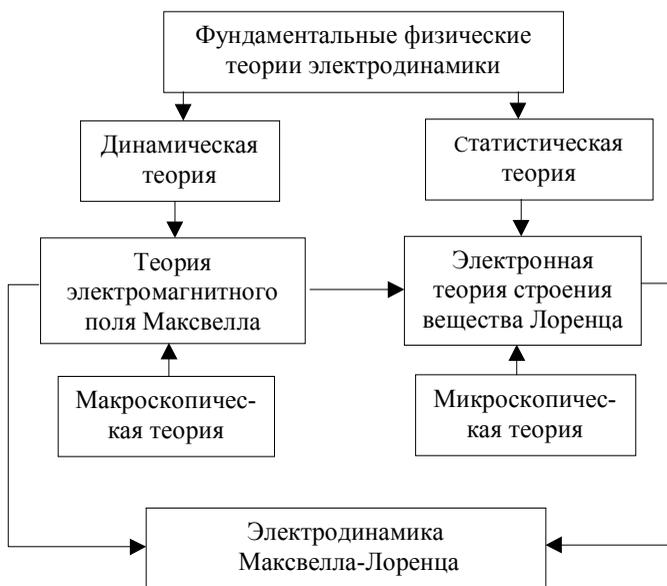


Рис. 24

Таблица 6

Фундаментальные теории электродинамики

Название теории	Теория электромагнитного поля	Электронная теория строения вещества
Характеристики теории	Макроскопическая динамическая	Микроскопическая статистическая
Имя ученого, разработавшего теорию	Максвелл	Лоренц
Время возникновения и развития теории	XVIII-XIX вв. (1860-1865)	На рубеже XIX-XX вв. (1880-1909)

Таблица 7

Частные теории электродинамики

Название теории	Классическая электронная теория металлов (теория проводимости)	Теория магнетизма (теория круговых электрических молекулярных токов)	Теория потенциала	Теория диа- и парамагнетизма	Теория ферромагнетизма	Теория антиферромагнетизма
Характеристики теории	Микроскопическая	Микроскопическая	Макроскопическая	Микроскопическая статистическая	Микроскопическая	Микроскопическая
Имя ученого, разработавшего теорию	Друде, Дж. Дж. Томсон (независимо друг от друга)	Ампер	Гаусс	Ланжевен	Вейс	Неель
Время возникновения теории	1900 г.	1820 г.	1839 г.	1905 г.	1907 г.	1930 г.

В физике твердого тела до сих пор находит применение модель проводимости металлов, предложенная Друде в начале XX столетия. Эта модель была разработана Друде спустя

три года после открытия в 1897 г. Томсоном электрона. Она часто используется, поскольку позволяет быстро построить наглядную картину и получить грубые оценки характеристик, более точное определение которых могло бы потребовать более сложного анализа.

3.6. Исторический материал при изучении классической электродинамики

Исторические сведения о теории Х.А. Лоренца

Джеймс Клерк Максвелл в 50-е годы XIX века объединил явления электричества, магнетизма и света, создав теорию электромагнитного поля. Так возник новый раздел физики, получивший название электродинамики.

Идеи Максвелла были развиты нидерландским физиком-теоретиком Хендриком Антоном Лоренцом. Объединив электромагнитную теорию Максвелла с представлениями об атомистическом характере электричества, он создал классическую электронную теорию. Электрические, магнитные и оптические явления Лоренц объяснял как движение дискретных электрических зарядов.

Основы электронной теории Лоренц заложил в 1880 году. Окончательно она оформилась в 1909 году, после открытия электрона. Согласно этой теории, атомы состоят из электронов и положительно заряженных частиц, которые их нейтрализуют. При движении этих зарядов возникают электрические и магнитные поля. Исходя из этих представлений, Лоренц объяснил ряд электрических и оптических явлений и даже предсказал явления, которые тогда не наблюдались. В частности, он указал, что спектральные линии излучения (которое обусловлено движением электронов) должны расщепляться под действием электрических и магнитных полей, поскольку поля влияют на движение электронов.

Предсказание Лоренца было подтверждено в августе 1896 года его соотечественником, молодым нидерландским физиком Питером Зеemanом.

В своем эксперименте Зеeman поместил пламя газовой го-

релки между полюсами электромагнита. При добавлении обычной поваренной соли пламя окрашивалось в желтый цвет — спектральная линия излучения натрия. При включении магнитного поля спектральные линии расширялись в полном соответствии с теорией Лоренца. Это означало огромный успех теории Лоренца.

В этот же период времени Томсон исследовал катодные лучи, и данные, полученные им в опытах, никак не связанных с экспериментами Зеемана, послужили убедительным доказательством реального существования электронов.

Идея Лоренца и открытия Зеемана были шагом вперед в изучении теории излучения. Уже в 1902 году их работы получили признание Нобелевского комитета, принявшего решение о присуждении двум нидерландским ученым премии по физике.

Б. Исторические сведения об изучении магнитных явлений (теории магнетизма)

В истории физики важное место занимают исследования магнетизма. Это известное с древнейших времен явление стало объектом научных экспериментов еще в XVII веке. За два последующих столетия явление магнетизма было изучено достаточно полно и всесторонне; в частности, была выявлена связь магнетизма и электричества. Полученные данные легли в основу созданной Максвеллом в 1865 г. теории электромагнитного поля. Новый этап в исследовании магнитных явлений связан с созданием в 1880 г. Х.А. Лоренцом электронной теории. На ее основе было предсказано и затем обнаружено явление расщепления спектральных линий в сильном магнитном поле.

Выделены три этапа в истории становления понятия электромагнитного поля: I — Фарадеевский; II — Максвелловский; III — Эйнштейновский.

В основу этой градации положены качественные скачки, связанные с изменением представлений о физической сущности электромагнитного поля. Этапы названы, соответственно, именами физиков, исследования которых привели к новым знаниям об электромагнитном поле.

Таблица 8

Классификация исторических этапов становления понятия электромагнитного поля

Название этапа	Основное содержание этапа, обобщенные выводы	Физическая сущность понятия поля	
		начало этапа	конец этапа
I Фараде- евский	<ol style="list-style-type: none"> 1. Экспериментальное обоснование взаимосвязи и взаимообусловленности электрических и магнитных явлений. 2. Признание близкодействия. 3. Идея реального физического поля 	Поле как рас- четно-матема- тическая конструкция	Поле как пос- редник взаимо- действия. Атрибут эфира
II Максвел- ловский	<ol style="list-style-type: none"> 1. Теоретическое доказательство реальности существования динамического электромагнитного поля, способного распространяться в виде волн. 2. Поле связано с зарядом. 3. Характер движения заряда определяет проявления поля. 	Поле как поста- редник взаимо- действия заря- дов и токов	Поле как чистая непрерывность, состоящие эфира
III Эйнштей- новский	<ol style="list-style-type: none"> 1. Электромагнитное поле существует как единое в любой системе отсчета. 2. Электрическое и магнитное поля, их компоненты. Разделение поля на компоненты определяется условиями его рассмотрения. 3. Эфира нет. Поле – не атрибут какой-либо среды, оно самостоятельное. 	Состояние эфира, его атрибут реально существующих.	Поле – вид материи, существует объективно, непосредственно взаимодействует с веществом.

В результате анализа фундаментальных работ физиков, в первую очередь М.Фарадея, Д.К.Максвелла, А.Эйнштейна, философской литературы определено содержание понятия электромагнитного поля как вида материи, существующего в классической электродинамике, которое сводится к следующему:

а) в природе существует единое электромагнитное поле, и является оно таковым независимо от наблюдения его в каком-либо конкретном состоянии;

б) электрическое и магнитное поля — его компоненты, не представляющие собой независимых материальных сущностей;

в) поле — целостный материальный объект, обладающий сложной внутренней структурой: имеет компоненты, связи, свойства, характеристики; подчиняется законам и принципам

природы;

г) электромагнитное поле всегда связано с электрическим зарядом, изменение характера движения которого приводит к изменению наблюдаемых его конкретных проявлений: статического, стационарного, переменного, соответствующих покоящемуся, равномерно и ускоренно движущемуся электрическому заряду. Свободного поля как самостоятельного в природе нет;

д) поле не является атрибутом какой-либо среды;

е) поле способно к непосредственному взаимодействию с веществом. В этом смысле оно самостоятельно и не является посредником взаимодействия.

Как известно, понятие электромагнитного поля было введено в физику Максвеллом для описания и объяснения наблюдаемых явлений электромагнитной индукции, отклонения магнитной стрелки при поднесении ее к проводнику с током, взаимодействия законов, токов, магнитов.

Дальнейшее развитие теории магнетизма связано с именем французского физика Поля Ланжевена. В 1905 г. он, основываясь на представлениях электронной теории, разработал термодинамическую и статистическую теории диа- и парамагнетизма. Эти два понятия были введены еще в 1845 г. Майклом Фарадеем. Говоря кратко, диамагнетизм — это свойство вещества намагничиваться во внешнем магнитном поле в направлении, противоположном направлению поля, а парамагнетизм — свойство вещества намагничиваться в направлении поля.

Теория Ланжевена связывала диамагнетизм с особенностями движения электронов по орбитам вокруг ядра, а парамагнетизм — с ориентацией собственных магнитных моментов атомов и молекул.

Впоследствии оказалось, что источником магнитного поля атома является не только движение электрона вокруг атомного ядра, но и спин электрона. (В сущности, спин, который сначала связывали с вращением частицы вокруг собственной оси, был открыт при исследовании магнитных явлений, в частности, эффекта Зеемана.) Эксперименты указали и третий источник магнетизма — ядро атома.

Первые исследования магнетизма проводились с обла-

дающими магнитными свойствами природными материалами. С давних времен была известна железная руда под названием «магнитный железняк» (от которого, собственно, и происходит термин «магнетизм»), которая создает достаточно сильное магнитное поле. Совокупность свойств железа получила название ферромагнетизм. Вначале считалось, что ферромагнетизм — одна из форм парамагнетизма. Позднее выяснилось, что механизм этих явлений различен.

Среди первых попыток создать теорию ферромагнетизма особо следует отметить работы французского физика Пьера Эрнеста Вейса. В 1907 г. он высказал гипотезу о существовании в ферромагнетиках внутреннего магнитного поля и областей самопроизвольной намагниченности (участки Вейса). Магнитные моменты атомов в ферромагнетиках ориентированы параллельно, поэтому материал обнаруживает магнитные свойства и в отсутствие внешнего магнитного поля.

У французских физиков существуют богатые традиции в области магнетизма. Одним из носителей их является Луи Эжен Феликс Неель. Как Пьер Вейс и Поль Ланжевен, он избран членом Парижской академии наук. В 1930 г., работая в Страсбургском университете, Неель открыл явление антиферромагнетизма. Если в ферромагнетиках магнитные моменты атомов ориентированы в одном направлении, то в антиферромагнетиках навстречу друг другу; поэтому в отсутствие магнитного поля намагниченность тела в целом равна нулю.

В 1948 г. Неель занялся ферристами — одним из видов химических соединений окислов переходных металлов с окисью железа, обладающих специфической структурой и магнитными свойствами. Французский ученый дал объяснение сильному магнетизму ферритов, показав, что в их кристаллах атомные магнитные моменты ориентированы, как у антиферромагнетиков, но по величине противоположно направленные магнитные моменты различны, и поэтому не происходит их взаимной компенсации.

Исходя из своей теории, Неель описал поведение новых синтетических магнитных материалов. За фундаментальные работы по магнетизму Луи Неель был удостоен в 1970 г. зва-

ния лауреата Нобелевской премии, разделив эту награду с Ханнесом Альфвенем.

Современные представления о магнетизме вещества развивались в квантово-механических теориях (Ван Флек, Отто Штерн, Вальтер Герлах, Отто Фриш, Феликс Блох, Эдвард Парсел, Изидор Раби, Поликарп Каш, Уиллис Юджин Лэмб и др.). Эти исследования сыграли важную роль в окончательном становлении квантовой электродинамики, основы которой заложили Ричард Фейнман, Джулиус Швингер и Синьи-тиро Томонага — лауреаты Нобелевской премии 1965 г.

Таблица 9

Нобелевские премии за работы в области классической электродинамики

Год	Фамилии ученых	Вклад в развитие классической электродинамики
1902 г.	Хендрик Антон Лоренц Питер Зеeman	Исследования влияния магнетизма на процессы излучения
1905 г.	Филипп Ленард	Работа по катодным лучам
1906 г.	Джозеф Джон Томсон	Теоретические и экспериментальные исследования прохождения электричества через газы
1909 г.	Гильельмо Маркони Фердинанд Браун	Создание беспроводного телеграфа
1912 г.	Густав Дален	Изобретение автоматических регуляторов, соединенных с аккумуляторами газа, которые предназначены для осветительных систем световых маяков и буев
1921 г.	Альберт Эйнштейн	Открытие закона фотоэлектрического эффекта
1923 г.	Роберт Эндрус Милликен	Измерение элементарных электрических зарядов и фотоэлектрического эффекта
1926 г.	Джеймс Франк Густав Герц	Исследование столкновений электронов с атомами
1929 г.	Оуэн Уиланс Ричардсон	Исследование явлений термоэмиссии и открытие закона
1929 г.	Луи Виктор де Бройль	Открытие волновой природы электрона

3.7. Математический аппарат при изучении

классической электродинамики

Математический аппарат классической электродинамики и СТО позволяет проиллюстрировать связующую роль релятивистских представлений в электродинамике. Как правило, релятивистские принципы электродинамики лишь декларируются, а релятивистский смысл ее законов сильно завуалирован в условиях преимущественного использования СИ. Опираясь на представления о релятивистской природе электромагнитного поля, важнейшие законы электромагнетизма, которые обычно рассматриваются как чисто эмпирические, можно получить аналитическим путем.

Использование релятивистских представлений при изложении основ электродинамики методически обусловлено существенно релятивистским характером этой теории в силу релятивистской инвариантности уравнений электромагнитного поля и принципиальной относительности форм его существования. Существенно также, что в электродинамических системах легко достигаются релятивистские скорости, а релятивистские эффекты проявляются не только при высоких, но и при малых скоростях носителей электрического заряда.

При использовании математического аппарата теории относительности становится более понятным студентам и более наглядным физический смысл закона Био-Савара-Лапласа, который используется при решении важнейшей практической задачи расчета магнитных полей. Этот закон представляется как прямое следствие релятивистской природы магнитного поля, возникающего в неподвижной системе отсчета при движении электростатических полей. Физический механизм амперовой силы естественно и наглядно проявляется как непосредственный результат воздействия на движущиеся заряды силы Лоренца, которую иногда, вопреки логике ее физической природы, «выводят» как вторичное следствие амперовой силы.

Что касается силы Лоренца, то становится прозрачным ее релятивистское происхождение как результата взаимодействия движущегося электрического поля с движущимся электрическим зарядом. Проясняется возникновение ее магнит-

ной составляющей, которая оказывается чисто релятивистским эффектом и исчезает при нулевой скорости пробного заряда. Вектор магнитной индукции приобретает при этом простой физический смысл силовой характеристики электромагнитного поля, которая определяет релятивистскую (магнитную) составляющую силы Лоренца, зависящую от скорости электрического заряда.

Формальный математический аппарат, необходимый для понимания получаемых соотношений и обобщений, сводится к использованию простейших свойств скалярного, векторного и двойного векторного произведений векторов, операций дифференцирования и интегрирования. Все это излагается студентами в начальных разделах математического анализа. Конкретные примеры применения математического аппарата с указанной целью раскрыты нами в 6.2.

Приведем пример использования математического аппарата на примере уравнений Максвелла.

Максвелл использовал в качестве главного концептуально-математического метода построения оснований теории электромагнитного поля уравнения в частных производных и векторный анализ, созданные Коши, Гамильтоном и др. за несколько десятилетий до него. Последовательное применение аппарата векторного анализа, изучаемого студентами на первом курсе, позволяет сравнительно быстро сформулировать основные уравнения электромагнитного поля, которые при традиционном подходе вводятся обычно только в заключительной части раздела электродинамики.

Сделаем замечания об обозначениях.

Векторы обозначим буквами со стрелкой (например, \vec{E} , \vec{r}), их модули и скалярные величины запишем с помощью букв (например, E , ϑ , O , x). Скалярное произведение векторов — как два расположенных рядом вектора (например, $\vec{F} \cdot \vec{r}$, $\vec{E} \cdot d\vec{r}$), векторное — квадратными скобками, например, $[\vec{\vartheta} \times \vec{B}]$.

Все формулы дадим в системе СИ.

Уравнения Максвелла, описывающие классическое электромагнитное поле, могут быть записаны в интегральной и дифференциальной формах (табл. 10). Обе формы практически эквивалентны, хотя интегральная несколько шире, так как класс интегрируемых функций шире класса дифференцируемых функций.

Таблица 10

Уравнения Максвелла в интегральной форме	Уравнения Максвелла в дифференциальной форме	
$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$	$\text{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	(1)
$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$	$\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	(2)
$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_V \rho \cdot dV$	$\text{div} \vec{D} = \rho$	(3)
$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$	$\text{div} \vec{B} = 0$	(4)

Здесь \vec{H} и \vec{B} , соответственно, напряженность и индукция магнитного поля, \vec{D} и \vec{E} — вектор электрического смещения и напряженность электрического поля, \vec{j} — вектор плотности тока, ρ — объемная плотность электрического заряда; градиент скалярного поля $u(x, y, z)$ (векторная величина)

$\text{grad } u(x, y, z) = \frac{\partial u}{\partial x} \vec{e}_x + \frac{\partial u}{\partial y} \vec{e}_y + \frac{\partial u}{\partial z} \vec{e}_z$; дивергенция векторного поля $\vec{a}(x, y, z)$ (скалярная величина)

$$\text{div } \vec{a}(x, y, z) = \frac{\partial a_x}{\partial x} + \frac{\partial a_y}{\partial y} + \frac{\partial a_z}{\partial z};$$

вихрь (ротор) векторного поля $\vec{a}(x, y, z)$ (векторная величина)

$$\text{rot } \vec{a}(x, y, z) = \left(\frac{\partial a_z}{\partial y} - \frac{\partial a_y}{\partial z} \right) \vec{e}_x + \left(\frac{\partial a_x}{\partial z} - \frac{\partial a_z}{\partial x} \right) \vec{e}_y + \left(\frac{\partial a_y}{\partial x} - \frac{\partial a_x}{\partial y} \right) \vec{e}_z.$$

Уравнения Максвелла, записанные в дифференциальной форме, устанавливают связь между полем, плотностью тока и плотностью заряда в каждой точке пространства.

Уравнения (1) являются обобщением теоремы о циркуляции. Из них, в частности, следует закон Био-Савара-Лапласа. Уравнения отражают тот факт, что источники магнитного поля — либо движущиеся заряды (электрические токи), либо переменные электрические поля (токи смещения).

Уравнения (2) описывают явление электромагнитной индукции. Они показывают, что существует вихревое электрическое поле, источник которого — изменяющееся во времени магнитное поле.

Уравнения (3) — теорема Гаусса для вектора электрического смещения \vec{D} , а уравнения (4) — для вектора магнитной индукции \vec{B} . Уравнения (3) и (4) отражают тот факт, что силовые линии потенциального электрического поля начинаются и заканчиваются на электрических зарядах, а силовые линии магнитного поля всегда замкнуты, т.е. магнитные заряды в природе отсутствуют.

Уравнения Максвелла — это не только компактная запись классических законов электромагнитного поля. Непосредственное применение уравнений Максвелла в конкретной задаче зачастую является самым удобным способом ее решения.

Материальные уравнения.

Число полевых уравнений Максвелла меньше, чем число входящих в них неизвестных величин. Для расчета полей нужно связать их через характеристики среды. Эти связи, называемые материальными уравнениями (табл. 11), могут быть численно определены только на основе рассмотрения конкретной модели вещества. Для линейных и изотропных сред материальные уравнения записываются в следующем виде.

Таблица 11

Материальные уравнения	
$\vec{D} = \epsilon_r \epsilon_0 \vec{E}$	(5)
$\vec{B} = \mu_r \mu_0 \vec{H}$	(6)
$\vec{j} = \gamma \cdot \vec{E}$	(7)

Здесь ϵ_r , μ_r , γ , соответственно, относительная диэлектрическая проницаемость, относительная магнитная проницаемость и удельная проводимость вещества. Уравнение (7) представляет собой закон Ома в дифференциальной форме. Совокупность полевых уравнений (1–4) вместе с материальными уравнениями (5–7) образует основу макроскопической электродинамики неподвижных сред.

Уравнения Максвелла составляют основу теории электромагнетизма. Все изученные темы электродинамики базируются только на уравнениях Максвелла (1–4), материальных уравнениях (5–7) и выражении для силы Лоренца — силы, действующей со стороны поля на точечные электрические заряды:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} + q[\vec{v} \times \vec{B}] \quad (8)$$

Зная напряженность электрического поля \vec{E} и индукцию магнитного поля \vec{B} , можно найти силу, действующую в этих полях на частицу с зарядами q , которая движется со скоростью \vec{v} . Зная же силу, начальные условия и массу частицы, можно определить характер ее движения. Поэтому формула силы Лоренца также относится к основным уравнениям электродинамики.

Закон сохранения электрического заряда содержится в неявном виде в (1) и (3) уравнениях Максвелла:

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad \text{div} \vec{D} = \rho;$$

$$\text{div}(\text{rot} \vec{H}) = \text{div} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial t}(\text{div} \vec{D}). \text{ Известно, что } \text{div}(\text{rot} \vec{H}) = 0,$$

значит,

$$\text{div} \vec{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (9)$$

Уравнение (9) есть уравнение непрерывности, которое является и математической формулировкой закона сохранения электрического заряда.

Ряд авторов изучение уравнений Максвелла, дифференциальных уравнений первого порядка, описывающих электромагнитное поле, сопровождают изучением теории потенциала — дифференциальных уравнений второго порядка Пуассона-Лапласа-Далламбера, *второго способа* описания электромагнитного поля, более удобного в расчетах.

Хорошо известно, что курс общей физики, в том числе и классическая электродинамика, является экспериментальным курсом. Несмотря на широкое применение математического аппарата, курс классической электродинамики — экспериментальный курс. Однако содержание этого утверждения требует разъяснения.

Иногда повышение уровня изложения материала, например, поднятие математического уровня изложения, объявляется «теоретизацией» курса и отходом от «экспериментального» характера.

Следует со всей определенностью указать на ошибочность такой оценки. Экспериментальный характер курса электродинамики означает, что электродинамика в нем представлена как экспериментальная наука, понятия и законы которой являются отражением в нашем сознании экспериментальных и наблюдаемых данных. Однако это отражение осуществляется в виде физической модели, между элементами которой существуют математические связи, формулируемые в виде законов, уравнений и т.д. Поэтому можно в принципе сколь угодно абстрактно математически сформулировать физическую модель и, тем не менее, изложить электродинамику как экспериментальную науку.

ГЛАВА 4. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗУЧЕНИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

4.1. Анализ материально-технического обеспечения при традиционном изучении классической электродинамики

Совершенствование современного образования является одной из актуальных задач высшей школы. В связи с этим можно выделить несколько основных аспектов. Во-первых, физика должна быть интересна. В современном мире прагматические соображения чаще всего преобладают над соображениями интереса, однако, в научной работе фактор интереса является одним из определяющих, одно из первых мест в котором занимают компьютеры и компьютерные технологии. Кроме того, компьютеры достаточно давно и эффективно используются в профессиональных физических исследованиях. Все это говорит о том, что компьютеризация физического образования является в настоящее время актуальной задачей.

Во-вторых, важной задачей физики как учебного предмета является формирование основ физического мышления и физического способа познания и преобразования окружающего мира. Отличительными особенностями физического мышления является экспериментальный характер знаний и использование моделей для объяснения результатов эксперимента. Последнее предполагает исследование физикой не только определенных закономерностей окружающего мира, но и пределов их применимости, умение строить более тонкие или даже альтернативные модели, использующие другие понятия для описания тех же явлений. Данные особенности мышления оказываются очень полезны не только в области физики, но и в других, самых разнообразных областях, таких, как психология, социология, медицина, экономика и др.

Натурный демонстрационный эксперимент как обязательный компонент современной лекции по физике выполняет ряд важных дидактических функций. Однако на этапе

обобщения итогов наблюдений, кристаллизации свойств объектов, введения физических величин и их мер, наконец, при структурировании физического знания большую помощь на лекции оказывает компьютер с его богатыми графическими возможностями. Можно использовать компьютерное сопровождение по темам «Электромагнитная индукция» и «Самоиндукция». Это может быть имитация движения магнита внутри катушки, подключенной к гальванометру, или изменение тока внутри одной из индуктивно связанных катушек. При имитации имеется возможность показать роль разных факторов в возникновении индукционного тока. Другой пример может быть посвящен связи закона Фарадея с законом сохранения энергии, ЭДС индукции в проводнике, движущемся в магнитном поле, и правилу Ленца.

В разделе «Электричество и магнетизм» достаточно много внимания уделено изучению простейших приборов, представленных в табл. 12, умению определять их характеристики.

Таблица 12

№ п/п	Темы лабораторных работ	Приборы
1	2	3
1.	Техника безопасности. Электроизмерительные приборы.	Магнитоэлектрический гальванометр, электромагнитный вольтметр, вибрационный частотомер.
2.	Изучение электростатических полей методом электролитической ванны.	Электронный осциллограф, генератор звуковой частоты, электролитическая ванна.
3.	Изучение законов постоянного тока.	Стабилизированные источники постоянного тока, цифровые вольтметр и амперметр, набор резисторов.
4.	Изучение принципа электрических компенсационных измерений.	Мост постоянного тока, нормальный элемент.
5.	Изучение принципа электрических мостовых измерений.	Двойной мост постоянного тока.
6.	Изучение зависимости электропроводности металлов и полупроводников от температуры.	Мост для измерения сопротивлений, полупроводниковый резистор, медный резистор, терморпара, гальванометр, печка.
7.	Изучение работы полупроводникового выпрямителя.	Электронный осциллограф, трансформатор, набор полупроводниковых диодов.
8.	Изучение вакуумного диода и определение удельного заряда электрона.	Источники постоянного тока, микроамперметр, амперметр, электронный вольтметр, вакуумный диод, соленоид.
9.	Снятие характеристик и определение параметров вакуумного триода.	Источники постоянного тока, миллиамперметр, амперметр, электронные вольтметры, вакуумный триод.

1	2	3
10.	Определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли.	Тангенс-гальванометр, электронный осциллограф, источник постоянного тока, амперметр.
11.	Измерение индуктивности, емкости и проверка закона Ома для переменного тока.	Набор индуктивностей и емкостей, источники постоянного и переменного тока, вольтметр, амперметр.
12.	Измерение мощности и сдвига фаз в цепях переменного тока.	Набор индуктивностей, емкостей и резисторов, источник переменного тока, вольтметр, амперметр, ваттметр, измеритель сдвига фаз.
13.	Изучение резонанса напряжений и токов.	Набор индуктивностей, емкостей и резисторов, генератор звуковой частоты, электронный вольтметр, миллиамперметр.
14.	Изучение ферромагнетизма.	Тороидальный трансформатор, генератор звуковой частоты, электронный осциллограф, набор конденсаторов и резисторов.
15.	Электрические свойства диэлектриков.	Конденсатор с сегнетозлектриком, генератор звуковой частоты, электронный осциллограф, набор конденсаторов и резисторов.

4.2. Материально-техническое обеспечение лекционных, практических, семинарских занятий

Физика — наука экспериментальная. Решающие физические эксперименты лежат в основе изучения многих разделов электродинамики. Эти эксперименты уникальны, и даже лучшие университеты, имеющие хорошо оснащенные демонстрационные физические кабинеты, не могут позволить себе постановку таких экспериментов. Традиционно на помощь лектору приходят учебные кинофильмы, плакаты, слайды. Смена демонстрационной техники, сокращение парка учебных кинофильмов в связи с выходом их из строя, финансирования вузов лишили лекторов такой поддержки. В сложившейся ситуации на помощь пришел Internet. В глобальной информационной сети имеются сведения о большом числе физических экспериментов, явлений, приборов, как классических, так и современных. Это позволяет сформировать электронную библиотеку физических лекционных демонстраций. Сделать это можно с помощью проекционного дисплея. Такой дисплей весьма дорог. Но, к сожалению,

современное состояние финансирования не позволяет вузам приобретать такое дорогостоящее оборудование.

Имеется возможность познакомить студентов с этими демонстрациями, создав видеофильм, в котором воспроизводятся наиболее интересные эксперименты.

При создании библиотеки демонстрационных экспериментов полученные из Internet видеофрагменты подвергаются переработке, изменяют их видеоряд, создают титры, записывается звуковой комментарий. Электронная библиотека может быть доступна любому пользователю сети. Наряду с этим создается CD-диск с этими фрагментами.

Компьютерный «накат» и математическое моделирование не должны затмить искусства и культуры постановки великих опытов электродинамики.

Сохранение и развитие натурального эксперимента с привлечением современной материальной базы — важнейший элемент правильного формирования современной научной картины мира. Достаточно вспомнить, какое значение отводили физическому эксперименту основоположники классической электродинамики: Максвелл, Фарадей, Ампер. В этом плане классическая электродинамика представляет благодатное поле деятельности как по ширине возможностей разнообразия опытов, так и по ясности результатов. Сочетание лекционных демонстраций, работ физпрактикума позволяет поставить широкий комплекс эксперимента, требующего разнообразного материально-технического обеспечения.

Использование компьютера в учебном процессе помогает решить ряд проблем:

1) образовательную: продемонстрировать студенту полезность использования компьютера; познакомить студента с возможностями вычислительной техники; привить ему навыки и умения грамотного ее использования; научить его эффективно использовать существующие программные и вычислительные средства;

2) педагогическую: помочь студенту более быстро и качественно овладеть изучаемым материалом; визуализировать

изучаемый материал в тех случаях, когда нет возможностей поставить реальный эксперимент; индивидуализировать задания лабораторного практикума; индивидуализировать темп работы;

3) организационную: одновременное компьютерное тестирование; компьютерный контроль за качеством работы студентов; компьютерный учет; компьютерное планирование.

Достоинства компьютерного способа обучения и диагностики знаний: повышение мотивации к обучению за счет привлечения новых технологий (игра, тренажеры и др.); возможность демонстрации недоступных для наблюдения объектов и процессов; наглядность; скорость проверки; массовость; индивидуализация; освобождение преподавателя от рутинной работы; универсальность и др.

Сегодня все чаще компьютеры используются при выполнении лабораторных практикумов по физике. Для этого осуществляется стыковка ЭВМ с измерительной аппаратурой, пишутся управляющие программы-драйверы измерительных устройств, т.е. полный цикл создания измерительного комплекса на основе ЭВМ. Однако широкая, подчас полная, автоматизация выполнения лабораторных работ может оцениваться двояко.

Положительными сторонами этого процесса являются:

- параллельное (кроме обязательного в рамках специальных курсов) привитие дополнительных навыков работы с компьютером как в качестве программистов, так и пользователей;

- возможность выполнения в ходе работы практикума более сложных расчетов, обработки больших массивов информации.

Тем не менее, нельзя однозначно положительно оценить полную компьютеризацию лабораторных работ, поскольку зачастую программное обеспечение, разработанное для студентов-физиков, не позволяет им в полной мере понять физическую сущность изучаемых процессов и сводит решение поставленных задач к механической работе «оператора ЭВМ». Рекомендуем следующее.

1. При выполнении лабораторных работ студент должен в полном объеме понять сущность изучаемого явления, вывести основные рабочие формулы, по которым осуществляется счет, ознакомиться с методами математической обработки результатов, и расчет погрешностей, составить алгоритм.

2. Необходимо проведение параллельных теоретических (формульных) расчетов (там, где возможно) с минимальной автоматизацией и использованием справочной литературы, получение же конечных числовых значений должно производиться с использованием прикладных программ.

3. Проводимые теоретические расчеты обязательно должны сопровождаться «расчетом» размерностей получаемых физических величин.

4. Необходимо, чтобы предлагаемое студентам программное обеспечение позволило не только проводить расчеты по измеренным значениям, но и осуществлять моделирование физических процессов путем изменения любых исходных параметров, давая возможность выхода за рамки проводимых измерений и экспериментов.

Использование компьютеров для моделирования отличается от других их применений, так как моделирование практически невозможно без компьютеров, и оно приводит к появлению совершенно новых методик обучения, в которых компьютер принципиально является основным инструментом, он выступает в ранее необычной для него роли экспериментальной установки, тренажера и т.п.

Применение компьютеров для моделирования учебного эксперимента возможно:

1) для демонстрации изучаемых явлений, в том числе и во время лекции перед аудиторией, причём на равных правах с обычным лекционным экспериментом;

2) для создания модели изучаемого явления, требующей активной работы самого студента. Это напоминает обычный лабораторный практикум, и подобные модели называют компьютерными (виртуальными) лабораторными работами;

3) для создания компьютерных игр по физике. Лабораторная работа — это по сути дела тоже своеобразная компью-

терная игра, в обоих случаях студент должен активно участвовать в управлении параметрами модели;

4) для создания тренажеров, которые имеют более узкую область применимости, чем лабораторная работа; можно создать тренажеры по сборке электрических цепей, по обучению правописанию или дифференцированию и т.д.

В любом случае модель должна быть, во-первых, адекватна изучаемому явлению, и во-вторых, она должна быть наглядной и в то же время не окарικатуривать явление.

Наиболее сложным видом модели является лабораторная работа. Недостаточно, чтобы графические символы на экране вели себя так, как «положено» телам, ими изображаемым; чтобы модель была демонстрационно наглядной, необходимо, чтобы работа активно выполнялась студентами и обучала бы их методикам проведения эксперимента и обработки его результатов, т.е. прививала бы студентам навыки и умения, близкие тем, которые получает экспериментатор в ходе обычной работы.

4.3. Модернизация материально-технического обеспечения лабораторного практикума

Элементарная физика в средних и средних специальных, так же, как и общая физика в высших учебных заведениях, традиционно преподается как курс экспериментальной физики. В связи с этим большое внимание в учебном процессе уделяется лекционным демонстрациям и лабораторному практикуму. Они способствуют более глубокому усвоению теоретических знаний, развитию познавательной активности обучаемых. Физический практикум имеет ряд важных функций. В процессе выполнения лабораторных работ изучаются основные методы и средства измерения физических величин, математической обработки результатов экспериментальных исследований, формируются навыки постановки и проведения физического эксперимента. В современных научных лабораториях и на производстве широко используются информационно-измерительные системы с целью повышения производительности

сти труда и информативности экспериментальных исследований, для управления сложными технологическими установками. Поэтому в процессе обучения физике необходимо формировать у обучаемых правильные представления о роли средств автоматизации в современном физическом эксперименте, тем более, что при изучении информатики аспекты использования вычислительной техники для автоматизации экспериментальных исследований практики не затрагиваются. Комплексное использование средств автоматизации в лабораторном практикуме предполагает решение ряда проблем организационного характера (тестирование обучаемых, протоколирование выполнения заданий), повышение точности и информативности измерений за счет применения эффективных методов обработки экспериментальных данных, более полный охват учебной программы путем постановки имитационных лабораторных работ. Естественно, что в учебном лабораторном практикуме современные методы измерения должны разумно сочетаться с традиционными. В данном параграфе мы рассматриваем основные способы создания простейших информационно-измерительных систем для использования в учебной физической лаборатории.

Нами разработана архитектура модульной информационно-измерительной системы (рис. 25) для учебной лаборатории электричества, центральным звеном которой является измерительный блок напряжения, силы тока и временных параметров стандартизованных электрических сигналов на основе однокристалльной микро-ЭВМ типа 89С52, который подключается к любой управляющей ЭВМ, снабженной каналом последовательного ввода-вывода. Он включает также программно управляемый узел генерации напряжения. Таким образом, разработанный модуль заменяет цифровые вольтметр, миллиамперметр и частотомер, а также генератор сигналов сложной формы. Для реализации конкретной лабораторной работы каждая лабораторная установка снабжается датчиками измеряемых физических величин, которые вырабатывают стандартизованные электрические сигналы. Такая архитектура системы позволяет с относительно небольшими затратами

реализовать цикловое построение практикума, эффективно применять средства вычислительной техники как для получения экспериментальных данных, так и для их последующей обработки.

Основным звеном подавляющего большинства современных информационно-измерительных систем является цифровая электронная вычислительная машина (ЦЭВМ).

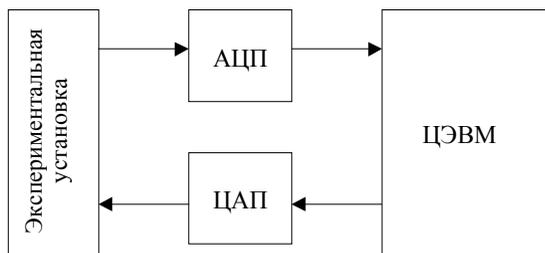


Рис. 25

Основная особенность ЦЭВМ заключается в том, что она оперирует данными, представленными в виде двоичных чисел, т.е. в виде комбинации логических нулей и единиц. Чаще всего на физическом уровне логическому нулю соответствует низкий уровень напряжения (от 0 В до 0,4 В), а логической единице — высокий (от 2,4 В до 5 В). В связи с этим традиционная экспериментальная установка, содержащая набор датчиков для преобразования измеряемых величин в аналоговый электрический сигнал, должна быть дополнена преобразователем аналогового электрического сигнала в цифровой двоичный код (АЦП). С другой стороны, для управления экспериментальной установкой ЦЭВМ генерирует цифровой двоичный код, который необходимо преобразовать в аналоговый электрический сигнал. Для этого предназначен цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Не менее важной частью системы является прикладное программное обеспечение, которое реализует конкретные алгоритмы измерения и обработки информации.

Измерительная приставка (рис. 26) разработана на основе однокристалльной ЭВМ типа КР1816ВЕ51.

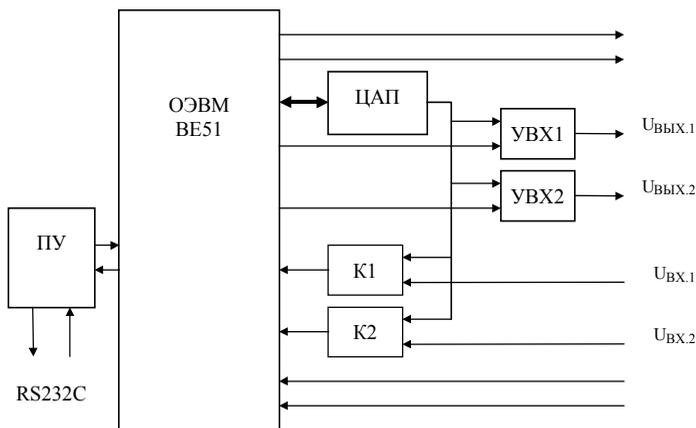


Рис. 26

Преобразователь уровней ПУ служит для согласования логических уровней ТТЛ с параметрами сигналов последовательного интерфейса по стандарту RS232C, позволяет обмениваться данными и командами между измерительной приставкой и персональной ЭВМ со скоростью до 9600 бод. 12-тиразрядный цифро-аналоговый преобразователь ЦАП типа 594ПА1 выполняет несколько функций. Во-первых, с его помощью генерируются программно управляемые выходные аналоговые сигналы $U_{\text{ВЫХ.1}}$ и $U_{\text{ВЫХ.2}}$, для буферизации которых используются устройства выборки-хранения типа КР1100СК2. Таким образом, мы получаем возможность генерировать управляющие аналоговые сигналы сложной формы по двум независимым каналам в диапазоне от -10 В до $+10\text{ В}$ с разрешением в 12 двоичных разрядов. Помимо этого, приставка имеет два входных и два выходных сигнала в уровнях ТТЛ для релейного управления лабораторной установкой и опроса релейных датчиков.

Программное обеспечение измерительной приставки разработано с использованием эмулятора EM51 и заносится в постоянное запоминающее устройство ОЭВМ. Персональная

ЭВМ управляет работой измерительной приставки в фоновом режиме, что позволяет управлять лабораторной установкой и автоматизировать процесс измерения.

4.4. Компьютеризация раздела классической электродинамики

На современном этапе развития общества в различных отраслях народного хозяйства основным предметом труда становится информация. Это нашло отражение в появлении понятий «национальные информационные ресурсы», «новые информационные технологии» и др.

Основным инструментом переработки, хранения, передачи информации является ЭВМ.

Информатизация современного общества определяет основную компонент социального заказа: обучить всех членов общества новым информационным технологиям. Его педагогическая интерпретация формулируется как необходимость овладения всеми школьниками компьютерной грамотой.

Стандартными требованиями при приеме на работу в развитых странах сегодня являются знание английского языка, наличие водительских прав и умение обращаться с компьютером (ЭВМ). Обращаться с электронной техникой учат в школе, вузе.

Термин «компьютеризация обучения» трактуется с различных позиций. В широком смысле — это современная *тенденция* развития дидактики и конкретных методик преподавания. В это понятие включается совокупность разрабатываемых теоретических концепций и технологий компьютерного обучения, проектирования обучающих программ. В узком смысле термин «компьютеризация обучения» понимается как «*компьютерное обучение*» (КО), т.е. такая система обучения, одним из средств которой является компьютер (ЭВМ).

Основная цель КО — обеспечить формирование компьютерной грамотности учащихся. Под *компьютерной грамотностью* понимают знания и умения, необходимые каждому в условиях информатизации общества.

Существуют неофициальные мировые стандарты, разделяющие людей, умеющих работать с компьютером, на категории:

- 1) пользователь (user);
- 2) продвинутый пользователь (advanced user);
- 3) программист (programmer);
- 4) системный администратор (system administrator, net manager).

Для массовой общеобразовательной школы реально достижимы три уровня компьютерной грамотности учащихся:

1) понимание роли и места алгоритмов в решении учебных задач, в практической деятельности человека, т.е. формирование алгоритмического мышления;

2) овладение умениями общения с персональной ЭВМ (умениями вводить данные, пользоваться дисплеем, пультом и т.д.);

3) овладение умением использовать на ЭВМ готовые учебные программы (инструкции, решение конкретных задач, вычисления и т.д.).

Умение использовать вычислительную технику в обучении становится одним из профессиональных качеств учителя. Если рассматривать процесс компьютеризации обучения как одну из современных тенденций методики преподавания школьных предметов, то владение методологией, принципами и методикой компьютерного обучения является инвариантным требованием квалификационной характеристики каждого учителя (а не только преподавателя школьного учебного предмета «Информатика и вычислительная техника»).

Понятие «компьютерное обучение» включает в себя совокупность педагогических методов по применению в качестве средств обучения компьютеров и другой электронной техники для передачи и обработки учебной информации. Кроме того, его можно понимать как деятельность по обучению школьников правильному использованию информационных массивов данных, их обработке и анализу посредством ЭВМ. Тем самым четко выделяются два направления, связанные с представлением компьютерной техники как средства и как цели обучающей деятельности учителя и учебной — ученика (рис. 27).

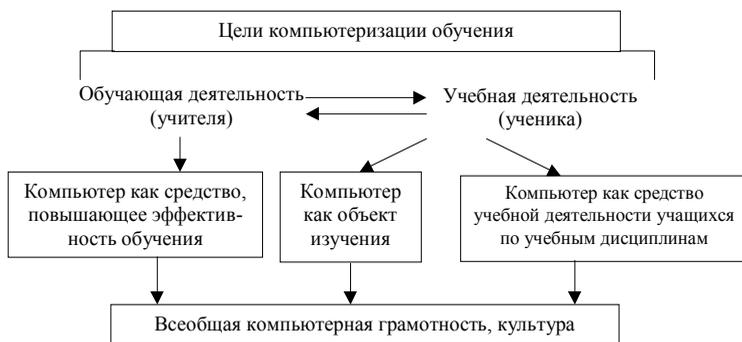


Рис. 27

Компьютеризация обучения оказывает значительное влияние на все компоненты современной образовательной системы: цели, задачи, содержание, методы, технологию. Школа должна готовить учащихся к осознанию того, что их будущие профессии так или иначе будут связаны с разработкой, производством и использованием сложной компьютерной техники в ежедневной деятельности и быту. Они должны получить навыки общения с современным персональным компьютером, уметь эффективно его использовать, а также представлять себе область и границы его возможностей. Формирование у школьников компьютерной осведомленности и грамотности, компьютерной культуры является общей целью КО.

Существуют две основные области применения компьютеров в обучающей деятельности (рис. 28). Первая из них связана с традиционным обучением, *подкрепленным компьютером*.

Области применения компьютера в обучающей деятельности



Рис. 28

Иногда это называют *компьютерной поддержкой* традиционного обучения. При этом соответствующим образом запрограммированный компьютер применяется для решения разных дидактических задач: 1) предъявление информации в разных формах (вербальной, наглядной, экспериментальной); 2) формирование у учащихся общеучебных и специальных знаний и умений по конкретным предметам; 3) контроль, оценка и коррекция результатов обучения; 4) организация индивидуального и группового обучения; 5) управление процессом обучения.

Вторая область охватывает обучение, реализуемое с помощью компьютера. В этом случае компьютер выполняет функции банка педагогической информации: собирает, сохраняет в своей памяти и предоставляет в распоряжение учителя разнообразные данные об учащихся (об их учебных успехах, интересах, чертах характера, о состоянии их здоровья, социальном статусе среди ровесников и окружающих и т.п.). Для учителя важны также те возможности, которые дает использование электронных средств управления базами данных для анализа и моделирования (творческого конструирования) процессов обучения, долговременного отслеживания и проверки педагогических гипотез. Все глобальные характеристики статистических оценок эффективности системы образования обрабатываются в развитых странах исключительно при помощи специально составленных программных пакетов.

Общая цель применения компьютера в обучающей деятельности учителя — радикальное повышение эффективности обучения учащихся с новым алгоритмическим типом мышления.

В настоящее время существует достаточно много компьютерных программ, разработанных для совершенствования учебного процесса. В программе присутствуют сведения: 1) *чему* надо учить; 2) что должен делать ученик для усвоения выделенного содержания; 3) что должен делать учитель для организации деятельности учеников по усвоению материала и получения требуемого качества знаний.

Все компьютерные программы классифицируют по их назначению (рис. 29).

Классификация компьютерных программ



Рис. 29

1. *Автоматизированные системы обучения* (или компьютерные учебники) — АСО (или АОС). Это программный пакет, обеспечивающий возможность самостоятельно освоить учебный курс или его раздел. Он соединяет в себе свойства обычного учебника, справочника, задачника, лабораторного практикума и эксперта усвоенной информации. При этом АСО имеет ряд преимуществ по сравнению с указанными видами учебных пособий: а) обеспечивает оптимальную для каждого конкретного пользователя последовательность, скорость восприятия предлагаемого материала, возможность самостоятельной организации изучения теории, разбора примеров, методов решения типовых задач, отработки навыков решения типовых задач; б) обеспечивает возможность самоконтроля качества приобретенных знаний и навыков; в) прививает навыки аналитической и исследовательской деятельности; г) экономит время обучаемого, необходимое для изучения курса.

Здесь следует пояснить употребляемую терминологию. Когда говорят об автоматизации процесса обучения, то понимают это по-разному и достаточно широко. Многие имеют в виду чуть ли не автоматизированную систему управления уроком и вообще учебным процессом. Но это — дело будущего, а пока можно рассматривать следующие фрагменты такой автоматизации:

1) передача определенной учебной работы, учебной деятельности ЭВМ. Работа с микрокалькулятором (инженерным, программируемым), с персональной машиной; 2) с появлением ЭВМ процесс автоматизации учебного процесса уси-

ливается, потому что машине передается не только Счет, но и решение логических задач. Объем задач, которые берет на себя электроника, уже значительно больше. Более того, машина помогает ученику не только в решении задач, но и в изучении многих явлений, информации о них. Дисплей помогает ученику наглядно представить ту информацию, которую он изучает.

Некоторые процессы и явления экран ЭВМ позволяет проследить в динамике — это принципиально новый элемент в учебном процессе. Машина дает возможность ученику активно вмешиваться в происходящее, представить явление в зависимости от тех вводных условий, которые он задает машине. Машина может спрашивать ученика, а он, работая за пультом, дает ей ответы. Идет активное общение (диалог) с машиной благодаря АСО, ПОС и другим программам.

2. *Предметно-ориентированные среды* (микромиры) — ПОС. Это учебный пакет программ, позволяющий оперировать с объектами определенного класса. Среда реализует отношения между объектами, операции над объектами и отношениями, обеспечивает наглядное представление объектов и их свойств.

Ученик оперирует объектами среды, руководствуясь методическими указаниями в целях достижения поставленной дидактической задачи либо производит исследование, цели и задачи которого поставлены учеником самостоятельно.

3. *Лабораторные практикумы* — ЛП. Программы этого типа предназначены для проведения наблюдений, для их численного и графического представления и для исследования различных объектов на практике. В программе обычно определяются цели эксперимента, описываются его средства и методики проведения, методы обработки данных, формы отчета.

4. *Тренажеры* — ТР. Служат для отработки и закрепления технических навыков при решении задач, выполнения упражнений. Они обеспечивают получение информации по теории и приемам решения задач, тренировку на различных уровнях самостоятельности, контроль и самоконтроль. Как правило, тренажеры включают изучение теории, демонстрацию примеров, работу с репетитором, самостоятельную работу, самоконтроль, контроль.

5. *Контролирующие программы* — КП. Программные средства, предназначенные для проверки (оценки) качества знаний. КП должна предоставлять обучаемому возможность ввода ответа в форме, максимально приближенной к общепринятой, обеспечивать фиксацию результатов контроля, сбор, распечатку и статистический анализ. КП должна анализировать ответ на правильность и выдавать адекватную оценку независимо от формы и синтаксической грамотности ответа.

6. *Справочные системы* — СС. Программы этого класса предназначены для хранения и предъявления обучаемому разнообразной учебной информации справочного содержания. Для них характерны иерархическая организация материала и быстрый поиск информации по различным признакам (гипертексты). Гипертекст состоит из некоторого числа страниц, одни из которых содержат ссылки на другие. У каждого гипертекста есть головная страница. Она появляется на экране в начале работы и содержит название гипертекста и заголовки разделов. Можно выбирать любой раздел и переходить от одного к другому последовательно. Таким образом, СС обеспечивает возможность получения контекстной справки, возможность сохранения и вывода в твердой копии полученной справки.

7. *Компьютерные игры* — КИ. Их можно разделить на два обширных класса. Первый — это игры, движущей силой которых является желание подражать какой-либо жизненной ситуации (например, деловые игры). Второй класс — игры, стержнем которых является желание выиграть. Анализируя процесс обучения в ходе КИ, можно выделить ориентирующий и исполнительный этапы. КИ существенно обогащают учебный процесс и позволяют реализовывать новые подходы к обучению. При этом процесс становится куда более продуктивным и менее утомительным.

Конкретное использование вычислительной техники зависит от предмета обучения, глубины его освоения и сферы практического применения. Сфера применения компьютера в учебных предметах не ограничивается предметами физико-математического и естественнонаучного циклов. Компьютер позволяет на качественно новом уровне изучать и гуманитарные учебные дисциплины, например, историю, литературу, языки.

Современная физика требует высокого уровня технического обеспечения физического образования на всех этапах обучения. Новые информационные технологии (НИТ) активно внедряются в учебный процесс.

Знаковый символ НИТ — компьютер, обеспечивающий хранение, передачу и обработку информации, вычисления и моделирования. Развитие сети Internet устраняет территориальную разобщенность университетов, формирует единое образовательное пространство. Разрабатываются и внедряются дистанционные формы образования, становятся традиционными телеконференции, телеолимпиады.

Экспериментально установленные количественные соотношения между физическими величинами являются важнейшей основой развития физической науки. Соответственно, глубокое понимание физики невозможно без изучения совокупности классических экспериментов, а воспитание физика-профессионала — без развития у него навыков экспериментальных исследований.

Компьютеризация раздела ведется в следующих направлениях: 1) составление и использование обучающих программ; 2) соединение компьютера с экспериментальным оборудованием; 3) самостоятельное составление студентами программ для решения тех или иных физических проблем. Широкое развитие получило первое направление. Профессионалы-программисты совместно с профессионалами-предметниками составили довольно сложные для создателей, но простые для пользователя программы и программные системы-оболочки. Студент выбирает в меню и разнообразных подменю нужную информацию, отвечает на вопросы, выполняет предлагаемые упражнения, вводит свои результаты, получает компьютерные оценки своих успехов и таким образом осваивает ту или иную тему классической электродинамики. Этот вид работы студента особенно эффективен в самостоятельной работе. Второе направление — организация интерфейса с измерительной и исполняющей аппаратурой. Это ведет к автоматизации работы с лабораторным оборудованием, открывая тем самым новые возможности в учебном и научном экспериментах. Здесь также используются совершенные сложные готовые программные продукты.

Если этими двумя направлениями ограничиться, то студент будет лишь пользователем. Если принять за важнейшее умение специалиста умение смоделировать и предсказать дальнейшее развитие физического процесса или явления, то третьему направлению — самостоятельному составлению уравнений и программ для их решения на языках программирования или с использованием пакетов математических программ — следует придать наибольшее значение.

До недавнего времени учебные количественные эксперименты являлись предметом исключительно физического практикума. Большой объем рутинной работы по обработке экспериментальных данных значительно увеличивал время эксперимента. Это делало практически невозможным постановку количественных экспериментов во время лекций.

Развитие электронных средств сбора и обработки информации, появление быстродействующих, компактных компьютеров в корне изменило ситуацию. Время на получение количественных соотношений между величинами может быть существенно сокращено, что заставляет искать возможности постановки количественных экспериментов непосредственно на лекциях.

Бурное развитие микроэлектроники и компьютерной техники привело к тому, что в настоящее время в состав любой экспериментальной установки для научных исследований входит компьютер. Область применения компьютера простирается от непосредственного управления работой установки и регистрации результатов измерений (автоматизация эксперимента) до обработки накопленного экспериментального материала с последующими представлением информации на экране монитора и выводом на печатающее устройство. Поэтому чрезвычайно важно, чтобы студенты уже на младших курсах приобрели опыт работы на автоматизированных установках. Сказанное позволяет ставить вопрос о развитии новых информационных технологий в обучении с привлечением современных технических средств.

Из всех задач дистанционного образования самой неразработанной и противоречивой является проблема лабораторного практикума. Хорошо скомпенсированный лабораторный практикум при его обширной компьютеризации и оп-

тимальном сочетании натуральных, модельных и компьютерных экспериментов легко обеспечивает выход в международное образовательное пространство, соответствующее идее непрерывного физико-математического образования, и обеспечивает движение по восходящей линии от бакалавра до магистра. При этом обеспечивается не только моделирование, но и создание уникальных видеофильмов, демонстрация и показ лабораторной установки, ее принципиальной и рабочей схем.

Современный физический практикум совершенствуется с точки зрения новых информационных технологий в направлениях: автоматизации экспериментальных установок; реализации «базы данных» реальных физических экспериментов, доступных наблюдению и исследованию (рис. 30).



Рис. 30

Лабораторный комплекс практикума позволяет обеспечить доступ к информации о физическом явлении или характеристиках реальных физических систем в течение 1–3 минут.

Современный компьютер для связи с внешними устройствами оснащен несколькими стандартными портами (параллельными LPT и последовательными RS-232). Экспериментальная установка может соединяться с компьютером по одному из этих каналов связи. Нами разработан универсальный многофункциональный интерфейсный модуль, с помощью которого достаточно просто автоматизировать ряд экспериментальных установок как для научных, так и для учебных целей. Данная микропроцессорная система позволит автоматизировать наиболее трудоемкие задачи всех разделов физического практикума.

К таким работам относятся: изучение распределения электронов по энергии и скорости при термоэлектронной эмиссии; изучение переходных процессов в RLC-цепях; изучение

резонанса напряжений и токов в последовательном и параллельном контурах.

Отметим основные достоинства применения автоматизированных учебных установок при выполнении практических работ. Во-первых, студент избавляется от необходимости выполнять зачастую однообразные измерительные операции, отвлекающие его внимание от предмета изучения (исследования). Во-вторых, можно резко увеличить объем проводимых исследований, что позволяет глубже и подробнее познакомиться с изучаемым явлением. В-третьих, появляется возможность изучения быстротекущих явлений в реальном масштабе времени. В-четвертых, возрастает точность измерений, что приводит к возможности наблюдения тонких эффектов.

Участие студентов в компьютеризации лабораторных работ — важнейший вид учебно-исследовательской и самостоятельной работы студентов. Компьютерное моделирование применяется наряду с выполнением лабораторных работ на реальном оборудовании. НПО «Росучприбор» разработало и выпускает лабораторное оборудование по всем основным разделам курса общей физики.

Например, студентом могут составляться необходимые теоретические сведения: а) к анимированным рисункам; б) к расчетным моделям эксперимента; в) к отснятым фотографиям используемого оборудования; г) о том, как уменьшить влияние побочных явлений и факторов, приводящих к методическим и случайным погрешностям (при сравнении результатов, выполнение на натурной установке и на компьютере), или сравнить результаты, полученные на натурной установке и на компьютерном аналоге; д) к анализу ошибок, наглядное представление результатов своих действий; е) компьютер сообщает не только о правильном решении, но и о сильных и слабых сторонах выбранного решения; ж) работа с электронными таблицами при решении задач (в современных электронных таблицах элементами могут быть фрагменты изображений, показания измерительных приборов, переменные из физических законов), их применяют при изучении электрических цепей, при построении графиков физических процессов, при решении задач, где требуется найти значение параметра, зависящего от многих факторов.

В ряде вузов апробирована практика выполнения компьютерных (виртуальных) лабораторных работ.

Приведем пример выполнения компьютерной части лабораторной работы (табл. 13).

Таблица 13

Этапы	Действия	Операции
1	Воспроизведение данных проведенного на реальном оборудовании физического эксперимента	Студент должен удостовериться в справедливости математической модели рассматриваемого явления, лежащей в основе программы имитационного моделирования; оценить типовые искажения, обусловленные несовершенством реальных элементов установки, и неточности сборки схемы в целом.
2	Воспроизведение реальных лабораторных экспериментов при критических значениях параметров, трудно реализуемых на имеющемся оборудовании.	Студент должен получить представления о специфических артефактах цифровых алгоритмов имитационного моделирования, особенностях их проявления в различных экспериментах и возможных способах нейтрализации их влияния.
3	Проведение дидактически важных имитационных экспериментов, которые невозможно выполнить на имеющемся лабораторном оборудовании.	
4	Проведение имитационных экспериментов, самостоятельно конструируемых студентами с целью получения тех или иных требуемых в задании результатов.	
5	Готовится отчет в электронном виде (файл формата Word).	

Компьютерным ядром практикума является моделирующая программа.

В последние годы разрабатывается пакет программ, предназначенных для выполнения лабораторных заданий по различным разделам курса физики (рис. 31).

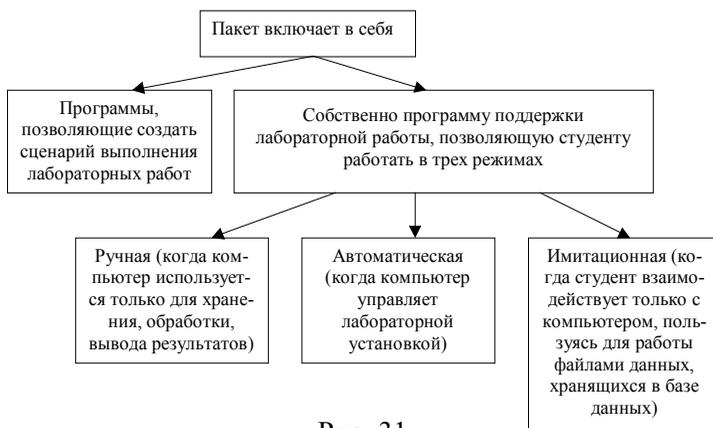


Рис. 31

Состояние проблемы:

1) унифицированные комплексы-стенды, включающие несколько лабораторных работ, характеризуются низким коэффициентом использования, поскольку за каждым таким стендом одновременно могут работать лишь два (в редких случаях четыре) человека; кроме того, работы, размещаемые на стенде, как правило, посвящены одной теме, т.е. студент за семестр выполняет измерения лишь один-два раза;

Как повысить коэффициент использования оборудования?

Можно монтировать работы, требующие сходных наборов приборов.

2) при создании лабораторных установок не предусмотрена возможность задания нескольких вариантов наборов параметров, которые задаются преподавателем в качестве исходных непосредственно перед выполнением работы;

Как предотвратить попытки бездумного списывания студентами результатов друг у друга?

Как быстро оценить разумность (в качественном отношении) получаемых студентами результатов их измерений?

3) проблема организации выездного лабораторного практикума (для использования в школах на педпрактике);

4) проблема ремонта, поддержания лабораторного парка в рабочем состоянии;

Каким должен быть физический практикум? Общепринятой концепции на этот счет до сих пор нет.

5) перечень лабораторных работ складывается, по существу, стихийно, основываясь на двух обстоятельствах: а) наличие оборудования; б) пристрастие преподавателей к тем или иным темам курса.

В конце 70-х гг. разработаны типовые практикумы. Недостаток их в том, что они не охватывали все темы курса, так что по некоторым темам число работ было непропорционально велико.

Требуются: 1) изменение структуры практикума; 2) постановка новых лабораторных работ; 3) новые методические указания к лабораторному практикуму (табл. 14).

Содержание лабораторного курса	
Знания	Умения
1) основные методы физических измерений;	1) наблюдать и понимать исследуемые процессы; планировать логику исследований;
2) физические основы современной аппаратуры, приборов;	2) пользоваться измерительными приборами;
3) основы экспериментального исследования физических закономерностей;	3) обрабатывать полученные результаты.
4) минимальные сведения из дифференциального и интегрального исчисления, векторной алгебры и теории вероятности.	

Проблемы лабораторного физического практикума представлены на рис. 32.

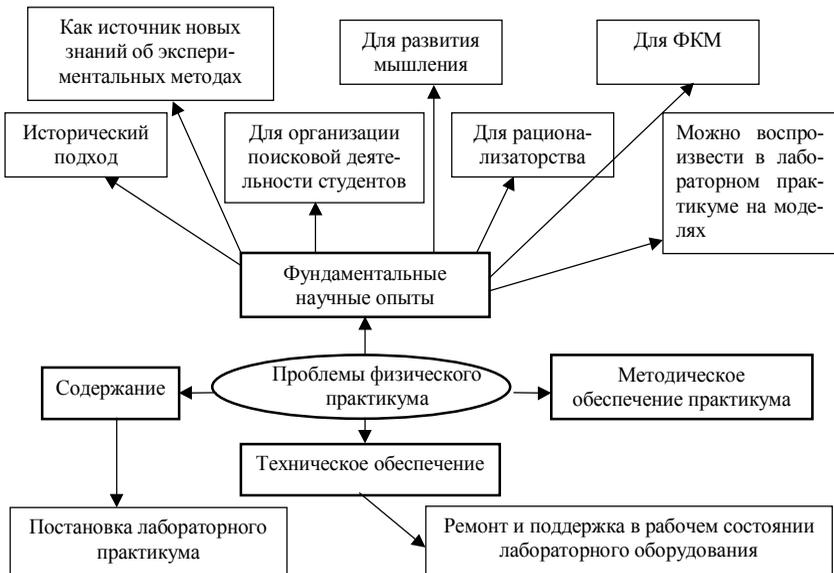


Рис. 32

ГЛАВА 5. ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ СТУДЕНТОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

5.1. Психолого-педагогическая основа взаимосвязи внутрипредметных учебных занятий

Структура курса физики, взаимосвязь между отдельными элементами учебного процесса (лекциями, практическими и лабораторными занятиями) оказывают существенное влияние на качество восприятия и усвоения студентами учебного материала. Наиболее оптимальной является следующая схема проведения занятий: изучение теории на лекции, решение задач по рассмотренной теме на практическом занятии и выполнение соответствующей лабораторной работы. Временной интервал между различными видами занятий должен быть минимальным (несколько дней) при строгом выполнении установленной последовательности. В этом случае в коротком временном интервале различают три основные стадии процесса обучения: ознакомление, освоение, использование.

Органическая взаимосвязь всех видов занятий: лекционных, семинарских, практических и лабораторных является одним из наиболее действенных способов повышения эффективности процесса обучения. При этом, кроме временного упорядочивания тематики разных видов занятий, необходим специальный отбор фактического содержания этих занятий.

В процессе лекционных, семинарских и практических занятий могут быть рассмотрены цели, задачи и некоторые элементы методики проведения лабораторных экспериментов. Причем рассмотрение должно быть полезным как для студентов, уже выполнивших лабораторную работу, так и для студентов, которым еще предстоит ее выполнить. Первым полученная информация должна способствовать более глубокому осмыслению проведенных экспериментов, вторым — более тщательной подготовке и осознанному выполнению всех экспериментальных заданий предстоящей лабораторной работы. В процессе выполнения лабораторных работ возможно проведение экспериментов, результаты которых могут быть использованы при обсуждении на семинарских занятиях или

служить основой при решении задач на практических занятиях. Успешной реализации взаимосвязи перечисленных выше видов знаний (см. 2.1.) способствует разработка соответствующих методических пособий, задачников и дидактических материалов.

Основная концепция организации курса классической электродинамики основана на поиске оптимального сочетания лекционных, лабораторных, семинарских и практических занятий.

Цели и объем этих видов занятий различны. Как их сочетать между собой — задача весьма сложная и требует экспериментального решения.

Формой выражения содержания изучаемых предметов являются программы учебных дисциплин, где дается детальный перечень основных разделов и тем изучаемых предметов, последовательность их изучения, методические и организационные рекомендации. Задачей отдельных программ является указание плана действий для преподавателей и студентов, использование средств и методов при изучении тех или иных предметов. В программах указывается рекомендуемая литература по данному курсу — основная и дополнительная. Но этого явно недостаточно, так как содержание предмета — это не просто сумма сведений, правил, законов, теорий, это система научных сведений, исходящая из содержательной модели деятельности специалиста, его квалификационной характеристики.

Одной из центральных задач совершенствования учебно-воспитательного процесса является выделение главного, существенного в учебном материале и прочное усвоение данного материала. Любой учебный материал представляет собой взаимосвязь знаний и умений. Содержание учебного материала характеризуется определенной системой внутренних связей между элементами, которые определяют его логическую структуру.

В табл. 15 показано, что вопросы классической электродинамики наряду с оптикой занимают одно из самых значительных мест в университетском курсе общей физики.

Таблица 15

Количество часов при изучении общей физики

Дисциплины учебного плана	Всего часов	В %
Механика	158	17,87 %
Молекулярная физика	158	17,87 %
Электричество и магнетизм	176	19,91 %
Оптика	176	19,91 %
Атомная физика	108	12,22 %
Ядерная физика и радиационная безопасность	108	12,22 %
Всего:	884	100 %

И это вполне закономерно, так как соответствует тому значению, которое имеет данный раздел для формирования у студентов знаний об электромагнитной форме движения материи и электромагнитном взаимодействии, для понимания важнейших направлений научно-технического прогресса — электроэнергетики и электроники. Велико значение данного раздела и для политехнического обучения. Электродинамика как раздел курса общей физики является теоретическим фундаментом таких технических наук, как электротехника, радиотехника, многих разделов автоматики и др. Ее значимость определяется тем, что она является базовой для изучения теоретической физики (табл. 16) и других дисциплин учебного плана (табл. 17).

Таблица 16

Количество часов при изучении теоретической физики

Дисциплины учебного плана	Всего часов	В %
Теоретическая механика	126	25 %
Электродинамика	126	25 %
Квантовая механика	126	25 %
Термодинамика и статистическая физика	126	25%
Всего:	504	100 %

Таблица 17

Дисциплины учебного плана, для которых курс «Электричество и магнетизм» является базовым

Дисциплины учебного плана	Всего часов	В %
Теория линейных электрических цепей	72	30,77 %
Основы радиоэлектроники	90	38,46 %
Физика полупроводников и диэлектриков	72	30,77 %
Всего:	234	100 %

Курс физики традиционно строится на основе сочетания лекций, лабораторно-семинарских занятий и спланированной самостоятельной работы студентов (табл. 18).

Таблица 18

Количество аудиторных часов при изучении курса «Электричество и магнетизм»

	Всего часов	В %
Лекции	50	28,41 %
Практические занятия	46	26,14 %
Индивидуальные занятия	16	9,09 %
Лабораторные занятия	64	36,36 %
Всего:	176	100 %

Оптимальное соотношение лекционных и семинарских занятий, как показывает практический опыт преподавания физики в университетах, 1:2.

5.2. Варианты взаимосвязи организационных форм изучения классической электродинамики

Организационно-временное обеспечение подготовки специалиста традиционно отражается в сложившихся организационных формах: лекциях, семинарских, практических, лабораторных занятиях, самостоятельной внеаудиторной работе студентов. Условно представим ведущие группы взаимосвязи знаний и умений в учебном процессе (рис. 33): 1) знания || умения (знания формируются параллельно с умениями); 2) зна-

ния ↔ умения (тесная взаимосвязь); 3) умения → знания (опережение формирования умений); 4) знания → умения (опережение формирования знаний).



Рис. 33

Каждая группа формируемых знаний и умений связана с другой в технологии обучения. На рис. 34 схематично представлена традиционная технология изучения электродинамики (организационно-временное обеспечение), отражающая связь между лекционными занятиями и физическим практикумом.

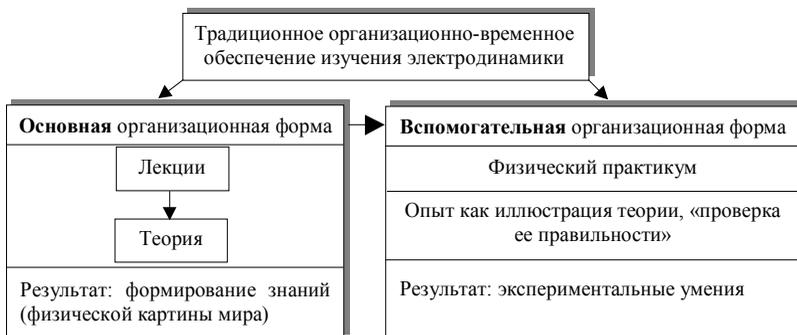


Рис. 34

целям он *рядоположен* с лекционным курсом: сформировать знания и умения студентов в соответствии с требованиями, определяемыми КХ специалиста. В системе лабораторных заданий представлена специально разработанная *программа* обучения студентов основным экспериментальным умениям и необходимым для этого знаниям.

В ней разграничены задания:

- 1) *по получению*, созданию *новых* знаний и умений;
- 2) *по применению* имеющихся знаний и умений: а) в *новых* условиях; б) в *прежних* условиях.

Лабораторный практикум рассматривается нами как *учебный курс*, как учебное руководство для студентов, самостоятельно выполняющих экспериментальные задачи и задания в лаборатории. Программа этого курса разбита по содержанию на блоки, непосредственно связанные с лекционными, где целенаправленно формируются те знания о деятельности, которые необходимы для решения конкретных экспериментальных задач, предлагаемых в лабораторном курсе.

Для обобщения и проверки сформированных умений вводятся наряду с практическими занятиями по решению задач семинарские занятия.

Общую оценку выполнения лабораторных работ, т.е. формируемых умений и знаний классической электродинамики планируется проводить путем оценки отдельно взятых экспериментальных умений на разных этапах организуемого нами педагогического эксперимента. Его проведение основывается на рассмотренной выше концепции взаимосвязи знаний и умений в подготовке специалиста-физика. Для его осуществления необходима разработка контрольного аппарата, критериев сформированности знаний и умений с одновременной разработкой их содержания, систематизации и классификации.

5.3. Тематическое и временное планирование изучения электродинамики

Традиционная схема тематического и временного планирования изучения классической электродинамики представлена в табл. 19. Лекционные и практические занятия построены по логической цепочке, т.е. полученные знания на лекции студент использует на практике при решении задач.

Таблица 19

Номер неделя	Кол-во аудит. часов	Лекционные занятия
1	6	Введение. Взаимодействие заряженных тел. Электростатическое поле в вакууме.
2	4	Электростатическое поле в вакууме. Проводники в электростатическом поле.
3	2	Диэлектрики в электростатическом поле.
4	3	Диэлектрики в электростатическом поле. Энергия электростатического поля. Линейные цепи постоянного тока.
5	2	Линейные цепи постоянного тока. Электрический ток в твердых телах.
6	4	Электрический ток в твердых телах. Электрический ток в вакууме.
7	2	Электрический ток в вакууме. Электрический ток в газах.
8	4	Электрический ток в газах. Электрический ток в электролитах.
9	2	Взаимодействие движущихся электрических зарядов.
10	4	Стационарное магнитное поле в вакууме. Стационарное магнитное поле в магнетиках.
11	2	Стационарное магнитное поле в магнетиках. Электромагнитная индукция.
12	4	Электромагнитная индукция. Энергия магнитного поля.
13	2	Квазистационарные электрические токи.
14	2	Собственные электромагнитные колебания.
15	2	Вынужденные электромагнитные колебания.
16	2	Уравнения Максвелла.
17	2	Электромагнитные волны.
		Практические занятия
1		
2	2	Закон Кулона.
3	4	Напряженность электрического поля. Теорема Гаусса.
4	2	Потенциал электрического поля.
5	4	Проводники в электрическом поле. Конденсаторы.
6	2	Диэлектрики в электрическом поле.
7	4	Энергия электростатического поля. Основные законы постоянного тока.
8	2	Электрический ток в различных средах.
9	4	Однородные и неоднородные участки электрической цепи постоянного тока. Работа и мощность в цепях постоянного тока.
10	2	Правила Кирхгофа.
11	2	Контрольная работа № 1.
12	2	Взаимодействие движущихся электрических зарядов.
13	4	Теорема о циркуляции вектора магнитной индукции. Магнитное поле в магнетиках.
14	2	Электромагнитная индукция. Закон Фарадея.
15	4	Самоиндукция. Индуктивность. Переходные процессы в цепях с постоянной ЭДС.
16	4	Метод векторных диаграмм. Символьный метод расчета цепей синусоидального тока.
17	2	Контрольная работа № 2.

Номер неделя	Кол-во аудит. часов	Лабораторные занятия
1		
2	4	Техника безопасности. Электроизмерительные приборы.
3	4	Изучение электростатических полей методом электролитической ванны.
4	4	Изучение законов постоянного тока.
5	4	Изучение принципа электрических компенсационных измерений.
6	4	Изучение принципа электрических мостовых измерений.
7	4	Изучение зависимости электропроводности металлов и полупроводников от температуры.
8	4	Изучение работы полупроводникового выпрямителя.
9	4	Изучение вакуумного диода и определение удельного заряда электрона.
10	4	Снятие характеристик и определение параметров вакуумного триода.
11	4	Определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли.
12	4	Измерение индуктивности, емкости и проверка закона Ома для переменного тока.
13	4	Измерение мощности и сдвига фаз в цепях переменного тока.
14	4	Изучение резонанса напряжений и токов.
15	4	Изучение ферромагнетизма.
16	4	Электрические свойства диэлектриков.

5.4. Пример блочно-модульного варианта изучения электродинамики

Традиционное построение общего физического практикума, состоящего из набора лабораторных работ по различным разделам курса общей физики, имеет ряд существенных недостатков. Основной из них заключается в том, что в данном случае невозможно синхронизировать изучение материала на лекционных и практических занятиях с выполнением лабораторных работ. Оптимальным является построение практикума по цикловому принципу, когда выполнению конкретного цикла лабораторных работ предшествуют чтение лекций, решение задач, проверка знаний в виде коллоквиума по соответствующей теме. Однако для этого требуется весьма дорогостоящий комплект стандартной измерительной аппаратуры. Вместе с тем всегда можно разработать такие условия учебного эксперимента, чтобы значительно снизить требования к метрологическим параметрам используемых приборов, сохранив методическую ценность практикума [21].

Приведем пример блочно-модульного варианта изучения электродинамики (см. табл. 20, 21, 22).

Таблица 20

№ недели	Кол-во аудит. часов	Лекционные занятия
1-4	14	Введение. Взаимодействие заряженных тел. Электростатическое поле в вакууме. Проводники в электростатическом поле. Диэлектрики в электростатическом поле. Энергия электростатического поля.
4-8	13	Линейные цепи постоянного тока. Электрический ток в твердых телах. Электрический ток в вакууме. Электрический ток в газах. Электрический ток в электролитах.
8-12	12	Взаимодействие движущихся электрических зарядов. Стационарное магнитное поле в вакууме. Стационарное магнитное поле в магнетиках. Электромагнитная индукция. Энергия магнитного поля.
12-17	10	Квазистационарные электрические токи. Собственные электромагнитные колебания. Вынужденные электромагнитные колебания. Уравнения Максвелла. Электромагнитные волны.

Таблица 21

№ недели	Кол-во аудит. часов	Практические занятия
2-4	10	Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Теорема Гаусса. Потенциал электрического поля.
5-8	12	Проводники в электрическом поле. Конденсаторы. Диэлектрики в электрическом поле. Энергия электростатического поля. Основные законы постоянного тока. Электрический ток в различных средах.
9-12	12	Однородные и неоднородные участки электрической цепи постоянного тока. Работа и мощность в цепях постоянного тока. Правила Кирхгофа. Взаимодействие движущихся электрических зарядов.
13-17	12	Теорема о циркуляции вектора магнитной индукции. Магнитное поле в магнетиках. Электромагнитная индукция. Закон Фарадея. Самоиндукция. Индуктивность. Переходные процессы в цепях с постоянной ЭДС. Метод векторных диаграмм. Символьный метод расчета цепей синусоидального тока.

№ недели	Кол-во аудит. часов	Лабораторные занятия
1	2	3
2-4	12	Техника безопасности. Методы обработки экспериментальных данных. Электроизмерительные приборы. Методы измерения напряжения, силы тока, активного сопротивления.
5-8	16	Изучение электростатических полей методом электролитической ванны. Электрическая емкость. Конденсаторы. Изучение зависимости диэлектрической проницаемости от температуры.
9-13	16	Изучение законов постоянного тока. Изучение принципа электрических компенсационных измерений. Изучение принципа электрических мостовых измерений. Изучение зависимости электропроводности металлов и полупроводников от температуры. Изучение работы полупроводникового выпрямителя.
13-17	16	Определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли. Изучение вакуумного диода и определение удельного заряда электрона. Изучение ферромагнетизма. Измерение индуктивности, емкости и проверка закона Ома для переменного тока. Изучение свободных и вынужденных электромагнитных колебаний.

ГЛАВА 6. МЕТОДЫ ПРЕПОДАВАНИЯ И УЧЕНИЯ

6.1. Виды деятельности преподавателя и студента

На рис. 36 представлена информационно-деятельностная структура процесса обучения и связь методов преподавания и учения. Организационная деятельность преподавателя в этом процессе представлена тремя каналами, а деятельность студента — через самоуправляющую деятельность учения и самоконтроль. Рассмотрим более подробно эти виды деятельности.

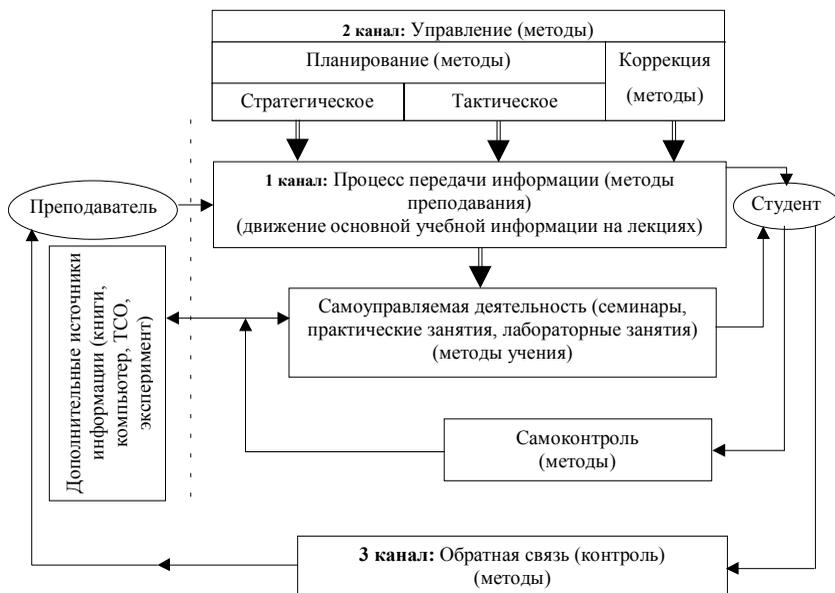


Рис. 36

Общие виды деятельности преподавателя:

- 1) составление заданий для самостоятельной работы студентов;
- 2) составление инструкций к лабораторным занятиям;
- 3) составление экзаменационных вопросов;
- 4) составление контрольных задач и вопросов;
- 5) постановка демонстрационных и лабораторных экспериментов;
- 6) подбор физических задач для практических занятий;
- 7) подготовка и чтение лекций.

Виды *обучающей* деятельности преподавателя *на учебных занятиях* (лекциях, семинарах, лабораторном практикуме):

1. Преподаватель обучает всех студентов (сообщает новое, демонстрирует, показывает).
2. Преподаватель работает со студентом индивидуально (ИР) (работает в индивидуальном режиме).
3. Преподаватель организует самостоятельную работу (СР) студентов.

Виды учебной деятельности студентов (рис. 37):

1) самостоятельная работа (СР) на учебных занятиях в трех режимах:

- 1.1) совместно с преподавателем;
- 1.2) самостоятельно под руководством преподавателя;
- 1.3) с преподавателем индивидуально;
- 2) самостоятельная работа на внеучебных занятиях;
- 3) домашняя самостоятельная работа.

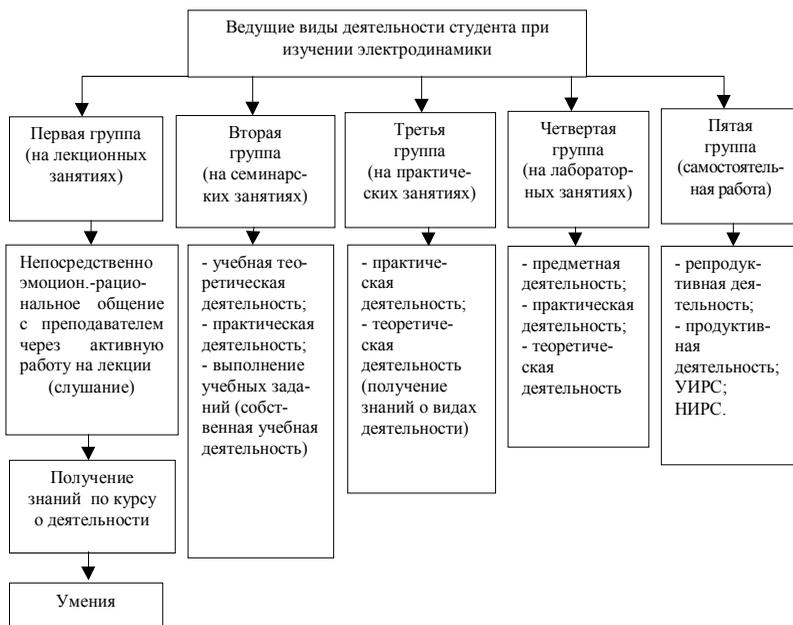


Рис. 37

В теории оптимизации учебно-воспитательного процесса предлагаются следующие критерии оптимального выбора методов обучения:

- соответствие методов основным целям обучения на данном этапе;
- соответствие методов особенностям содержания обучения;
- учет психологических возможностей студентов;
- учет уровня образовательной подготовленности студентов;

- учет особенностей студенческих групп и коллективов студентов и преподавателей;
- учет конкретных внешних условий обучения;
- учет возможностей педагогов по использованию различных методов.

При осуществлении *обучающей деятельности* преподаватель руководствуется общими дидактическими принципами (научности, системности и др.), методами переконструирования учебного материала и др.

Принцип научности, например, предполагает при изложении преподавателем лекционного материала отразить все функции науки: 1) описательную; 2) систематизирующую; 3) объяснительную; 4) производственно-практическую; 5) прогностическую; 6) мировоззренческую.

Принцип наглядности осуществляется преподавателем при отборе и показе на лекциях *основополагающих демонстраций* с их последующим обсуждением на семинарских занятиях. К таким демонстрациям относятся те, которые формируют понятие силы Лоренца, Ампера, энергии электромагнитного поля, электромагнитные свойства вещества и т.д.

Для показа эволюции понятия электромагнитного поля разрабатывается *перманентный демонстрационный эксперимент* — система демонстраций «Уравнения Максвелла». При широком иллюстрировании проявлений законов электродинамики и формировании у студентов четких представлений об их общих особенностях следует руководствоваться рекомендациями Р.Фейнмана [Фейнман Р. Характер физических законов. — М.: Мир, 1968], в которых он перечисляет следующие особенности законов: а) фундаментальные законы выражаются математически; б) они неточны из-за неполного нашего знания; в) они просты в смысле коренной идеи, хотя в природе действуют сложным образом; г) они универсальны.

Под методом опережающего обучения понимается такое изложение основ классической электродинамики, при котором обсуждаются и *критически анализируются физические модели и идеализации*, используемые в этом разделе с целью не простой констатации ограниченности соответствующего

подхода, а чтобы вскрыть природу этой ограниченности, наметить пути построения более общей теории. Например, обсуждение приближенности модели точечных зарядов выводит на проблему нелокальности, калибровочной инвариантности электромагнитного поля — на идею калибровочных полей.

Такие отступления от канвы основного курса подготавливают студентов к восприятию современной физики, снимают многие трудности, в том числе и психологические, усвоения новых идей.

Кроме того, проблема отыскания истоков, предпосылок нового более высшего знания в старом более низшем и более знакомом важна для установления связи не только классической электродинамики → квантовой электродинамики, но и для внутрипредметных связей. Приведем примеры *вопросов методического характера по осмыслению теорий, моделей.*

1. Какой смысл имеет время свободного пробега в классической теории электропроводности?
2. Каковы основные трудности классической электропроводности?
3. Как они в общих чертах преодолеваются?
4. Какая величина в теории электрического поля соответствует магнитной проницаемости μ в теории магнитного поля?
5. Перечислите обстоятельства, благодаря которым H играет в теории магнитного поля такую же роль, как D в теории электрического поля.
6. В чем отличие понятий электромагнитного поля и эфира?
7. Какие экспериментальные факты позволяют судить о справедливости принципа суперпозиции вплоть до очень больших напряженностей электрического поля?
8. Каков физический смысл критериев квазистационарности переменного тока?
9. Чем реальный трансформатор отличается от идеального?
10. Что представляет собой в классической модели сила, приводящая к возникновению давления при поглощении электромагнитной волны в проводящей среде? Правила Кирхгофа.

11. Чем определяются знаки в уравнениях, выражающих правила Кирхгофа, в случае переменных токов?

12. В чем преимущества метода контурных токов и когда его целесообразно применять?

13. Каким требованиям должен удовлетворять бесконечно малый физический объем?

14. При каких условиях можно пользоваться понятием непрерывного распределения зарядов?

15. При каких условиях можно пользоваться представлением о поверхностных зарядах?

16. С какой основной трудностью связано представление об электроны как о точечной частице? Каким искусственным приемом эта трудность преодолевается?

17. Поскольку элементов тока в изолированном виде не существует, в каком смысле можно говорить о прямой экспериментальной проверке формулы для взаимодействия элементов тока? Какой вывод можно сделать из того факта, что силы взаимодействия элементов тока не удовлетворяют третьему закону Ньютона, а замкнутых токов — удовлетворяют?

18. Является ли поле быстро движущегося точечного заряда центральным, центрально-симметричным?

19. Какие формулировки потенциальности электростатического поля вы знаете? В чем преимущество дифференциальной формулировки (потенциал получен при решении соответствующих дифференциальных уравнений)?

Методы проведения занятий по решению задач электродинамики реализуются с учетом изменения требований к подготовке специалиста: физические задачи, в особенности сам процесс их решения, меняют свой характер — из приложения к объясняемой теме они превращаются в новый способ добывания знаний.

Системный подход к отбору задач позволяет преподавателю обобщить и систематизировать огромное количество фактического материала, который при лекционной форме изложения зачастую студентам может показаться набором разнообразной информации. Решая логически построенный ряд задач в каждой теме, студент четче улавливает стержень идеи изученного круга вопросов. Системный подход к отбору задач позволяет ознакомить студентов с наиболее общими

приемами и методами решения традиционных задач, выработать алгоритмический подход к их решению.

При этом остается актуальной проблема сложной, *нетрадиционной задачи*, т.е. задачи, которая предполагает при ее решении нетипичный подход. Действительно, решение большинства так называемых трудных задач целиком зависит как от понимания студентами сути физического явления, так и от их математической подготовленности. Приобретение навыков анализа нетрадиционных задач, чаще всего их расчленения на составляющие мини-задачи и правильного выбора соответствующих алгоритмов становится при этом основным. От преподавателя требуется поддержать интерес студентов, вовремя помочь в преодолении возникших трудностей, подсказать, указать нужную литературу.

Учение как особый вид деятельности студента является преимущественно активной самостоятельной деятельностью, управляемой посредством использования различных обучающих и контролирующих программ. Процесс профессиональной подготовки специалиста немислим без его активного участия в этом процессе.

Для *организации* самостоятельной работы преподавателем разрабатываются:

- 1) банк контрольных индивидуальных заданий;
- 2) тесты по различным темам классической электродинамики;
- 3) методические и дидактические материалы по темам, выносимым на самостоятельное изучение;
- 4) вопросы и качественные задачи к коллоквиуму по теоретическому материалу;
- 5) вопросы и задания к лабораторным работам физического практикума.

Организация самостоятельной работы студентов ведется преподавателем по следующим направлениям:

- 1) выделение в рабочих планах лекционного курса тем, выносимых на самостоятельное изучение; по каждой теме разрабатываются подробный план, контрольные вопросы, качественные и количественные задачи. Обязательно дается перечень учебной литературы (иногда с указанием параграфа);

- 2) организация учебно-исследовательской работы;
- 3) организация НИРС;
- 4) организация контроля за усвоением материала.

Никакие знания по электродинамике не могут быть усвоены студентом без включения их в деятельность. *Знать — это всегда уметь что-то сделать с полученным знанием.* Качество знаний определяется именно тем, что же умеет с ним делать студент. Например, при усвоении понятий электродинамики можно добиться того, что студент будет безошибочно воспроизводить определения отдельных понятий (силы тока, напряжения и др.), приводить примеры, но не уметь построить ни одного нового графика зависимости величин друг от друга. Мы не можем сказать, что студент в этом случае не усвоил понятия, но это не тот уровень усвоения, который обеспечивает использование полученных знаний при решении различных задач. Очевидно, что такое ограниченное усвоение не соответствует требованиям усвоения большинства научных понятий: они всегда должны усваиваться для решения каких-то задач.

Из этого следуют *два вывода*: во-первых, «усвоенное знание» — понятие относительное. Во-вторых, при организации усвоения любых знаний необходимо планировать ту учебную деятельность студента, в которую они должны войти и которая обеспечивает достижение тех целей, ради которых организуется усвоение данных знаний.

Сделаем важное замечание. Отсутствие заботы об учебной деятельности студентов составляет один из *главных недостатков* современного вузовского образования. Это приводит к тому, что студенты пользуются той деятельностью, которой располагают или которую сами случайно находят, сталкиваясь с материалом, выполняя задания с ним. Этот дефект так долго не ликвидируется только потому, что он сочетается с другим, не менее серьезным — неопределенностью в формулировке целей обучения применительно ко всему разделу, к каждой теме учебного занятия. Все вместе взятое приводит к тому, что фактически каждый преподаватель по-своему определяет критерии знаний студентов. Отсюда логично следует разброс в оценках одних и тех же знаний у одного и того же студента. Сказанное означает, что, *кроме программы знаний*, подлежащих

усвоению, должна быть *программа видов учебной деятельности* студентов, в которые эти знания должны войти.

Среди этих видов учебной деятельности часть из них уже сформирована в предыдущем обучении (например, при изучении электродинамики в средней школе), остальные виды учебной деятельности подлежат формированию при изучении классической электродинамики.

Рассмотренный *подход к управлению учебной деятельностью студентов* может быть практически полезным при планировании и подготовке к различным занятиям (лекционным, практическим, лабораторным). Ниже приведена примерная форма планирования лабораторного (практического) занятия.

Тема _____

Основные цели _____

№ п/п	Обрабатываемые вопросы (элементы) содержания	На каком уровне учебной деятельности обрабатываются		Вопросы и задания для контроля
		I репродуктивный	II продуктивный	
1.				
2.				
3.				
4.				

Приведем *примеры интеллектуальных умений в репродуктивной и продуктивной учебной деятельности студентов.*

I. Репродуктивная и репродуктивно-преобразовательская деятельность.

1. Умение узнавать изученные объекты среди предъявленных.

2. Умение воспроизводить определения понятий, законы, факты, события и т.д.

3. Умение воспроизводить способы решения задач.

4. Умение воспроизводить знания с приведением самостоятельных примеров и объяснением воспроизводимого.

II. Продуктивная деятельность.

1. Умение сделать обобщенные выводы, выявить проявление общих закономерностей (на теоретическом и практическом материале).

2. Умение выбрать признаки и осуществить классификацию заданных объектов.

3. Умение сконструировать объект из известных элементов на основе ориентировочных указаний преподавателя.

4. Умение увидеть нестандартные способы и приемы решения задачи.

5. Умение решать нестандартные задачи (алгоритмы и способы решения которых не изучались и студенту неизвестны).

6. Умение составить задачу, решение которой предполагает оригинальные приемы и способы.

7. Умение увидеть и сформулировать проблему в сложившейся ситуации (в ряде случаев это умение может быть выражено в постановке нестандартного вопроса).

Виды деятельности преподавателя и студентов на учебных занятиях и особенно *соотношение между ними* определяют разновидности организации учебных занятий. В табл. 23 приведены возможные *сочетания деятельности преподавателя и студентов на практическом занятии* (при обучении решению задач).

Таблица 23

№ варианта	Деятельность преподавателя	Деятельность студентов
1.	Показывает решение задачи в качестве образца. Объясняет целесообразность избранного способа решения.	Воспроизводят способы действий, осмысливают и закрепляют их.
2.	Раскрывает способ решения задачи, принятой им в качестве образцовой. На отдельных этапах решения привлекает к активному участию.	Воспроизводят способы действий. Осмысливают процесс решения задачи и закрепляют его. Высказывают предложения о целесообразности того или иного способа действия на отдельных этапах решения, а также другие соображения, относящиеся к анализу условий задачи, выдвигаемым гипотезам, к анализу полученных результатов.
3.	Сообщает общие ориентировочные указания к решению задач данного класса. Объясняет и показывает смысл их реализации.	Осмысливают указания, самостоятельно их применяют к конкретному условию задачи.
4.	При обучении решению сложных задач вводит вспомогательные указания разных видов и уровней.	Воспользовавшись указанием, переформулируют задачу или формулируют ее новую модель, с помощью которой самостоятельно продвигаются в решении исходной задачи.
5.	Сообщает условия задач.	Самостоятельно их решают.

Более глубокий анализ разных видов учебной деятельности студента основан на *осознании всех этапов ее выполнения*. Эту схему этапов выполнения деятельности может составить преподаватель (в этом случае студент получает ее в готовом виде) или преподаватель совместно со студентом. В любом случае студент должен *осознать* деятельность, составляющую решение той или иной учебной проблемы.

Приведем пример общей схемы системного анализа элементов системы автоматики (табл. 24), которую можно применять при рассмотрении любой частной системы автоматики. Примечание: по пунктам 5, 6, 7 целесообразно составить единую таблицу для всех типов измерительных схем, рассматриваемых на лабораторно-практических занятиях.

Таблица 24

Действия	Способ выполнения
1. Зарисовать схему. 2. Описать конструкцию. 3. Описать принципы функционирования 4. Описать измерительную схему как элемент системы. 5. Составить таблицу основных характеристик измерительных схем. 6. Указать достоинства и недостатки данной измерительной схемы. 7. Обосновать возможность и целесообразность применения схемы в определенных видах систем.	Выделить: а) состав элементов; б) конструктивное оформление. Выделить метод измерения и его реализацию в схеме. 1. Описать входные и выходные сигналы. 2. Перечислить возможные типы предшествующих и последующих элементов. 3. Построить графическую модель. Выписать данные из литературных источников или определить в ходе лабораторного эксперимента. 1. Сравнительный анализ основных характеристик, полученных в п. 5. 2. Анализ общетехнических показателей: а) конструктивные; б) экономические; в) особенности эксплуатации; г) ограничения. Использовать данные, полученные в п. 5 и 6.

Ориентировочную основу действий составляют при решении задач на сложное разветвление цепей, при рассмотрении действия различных автоматических, электронных устройств, приборов и др.

6.2. Характеристика методов преподавания классической электродинамики

Методы преподавания классической электродинамики как методы, направленные на первичное овладение знаниями, делятся на три группы (рис. 38): 1) информационно-репродуктивные; 2) информационно-развивающие; 3) проблемно-поисковые.

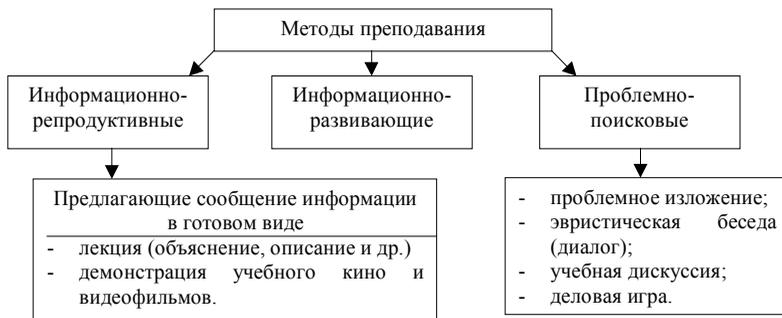


Рис. 38

Объяснение материала, которое ведется этими тремя методами, может осуществляться *на одной и той же лекции*. Методы на лекции порой переплетаются, применяются иногда раздельно, а иногда и совместно, в зависимости от содержания материала.

Используя информационно-репродуктивный метод, преподаватель сообщает студентам факты, правила, законы, формулы и т.д. Задача студента — запомнить фактический материал, понять его и воспроизвести примерно в том же виде. *Это первый уровень усвоения*. Применяя метод информационно-репродуктивного изложения, используют разнообразные *приемы* логического, доступного *изложения* учебного материала:

а) выносятся лишь наиболее важный в смысловом и структурном отношении учебный материал (студенту должно быть ясно, какие конкретно детали, приложения ему необходимо усвоить в процессе самостоятельной работы с литературой);

б) желательна вводная лекция:

- в сжатой схематичной форме представить структуру и содержание того объема материала, который предлагается изучить в течение семестра;

- для создания у студентов целостного представления о предметах изучения, необходимых целевых установок, для ориентации в значимости различных фрагментов изучаемого материала.

Нельзя преуменьшать значение этого этапа в системе образования знаний.

Второй метод изложения — объяснительно-репродуктивный, или *информационно-развивающий*. Здесь раскрываются различные причинно-следственные связи, сравнения, аналогии. Применяются, например, следующие *приемы*.

1. Постановка вопроса во время лекции: «А почему это происходит?», «Где еще вы встречались с этим явлением?», «А что получится, если мы изменим данное положение?» и т.д.

2. Демонстрация явления, наглядного пособия с просьбой разъяснить сущность демонстрируемого.

Сложный и методически трудный прием — *проблемное изложение*. Он требует от преподавателя хорошего знания материала, солидной научно-методической подготовки, опыта и специальной тренировки.

В чем суть проблемного метода? В умении включить мыслительный аппарат студента в процесс познания. Студент не просто познает, он это делает в значительной степени *собственными* усилиями, раздумиями, поиском решений, комбинацией положений, усилиями собственного ума. Проблемное обучение имеет тысячелетнюю историю. Каковы характерные особенности (рис. 39)?



Рис. 39

Существует *три способа* применения метода проблемного обучения:

1) при объяснении преподавателем; 2) при частичном подключении студентов; 3) при исследовании студентами.

Лекция как метод обучения представляет собой монологическое изложение преподавателем учебной информации. Проблемная лекция отличается от обычной тем, что включает в себя постановку проблемы, которую в ходе изложения учебного материала лектор последовательно и логично решает или раскрывает пути ее решения.

На лекции любого типа преподаватель выступает в нескольких ролях:

1) ученого, рассматривающего явления и факты, анализирующего их;

2) педагога, воспитывающего мировоззрение, отношение к делу и пользующегося современными методами преподавания;

3) оратора, пропагандирующего научные знания, убеждающего студентов в объективности познанных законов;

4) психолога, чувствующего аудиторию в целом и каждого студента в отдельности.

Каждая роль требует своих методов и приемов обучения, воспитания студентов.

Лекция — многогранное явление.

Выделяют *четыре функции лекций*: информационную, стимулирующую (пробуждает интерес к теме), воспитывающую, развивающую (даются оценки явлениям, вырабатывающим мышление).

Выделяют также *три уровня анализа лекций*:

1) организационный уровень (о соотношении лекций, семинарских, лабораторных, практических занятий);

2) дидактический уровень (план лекции, демонстрации, ТСО, учет уровня подготовки студентов);

3) методический уровень (разработка отдельных лекций, постановка учебных и воспитательных задач, подбор конкретного материала, определение логического аппарата, разработка методики демонстрации экспериментов, использование наглядных технических средств, введение фактов из практики, учет отражения лекции на семинарских, лабораторных занятиях).

Создание проблемно-поисковой ситуации на лекциях по электродинамике поддается *алгоритмизации*. Действия преподавателя можно описать в виде алгоритма (см. рис. 40).

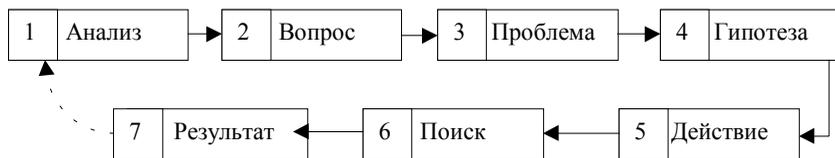


Рис. 40

1-й этап (Анализ) заключается в анализе преподавателем физической сущности лекционного материала, выделении в нем вопросов, которые целесообразно рассмотреть в форме проблемно-поисковых ситуаций. Такими вопросами могут быть:

- крутильные весы Кавендиша и Кулона;
- проблема измерения величины заряда в опытах Кулона.

2-й этап (Вопрос). Выделив в излагаемом материале принципиально новые для студента закономерности (физические законы, способы решения задач и т.п.), преподаватель формулирует вопрос, направленный на раскрытие «ситуации затруднения», например:

- как происходит перераспределение зарядов при соприкосновении заряженного и незаряженного тел?

3-й этап (Проблема). Сформулировав вопрос, преподаватель вскрывает внутренние противоречия, возникающие при его рассмотрении, уясняет, в чем состоит отличие знаний, которыми студент уже владеет, и тех знаний, которые являются целью обучения.

4-й этап (Гипотеза). Преподаватель выясняет сущность умственных затруднений, которые могут испытывать студенты, и заранее намечает возможные пути их действия. На этом этапе происходит формирование и анализ гипотез, которые могут возникнуть в аудитории при рассмотрении проблемной ситуации.

5-й этап (Действие). Преподавателем моделируется процесс познавательной деятельности студента, реализуемой в

виде совместной учебной деятельности. Важно смоделировать (и затем реализовать!) такую проблемно-поисковую ситуацию, которая будет посильна студенту, и в то же время будет достаточно сложной для него, поскольку именно такое противоречие обеспечивает активную побуждающую функцию для всех участников обучения, включая и преподавателя.

6-й этап (Поиск). Преподаватель определяет место проблемно-поисковой ситуации в структуре лекции, разрабатывает методику сообщения студентам сведений, необходимых для учебной деятельности (изменение интонации или манеры чтения, демонстрация слайда, проведение лекционного эксперимента, иногда прямое приглашение запомнить особо важные сведения, имеющие значение для понимания последующего материала).

7-й этап (Результат). Критический анализ всей лекции, в том числе эффективности реализованных проблемно-поисковых ситуаций, позволяет лектору осуществить «обратную связь», постоянно совершенствовать методику и способы реализации этой формы учения.

Рассмотрим конкретные примеры.

Проблемная ситуация по теме «Уравнения Максвелла».

Для стационарного магнитного поля токов в однородной среде справедлив закон полного тока, который можно записать

в виде $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$ (10), где \vec{j} — вектор плотности

тока в точке. Левая часть этого выражения в соответствии с

теоремой Стокса записывается так: $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \int_S \text{rot} \vec{H} \cdot d\vec{S}$ (11).

Сравнив формулы (10) и (11), получим $\text{rot} \vec{H} = \vec{j}$ (12). Плотность тока \vec{j} может быть выражена через объемную плотность заряда ρ и скорость их направленного движения \vec{v} : $\vec{j} = \rho \vec{v}$ (13). Формула (12) с учетом условия (13) принимает вид $\text{rot} \vec{H} = \rho \vec{v}$ (14). Взяв дивергенцию от обеих частей равенства (14), получим $\text{div}(\rho \vec{v}) = 0$ (15). С другой стороны, из закона

сохранения заряда следует $\operatorname{div}(\rho\vec{\vartheta}) = \frac{\partial\rho}{\partial t}$ (16). Сравнивая (15) и (16), замечаем *явное противоречие*, которое и предлагается разрешить студентам. Здесь важно обратить внимание на неординарность решения задачи.

Чтобы устранить полученное противоречие, Максвелл видоизменил закон полного тока. Продифференцировав по времени уравнение электростатики, получим $\operatorname{div}\vec{D} = \rho$, $\operatorname{div}\frac{\partial\vec{D}}{\partial t} = \frac{\partial\rho}{\partial t}$ (17). Сравнив формулы (16) и (17), можно запи-

сать $\operatorname{div}(\rho\vec{\vartheta}) = -\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$ (18).

Таким образом, полный ток, который мы рассматриваем, состоит не только из тока проводимости $\rho\vec{\vartheta}$, но и из тока смещения $\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$. Поэтому вектор плотности тока \vec{j} следует запи-

сывать в виде $\vec{j} = \rho\vec{\vartheta} + \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$ (19).

Тогда уравнение (14) — первое уравнение Максвелла — для электромагнитного поля примет вид $\operatorname{rot}\vec{H} = \rho\vec{\vartheta} + \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$ (20).

Важнейшим условием организации познавательной деятельности студента является *структурирование учебного материала*. Основные задачи преподавателя при этом:

- 1) разработка наиболее рациональной для усвоения структуры учебного материала;
- 2) отыскание способов уплотнения материала, его свертывания и развертывания;

3) выделение способов учебно-познавательной деятельности студентов.

Ранжируют учебный материал следующим образом:

1) выделяют описывающий (не требует доказательств);
 2) выделяют объясняющий (требует доказательств, описаний);

3) выделяют предписывающий (правила, как преобразовать объект или явление);

4) выделяют связующий (идеи, которые связывают 1-3 в единое целое);

5) выделяет проблемный материал.

Приведем *пример проблемной ситуации* при изучении действия магнитного поля на проводник с током (сила Ампера) или на движущийся заряд (сила Лоренца). В соответствии с определением силы Ампера она перпендикулярна направлению протекания электрического тока (движению зарядов) и никакой механической работы не совершает.

При рассмотрении силы необходимо обратить внимание на тот факт, что сила только изменяет направление скорости движения зарядов, не изменяя ее значения. Данное утверждение противоречит тому, что при перемещении проводника с током в магнитном поле механическая работа может быть определена следующим образом.

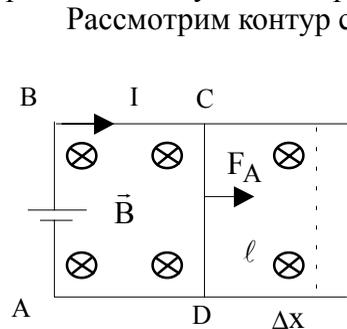


Рис. 41

Рассмотрим контур с током, образованный неподвижными проводниками и скользящей по ним без трения подвижной перемычкой l (рис. 41). Сила Ампера F_A определяется как $F_A = I \cdot B \cdot l$, а работа, совершаемая при перемещении перемычки на расстояние x , равна

$A = F_A \cdot \Delta x = I \cdot B \cdot l \cdot \Delta x = I \cdot B \cdot \Delta S$ и отлична от нуля, что *противоречит* утверждению о том, что сила Ампера механической работы не совершает.

Это противоречие может быть *разрешено* таким образом. Рассмотрим контур ABCD, который пронизывается магнит-

ным потоком $\Phi = BS$. При перемещении проводника магнитный поток возрастает, так как увеличивается площадь контура. Увеличение этого потока равно $\Delta\Phi = B \cdot \ell \cdot \Delta x = B \cdot \Delta S$. В соответствии с явлением электромагнитной индукции в этом

контуре возникает ЭДС индукции $\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{B \cdot \Delta S}{\Delta t}$. Работа по перемещению зарядов под действием этой ЭДС опре-

делится как $A_i = \Delta q \cdot \varepsilon_i = -\frac{\Delta q \cdot B \cdot \Delta S}{\Delta t} = -I \cdot B \cdot \Delta S$, что равно

по величине и противоположно по знаку работе A по перемещению проводника.

Таким образом, полная работа магнитного поля является суммой этих двух работ и в конечном итоге равна нулю.

Выделим особо *метод конструктивного диалога со студентами* по поиску решения различных вопросов и проблем.

Рассмотрим с этой точки зрения *другой вариант проблемной ситуации*. Тема «Токи смещения». Занятие ведется в *форме диалога* преподавателя со студентами. Диалоговое занятие труднее вести, если активность студентов на низком уровне. Это может быть обусловлено неумением выразить свои мысли, отсутствием навыков активного поведения, боязнью попасть впросак, нежеланием «высовываться» и т.п. И тем не менее, о бесполезности проведения занятий методом диалога говорить нельзя.

Преподаватель. Рассмотрим задачу. По отрезку ab длины ℓ распределен равномерно заряд с линейной плотностью τ . Заряд движется со скоростью v вдоль прямой, на которой лежит отрезок ab . Найти циркуляцию вектора \vec{H} вдоль любого контура L , охватывающего отрезок ab , используя гипотезу о токах смещения.

Студент. Выберем поверхность S , ограниченную контуром L , которая не пересекала бы отрезок ab . Тогда $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \frac{\partial N}{\partial t}$.

Преподаватель. Попробуем *предсказать*, как должна вести себя циркуляция вектора \vec{H} , если переходить к отрезкам $a_1 b_1, a_2 b_2, \dots$ все большей и большей длины.

Студент. Поскольку отрезок ab движется вдоль прямой, на которой лежит, то изменение потока обусловлено только крайними эффектами, и циркуляция вектора \vec{H} вдоль контура L должна убывать по мере удаления концов отрезка a и b от контура L .

Преподаватель. Посмотрим, что *покажет расчет*.

Студент решает задачу у доски и получает результат

$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \frac{\tau(\Omega_2 - \Omega_1)}{4\pi}, \text{ где } \Omega_1, \Omega_2 \text{ — телесные углы, под кото-}$$

рыми поверхность S видна из концов отрезка. Если увеличить длину отрезка, то $\Omega_1 \rightarrow 0$ и $\Omega_2 \rightarrow 4\pi$.

Преподаватель. Таким образом, видим, что $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = I$,

так как $\tau\vartheta = I$. Следовательно, из гипотезы токов смещения получен в частном случае закон полного тока без каких-либо дополнительных физических предположений.

Студент. Как можно физически понять полученный результат? Получается некий парадокс: в результате предельного перехода исчезают токи смещения, но остается эффект, ими вызываемый. Может быть, все дело в предельном переходе к несобственному интегралу, а из математического анализа мы знаем, что интеграл от производной по некоторому параметру не всегда равен производной от интеграла.

Преподаватель. В математическом смысле дело заключается именно в этом, но физическое содержание указанного парадокса лежит гораздо глубже. Рассмотрим замкнутый постоянный ток I и контур L , сцепленный с этим током. Проведем поверхность S , ограниченную контуром L , которая в каком-то месте пересечет ток. Ток будем представлять в виде направленного движения зарядов (электронов) без материальной неподвижной среды (положительных ионов), в которой они движутся. От точки пересечения в сторону, противополо-

ложную направлению движения зарядов, отложим отрезок $\Delta \ell$ и удалим заряды, лежащие на этом отрезке. Заряд Δq , находящийся на отрезке $\Delta \ell$, проходит через поверхность S за время Dt . Тогда $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} \approx \frac{\Delta N}{\Delta t}$ и $\Delta N = \Delta q [2\pi - (-2\pi)] / 4\pi$. Подста-

вив в предыдущую формулу, получим $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = I$. И в

этом случае из гипотезы токов смещения получим в пределе закон полного тока без каких-либо дополнительных предположений. Все сказанное заставляет предполагать, что закон полного тока не является фундаментальным законом, но лишь

предельным случаем закона $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \frac{\partial N}{\partial t}$.

Представленные материалы, конечно, не являются планами-конспектами конкретных занятий, однако, они иллюстрируют основные идеи, которые могут использоваться в проблемном обучении.

Разработка методики формирования понятий классической электродинамики (общих, единичных, фундаментальных) включает в себя:

а) организацию наглядного восприятия учебного материала при формировании понятий (демонстрационный, лабораторный эксперимент, ТСО, компьютерная графика и др.);

б) работу над признаками понятий и их определениями (выявление признаков, отделение существенных признаков от несущественных);

в) конкретизацию понятий (проверка усвоения существенных признаков понятия, составление заданий разного уровня сложности, вариативности).

Раскроем для трех конкретных случаев обобщенную методологическую роль математического формализма в формировании релятивистских представлений в электродинамике.

Пример 1. Приведем аналитический вывод выражений для закона Био-Савара-Лапласа в его дифференциальной форме и силы Лоренца. При этом будем использовать лишь один фундаментальный эмпирический закон — электростатический закон Кулона, что позволит установить глубокие релятивистские связи электростатики и электродинамики.

Рассмотрим два неподвижных друг относительно друга электрических заряда q и Q , находящихся на расстоянии r друг от друга. Пусть «собственная» система отсчета, связанная с зарядами, движется относительно «лабораторной», принимаемой за неподвижную, со скоростью $\vartheta = \text{const}$: положим $\vartheta \perp r$ (последнее ограничение не принципиально). В лабораторной системе отсчета электрические заряды взаимодействуют друг с другом с силой

$$\vec{F} = \vec{F}_0 \sqrt{1-\beta^2} = \frac{\vec{F}_0}{\sqrt{1-\beta^2}} - \frac{\beta^2 \vec{F}_0}{\sqrt{1-\beta^2}}; \quad \beta = \frac{\vartheta}{C_0}. \quad (21)$$

Здесь $\vec{F}_0 = k_E \frac{Q \cdot q}{r^2} \vec{e}_r$ определяет электростатическое взаимодействие зарядов в собственной системе отсчета, т.е. взаимодействие «неподвижных» электрических зарядов (закон

Кулона); C_0 — скорость света в вакууме; $\vec{e}_r = \frac{\vec{r}}{r}$.

Первое слагаемое в преобразовании силы (21) можно записать в виде:

$$\vec{F}_E = \frac{\vec{F}_0}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{q \cdot \vec{E}_0}{\sqrt{1-\beta^2}} = q \cdot \vec{E}, \quad (22)$$

где $\vec{E}_0 = k_E \cdot \frac{Q}{r^2} \vec{e}_r$ и $\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$ — напряженность электро-

статического поля, создаваемого электрическим зарядом Q в собственной и лабораторной системах отсчета, соответствен-

но; $\vec{e}_r = \frac{\vec{r}}{r}$ — единичный вектор в направлении радиус-век-

тора \vec{r} с началом в точке нахождения заряда Q.

Особого внимания заслуживает второе слагаемое силы (21). Используя свойства двойного векторного произведения (при условии $\vec{\partial} \perp \vec{r}$):

$$\left[\vec{\partial} \left[\vec{\partial} \cdot \vec{r} \right] \right] = \vec{\partial} (\vec{\partial} \cdot \vec{r}) - \vec{r} (\vec{\partial} \cdot \vec{\partial}) = -\partial^2 \vec{r}^2, \quad (23)$$

а также выражение (22) для первой составляющей силы (21), можем второе слагаемое преобразования (21) привести к виду:

$$\vec{F}_B = -\frac{\beta^2 \vec{F}_0}{\sqrt{1-\beta^2}} \left[q \cdot \vec{\beta}_q \left[\vec{\beta}_Q \cdot \vec{E}_Q \right] \right] = q \left[\vec{\beta}_q \cdot \vec{\beta} \right]. \quad (24)$$

В выражении (24) для слагаемого \vec{F}_B (магнитная составляющая преобразования силы) величина $\vec{B} = \left[\vec{\beta}_Q \cdot \vec{E}_Q \right]$ имеет физический смысл вектора магнитной индукции (индекс q или Q означает, что данная величина относится к соответствующему заряду).

Таким образом, исходя из фундаментального эмпирического закона электростатики — закона Кулона, можно получить имеющее явный релятивистский эффект. Что касается магнитной составляющей силы Лоренца, то она оказывается сугубо релятивистским эффектом, поскольку она исчезает при $\beta \rightarrow 0$. Заметим, что это обстоятельство несколько завуалировано отсутствием коэффициентов, содержащих скорость света, при использовании СИ.

Вектор магнитной индукции $\vec{B} = \left[\vec{\beta}_Q \cdot \vec{E}_Q \right]$, явно обусловленный относительным движением электростатического поля, при таком подходе приобретает естественное релятивистское происхождение. Становится понятным его физический смысл силовой характеристики электромагнитного поля, ответственной за компонент силы Лоренца, зависящую от скорости пробного заряда.

Следует заметить, однако, что этот естественный релятивистский смысл магнитного поля нелегко пояснить, оставаясь в рамках СИ. В этой системе основные элементарные характеристики электромагнитного поля $[\vec{E}; \vec{D}; \vec{B}; \vec{H}]$ не только численно не равны друг другу в вакууме (что нелегко объяснить), но имеют к тому же еще и различные размерности, хотя составляют единый тензор электромагнитного поля (куда приходится вводить не имеющие уже никакого физического смысла уравнивающие размерность коэффициенты). Следует признать, по-видимому, что это делает эту систему малоприменимой для изложения электродинамики.

Рассматривая электростатическое поле движущегося заряда, можно получить выражение для эмпирического закона Био-Савара-Лапласа. При этом индукция магнитного поля \vec{B} возникает как чисто релятивистский эффект при переходе из собственной системы отсчета, движущейся со скоростью \vec{v} , в лабораторную систему координат.

Рассмотрим выражение для индукции магнитного поля \vec{B} , создаваемого электрическим зарядом Q при его движении со скоростью \vec{v}_Q относительно неподвижной системы отсчета. Учитывая соотношение (4), можно записать:

$$\vec{B} = [\vec{\beta}_Q \cdot \vec{E}_Q] = k_E \frac{Q}{r^2 \sqrt{1-\beta^2}} [\vec{\beta}_a \cdot \vec{e}_r]; \quad \vec{e}_r = \frac{\vec{r}}{r}. \quad (25)$$

Здесь \vec{r} — «мгновенный» радиус-вектор, соединяющий движущийся электрический заряд с точкой в неподвижной системе отсчета, в которой определяется магнитное поле \vec{B} .

Пусть теперь магнитное поле создается элементарным электрическим зарядом dq , движущимся со скоростью \vec{v} относительно лабораторной системы отсчета и проходящим путь $d\vec{e} = \vec{v} dt$ за время dt . Индукцию магнитного поля $d\vec{B}$, создаваемого зарядом dq в неподвижной системе отсчета, можно определить при помощи выражения (25):

$$d\vec{B} = k_E \frac{dq}{r^2 \sqrt{1-\beta^2}} [\vec{\beta} \cdot \vec{e}_r] = \frac{k_E}{C_0} \frac{dq}{r^2 \sqrt{1-\beta^2}} \left[\frac{d\vec{e}}{dt} \vec{e}_r \right]. \quad (26)$$

Введя обозначения для силы тока $I = \frac{dq}{dt}$, можно записать

$$d\vec{B} = k_B \frac{1}{r^2 \sqrt{1-\beta^2}} [d\vec{e} \cdot \vec{e}_r]; \quad k_B = \frac{k_E}{C_0}. \quad (27)$$

Здесь $k_B = \frac{1}{C_0}$ — при использовании гауссовой систе-

мы единиц измерения; $k_B = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot C_0^2} = \frac{\mu_0}{4\pi}$ — при ис-

пользовании СИ, \vec{r} — радиус-вектор, соединяющий элемент электрического тока $I \cdot d\vec{e}$ с точкой, в которой определяется магнитное поле. При медленном движении электрического заряда dq , когда $\beta \ll 1$, выражение (26) представляет собой закон Био-Савара-Лапласа для магнитного поля, создаваемого элементом электрического тока $I \cdot d\vec{e}$, изучаемый обычно как чисто феноменологический. Очевидно, выявление релятивистского смысла закона Био-Савара-Лапласа и силы Лоренца существенно проясняет *релятивистский характер магнитного поля*.

Пример 2. Сравнительный анализ аналогий математических выражений физических законов позволяет полнее выявить физический смысл диалектических связей между ними.

Подобная *аналогия* наглядно проявляется *при сравнении* законов Кулона и Био-Савара-Лапласа. Электрическое поле элементарного заряда dq определится законом Кулона:

$$d\vec{E} = E_E \frac{dq \cdot \vec{e}_r}{r^2}, \quad (28)$$

в то время как для магнитного поля элементарного тока $d\vec{I}$ в соответствии с законом Био-Савара-Лапласа можно записать:

$$d\vec{B} = k_B \frac{[d\vec{I} \cdot \vec{e}_r]}{r^2}. \quad (29)$$

Здесь $\vec{e}_r = \frac{\vec{r}}{r}$ — единичный вектор в направлении радиус-вектора \vec{r} , $d\vec{I} = I \cdot d\vec{e}$ — элементарный вектор электрического тока силы I в направлении движения положительных зарядов.

Явная аналогия выражений для электростатического и магнитного полей продолжается при вычислении результирующего поля, обусловленного всем контуром электрических зарядов или электрического тока:

$$\vec{E}(\mathbf{r}) = \int_L d\vec{E}; \quad \vec{B}(\mathbf{r}) = \int_L d\vec{B}. \quad (30)$$

В простейшем случае прямолинейного бесконечного контура L (бесконечный прямолинейный ток или бесконечная прямая заряженная нить) для электрического и магнитного полей получаем в соответствии с формулами (28–30):

$$\vec{E}(\mathbf{r}) = k_E \frac{2 \cdot \lambda \cdot \vec{e}_r}{r}, \quad (31)$$

где $\lambda = \frac{dq}{dt}$ — линейная плотность электрического заряда,

$$\vec{B}(\mathbf{r}) = k_B \frac{2 \cdot e [\vec{e}_e \cdot \vec{e}_r]}{r}. \quad (32)$$

Здесь $\vec{e}_e = \frac{1}{I} \frac{d\vec{I}}{de} = \frac{d\vec{e}}{de}$ — единичный вектор в направлении элементарного вектора электрического тока $d\vec{I}$.

Аналогия электрического и магнитного полей становится совсем прозрачной, если сравнить модули векторов напряженности электрического поля и магнитной индукции:

$$E(\mathbf{r}) = k_E \frac{2 \cdot \lambda}{r}; \quad B(\mathbf{r}) = k_B \frac{2 \cdot e}{r}. \quad (33)$$

В то же время важно отметить существенное и принципиальное различие векторов $d\vec{E}$ и $d\vec{B}$ в выражениях (28) и

(29): вектор напряженности электростатического поля $d\vec{E} \uparrow\uparrow \vec{e}_r$, т.е. коллинеарен радиус-вектору \vec{r} и расположен на прямой, проходящей через элементарный электрический заряд dq , в то время как вектор магнитной индукции $d\vec{B} \perp \vec{e}_r$, причем вектор $d\vec{B}$ нормален как вектору \vec{r} , так и вектору $d\vec{l}$; существенно при этом, что силовая линия магнитного поля не пересекает линию электрического тока. Другими словами, следует подчеркнуть центральный (потенциальный) характер электростатического поля $d\vec{E}$ и нецентральный вихревой характер магнитного поля $d\vec{B}$.

Разумеется, отмеченная аналогия математических выражений для электрического и магнитного полей не случайна и обусловлена их глубокими релятивистскими связями, рассмотренными выше.

Пример 3. *Релятивистский смысл магнитного поля* можно подчеркнуть, анализируя поле движущейся заряженной нити и механизм его взаимодействия с движущимся электрическим зарядом.

Рассмотрим бесконечную прямую нить, заряженную с линейной плотностью $\lambda > 0$, или, другими словами, непрерывный ряд электрических зарядов $dq = \lambda \cdot de$. Электрическое поле такой нити в собственной системе отсчета

$$\vec{E}_0 = k_E \frac{2 \cdot \lambda}{r} \vec{e}_r. \quad (34)$$

Если пробный электрический заряд q движется параллельно заряженной нити со скоростью ϑ_q , то на заряд q в системе отсчета, связанной с нитью, действует электрическое поле.

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\sqrt{1-\beta^2}} = k_E \frac{2 \cdot \lambda \cdot \vec{e}_r}{r \sqrt{1-\beta^2}}; \beta_q = \frac{\vartheta_q}{C_0} \quad (35)$$

Пусть теперь бесконечная прямая нить с плотностью электрического заряда λ движется со скоростью ϑ_λ вдоль своей оси относительно лабораторной системы отсчета. В неподвижной системе отсчета в результате движения заряженной нити возникает магнитное поле. Для вектора магнитной индукции этого поля можно записать:

$$\vec{B}_\lambda = \frac{1}{\sqrt{1-\beta_\lambda^2}} [\vec{\beta}_\lambda \cdot \vec{E}_0]; \vec{\beta}_\lambda = \frac{\vec{\vartheta}_\lambda}{C_0}. \quad (36)$$

Если при этом в неподвижной системе отсчета со скоростью $\vec{\vartheta}$ движется электрический заряд q , то на него действует сила Лоренца, магнитная составляющая которой определяется как скоростью нити $\vec{\vartheta}_\lambda$, так и скоростью заряда $\vec{\vartheta}_q$:

$$\vec{F}_B = q[\vec{\beta}_q \cdot \vec{B}_\lambda]; \vec{\beta}_q = \frac{\vec{\vartheta}_q}{C_0}. \quad (37)$$

Что касается электрической составляющей силы Лоренца, то в этом случае она также зависит от скоростей $\vec{\vartheta}_\lambda$ и $\vec{\vartheta}_q$:

$$\vec{F}_E = \frac{\vec{F}_0}{\sqrt{1-\beta_{\lambda q}^2}}; \vec{\beta}_{\lambda q} = \frac{\vec{\vartheta}_\lambda - \vec{\vartheta}_q}{C_0}. \quad (38)$$

Для простоты здесь предполагается коллинеарность и малость скоростей $\vec{\vartheta}_\lambda$ и $\vec{\vartheta}_q$: $|\vec{\vartheta}_\lambda - \vec{\vartheta}_q| \ll C_0$.

Вернемся к индукции магнитного поля, создаваемого в лабораторной системе отсчета движущейся заряженной нитью. С учетом (36) и (34) можно записать

$$\vec{B}_\lambda = k_E \frac{2\lambda}{r\sqrt{1-\beta_\lambda^2}} [\vec{\beta}_\lambda \cdot \vec{e}_r]. \quad (39)$$

Введем обозначение $\vec{I} = \lambda\vec{\vartheta}_\lambda$, т.е. \vec{I} — вектор, равный по модулю силе тока, обусловленного движением заряженной нити относительно лабораторной системы отсчета и совпадающий по направлению со скоростью движения нити $\vec{\vartheta}_\lambda$. В этих обозначениях магнитное поле бесконечной нити представляется в виде:

$$\vec{B}_\lambda = k_B \frac{2}{r\sqrt{1-\beta_\lambda^2}} [\vec{I} \cdot \vec{e}_r]; k_B = \frac{k_E}{C_0}. \quad (40)$$

Выражение (40) для индукции магнитного поля, создаваемого движущейся бесконечной заряженной нитью, совпада-

ет с результатом интегрирования формулы Био-Савара-Лапласа (29) для магнитного поля, создаваемого элементом электрического тока $\underline{I} \cdot d\vec{e}$ в пределах от $-\infty$ до $+\infty$. Другими словами, величина \vec{B}_λ в формуле (40) имеет смысл индукции магнитного поля бесконечного прямого тока. В частности, из (40) при малых скоростях нити $v_\lambda \ll c_0$ для $B_\lambda = |\vec{B}_\lambda|$ получаем:

$$B_\lambda = k_B \frac{2I}{r}. \quad (41)$$

Однако выражение (40) для индукции магнитного поля прямого тока интересно тем, что оно получено непосредственно из рассмотрения электростатического поля движущейся заряженной нити при помощи релятивистских преобразований.

При изучении силового взаимодействия электрического заряда с квазинейтральным проводником тока может возникнуть вопрос: если пробный заряд q движется вдоль прямого тока со скоростью v_q , то в неподвижной системе отсчета на заряд действует магнитное поле тока

$$\vec{B} = k_B \frac{2}{r} [\vec{I} \cdot \vec{e}_r], \quad (42)$$

т.е. обусловленная этим полем сила Лоренца

$$\vec{F}_B = \frac{q}{\sqrt{1-\beta_q^2}} [\vec{\beta}_q \cdot \vec{B}]. \quad (43)$$

В частности, при условии $\vec{v}_q \uparrow \uparrow \vec{I}$ заряд $q > 0$ будет притягиваться к прямому току. При переходе в систему отсчета, связанную с зарядом q , магнитное поле тока (42) не исчезает, однако, сила Лоренца (23) обращается в нуль в силу $\beta_q = 0$. Тем не менее, согласно принципу относительности, взаимодействие заряда q с прямым током должно привести в данном случае к притягиванию уже неподвижного (в собственной системе отсчета) заряда к квазинейтральному проводнику с током.

Физический механизм этого взаимодействия можно пояснить нарушением квазинейтральности проводника с током «с точки зрения» заряда q , т.е. в системе отсчета, связанной с этим зарядом.

Из-за различия относительных скоростей положительных и отрицательных зарядов в собственной системе отсчета (заряда q) линейные плотности этих зарядов в квазинейтральном проводнике претерпевают различные изменения, электрический заряд проводника с током оказывается отличным от нуля, что и приводит к появлению электрического поля в системе отсчета, связанной с пробным зарядом q . Другими словами, суммарная линейная плотность электрического заряда проводника с током $\lambda_{\Sigma} = \lambda^{(-)} + \lambda^{(+)} \neq 0$, в результате чего электрическое поле проводника оказывается

отличным от нуля:
$$\vec{E}_{\lambda} = k_E \frac{2\lambda_{\Sigma}}{r} \vec{e}_r. \quad (44)$$

Это электрическое поле и обуславливает взаимодействие пробного заряда q с токонесущим проводником, которое наблюдается в неподвижной системе отсчета и проявляется в притяжении и отталкивании заряда от проводника в зависимости от направления движения заряда.

Последовательное выявление и анализ релятивистских связей и аналогии между электростатическими и электродинамическими явлениями помогает в решении сложнейшей мировоззренческой задачи формирования диалектических представлений о современной физической модели мира.

Важно обращать внимание на *границы применимости законов*, закономерностей. Рекомендуется даже ввести рубрику «Обратите внимание» в описаниях лабораторных работ, в записях учебного материала на лекциях. Приведем примеры.

1. Делитель напряжения.

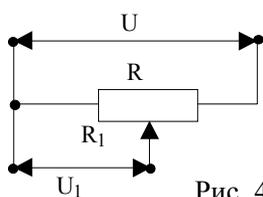


Рис. 42

$$U_1 = U \frac{R_1}{R}. \quad (45)$$

Формула (45) является строгой только в том случае, когда к делителю напряжения не подключена дополнительная нагрузка или сопротивление нагрузки бесконечно велико. При ко-

нечном, но большем по сравнению с R_1 сопротивлении формула (45) верна лишь приближенно. В случае малого сопротивления нагрузки через сопротивление R_1 течет только часть полного тока и падение напряжения U_1 значительно меньше определенного формулой (45).

2. Мост Уитстона.

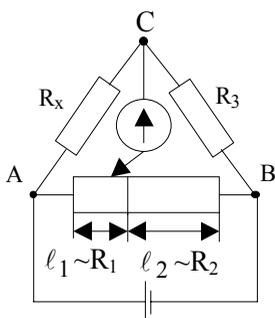


Рис. 43

$$R_x = R_3 \frac{R_1}{R_2} = R_3 \frac{l_1}{l_2} . \quad (46)$$

Сопротивление R_1 и R_2 можно заменить длинами l_1 и l_2 провода только в том случае, когда используется однородный провод.

3. Работа электрического тока

$$W = U \cdot I \cdot t = \frac{U^2 t}{R} = I^2 \cdot R \cdot t . \quad (47)$$

Формула (47) справедлива при условии, что сила тока постоянна во времени. В этом случае носители заряда движутся с постоянной скоростью и вся электрическая энергия превращается в тепловую (джоулево тепло).

4. Энергия электрического поля.

$$W = \frac{c \cdot U^2}{2} = \frac{Q^2}{2 \cdot c} \quad (48)$$

Выражение (48) справедливо для электрического поля любой конфигурации.

5. Энергия магнитного поля.

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 \quad (49)$$

Это выражение (49) справедливо для магнитного поля любой конфигурации.

6. Эффективные значения тока и напряжения.

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot I_m \quad (50)$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot U_m \quad (51)$$

Формулы (43), (44) справедливы только в случае переменного тока синусоидальной формы.

Электродинамические величины имеют достаточно *сложные наименования*, работу с которыми рекомендуется проводить *по единой форме*. Приведем примеры.

1. Вводится векторная величина — электрическое смещение \vec{D} , модуль которой равен поверхностной плотности заряда σ . Если \vec{D} — вектор электрического смещения, \vec{E} — вектор напряженности электрического поля, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл/(В·м) — электрическая постоянная, то $\vec{D} = \epsilon_0 \cdot \vec{E}$.

Рядом записывается: СИ $\frac{D \quad \epsilon_0 \quad E}{\text{Кл/м}^2 \quad \text{Кл/(В м)} \quad \text{В/м}}$.

2. Вводится магнитный поток — Φ . Если Φ — магнитный поток, B — магнитная индукция, B_n — нормальная составляющая магнитной индукции, S — площадь поперечного сечения поля, то для однородного поля $\Phi = B_n \cdot S$.

Рядом записывается: СИ $\frac{\Phi \quad B \quad S}{\text{Вб} = \text{В с} \quad \text{Тл} = \text{В с/м}^2 \quad \text{м}^2}$.

Изучение классической электродинамики ведется *на основе методов*: а) с широким использованием физической *экспериментальной базы*; б) обращением к *истории* физических открытий; в) анализом методик проведения фундаментальных *физических экспериментов*; г) лекционного *демонстрационного эксперимента*; д) обсуждения *результатов* физических опытов, имеющих принципиальное значение для развития физических теорий; е) *решения экспериментальных задач* и др.

Электромагнитное поле — это материальный носитель передачи электромагнитного взаимодействия, оно определяет-

ся как вид материи, обнаруживаемый по действию на электрические заряды. Представление о *материальности поля* дается путем *физического эксперимента*, доказывающего и показывающего разные виды действия поля (табл. 25).

Таблица 25

Основные действия электромагнитного поля

Действия стационарного поля		Действие переменного поля (электромагнитные волны)
электрического	магнитного	
1. Электризация тел. 2. Ориентирующее действие на наэлектризованные тела. 3. Движение заряженных макротел в электрическом поле (притяжение и отталкивание наэлектризованных тел). 4. Движение заряженных частиц в электрическом поле (токи в металлах, полупроводниках, газах, электролите и т.д.). 5. Превращение энергии электрического поля в другие виды энергии.	1. Намагничивание тел. 2. Ориентирующее действие на намагниченные тела. 3. Движение намагниченных тел в неоднородном магнитном поле (притяжение и отталкивание). 4. Действие на движущиеся электрические заряды (сила Лоренца), на проводник с током (сила Ампера). 5. Превращение энергии магнитного поля в другие виды энергии.	1. Взаимодействие с веществом: а) отражение, преломление, дифракция, поляризация; б) давление на вещество; в) поглощение волн веществом; г) фотоэффект; д) люминесценция; е) химические действия. 2. Физиологические действия. 3. Распространение волн со скоростью $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$. 4. Переход электронов в атомах с одного энергетического уровня на другой (поглощение и вынужденное излучение). 5. Превращение энергии электромагнитного поля в другие виды энергии.

Преподаватель, исходя из возможностей имеющегося оборудования, показывает на опытах (демонстрационных, лабораторных) эти действия. Как правило, все пять действий электрического поля можно показать *в разных вариантах* эксперимента.

Экспериментальный метод преподавания — ведущий метод наряду с лекционным. В истории развития классической электродинамики известны такие эксперименты, которые сыграли основополагающую роль в становлении науки, в разработке научных представлений, законов, теорий, а также в совершенствовании техники, технологии производства. Эти научные эксперименты были названы *фундаментальными* (ФНЭ). К ним относятся опыты Кулона, Герца, Столетова, Милликена, Иоффе и др. Каковы их особенности? ФНЭ име-

ют ряд существенных особенностей и отличий от обычных демонстраций и лабораторных опытов, что выделяет их в особую группу экспериментальных основ классической электродинамики и требует особого подхода к их изучению.

1. Характерной отличительной чертой ФНЭ является то, что они в большинстве своем выступают как источники принципиально важных знаний в системе физического образования и современной НКМ.

2. Структура и содержание ФНЭ отражают в себе процесс познания, творческий подход поиска ученого. Это позволяет говорить о том, что результаты этих экспериментов могут оказаться полезными в организации учебно-познавательной деятельности студентов при изучении физики.

3. В развитии классической электродинамики ФНЭ стали важными вехами. На каждом этапе развития учения об электромагнитных явлениях возникали такие ситуации, когда для разрешения противоречий приходилось ставить решающие эксперименты.

В связи с этим сведения об этих экспериментах могут быть полезными для развития мышления, творчества и рационализаторства. Методическая оснащенность того или иного ФНЭ неодинакова.

Какова последовательность рассмотрения ФНЭ?

Оправдывает себя последовательность, изображенная на рис. 44.



Рис. 44

1. Исторический этап в развитии классической электродинамики. Рассказ о сложившейся к моменту проведения ФНЭ обстановке. Приводится *коллизия мнений*.

2. *Гносеологическая цель* ФНЭ. Выясняется основное назначение ФНЭ. Например, в экспериментах Герца ставилась

цель определить, существуют ли на самом деле электромагнитные волны (свободное электромагнитное поле). Возникла **проблема получения и обнаружения** таких волн.

3. Разработка экспериментального метода, т.е. формулирование гипотезы, создание или подбор экспериментального оборудования, способы анализа данных эксперимента.

4. Описание хода, условий эксперимента. Важно обратить внимание на выяснение физического принципа, осуществляющегося в эксперименте, на раскрытие оригинальности подхода ученого, описание личности самого ученого (его взглядов, убеждений, общественной деятельности).

5. Обобщения по результатам фундаментального эксперимента: для осмысления полученных данных, их значимости в НКМ, для философской и мировоззренческой оценок роли использования экспериментальных методов в познании природы. На этом этапе можно обобщить вопросы, например: а) на каком физическом законе основан метод Кавендиша для проверки закона Кулона? какова точность проверки закона Кулона современными средствами по методу Кавендиша? для каких расстояний эти проверки справедливы?; б) позволяет ли современная экспериментальная техника разделить вклад в поляризованность от постоянных и индуцированных дипольных моментов? какие физические факторы приводят к невозможности рассмотрения поляризации плотных полярных диэлектриков как результата переориентации дипольных моментов в локальном поле?

Постановка ФНЭ

Все ФНЭ, исходя из возможностей постановки (имеется в виду уникальность, сложность, стоимость оборудования, выполнение ТБ и и др.), можно разделить на 3 группы (рис. 45).



Рис. 45

Давно и успешно применяются в обучении *экспериментальные задачи*. Высока роль расчетных и качественных экспериментальных задач. Нерешенной педагогической проблемой остается видовая принадлежность экспериментальных задач. Некоторые рассматривают их как один из видов задач, в других работах их относят к видам учебного эксперимента. Требуется дальнейший поиск ведущих учебных функций задач в обучении. Сложной проблемой является разработка методики применения *комплекса различных видов задач*, в том числе и экспериментальных.

Особо выделим *методы и приемы стимулирования эмоционально-ценностного отношения к изученному материалу* (создание «положительного» эмоционального фона занятий); приемы эмоционально-психологической помощи студенту (заинтересованность в успехах студента в их учебной деятельности, доброжелательность, педагогическое терпение, помощь в смысловом самоопределении материала).

Это: а) эмоциональный эффект современного лекционного эксперимента, демонстрируемого в большой аудитории; б) необходима яркая, эмоционально преподнесенная вводная часть лекции; в) вера в успех процесса обучения — создание «ситуации успеха», когда студент обретает уверенность в собственных силах и возможностях; г) проведение «занятия радости», на котором студент получает возможность наилучшим образом самовыразиться и получить удовольствие от того, что он знает и умеет; д) установление правильных взаимоотношений между преподавателем и аудиторией, между студентами в группе; е) все приемы, чтобы сделать студента соучастником учебного процесса.

6.3. Характеристика методов учения студентов при изучении классической электродинамики

Учение — разносторонняя деятельность самих студентов. В процессе учения студент познает основные понятия и закономерности электромагнитных явлений, приобретает определенные интеллектуальные и практические умения и навыки. Этот процесс обычно делят на рациональное и чувственное познание (рис. 46).

Для чувственной ступени познания электромагнитных явлений важны, во-первых, *действия* студентов с конкретными предметами, например, сборка электрической цепи или измерение силы тока и напряжения. Во-вторых, важны *наблюдения* электрических, магнитных явлений, *слушание* объяснения наблюдаемого, *составление* их словесного описания. Особую роль здесь приобретают средства наглядности (демонстрационные опыты, модели, таблицы, кинофильмы и т.д.).

Рациональную ступень познания иногда называют логической ступенью, или просто мышлением. Мышление — опосредствованное и обобщенное познание студентом электромагнитных явлений. На этой ступени познания студенты *обобщают* данные своего чувственного восприятия, *систематизируют* их и *устанавливают связи* между ними, приходят к *пониманию* сущности электромагнитных явлений, *установлению* законов, логическому развитию теории электромагнитного поля, к *выводу* экспериментально проверяемых следствий этой теории.

Мышление *связано* с процессом чувственного познания. Формирование представлений, например, об электрических цепях происходит на основе восприятия опыта и условного наглядного материала. Здесь в результате аналитико-синтетической деятельности *одновременно* происходит *конкретизация* условных обозначений при составлении электрической цепи по электрической схеме и *абстрагирование* при переходе от реальных объектов цепи (измерительные приборы, провода, источник тока и т.п.) к их изображению. Процесс формирования представлений (зрительных образов, отражающих явление) играет важную роль в развитии мышления студентов.

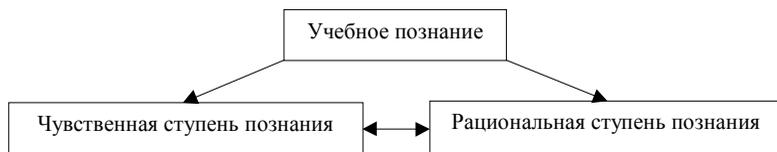


Рис. 46

Важную роль в усвоении знаний играют эмоции, чувства: удивления, радости или удовлетворения, которые возникают при:

а) нахождении студентом правильного решения трудной задачи;

б) при удачном выполнении им лабораторной работы;

в) при успешном выступлении на диспуте, т.е. удовлетворение, радость всегда возникают *при успешном создании студентом* какого-то образовательного продукта.

Виды мышления, выделенные по различным основаниям, представлены на рис. 47.



Рис. 47

Схема формирования типов мышления студентов в зависимости *от характера обучения* представлена в табл. 26.

Таблица 26

Тип обучения	Характер умственных операций	Тип мышления
Алгоритмное обучение	Точное копирование преподавателя и учебника	Репродуктивное стандартное мышление
Описательно-объяснительное обучение	Полусамостоятельное осмысление; преобразование и усвоение учебного материала	Полусамостоятельное репродуктивно-вариативное мышление
Проблемно-поисковое обучение	Самостоятельное синтезирование новых понятий из элементов имеющихся знаний	Самостоятельное творческое (продуктивное) мышление

В основе *методов учения* лежат *методы научного познания* (рис. 48).

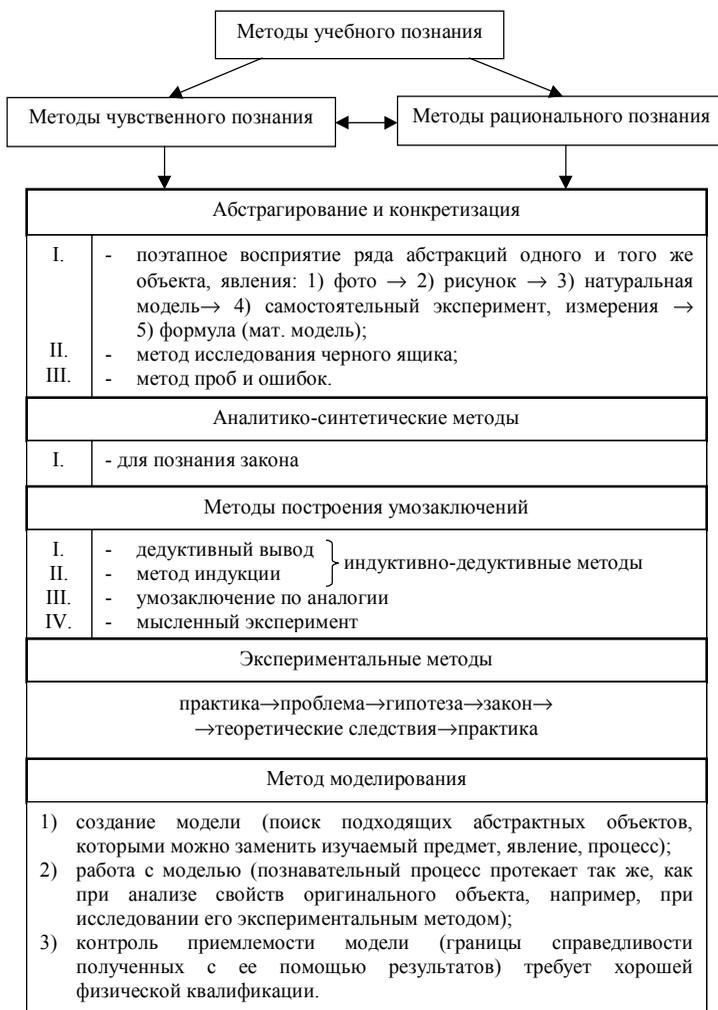


Рис. 48

При использовании и изучении электрических приборов студенты нередко применяют *метод исследования «черного ящика»*. Например, если не объясняется принцип действия осциллографа, авометра, то эти приборы можно считать «черными ящиками». Студенты должны понять лишь связь между вводом в них данных и получением определенной информации. На при-

мере осциллографа показывается, что при изменении во времени электрического напряжения, поданного на его «Вход», получается на экране трубки определенное изображение. Следовательно, по таким изображениям можно изучать характер изменения во времени неизвестных напряжений исследуемой цепи.

Метод «черного ящика» связан с изучением объекта, внутреннее устройство которого неизвестно, а свойства (черный ящик) можно исследовать, задавая определенные условия, приводящие к конкретным выходным данным. Технические (бытовые) приборы представляют для большинства потребителей такие черные ящики.

Развитие теоретического мышления студентов, что является результатом овладения методами учения, — одна из важнейших задач обучения. При ее решении целенаправленно на основе различных заданий и упражнений формируются у студентов умения *сравнивать* (табл. 24), *обобщать* (табл. 25), *систематизировать*, *классифицировать* учебный материал (табл. 26).

Таблица 27

Сравнение формул электрического и магнитного полей

Электрическое поле	Магнитное поле
q	$I \cdot \Delta \ell$
$F = k_0 \frac{q_1 q_2}{r^2}, k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$	$F = k_1' \frac{I_1 I_2}{r} \Delta \ell, k_1' = \frac{\mu_0}{2\pi}$
$E = \frac{F}{q}$	$B = \frac{F}{I \cdot \Delta \ell}$
$E = k_0 \frac{q}{r^2}$	$B = k_1' \frac{2I}{r}$
$N = ES \cos \alpha$	$\Phi = BS \cos \alpha$

Таблица 28

Основные характеристики поля

Вид поля	Основные характеристики поля (величины)
Электрическое	Кулоновская сила, $F = k_0 \frac{q_1 q_2}{r^2}$
	Напряженность \vec{E}
	Электрическое смещение \vec{D}
	Потенциал φ
	Объемная плотность энергии $\omega_e = \frac{\epsilon_0 \epsilon}{2} E^2$

Электрические и магнитные величины

Таблица 29

Электрические величины			Магнитные величины		
Величина	Уравнение	Единица	Величина	Уравнение	Единица
Сила тока	$I = \frac{dq}{dt}$	А	Напряжение индукции	$U = -N \frac{d\Phi}{dt}$	В
Заряд	$q = I \cdot t$	Кл=А·с	Магнитный поток	$\Phi = B \cdot S$	Вб=В·с
Напряжение	$U = E \cdot d$	В	Магнитодвижущая сила	$F = H \cdot \ell$	А
Напряженность поля	$E = \frac{U}{d}$	$\frac{В}{м}$	Напряженность поля	$H = \frac{I \cdot N}{\ell}$	$\frac{А}{м}$
Электрическое смещение	$D = \frac{q}{S}$	$\frac{Кл}{м^2}$	Магнитная индукция	$B = \frac{\Phi}{S}$	$Tл = \frac{В \cdot с}{м^2}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2}$	$\frac{\Phi}{м}$	Магнитная постоянная	$\mu_0 = \frac{1}{\epsilon_0 c^2}$	$\frac{Гн}{м}$
Относительная диэлектрическая проницаемость	ϵ_r	–	Относительная магнитная проницаемость	μ_r	–
Абсолютная диэлектрическая проницаемость	$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$	$\frac{\Phi}{м}$	Абсолютная магнитная проницаемость	$\mu = \mu_r \mu_0$	$\frac{Гн}{м}$
Емкость	$C = \frac{q}{U}$	$\Phi = \frac{Кл}{В}$	Индуктивность	$L = \frac{\Phi \cdot N}{\ell}$	$Гн = \frac{В \cdot с}{А}$
Емкость плоского конденсатора	$C = \frac{\mu \cdot S}{d}$	Φ	Индуктивность тороидальной катушки	$L = \frac{\mu \cdot S \cdot N^2}{\ell}$	Гн
Энергия поля	$W = \frac{C \cdot U^2}{2}$	Дж=Вт·с	Энергия поля	$W = \frac{L \cdot I^2}{2}$	Дж=Вт·с
Энергия плоского конденсатора	$W = \frac{\epsilon \cdot E^2 \cdot V}{2}$	Дж=Вт·с	Энергия тороидальной катушки	$W = \frac{\mu \cdot H^2 \cdot V}{2}$	Дж=Вт·с
Плотность энергии	$\omega = \frac{\epsilon \cdot E^2}{2} = \frac{D \cdot E}{2}$	$\frac{Дж}{м^3}$	Плотность тока	$\omega = \frac{\mu \cdot H^2}{2} = \frac{B \cdot H}{2}$	$\frac{Дж}{м^3}$

Широкое применение заданий на сопоставление понятий, явлений, закономерностей, имеющих черты сходства и различия, различные аналогии (табл. 30), развивает мышление студентов.

Таблица 30

Аналогия между электрическим полем и полем тяготения

Наименование	Величины	
	в поле тяготения	в электрическом поле
Характеристика тела, от которой зависит сила, действующая на него	Масса m	Заряд q
Величина, определяющая свойства поля	Ускорение свободного падения \vec{g}	Напряженность \vec{E}
Сила, действующая на тело и на заряд	$\vec{F} = m\vec{g}$	$\vec{F} = q\vec{E}$

Электромагнитные и механические аналогии могут оказать определенную помощь в изучении студентами сложных понятий электродинамики. Существующее в физике формальное подобие между механическими и электрическими (и магнитными) величинами проиллюстрируем ниже на ряде примеров. Благодаря такому чисто формальному математическому подобию многие явления механики и электродинамики описываются совершенно сходными уравнениями. При этом при решении ряда задач по электричеству или магнетизму можно воспользоваться известными из механики результатами вычислений аналогичных механических процессов. Кроме того, использование электромеханических аналогий оказывает и методическую помощь в восприятии изучающими сложные электродинамические закономерности и явления при сопоставлении их с известными процессами механики.

Магнитная энергия W_m электрического тока I (движущихся зарядов) равна $W = \frac{L \cdot I^2}{2}$. С другой стороны, в механике

кинетическая энергия W_k тела массы m , движущегося со скоростью v , определяется по формуле $W_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$. Эти фор-

мулы

мулы совершенно одинаковы, если с массой m сопоставить индуктивность проводника L , а с механической скоростью $\dot{\vartheta}$ — силу тока I , т.е. скорость движения зарядов. Это соотношение позволяет утверждать, что индуктивность L характеризует инерционные свойства электрического тока. Указанное сопоставление можно продолжить: скорость $\dot{\vartheta}$ равна производной от перемещения S по времени t , а сила тока I производная от заря-

да q по времени $\dot{\vartheta} = \frac{dS}{dt}$, $I = \frac{dq}{dt}$. Из аналогий этих формул можно сопоставить перемещению S заряд q .

Закон электромагнитной индукции Фарадея, согласно которому ЭДС самоиндукции равна $\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt}$, аналогичен вто-

рому закону Ньютона $F = m \frac{d\dot{\vartheta}}{dt}$, поэтому можно ЭДС сопоставить механическую силу F и тем самым рассмотреть как электрическую силу.

Потенциальная электрическая энергия заряженного конденсатора емкостью C равна $W_C = \frac{1}{2} C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} q \cdot U$. Если записать механическую потенциальную энергию деформирован-

ной пружины жесткости k $W = \frac{1}{2} \frac{F^2}{k} = \frac{1}{2} k \cdot x^2 = \frac{1}{2} F \cdot x$, то мы убеждаемся в их полной аналогии, если с жесткостью пружи-

ны k сопоставить величину, обратную емкости $\left(\frac{1}{C}\right)$, а силе F разность потенциалов U .

Задания на сравнения, отыскание черт сходства и различия представляют собой важный элемент процесса усвоения знаний, формирования творческих способностей. Примеры

таких заданий: сравнение закона Кулона и закона всемирного тяготения; магнитного и электрического полей; основных характеристик полей, ответы на вопросы, например:

1. Какие основные факторы обуславливают различие между диэлектрическими свойствами разреженных и плотных газов? В чем состоят эти различия ?

2. Какое соответствие существует между параметрами, характеризующими колебательный контур, с сопротивлением, емкостью и индуктивностью, и параметрами механических колебаний системы с трением?

Полезно студентам давать задания типа: приведите пример явления или процесса, при рассмотрении которого необходимо использовать конкретную физическую величину, например, напряженность электрического поля или потенциал электрического поля. Что она характеризует? Например, при работе над понятиями «электризация», «поляризация», «ионизация» полезно предлагать задания типа: приведите пример явления или процесса, при рассмотрении которого необходимо использовать данное понятие, каков смысл данного понятия.

Рассматривая вопросы, связанные с особенностями электрического поля в проводниках и диэлектриках, полезно предложить охарактеризовать электрические свойства конкретного вещества, например, железа.

Необходим систематический разбор со студентами ответов на вопросы типа «Что это значит?». Например, напряжение равно 2 В. Что это значит? Мало применяется вопросов и заданий на доказательство, например:

1. Почему сила взаимодействия двух заряженных тел, вообще говоря, изменяется в присутствии третьего заряженного тела? Является ли это нарушением принципа суперпозиции?

2. Каков механизм возникновения доменов? Почему домены не могут быть очень большими?

Анализ вузовских задачников по физике показывает, что на практических занятиях студенты решают в основном *вычислительные задачи*, мало используются другие виды задач, в частности, *экспериментальные*. Как говорилось в 6.2., решение экспериментальных задач способствует более полному

и глубокому усвоению физических понятий, сущности физических явлений и процессов, совершенствует экспериментальные умения, развивает интеллект студентов.

Следует отметить, что эти задачи требуют простых мыслительных операций с данными (снятие показаний с приборов, простые измерения, сравнение и разделение, причина и следствие, анализ и синтез, конкретизация и обобщения). Приведем примеры экспериментальных задач.

1. Почему нельзя произвести электризацию металлов соприкосновением? Как наэлектризовать металл? Соберите установку.

2. Всегда ли можно определить объемную плотность заряда? Как это сделать?

3. Каким образом можно изменить индукцию и напряженность магнитного поля внутри магнетика?

4. Как определить знаки зарядов соприкасающихся тел? Продемонстрируйте.

5. В чем физическая причина зависимости сопротивления и индуктивности проводника от частоты переменного тока? На каком оборудовании это можно показать?

Экспериментальные задачи, требующие сложных мыслительных операций (трансляция, трансформация, обоснование, индукция, дедукция, аргументация, оценка, верификация), — это задачи, для решения которых необходимо творческое мышление.

На практических занятиях *целесообразны: приемы «На ошибках учимся», проблемные задачи.*

Прием «На ошибках учимся».

В качестве примера рассмотрим задачу, которую можно использовать на завершающем этапе изучения темы «Электростатика».

Задача. К конденсатору с известной емкостью и зарядом параллельно подсоединяется такой же, но незаряженный конденсатор. Чему равна энергия электрического поля второго конденсатора?

Часть студентов вообще не приступают к решению задачи, полагая, что энергия электрического поля присоединен-

ного конденсатора W_2 будет равна половине первоначальной энергии W_0 электрического поля первого конденсатора.

Большинство студентов, воспользовавшись формулой

$W = \frac{q^2}{2 \cdot C}$ и учитывая, что заряд q поделится поровну между

конденсаторами, приходят к выводу, что энергия поля

$W_2 = \frac{q_0^2}{8 \cdot C}$, т.е. энергия второго конденсатора, составляет

только четвертую часть от первоначальной. Те студенты, которые не приступали к решению задачи, перепроверяют вычисления и приходят к выводу, что они ошиблись.

Но в чем причина ошибки? Часть энергии поля конденсатора израсходована, но куда?

Звучат различные предположения: «Энергия расходуется на нагревание, излучение». Однако в этом случае теряемая энергия зависела бы от параметров цепи, и соотношение $W_0:W_2=4$ не было бы постоянным. Удвоение емкости системы, которое происходит при подсоединении конденсатора, может быть осуществлено и другими способами, например, в случае плоского конденсатора — увеличиваем площади пластин в 2 раза за счет внешних сил. Если проводить этот процесс достаточно медленно, то совершенно очевидно, излучение и тепловые выделения исключаются, однако, уменьшение энергии ΔW будет таким же, как и за счет удвоения емкости присоединением конденсатора. Какой же физический процесс, приводящий к уменьшению энергии, является общим при различных способах изменения емкости?

Как показывает практика, студенты делают правильный вывод: таким процессом является перемещение электрических зарядов, сопровождающееся работой электрических сил

$$A = -\Delta W.$$

Студентам предлагается самостоятельно рассчитать эту работу для рассматриваемой задачи.

Если в течение отведенного промежутка времени это не удается, то проводится коллективное решение задачи.

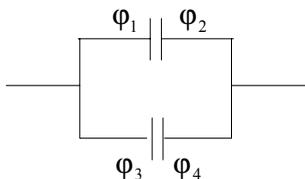


Рис. 49

$$dA = (\varphi_1 - \varphi_2) dq; \quad \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{q}{C};$$

$$\varphi_3 - \varphi_4 = \frac{q_0 - q}{C}; \quad |\varphi_1| = |\varphi_2|;$$

$$|\varphi_3| = |\varphi_4|; \quad \varphi_2 = \frac{q}{2 \cdot C}; \quad \varphi_3 = \frac{q_0 - q}{2 \cdot C};$$

$$A = \int_{q_0}^{\frac{q_0}{2}} \left(\frac{q}{2 \cdot C} - \frac{q_0}{2 \cdot C} + \frac{q}{2 \cdot C} \right) dq = \frac{q^2}{2 \cdot C} \Big|_{q_0}^{\frac{q_0}{2}} - \frac{q_0}{2 \cdot C} q \Big|_{q_0}^{\frac{q_0}{2}} = -\frac{q_0^2}{8 \cdot C}.$$

Этот результат удваивается, так как работа совершается и при перемещении зарядов с пластины с потенциалом φ_4 на пластину с потенциалом φ_1 . Таким образом, убеждаемся, что половина энергии поля конденсатора расходуется на совершение работы по перемещению зарядов при подключении второго конденсатора. Но почему именно половина? Нетрудно заметить, что присоединение $n-1$ одинаковых незаряженных конденсаторов к одному заряженному приводит к тому, что каждый конденсатор будет иметь, соответственно, значе-

ния заряда, напряженности, энергии $q_n = \frac{q_0}{n}$; $E_n = \frac{E_0}{n}$;

$W_n = \frac{q_0^2}{2 \cdot C_n}$. Возникшую ситуацию можно использовать для

объяснения того, что энергия электрического поля не обладает свойством аддитивности.

Действительно, пусть результирующее поле взаимодействия двух зарядов $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$; тогда $E^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2 \cdot \vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2$;

$$\int \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2 dV}{2} = \int \frac{\epsilon \epsilon_0 E_1^2 dV}{2} + \int \frac{\epsilon \epsilon_0 E_2^2 dV}{2} + \int \frac{\epsilon \epsilon_0}{2} E_1 E_2 dV.$$

Следствием этого является то, что при возрастании на-

пряженности поля в n раз энергия поля возрастает в n^2 раз, что и объясняет результат рассматриваемой задачи.

Часто звучит вопрос: «А как быть при увеличении емкости плоского конденсатора в 2 раза за счет уменьшения расстояния между пластинами? Ведь в этом случае напряженность поля не меняется, а значит, как следует из вышеизложенного, не должна меняться и энергия конденсатора».

Действительно, напряженность не меняется, а следовательно, не меняется и удельная энергия поля, но меняется в 2 раза объем, а поэтому и энергия конденсатора уменьшается тоже наполовину. Таким образом, в процессе решения этой задачи студенты переосмысливают модельные представления электростатики и воспринимают их на более высоком уровне.

Приведем еще два примера рассмотрения конкретных физических задач либо на практических занятиях, либо в домашней работе студентов.

1. Расчет потенциалов электрического поля, созданных бесконечно протяженными равномерно заряженными телами (нить, цилиндр, плоскость).

2. Расчет энергетических потерь при переходных процессах в электрических цепях, содержащих конденсаторы.

Обращается внимание студентов на роль источника тока и работы, совершаемой им в ходе процесса. Обычно при решении задач первого типа студент использует выражение для

потенциала поля точечного заряда $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\Delta q}{r}$, на которые

он мысленно разбивает рассматриваемое тело, и принцип аддитивности потенциала, согласно которому

$\varphi = \sum \varphi_i = \sum_i \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\Delta q_i}{r_i}$. Проведя расчет, он приходит к тому,

что потенциал в каждой точке пространства равен бесконечности. Полученный результат оказывается неожиданным для студента. Ведь применение той же методики для расчета напряженности электрического поля для тех же тел приводит к правильным ответам. Попытка определить потенциал с использованием работы, совершаемой при перемещении еди-

ничного заряда из рассматриваемой точки на бесконечность, дает тот же результат.

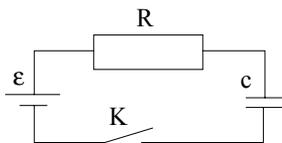


Рис. 50

В качестве примера задач второго типа можно предложить найти количество теплоты, выделившейся в цепи (см. рис. 50) после замыкания ключа К.

ЭДС батареи и емкость конденсатора равны ϵ и C . В процессе решения задачи студенты обычно вычисляют количество теплоты, выделившейся на сопротивлении R за время dt , используя $dQ = 2I^2(t)dt$, где $I(t) = \frac{\epsilon}{R} e^{-t/R \cdot C}$.

Проинтегрировав выражение dQ по времени, студенты получают величину $Q = \frac{C \cdot \epsilon^2}{2}$, которая не зависит от величины R .

Как объяснить полученный результат? Что будет происходить, если $R \rightarrow 0$ или $R=0$? Какую роль играет источник тока, включенный в цепь? Во что превращается работа по перемещению электрического заряда, совершенная им?

Прием «Физический парадокс»

Физические парадоксы построены на противоречиях, поэтому могут выступать в качестве проблемных ситуаций.

Рассмотрим в качестве примера методику проведения практических занятий с использованием физических парадоксов по теме «Постоянный электрический ток».

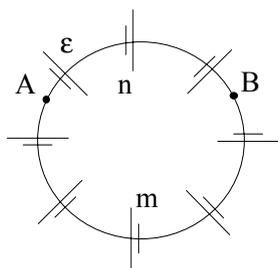


Рис. 51

На доске изображается электрическая цепь (рис. 51) и объясняется, что между точками А и В сверху находится n одинаковых источников, а снизу — m одинаковых источников. Задается вопрос: «Что покажет вольтметр, подключенный между точками А и В?». Студенты обычно отвечают, что если $n \neq m$, то $U_{AB} \neq 0$. На самом деле показание вольтметра равно

нулю, так как $I = \frac{U_{AB} + n \cdot \mathcal{E}}{n \cdot r}$ при обходе по часовой стрелке

от А к В и $I = \frac{(n + m) \cdot \mathcal{E}}{(n + m) \cdot r}$ при обходе по замкнутому контуру.

Эти равенства справедливы при условии $U_{AB} = 0$.

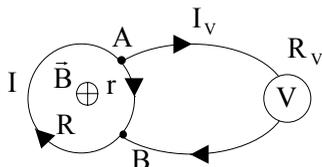


Рис. 52

Затем предлагается усложненный вариант этой задачи. В замкнутом контуре (рис. 52) создан индукционный ток с помощью переменного магнитного поля, сосредоточенного вблизи оси этого контура перпендикулярно его плоскости. Вольтметр подключен к точкам А и В, где r — сопротивление участка АВ при обходе по часовой стрелке, R — сопротивление участка ВА.

Студентам задается вопрос: «Что покажет вольтметр?». Они обычно записывают следующие выражения:

$\varphi_A - \varphi_B = I \cdot r$ и $\varphi_A - \varphi_B = I \cdot R$. Отсюда следует, что $r = R$, но этого быть не может, поэтому $\varphi_A - \varphi_B$ и $U_{AB} = 0$. Так как, по второму правилу Кирхгофа, $I_r = I_V R_V = 0$, то вольтметр покажет $U_{AB} = I_V R_V = I_r \neq 0$. Это и будет правильным ответом при $I_V \ll I$.

Составление студентами сборников задач различного типа — важный путь формирования умений решать задачи. Например, студентами предложены две задачи.

Задача 1. Какая из схем (рис. 53а, 53б) демонстрации свободных электромагнитных колебаний наиболее эффективна?

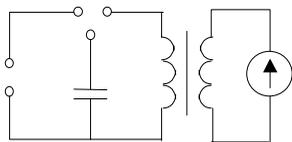


Рис. 53а

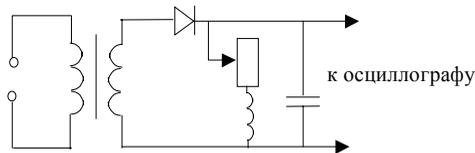


Рис. 53б

Задача 2. Какая из демонстраций явления самоиндукции (рис. 54а, 54б) более эффективна?

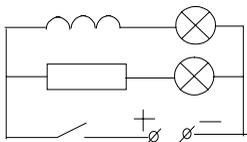


Рис. 54а

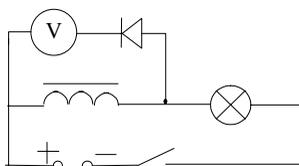


Рис. 54б

Важно научить студентов *осмысливать методы решения задач*.

1. Какие методы определения напряженности поля по заданному распределению зарядов вы знаете? Чем определяется в каждом конкретном случае выбор метода решения задачи?

2. Какими преимуществами по сравнению с другими методами обладает нахождение напряженности поля путем решения уравнений Лапласа и Пуассона?

Рассмотрим методы учения в *лабораторном практикуме*:

1) по итогам практикума организуется конференция (семинар);

2) решение в ходе практикума исследовательских задач;

3) использование компьютера для измерений;

4) самостоятельное планирование, разработка и конструирование лабораторных работ;

5) постановка многозадачных лабораторных задач;

6) использование ФЭН для организации поисковой деятельности студентов;

7) самостоятельная работа на уровне, соответствующем стандарту обучения;

8) ответы на вопросы.

Метод активного эксперимента может осуществляться в двух вариантах.

1 вариант. Студенты изучают цель работы, подбирают приборы и принадлежности и предлагают различные варианты решения поставленной задачи. Студент на основании некоторых исходных данных и физических законов предварительно рассчитывает ту величину, которую ему предстоит измерять. Оценивает предполагаемую погрешность измерений и в присутствии преподавателя ставит контрольный эксперимент.

2 вариант. Используется лабораторный комплекс, в основу которого положен принцип конструктора. Из имеющегося большого набора элементов студенты собирают физические установки.

Самостоятельная учебно-познавательная деятельность студентов интенсифицируется на основе *компьютеризации*: усиливается наглядность; активизируется диалог в компьютерной среде, индивидуализируется обучение и регулируется его темп.

Учебный диалог с компьютером относится к интерактивному методу, т.е. тесному взаимодействию обучаемых и компьютера в диалоговом режиме. Это требует создания компьютерных программ, адаптированных в целом к программе обучения по дисциплине.

Сложились *два* наиболее характерных *подхода к организации* лабораторного практикума по физике.

1. Первый связан с «имитированием» работы лабораторной установки: «виртуальными» осциллографами, секундомерами и другими измерительными приборами, с которых можно снять показания, программно обеспеченные моделированием какого-либо физического процесса.

2. В основе второго подхода лежит идея о создании комплексной гибкой многоуровневой системы, обеспечивающей наряду с моделированием физических процессов индивидуализацию и дифференциацию процесса обучения с одновременным осуществлением контроля и самоконтроля знаний.

Программно-методический комплекс лабораторных работ представляет собой средство информационной поддержки аудиторных и индивидуальных занятий по курсу классической электродинамики. Комплекс включает в себя программные продукты для контроля знаний, самоконтроля, проведения лабораторного практикума.

Дидактические возможности комплекса приближают к уровню индивидуальной работы преподавателя и студента. Обучающее тестирование по теоретическим основам строится в диалоговом режиме с иллюстрациями, анимацией и возможностью самостоятельной записи формул. Предусматрива-

ются возможности получения, обработки, хранения экспериментальных данных и предоставление отчета о выполнении лабораторной работы. Можно наращивать и подключать модули для расширения возможностей комплекса. Возможны варианты при оценке погрешностей измерений. Расчет погрешностей косвенных измерений основывается на формуле, по которой производится вычисление измеряемой величины, и опирается на ту же ее модель. Следует дать возможность студенту самому оценить вклад в погрешность различных факторов и выделить основные из них; либо все это включить в описание работы с соответствующими пояснениями. В каждом случае конечный результат должен отвечать действительному значению измеряемой величины в пределах вычислительной погрешности.

Ответы на вопросы — один из широко распространенных методов учения.

Содержание вопросов требует постоянного совершенствования. По одной теме целесообразно составить несколько *пакетов вопросов*. Например, для лабораторных работ должно быть минимум два пакета. Первый пакет вопросов используется при допуске студентов к самостоятельному проведению эксперимента и позволяет проверить представления об изучаемом явлении, его взаимосвязи с основными законами физики, экспериментальной установке и методике проведения измерений. Второй пакет вопросов используется при защите выполненной работы, он должен включать более сложные вопросы, касающиеся проведения воспроизведенного явления в различных ситуациях, возможности его использования для совершенствования техники, на этом этапе целесообразно потребовать от студентов самостоятельного вывода некоторых полезных соотношений.

Для практических занятий целесообразно подготовить «цепочку» вопросов:

- а) что такое самостоятельный и несамостоятельный ток?
- б) почему между электродами возникает пространственный заряд? каково его действие?
- в) за счет каких факторов подвижность отрицательных зарядов оказывается большей, чем положительных?

Вопросы задают объем самостоятельной работы студентов и позволяют им понять уровень предъявляемых требований (рис. 55).

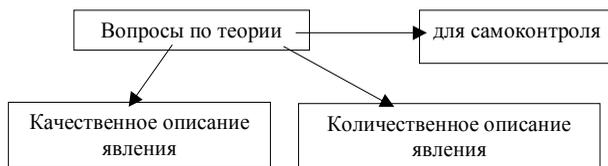


Рис. 55

Примеры качественных вопросов.

1. Как изменяется действие сил на магнетик, если магнитная проницаемость среды отличается от магнитной постоянной и становится больше или меньше магнитной проницаемости магнетика?

2. В каком соотношении находится направление вектора плотности тока к направлению вектора скорости заряда?

3. В чем заключаются физические процессы, приводящие к возможности существования электромагнитных волн? Какова структура плоской волны и чему равна скорость ее распространения в вакууме?

4. Можете ли вы привести пример линии, которая вся находится в конечной области пространства, но не имеет ни начала, ни конца?

5. Чем определяется плотность импульса электромагнитной волны?

6. Что можно сказать о физическом смысле потенциала в рамках электростатики? Какой физический смысл имеет разность потенциалов?

7. Какие основные факторы обуславливают независимость диэлектрической проницаемости неполярных диэлектриков от температуры в достаточно широких пределах?

8. Следствием какого свойства электростатического поля является отсутствие тангенциальной составляющей напряженности поля вблизи поверхности проводника?

Примеры количественных вопросов.

1. Почему диамагнетизм парамагнетиков мал по сравнению с парамагнетизмом? Дайте качественные оценки.

2. В чем заключается метод проверки закона Кулона для больших расстояний? До каких расстояний имеются прямые результаты проверки? Каковы они?

3. На чем основана проверка справедливости закона Кулона для очень малых расстояний? Каковы результаты проверки?

Примеры вопросов для самопроверки.

1. Каковы физические условия реализации резонанса токов и резонанса напряжений?

2. При каких условиях возникает скин-эффект?

3. Опишите физические процессы, приводящие к отражению энергии от нагрузки. При каком условии отражение отсутствует и вся передаваемая по линии энергии поглощается нагрузкой?

4. Выполнение какого условия необходимо потребовать, чтобы из равенства нулю интеграла следовало равенство нулю подинтегрального выражения? Приведите примеры.

5. Какие физические обстоятельства обуславливают возможность нормировки скалярного потенциала? Какие нормировки наиболее употребительны и когда они целесообразны?

6. При каких условиях поляризованность диэлектриков достигает насыщения?

7. В чем заключается условие применимости формулы для сопротивления среды между электродами через емкость конденсатора, образуемого электродами?

Сложившаяся система организации учебного процесса в настоящее время включает, как правило, *три* организационные формы проведения занятий: лекции, практические и лабораторные занятия. При такой организации активность студентов в изучении теоретического материала оказывается, как показывает многолетняя практика, явно недостаточной. Они мало работают с литературой, не вникают глубоко в изучаемые проблемы. Так, нередко студент может достаточно грамотно объяснить содержание того или иного физического закона, дать определение физической величины, но затрудняется самостоятельно найти ход решения конкретной задачи — прежде всего, из-за недостаточного овладения логикой организации материала.

Более совершенной формой организации учебного процесса является *семинар*. Семинарские занятия позволяют творчески обсудить различные стороны физических понятий, законов, уравнений, эффектов, содержащих вопросы проблемного характера, на которые в учебных пособиях нельзя найти прямой ответ.

Приведем пример исторически созданной проблемной ситуации, которую можно обсудить на семинаре. Профессор физики Х.Эрстед в 1820 году открыл, что под влиянием тока в проводнике магнитная стрелка отклонялась от своего обычного направления. Тогда на основании сделанного открытия создается проблемная ситуация: «Если два тока оказывают действие на магнитную стрелку, то они оказывают действие и друг на друга». Почему же Эрстед не дополнил свое открытие, а для открытия взаимодействия токов потребовались работы Ампера?

Вопросы для обсуждения на семинаре по теме «Применение явлений и законов электродинамики».

1. Каковы физические явления, лежащие в основе действия генераторов переменного тока? Опишите основные схемы генератора.

2. В чем физический смысл условий согласования нагрузки с генератором?

3. Перечислите случаи, когда токи Фуко играют полезную роль и когда они нежелательны.

4. Почему сердечник автотрансформатора должен быть замкнут?

5. Каковы принципиальные преимущества и недостатки синхронных и асинхронных двигателей?

6. Какова роль «проскальзывания» в асинхронных двигателях? От чего она зависит?

7. Как должен быть включен трансформатор для согласования генератора с нагрузкой, если сопротивление нагрузки слишком мало?

8. Каковы основные преимущества использования трехфазного тока по сравнению с однофазным?

9. Начертите схемы соединения нагрузок и генераторов и перечислите соотношения между фазными и линейными напряжениями и токами.

10. Объясните физические процессы, лежащие в основе действия фильтров высоких и низких частот.

11. Как устроен полосовой фильтр?

Основными компонентами системы освоения студентами методов научного познания являются следующие уровни: мотивационный, когнитивный, операционный, рефлексивный. Первый компонент определяется как уровень самоопределения и самореализации студентов. Второй является мерой компетентности и самоорганизации студента. Третий отвечает за технологический подход и за самообразование данных студентов. Четвертый компонент выражает степень рефлексивного отклика и самопознание студента.

Весьма важны в учении *методы произвольного запоминания* учебного материала:

- 1) выделение цели усвоения тех или иных сведений;
- 2) выделение главного и второстепенного в учебном материале, осмысление учебного материала;
- 3) умственная активность и самостоятельность в работе;
- 4) постоянное использование изученного материала;
- 5) понимание его значимости;
- 6) воспроизведение его в процессе повторения и «привязывание» к другому материалу;
- 7) практическое применение изученного.

6.4. Характеристика УИРС, научно-исследовательской работы студентов

Основные *направления организации* учебно-исследовательской, научной работы студентов: олимпиады, специальные объединенные научные конференции студентов, аспирантов, магистрантов; публикация их трудов; привлечение студентов к физическому эксперименту в научных лабораториях университета; организация публичных творческих встреч с выступлением ученых и демонстрационными экспериментами и т.п.

Учебно-исследовательская работа студентов при изучении классической электродинамики связана с переориентацией деятельности преподавателя от информационной к организующей самостоятельную учебно-познавательную деятель-

ность студентов. *Предметом* этой деятельности является технология подготовки и проведения учебных занятий. Студенты привлекаются к разработке демонстрационного эксперимента на лекциях, экспериментальных заданий на семинарских и практических занятиях, учебных плакатов и видеофильмов, компьютерных практикумов, базы данных на основе компиляции электронных учебников и задачников, методов контроля знаний, синтезу классических и компьютерных обучающих и контролирующих средств и т.д.

При организации УИРС некоторый материал представляют в виде теоретических задач, которые студенты рассматривают на семинарах. Примеры тем таких заданий: а) законы сохранения в электродинамике и их связь со свойствами пространства и времени; б) уравнения Максвелла и свойства электромагнитных волн; в) моделирование в электродинамике.

6.5. Методы развития познавательного интереса студентов

В последние десятилетия наблюдается постепенное снижение интереса школьников и студентов к предметам естественного цикла, в частности, к физике. Это явление в условиях научно-технической революции и расширяющегося процесса информатизации общества кажется парадоксальным. Причины его достаточно глубоки. Анализ рассматриваемой проблемы с позиций концепции личностно-ориентированного образования показал, что реализуемое физическое образование мало затрагивает личностные функции студента, практически не создают учебные ситуации, требующие проявления свойств личности, отсутствуют условия формирования целостной активной личностной позиции в учебной деятельности студента. Эта деятельность осуществляется преимущественно в когнитивной сфере. При этом слабо учитывается жизненный, повседневный опыт студента, его собственное отношение к процессу познания и результатам учебного труда, что отражается на ценностно-смысловом отношении к изучению физики как предмету.

Формирование ценностно-смыслового отношения к изучению электродинамики на каждом из этапов обучения в

различных ситуациях является важнейшим умением преподавателя. Владеть им без знания природы познавательного интереса студентов нельзя. *Характеристики интересов* представлены на рис. 56.



Рис. 56

Развитие продуктивного мышления студентов и познавательного интереса обычно осуществляется в процессе решения проблемных ситуаций. Однако *при вторичном изучении* электродинамики это может снизить интерес студентов — проблемную ситуацию нельзя повторить дважды. Вторичность изучения физики в вузе требует от преподавателя умения на базе *одного и того же* учебного материала создавать *варианты* проблемных ситуаций.

Например, проблемное изложение явления электромагнитной индукции в курсе физики средней школы заключается в отражении исторически возникшей перед Фарадеем задачи «превратить магнетизм в электричество» и путей ее решения (это проблема типа «как сделать»). Демонстрируются разные случаи возникновения индукционного тока в катушке, замк-

нутой на гальванометр, только во второй половине темы рассматривается вихревое электрическое поле и возникновение ЭДС индукции в движущихся проводниках.

При вторичном изучении этого материала можно, начав с мысленного эксперимента по движению проводника в однородном магнитном поле, предложить студентам объяснить возникновение разности потенциалов на его концах в различных инерциальных системах отсчета. В системе, связанной с проводником, это явление нельзя объяснить действием силы Лоренца на свободные заряды проводника. Возникающую ситуацию типа «как же так?» (магнитное поле не действует на неподвижные электрические заряды, но они все-таки начинают двигаться в одном направлении) можно разрешить введением гипотезы о существовании в этой системе отсчета электрического поля, индуцированного движением системы в магнитном поле.

После рассмотрения свойств поля на этом частном примере студентам представляется возможность *оценить* уровень обобщения в законе электромагнитной индукции. Таким образом, изменение *последовательности мысленного и демонстрационного экспериментов* в данном случае способствует наиболее полному осуществлению как принципа научности (внимание студентов сразу фиксируется на сущности явления — возникновении вихревого электрического поля), так и принципа историзма (студентам дается возможность оценить величие открытия М.Фарадея).

Одним из путей повышения интереса студентов к изучению электродинамики является насыщение учебного курса разнообразными демонстрационными экспериментами. В этом направлении накоплен богатый практический опыт. В то же время относительно редко используется такой метод обучения, как решение демонстрационных задач. Под этим термином понимаем учебные задачи, условия которых формулируются демонстрационными экспериментами [1].

Создаются видеозадачники, логическим продолжением этой работы является компьютерная версия на CD-диске. Видеозадачник состоит из набора видеофрагментов, демонстрирующих физические эксперименты и явления природы. Просмотрев их, студент должен дать объяснение увиденному, най-

ти связь между количественными характеристиками данного явления, сделать оценки. Видеозадачник использует принцип «лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать», он демонстрирует зрителю явления в том виде, в каком они протекают в природе, быту, производстве. Оценка тех или иных физических величин, которую предлагается сделать студентам, базируется на данных, которые должны извлечь из увиденного. Это значительно более трудная задача, а в творческом плане — значительно более полезная, чем та, в которой необходимые для решения параметры даны в условии.

Подробный анализ наблюдаемого явления и решение задачи студент может посмотреть в соответствующем разделе «Ответы».

Особенно полезен видеозадачник для организации самостоятельной работы студентов.

6.6. Методы формирования опыта творческой деятельности студентов и их эмоционально-ценностного отношения к изучению классической электродинамики

Общеизвестно, что эвристические методы изучения учебного материала основаны на анализе и разрешении проблемных ситуаций.

Наиболее распространены *проблемные задачи объяснительного типа*, в которых требуется дать объяснение физического явления или процесса. Здесь используются *эвристические методы принципов и гипотез*.

Пример. Найти напряженность магнитного поля в точке, отстоящей на 2 см от бесконечно длинного проводника, по которому течет ток в 5 А.

Решение.

Воспользуемся теоремой о циркуляции вектора \mathbf{B} : $\oint \bar{\mathbf{B}} \cdot d\bar{\ell} = \mu_0 I$, где $\bar{\mathbf{B}}$ — вектор индукции магнитного поля; $d\bar{\ell}$ — элемент некоторого замкнутого контура; $I = \sum I_i$ — алгебраическая сумма токов, охватываемых контуром; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магнитная постоянная.

Ток I_k считается положительным, если его направление связано с направлением обхода по контуру, правилом правого винта. Ток, текущий в противоположном направлении, считается отрицательным. Сделаем для этого случая пояснительный рисунок (рис. 57). Будем считать, что ток в бесконечно

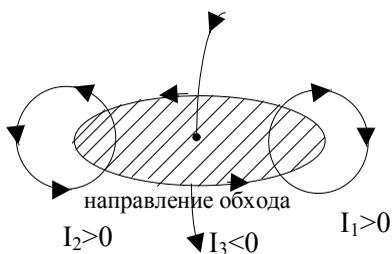


Рис. 57

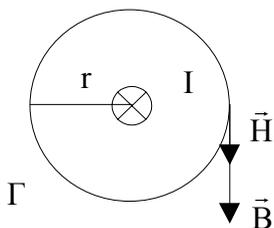


Рис. 58

длинном проводнике (и сам проводник) течет перпендикулярно плоскости страницы от нас. Такое направление тока условно обозначается значком \otimes . В силу симметрии задачи контур Γ удобно взять в виде concentric с проводом окружности радиуса r .

Направление обхода контура указано на рис. 58 стрелкой. Ток $I > 0$. Тогда

$$B \cdot 2\pi r = \mu_0 I \Rightarrow B = \mu_0 I / (2\pi r).$$

Напряженность магнитного поля и индукция связаны между собой в отсутствие магнитной среды соотношением $B = \mu_0 H \Rightarrow H = B / \mu_0$. Тогда

$$H = I / (2\pi r).$$

Вычислим результат: $H = 5 / (2\pi \cdot 0,02) = 39,8 \text{ (А/м)}$.

Ответ: $H = 39,8 \text{ А/м}$.

Представляется целесообразным более широкое использование проблемных задач когнитивного типа (рис. 59), в процессе решения которых на основе уже усвоенных знаний происходит предсказание новых, ранее неизвестных студентам физических явлений. Условие таких задач может заключаться в задании физического объекта и постановке вопроса о характере физического процесса, возникающего при определенных условиях (наличие магнитных, электрических полей и др.). Решение подобных задач осуществляется коммуникативным методом в результате диалога преподавателя с аудиторией, путем создания последовательности проблемных ситуаций и коллективного их разрешения.



Рис. 59

Различные вопросы классической электродинамики в плане эффективности постановки предсказательных задач неравноценны. *Примеры предсказательных задач:* изучение силы Лоренца позволяет на учебных занятиях «предсказать» эффекты Холла, магнитосопротивления, Эттингсгаузена, Нернста, а также фотоэлектромагнитный и магнитогидродинамический эффекты.

Принципиальная *схема решения мыслительных* (в том числе и творческих) задач представлена на рис. 60.

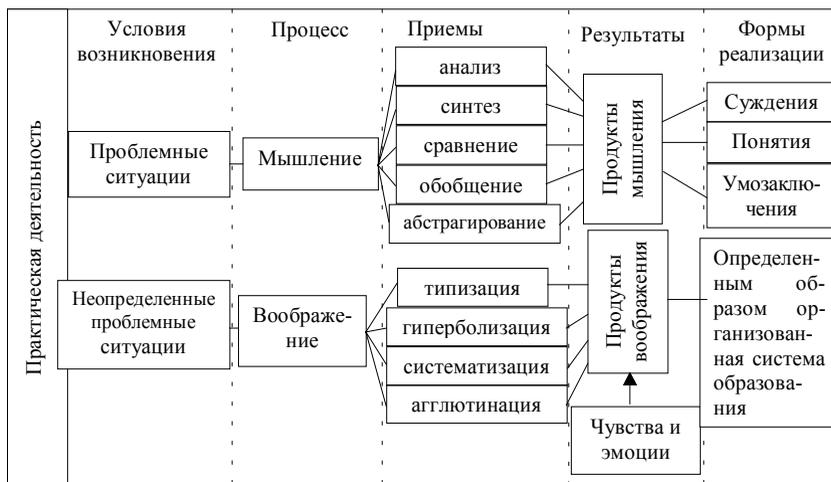


Рис. 60

На практических и семинарских занятиях с целью развития творческих способностей, умения видеть и ставить про-

блему используются следующие *методы активизации познавательной деятельности студентов*.

1. Углубленный анализ решения задачи с использованием возможностей получения дополнительной информации, обобщения и практического применения результатов.

2. Квалифицированное видоизменение условий задачи, что позволяет глубже проникнуть в суть физического явления и дает возможность проследить, насколько существенно решение задачи в том или ином случае зависит от исходных предпосылок.

3. Составление, анализ и решение качественных задач, задач-оценок и задач-проблем.

4. Анализ вопросов и задач по философским, методологическим проблемам физики.

5. Составление и анализ вопросов креативного характера к физическим законам и явлениям. Примеры: а) зависит ли величина заряда, остающегося на наэлектризованных взаимным трением тел, от скорости их разведения? б) от чего зависят практические возможности человека в использовании закона Кулона?

6. Составление и анализ цепей причинно-следственных связей, что способствует более эффективному овладению такими методами и средствами научного познания, как анализ и синтез, индукция и дедукция, абстрагирование, идеализация, моделирование.

7. Составление физических задач по произведением искусства (художественной литературы, изобразительного, музыкального).

8. Разработка и использование системы «маленьких экспериментов» — заданий поисково-исследовательского характера, для ответа на которые студент должен самостоятельно спланировать и провести небольшое экспериментальное исследование.

9. Использование для контроля и самоконтроля самостоятельной работы студентов разработанных рейтинговых компьютерных программ, вопросы которых ориентированы на креативный уровень обучения и ранжированы по степени сложности.

Метод экспериментального исследования какой-либо зависимости может быть освоен студентом в процессе *усвое-*

ния ориентировочной (алгоритмизированной) схемы, поскольку действие подразделяется на следующие этапы.

1. Постановка задачи (выявление зависимости, которую следует проверить):

- выяснение условий, при которых эта зависимость может выполняться;
- определение возможных вариантов экспериментальной проверки данной зависимости;
- выбор одного из этих вариантов;
- подбор необходимых приборов (вида прибора, точности и предела его измерений);
- выбор оптимальных областей значений исследуемых величин.

2. Освоение используемых измерительных приборов:

- чтение шкал (определение цены деления);
- отсчет показаний;
- учет нулевого положения указателя;
- выполнение правил включения приборов и порядка работы с ними;
- выполнение правил техники безопасности.

3. Проведение исследований:

- запись проверяемой зависимости в общем и конкретном (для данных условий) видах;
- расчленение сложной зависимости на простые (от одной переменной величины);
- составление таблицы для записи измеряемых величин;
- выполнение опыта, проведение соответствующих измерений и заполнение таблицы;
- определение (грубое) ошибки измерения (Δx и $\frac{\Delta x}{x}$).

4. Обработка результатов:

- подстановка числовых данных из таблицы в формулу проверяемой зависимости;
- оценка точности исследования;
- сравнение экспериментальных и теоретически ожидаемых результатов;
- построение теоретического графика и нанесение «экспериментальных точек».

5. Вывод о выполнимости зависимости.

Факт применения проблемных задач и проблемных ситуаций не гарантирует всестороннего развития продуктивно-

го мышления студентов. На базе одного и того же эксперимента можно проводить работу по развитию разных сторон мышления. Например, подготовительную работу к лекционной демонстрации зависимости сопротивления металлического проводника от температуры можно проводить как в экспериментальном, так и в теоретическом плане.

В первом случае внимание студентов фиксируется на том, как построить эксперимент для проверки зависимости $R=f(T)$. Для этого решаются следующие микрозадачи: из каких основных частей должна состоять установка для проверки существования данной зависимости? как отдельные части установки соединить друг с другом? что может служить индикатором измерения сопротивления проводника? какие выводы можно сделать при тех или иных показаниях индикатора? Применение этого варианта способствует развитию экспериментальной стороны мышления.

Во втором случае студентам предлагается по известной модели внутреннего строения металла предугадать, как будет изменяться сопротивление проводника с повышением температуры. Здесь внимание студентов фиксируется на развитии умения выдвигать гипотезы о возможном макроэффекте по модели внутреннего строения системы, т.е. на развитии теоретической стороны мышления.

В каждой теме полезно предусмотреть сочетание таких проблемных задач, которые будут способствовать всестороннему развитию мышления студентов. Например, при изучении магнитного поля после вывода о равенстве нулю работы силы Лоренца можно предложить следующие задачи.

— Как можно использовать магнитное поле для создания ускорения заряженных частиц?

— Совершает ли магнитное поле работу (ответ построить на сопоставлении работы силы Ампера и силы Лоренца)?

Решение первой задачи, направленной на развитие физико-технического мышления, проводится при обсуждении следующих вопросов.

— Как можно ускорить заряженную частицу?

— Как использовать электрическое поле для неоднократного ускорения заряженных частиц?

— Как заставить частицу возвратиться еще раз в область ускоряющего поля?

— Как должны быть направлены электрическое и магнитное поля по отношению к начальной скорости частицы?

— Какие основные части должен содержать ускоритель, как удобнее их выполнить и расположить?

Таким образом, мысленное продумывание эксперимента предшествует рассказу об изобретении ускорителей и их современных образцах. Подобный подход прививает студентам вкус к изобретательству, способствует пониманию работы установки в целом и снимает необходимость заучивания описания установки, приводящего порой к нелепым ошибкам при попытках воспроизведения изученного материала.

Вторая задача направлена на уточнение понятия об энергетических преобразованиях с участием магнитного поля и соотношения между силой Ампера и силой Лоренца. При изучении соответствующего материала нередко создается неадекватное представление о том, что сила Ампера всегда является суммой всех сил Лоренца, действующих на заряженные частицы проводника, направленное движение которых и является током.

При демонстрации движения проводника с током в магнитном поле под действием силы Ампера следует обратить внимание студентов на совпадение направлений перемещения проводника и действующей на него силы. Таким образом, можно говорить о том, что сила Лоренца совершает в этом случае положительную работу. Как же так? Может ли сумма нулей (сумма работ сил Лоренца) иметь значение, отличное от нуля?

Разрешение данной проблемной ситуации проводят при рассмотрении *мысленного эксперимента* со сверхпроводящей рамкой, сторона АВ которой может свободно перемещаться по двум другим сторонам (рис. 61).

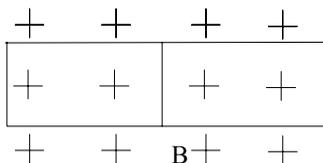


Рис. 61

Магнитное поле перпендикулярно плоскости рамки. Эта абстракция, заключающаяся в отвлечении от того, как можно в сверхпроводящей рамке создать ток и измерить его, в пренебрежении электрическим сопротивлением рамки, трением и другими видами сопротивления, возникающими при движении стороны АВ, наряду с проведением рассуждений в строгом соответствии с имеющимися у студентов представлениями о внутреннем строении вещества и воздействии поля на заряженные частицы, отвечает всем требованиям, предъявленным к мысленному эксперименту. В методическом аспекте (кроме наглядного представления о том, что сила Ампера равна сумме сил Лоренца только в тот момент, когда сторона АВ покоится в лабораторной системе отсчета, а в дальнейшем направление силы Лоренца и ее величина изменяются с нарастанием скорости движения АВ) она дает возможность:

1) показать, что кинетическая энергия проводника АВ возрастает за счет энергии тока в рамке, а магнитное поле служит лишь посредником в преобразовании энергии электрического тока в энергию механического движения проводника;

2) рассмотреть процесс обратного превращения механической энергии проводника в энергию возрастающего тока в рамке (после момента, когда ток в рамке станет равным нулю, а скорость проводника достигнет максимума);

3) использовать эту модель для перехода к введению понятия вихревого электрического поля, индуцированного движением системы в магнитном поле (в системе отсчета, связанного с проводником АВ);

4) рассмотреть колебательные процессы тока, скорости, ускорения и механической энергии в рамке и использовать эту модель для перехода к изучению электромагнитных колебаний в колебательном контуре.

Дальнейшее формирование представлений при изучении магнитных свойств вещества можно провести с помощью *мысленного эксперимента* по введению магнетиков в сверхпроводящую катушку с током, обратив внимание на изменение внутренней энергии магнетиков и энергии магнитного поля, создаваемого током катушки.

Мысленный эксперимент — специфический прием творческой, познавательной деятельности. При его использовании возможно применение всех уровней проблемного обучения —

от проблемного изложения материала до исследовательского метода.

Явно недостаточно формируются умения в условиях физпрактикума, оптимальное развитие продуктивного мышления, позволяющего студенту ориентироваться в нестандартных физических ситуациях, самостоятельно пополнять знания, разрешать физические противоречия. Необходимо обеспечить сформированность у студентов нижеследующих *приемов продуктивного мышления*, которыми обучаемые оперируют в ходе разрешения физических противоречий.

1. Перенос знаний (аналогия, физическая интерполяция и экстраполяция).

2. Трансформация умений (комбинирование и преобразование известных студенту способов действий в соответствии с условием задачи, моделирование, конструирование и т.п.).

3. Структурирование (разложение процесса во времени, в пространстве на составляющие).

4. Учет альтернатив (анализ и диалектический синтез противоположностей, разнообразные интерпретации сложных физических объектов, явлений, процессов и т.д.).

5. Видение нового, нетрадиционной функции объекта (процесса, явления).

6. Выдвижение объективно новых идей (оригинальных способов решения задач, вариантов постановки эксперимента, конструкций приборов и т.п.).

7. Фантазирование (применение физических знаний при объяснении и изучении явлений с неожиданной, порою фантастической точки зрения).

8. Рефлексия (анализ, оценка и выработка оптимальных путей и способов реализации отдельных приемов мышления и их сочетаний в процессе разрешения физических противоречий).

Студентам предлагаются *специально* сконструированные задания, которые охватывают ключевые понятия и умения той или иной темы, а также названные приемы.

К числу *конструкторских умений*, в частности, относятся:

- найти ошибку в чертеже, схеме, описании или неисправность в установке и сделать нужные исправления;

- сконструировать несложный механизм или техническое устройство, выполняющее заданный эффект на основе известных физических законов;

- понять технический рисунок или схему и по нему собрать несложную установку, прибор, механизм и т.п.;

- представить зрительный образ описываемого в тексте устройства, прибора или механизма и сделать его рисунок или чертеж;

- понять по рисунку, схеме или описанию того или иного устройства, как оно действует, какой физический закон или явление положено в основу его действия.

Задания на формирование этих умений могут быть разной степени сложности. Приведем ряд примеров заданий, формирующих умения сконструировать электрическую цепь для получения заданного эффекта, явления.

1. Предложите схему электрической цепи, которая позволяла бы наблюдать химические действия электрического тока. Следует предусмотреть: а) возможность плавного изменения силы тока в цепи; б) возможность измерения силы тока; в) возможность измерения направления тока на обратное.

2. Жильцы трехэтажного дома в целях экономии электроэнергии устроили такую проводку, которая позволяла бы включить или выключить одновременно все три лампочки на лестнице и еще одну у подъезда с любой из трех лестничных площадок или у входа в подъезд. При этом включение или выключение всех трех ламп на лестнице и у подъезда осуществлялось любым переключателем, независимо от того, в каком из двух положений находились все другие переключатели. Какой могла быть схема этой цепи?

3. В автомобилях устанавливается сигнализация поворотов. Предложите схему электрической цепи, позволяющей осуществлять такую сигнализацию поворотов. Учтите, что при повороте должны загораться две лампочки: лампочка указателя поворота и лампочка на щитке водителя.

4. Предложите схему электрической цепи, которая могла бы служить для проверки показания ваттметра.

5. Составьте схему цепи, предназначенной для дистанционного управления фильмоскопом, который снабжен двигателем для протяжки диафильма. Демонстратор должен иметь возможность, находясь у пульта управления вблизи экрана, включать и выключать лампу в фильмоскопе и управлять продвижением (протяжкой) диафильма, возвращаясь при необходимости к показанным ранее кадрам.

ГЛАВА 7. КОНТРОЛЬ, ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

7.1. Критерии эффективности методической системы изучения классической электродинамики

Как определить критерии эффективности методической системы изучения классической электродинамики?

Наиболее эффективным для решения этого вопроса является *технологический подход* к обучению, в рамках которого реализуется модель полного усвоения знаний. Технологический подход к обучению существенно *отличается* от традиционного. Анализ работы различных учебных заведений показывает, что в традиционном обучении всегда фиксируются параметры условий обучения (одинаковое для всех время, способ представления информации). Единственное, что остается незафиксированным — это результаты учебного процесса, который характеризуется заметным разбросом. Особенность технологического подхода состоит в том, что именно эти результаты будут заранее определенными, постоянными и одинаковыми для всех, а условия обучения начнут изменяться, подстраиваться под достижения всеми студентами заданного результата — полного усвоения минимума (стандарта) знаний. Модель полного усвоения знаний представляет собой *процесс с заранее планируемыми результатами обучения* и включает в себя *совокупность приемов*, используемых преподавателем:

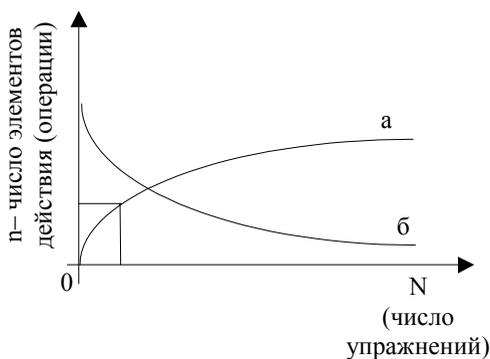
- 1) постановка учебных целей, их максимальное уточнение и формулировка с ориентацией на достижение результатов;
- 2) подготовка учебных материалов и организация всего хода обучения в соответствии с выбранными целями;
- 3) оценка текущих результатов, коррекция обучения, направленная на достижение поставленных целей;
- 4) заключительная оценка результатов.

Граничными условиями для определения *содержания контроля* являются реальный уровень подготовки студентов, современный уровень развития науки и требования квалификационной характеристики (КХ) и стандарта.

Важным является вопрос о соотношении между *содержанием экзамена и объемом лекций*. Широко распространена практика, при которой экзаменационные билеты составляют в соответствии с материалом, изложенным в лекциях. К знаниям студентов предъявляются требования лишь в объеме лекционной работы со студентами. Эта практика существенно снижает уровень образования.

Контролироваться должны и формируемые умения.

Общий ход формирования умения можно представить графически (рис. 62). Для этого на оси абсцисс откладывают количество упражнений N , а на оси ординат — число элементов действия (операции)



Кривая зависимости качества умения (а) и количества ошибок (б) от числа упражнений

Рис. 62

п, выполняемых без ошибок в единицу времени (а), или время выполнения одной операции (б). Форма кривой показывает (рис. 62), что с ростом количества проделанных упражнений сначала резко, а затем медленнее возрастает число правильно выполненных действий. Участок кривой, близкий к горизонтальному, означает, что достигнут

«потолок» формирования умения при данном способе обучения и улучшение возможно лишь при освоении более совершенного способа действия.

Эффективность упражнений зависит от многих причин:

1) если сначала решаются стандартные задачи (тренировочные), а потом комплексные, то процесс идет сначала быстро, потом усвоение замедляется, когда объединяются отдельные операции в отдельные действия;

2) если сразу решаются комплексные задачи, то процесс идет медленно, содержит много ошибок, затем ускоряется; наиболее эффективен при сочетании методов;

3) велика зависимость от степени сложности задач;

4) распределение повторений ошибок по времени: часто — в начале изучения, редко — в конце.

Опыт показывает, что для развития творческих способностей *доля творческих упражнений* должна составлять 15–20% от общего количества упражнений.

В лабораторном практикуме формируются и контролируются *измерительные умения*. Анализ позволил выявить следующее:

1) 36% учебного времени в практикуме отводится на измерения;

2) выполнение студентами 15 лабораторных работ требует, например, следующей частоты обращения с измерительными приборами: с амперметром — 8 раз; с вольтметром — 7; с электронным осциллографом — 5; с источниками постоянного и переменного тока — 7 раз; с генератором звуковой частоты — 4; с гальванометром — 2; с трансформатором — 2 раза; с компьютером — во всех лабораторных работах при обработке результатов и вычислении погрешностей. Это позволяет осуществлять контроль за усвоением измерительных умений через последовательную (постепенно усложняющуюся) систему заданий.

Анкетирование в группах показало, что на подготовку к выполнению лабораторных работ тратится 40–60 минут у 70% опрошенных студентов, 1,5–2 часа — у 30%.

Степень детализации и регламентации последовательности выполнения лабораторной работы в связи с модернизацией организации изучения классической электродинамики изменяется: а) сокращается теоретическая часть (табл. 31); б) меняются условия для самостоятельного осмысления и восприятия явления. Она определяется в большей степени уровнем подготовки студента, умением работать с литературой, с компьютерной информацией.

Традиционная	Модернизированная
Знакомство с громоздкой подробной теоретической частью лабораторной задачи	Знакомство с используемым оборудованием, измерительными приборами и самостоятельная разработка методики эксперимента

7.2. Содержание и методы проверки результатов обучения

Контроль за усвоением учебного материала и проверка знаний студентов проводятся по графику, который спланирован в начале семестра и доведен до каждого студента. Контроль осуществляется на лабораторно-семинарских занятиях, коллоквиумах, контрольных работах при текущем и итоговом тестировании, обсуждении рефератов, докладов и др.

Важно обеспечить в учебном процессе *уровневую дифференциацию* изучения классической электродинамики на основе обязательных результатов (рис. 63).

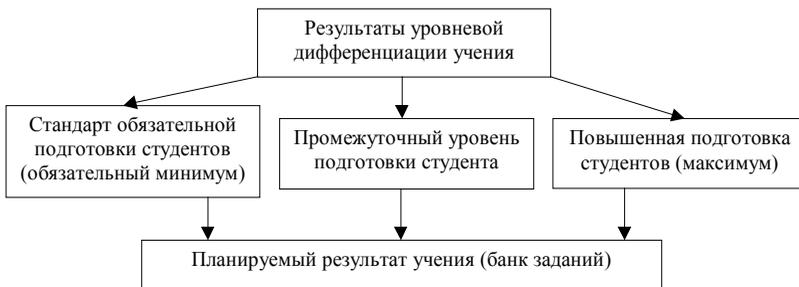


Рис. 63

В банк контрольных заданий (планируемый результат изучения классической электродинамики) входят три уровня ус-

воения содержания. Например, представленные нами варианты контрольных работ являются *заключительным этапом* при изучении трех основных разделов классической электродинамики.

Контрольная работа по теме «Электростатика»

1. Заряд $q=9 \cdot 10^{-12}$ Кл равномерно распределен на поверхности металлического диска радиуса $R=4 \cdot 10^{-2}$ м. Относительная диэлектрическая проницаемость диска и среды $\epsilon=5$. Найти напряженность поля на расстоянии $l=3$ см от оси, перпендикулярной к диску и проходящей через его центр. (2 балла)

2. Металлический шарик радиуса 2 см, имеющий заряд $1,2 \cdot 10^{-8}$ Кл, окружен слоем диэлектрика с относительной диэлектрической проницаемостью 3, толщина которого 7 см. Найти напряженность поля в точках, лежащих на расстояниях 5 и 11 см от центра шарика. (1 балл)

3. Сколько конденсаторов емкостью 1 мкФ каждый, рассчитанных на рабочее напряжение 500 В, необходимо взять и как их соединить между собой, чтобы собрать батарею конденсаторов емкостью 0,5 мкФ на рабочее напряжение 12 кВ? (1 балл)

4. Энергия плоского конденсатора, присоединенного к источнику тока с напряжением 300 В, равна $2,3 \cdot 10^{-2}$ Дж. Определить емкость такого конденсатора. (1 балл)

Контрольная работа по теме «Электрический ток»

1. Сопротивление вольфрамовой нити электрической лампочки при 20°C равно 35,8 Ом. Какова будет температура нити лампочки, если при включении в сеть напряжением в 120 В по нити идет ток 0,33А? Температурный коэффициент со-

противления вольфрама равен $4,6 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{K}}$. (1,5 балла)

2. Электрический чайник имеет две обмотки. При включении одной из них вода в чайнике закипит через 15 мин, при включении другой — через 30 мин. Через сколько време-

ни закипит вода в чайнике, если включить обе обмотки: 1) последовательно; б) параллельно? (1,5 балла)

3. Какова разность потенциалов получается на зажимах двух элементов, включенных параллельно, если их ЭДС равны соответственно $\varepsilon_1 = 1,4\text{В}$ и $\varepsilon_2 = 1,2\text{В}$ и внутренние сопротивления $r_1 = 0,6\text{Ом}$ и $r_2 = 0,4\text{Ом}$? (1 балл)

4. Через раствор азотной кислоты пропускается ток $J=2\text{А}$. Какой заряд переносится за одну минуту ионами каждого знака? (1 балл)

Контрольная работа по теме «Электромагнетизм»

1. Найти напряженность магнитного поля в центре кругового проволочного витка радиусом 1 см, по которому течет ток 1А. (1 балла)

2. Вычислить напряженность магнитного поля, создаваемого отрезком АВ прямолинейного проводника с током, в точке С, расположенной на перпендикуляре к середине этого отрезка на расстоянии 5 см от него. По проводнику течет ток 20 А. Отрезок АВ проводника виден из точки С под углом 60° . (2 балла)

3. Из проволоки длиной 1 м сделана квадратная рамка. По этой рамке течет ток силой 10 А. Найти напряженность магнитного поля в центре рамки. (1 балл)

4. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U=3000\text{В}$, влетает в магнитное поле соленоида под углом $\alpha=30^\circ$ к его оси. Число ампер-витков соленоида равно 5000. Длина соленоида 25 см. Найти шаг винтовой траектории электрона в магнитном поле соленоида. (1 балл)

Успех учебного процесса зависит от эффективности двусторонних связей *преподаватель—«студент»* (рис. 64). Их укрепляют и *совершенствуют нестандартные методы контроля*: рейтинговые формы, аттестации, коллоквиумы и т.д. Удобна, например, рейтинговая форма контроля, которая: а) обеспечивает стимулирование самостоятельной работы студентов; б) учит их работать планомерно и равномерно рас-

пределять силы на протяжении всего периода изучения курса. Методы контроля дают более высокий эффект, если их дополнить методикой проведения анонимного анкетирования студентов.

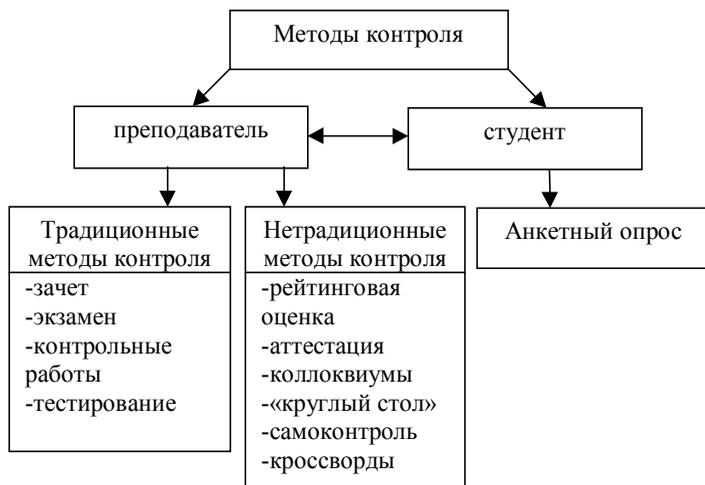


Рис. 64

Рекомендуется проводить три анкетных опроса. Первое анкетирование проводится, когда лектор впервые встречается со студентом (на первой лекции). Условно его называют «Кто к нам пришел». В этой анкете содержатся три группы вопросов. Из ответов на первую группу получают характеристику респондента: когда и какую школу окончил, как учился, его трудолюбие, отношение к данной дисциплине, оценки по физике в аттестате, оценки при изучении механики, молекулярной физики, уровень их справедливости с точки зрения респондента.

Вторая и третья группы вопросов первой анкеты позволяют составить более полное представление об уровне знаний студента, его интеллекте. Например, поставлен вопрос: «Как вы оцениваете значение знаний электродинамики в своей жизни?». На первый взгляд, он очень прост. Поэтому все

респонденты на него дают ответы. Но некоторые из них отвечают положительно, но не умеют обосновать это, дают формальные ответы типа: «имеет огромное значение», «невозможна жизнь без знания законов электродинамики» и т.д. Третья группа вопросов содержит качественные задачи.

Второе анкетирование проводится после изучения классической электродинамики. Оно позволяет выяснить, как респондент «акклиматизировался» к данной дисциплине, что ему помогает, а что мешает, что желает изменить в учебном процессе. Эту анкету условно называют «Учебный процесс глазами студентов». И тут невозможно переоценить роль обратной связи. То, что студент не решается сказать в глаза преподавателю, часто становится известным в результате анонимного анкетирования.

Третью анкету условно называют «Преподаватель глазами студента». Она проводится на завершающем этапе изучения классической электродинамики (после экзамена). В ней отмечают все промахи преподавателя, упущения, вплоть до умения держаться у доски, умения говорить, убеждать, контактировать со студентами. Подчеркиваются и те стороны, которые нравятся студентам.

Опыт анонимного анкетирования показывает, что оно позволяет:

- 1) заранее получить портрет студента, его уровень потенциальных возможностей, знаний, трудолюбия;
- 2) с учетом пожеланий студентов вносить коррективы в методику учебного процесса, в систему требований преподавателя к знаниям и умениям.

Один из принципов *при составлении контрольных работ* — создание *равноценных* вариантов, каждый из которых включает в себя задачи *одинаковой сложности*. Однако вопрос разбиения задач на классы, одинаковые по уровню сложности, является одним из наименее разработанных. Для решения этой проблемы необходимо, прежде всего, выявить факторы, влияющие на усложнение физической задачи. К ним, по-видимому, можно отнести следующие:

- 1) необходимость перевода единиц измерения физической величины в систему СИ;

- 2) решение обратной задачи по сравнению с прямой;
- 3) завуалированность данных, когда значения некоторых физических величин заданы неявным образом;
- 4) применение для решения физической задачи редко применяемых законов;
- 5) количество применяемых законов;
- 6) применение законов из различных разделов физики;
- 7) математические сложности при решении задачи;
- 8) использование незнакомых, в том числе технических терминов при формулировании задач.

Например, из двух приведенных ниже задач вторая является более сложной в соответствии с фактором (5).

Задача 1.

Два точечных заряда, находясь в воздухе на расстоянии 20 см друг от друга, взаимодействуют с некоторой силой. На каком расстоянии нужно поместить эти заряды в масле, чтобы получить ту же силу взаимодействия?

Решение.

$$F_1 = kq_1q_2 / (\epsilon_1 r_1^2); F_1 = kq_1q_2 / (\epsilon_1 r_2^2); F_1 = F_2 \text{ (по условию задачи); } kq_1q_2 / (\epsilon_1 r_1^2) = kq_1q_2 / (\epsilon_1 r_2^2); \epsilon_1 r_1^2 = \epsilon_1 r_2^2 \Rightarrow$$

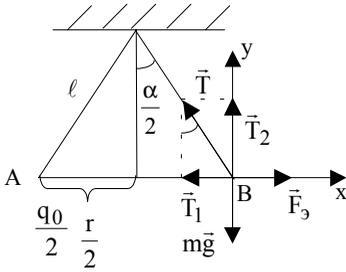
$$\Rightarrow r_2 = \sqrt{\epsilon_1 r_1^2 / \epsilon_2} = r_1 \sqrt{\epsilon_1 / \epsilon_2} = 0,2 \sqrt{1/5} = 8,9 \cdot 10^{-2} \text{ (м).}$$

Ответ: $r_2 = 8,9$ см.

Задача 2.

Два шарика одинакового радиуса и веса подвешены на нитях так, что их поверхности соприкасаются. После сообщения шарикам заряда $q_0 = 4 \cdot 10^{-7}$ Кл они оттолкнулись друг от друга и разошлись на угол 60° . Найти вес шариков, если расстояние от точки подвеса до центра шарика равно 20 см.

Решение.



Сделаем рисунок и рассмотрим состояние равновесия одного шарика. На шарик В действуют следующие силы: 1) сила \vec{T} натяжения нити; 2) сила тяжести $m\vec{g}$; 3) сила кулоновского взаимодействия \vec{F}_3 с шариком А (отталкивание). Тогда $0 = \vec{T} + m\vec{g} + \vec{F}_3$

$$\begin{cases} 0 = T_x + mg_x + F_{3x} \\ 0 = T_y + mg_y + F_{3y} \end{cases}$$

$$T_x = -T_1 = -T \sin(\alpha/2); \quad mg_x = 0;$$

$$F_{3x} = F_3 = kq^2 / r^2 = kq^2 / (2l \sin(\alpha/2))^2 .$$

$r/2 = l \sin(\alpha/2) \Rightarrow r = 2l \sin(\alpha/2)$ — расстояние между шариками.

$$T_y = T_2 = T \cos(\alpha/2); \quad mg_y = -mg; \quad F_{3y} = 0 .$$

$$\text{Тогда } \begin{cases} F_3 - T \sin(\alpha/2) = 0 \\ mg - T \cos(\alpha/2) = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T \sin(\alpha/2) = F_3 \\ T \cos(\alpha/2) = mg \end{cases} \Rightarrow \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{F_3}{mg} .$$

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{kq^2}{4l^2 \sin^2(\alpha/2) mg} \Rightarrow mg = \frac{kq^2}{4l^2 \sin^2(\alpha/2) \operatorname{tg}(\alpha/2)}$$

$$mg = \frac{kq_0^2}{16l^2 \sin^2(\alpha/2) \operatorname{tg}(\alpha/2)}$$

Вычислим результат:

$$mg = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (4 \cdot 10^{-7})^2}{16 \cdot (0,2)^2 \sin^2 30^\circ \operatorname{tg} 30^\circ} = 15,6 \cdot 10^{-3} \text{ (Н)}.$$

Ответ: $mg = 15,6 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$.

Для количественной оценки влияния указанных факторов на уровень сложности физических задач применяются *коэффициенты а) решаемости и б) сложности задач*. В качестве *коэффициента сложности* используется отношение числа задач, доведенных студентами до ответа, к общему количеству предъявлений рассматриваемой задачи. При этом, чем выше это отношение, тем более простой представляется эта задача. Для наиболее легких задач этот коэффициент стремится к единице.

В качестве *коэффициента решаемости* задачи применяется отношение количества правильно решаемых задач к общему числу предъявлений задачи или к числу задач, которые доведены до ответа. Чем сложнее задача, тем ниже коэффициенты ее решаемости.

Все более широкое применение в учебном процессе находит *тестирование*. Тесты эффективны для самоконтроля. Они помогают студенту определить степень его готовности, мотивируют к поиску верного ответа, помогают учиться. У преподавателя появляется возможность строить обучение, ориентируясь на результаты тестирования, что повышает качество обучения и дает возможность его индивидуализировать посредством составления заданий с различным уровнем трудности. Приведем примеры тестов, применяемых в начале изучения электродинамики (на материале школьного курса физики).

1. Точечный отрицательный заряд создает на расстоянии 10 см поле, напряженность которого равна 1 В/м. Если этот заряд внести в однородное электрическое поле с напряженностью 1 В/м, то на расстоянии 10 см от заряда по направлению силовой линии однородного поля, проходящей через заряд, напряженность результирующего поля будет равна

- 1) 0 В/м; 2) 1 В/м; 3) $\sqrt{2}$ В/м; 4) 2 В/м; 5) 3 В/м.

2. В металлическом проводнике с током 32 мкА через поперечное сечение проводника проходит $2 \cdot 10^5$ электронов за время, равное

- 1) 10^{-9} с; 2) 10^{-7} с; 3) 10^{-6} с; 4) 10^{-3} с; 5) 10^{-2} с.

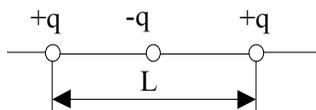
3. Пусть m и e — масса и величина заряда электрона. Если в вакууме из бесконечности вдоль одной прямой навстречу друг другу со скоростями v и $3v$ движутся два электрона, то минимальное расстояние, на которое они могут сблизиться, без учета гравитационного взаимодействия, равно

- 1) $\frac{e^2}{16\pi\epsilon_0 m v^2}$; 2) $\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m v^2}$; 3) $\frac{e^2}{3\pi\epsilon_0 m v^2}$;
 4) $\frac{e^2}{2\pi\epsilon_0 m v^2}$; 5) $\frac{e^2}{\pi\epsilon_0 m v^2}$.

4. В центре закрепленной полусферы радиуса R , заряженной равномерно с поверхностной плотностью зарядов $+\sigma$, в вакууме расположен маленький шарик, заряженный зарядом $+q$. Если шарик освободить, то в процессе движения он приобретет максимальную кинетическую энергию, равную

- 1) $\frac{\sigma q R}{2\epsilon_0}$; 2) $\frac{\sigma q R}{\epsilon_0}$; 3) $\frac{\sigma q}{2\epsilon_0 R}$; 4) $\frac{\sigma q}{\epsilon_0 R}$; 5) $\frac{\sigma q}{4\pi\epsilon_0 R}$.

5. Точечные положительные заряды q и $2q$ закреплены на расстоянии L друг от друга в вакууме. На середине прямой, соединяющей заряды, поместили точечный отрицательный заряд $-q$. Как изменились модуль и направление силы, действующей на положительный заряд?



1) Модуль не изменился, направление изменилось на противоположное.

2) Модуль уменьшился в 2 раза, направление изменилось на противоположное.

3) Модуль стал равным нулю.

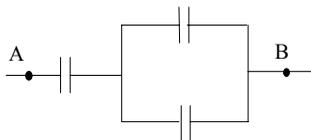
4) Модуль увеличился в 2 раза, направление не изменилось.

5) Модуль увеличился в 3 раза, направление не изменилось.

6. Электрическое поле создается двумя положительными точечными зарядами $q_1=9 \cdot 10^{-9}$ Кл и $q_2=4 \cdot 10^{-9}$ Кл. Чему равно расстояние между этими зарядами, если известно, что точка, где напряженность электрического поля равна нулю, находится на расстоянии 33 см от первого заряда?

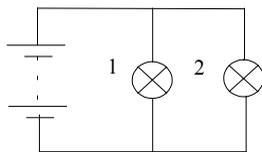
1) 43 см; 2) 55 см; 3) 68 см; 4) 80 см; 5) 113 см.

7. Три одинаковых конденсатора соединены, как показано на рис. Если при разности потенциалов между точками А и В в 1000 В энергия батареи конденсаторов равна 2 Дж, то емкость каждого конденсатора равна:



1) 2 мкФ; 2) 4 мкФ; 3) 6 мкФ; 4) 8 мкФ; 5) 9 мкФ.

8. К полюсам батареи из двух источников, каждый с ЭДС 75 В и внутренним сопротивлением 4 Ом, подведены две параллельные медные шины, сопротивление каждой — 10 Ом. К концам и к серединам шин подключены две лампочки сопротивлением 20 Ом каждая. Если пренебречь сопротивлением подводящих проводов, то ток во второй лампочке равен:



1) 1 А; 2) 2 А; 3) 3 А; 4) 4 А; 5) 5 А.

9. Если заряженный до напряжения 300 В конденсатор емкостью $C_1=50$ мкФ соединить параллельно с незаряженным конденсатором емкостью $C_2=100$ мкФ, то на втором конденсаторе появится заряд, равный

- 1) $0,5 \cdot 10^{-2}$ Кл; 2) $1,0 \cdot 10^{-2}$ Кл; 3) $2,5 \cdot 10^{-2}$ Кл; 4) 0,1 Кл;
5) 10 Кл.

10. Определите силу тока в обмотке двигателя электропоезда, развивающего силу тяги 6 кН, если напряжение, подводимое к двигателю, равно 600 В и поезд движется со скоростью 72 км/ч. Коэффициент полезного действия двигателя 80%.

- 1) 75 А; 2) 125 А; 3) 175 А; 4) 200 А; 5) 250 А.

11. Плоский конденсатор с пластинами размера 16×16 см (расстоянием между ними 4 мм) присоединен к полюсам батареи и ЭДС, равной 250 В. В пространство между пластинами с постоянной скоростью 3 мм/с двигают стеклянную пластину толщиной 4 мм. Какой ток пойдет по цепи? Диэлектрическая проницаемость $\epsilon=7$.

- 1) 0,8 нА; 2) 1,6 нА; 3) 2,4 нА; 4) 5,5 нА; 5) 8,0 нА.

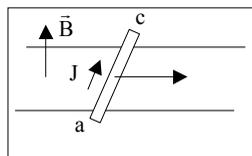
12. Два резистора с одинаковым сопротивлением включаются в сеть постоянного напряжения первый раз параллельно, а второй раз — последовательно. Какая электрическая мощность потребляется в обоих случаях?

- 1) $P_1=P_2$; 2) $P_1=2P_2$; 3) $P_2=2P_1$; 4) $P_1=4P_2$; 5) $P_2=4P_1$.

13. Площадь каждой пластины плоского вакуумного конденсатора S . Если конденсатор заряжен зарядом q и отключен от источника тока, то для того, чтобы расстояние между пластинами увеличить на ΔX , необходимо совершить работу:

- 1) $\frac{q^2 \Delta X}{4\pi\epsilon_0 S}$; 2) $\frac{q^2 \Delta X}{2\epsilon_0 S}$; 3) $\frac{q^2 \Delta X}{2\pi\epsilon_0 S}$; 4) $\frac{q^2 S}{4\pi\epsilon_0 \Delta X}$; 5) $\frac{q^2 S}{\epsilon_0 \Delta X}$.

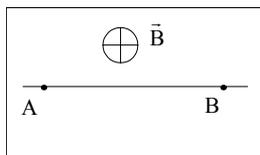
14. Электромагнитный ускоритель представляет собой два провода, расположенные в горизонтальной плоскости на расстоянии 20 см друг от друга, по которым может скользить без



трения металлическая перемычка массой 2 кг. Магнитное поле с индукцией $B=1\text{Тл}$ перпендикулярно плоскости движения перемычки. Какой ток следует пропустить по перемычке, чтобы она, пройдя путь 2 м, приобрела скорость 10 м/с?

- 1) 10 А; 2) 50 А; 3) 100 А; 4) 250 А; 5) 300 А.

15. По проводнику AB протекает постоянный ток. Проводник помещен в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны проводнику (см. рис.). Если потенциал точки B больше потенциала точки A , то сила Ампера, действующая на проводник, имеет направление:



- 1) вниз; 2) вверх; 3) влево; 4) вправо; 5) вдоль линий индукции.

16. Прямой проводник, по которому течет постоянный ток, расположен в однородном магнитном поле так, что направление тока в проводнике составляет угол $\alpha_1 = 30^\circ$ с направлением линий магнитной индукции. Как изменится сила Ампера, действующая на проводник, если его расположить под углом $\alpha_1 = 60^\circ$ к направлению линий магнитной индукции?

- 1) увеличится в $\sqrt{3}$ раз; 2) увеличится в 2 раза; 3) не изменится; 4) станет равным нулю; 5) уменьшится в 2 раза.

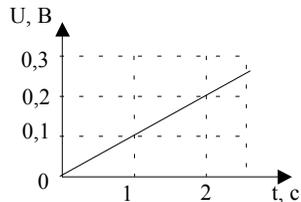
17. Какую размерность в системе СИ имеет единица измерения магнитной индукции?

- 1) $\frac{\text{кг}}{\text{А} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}}$; 2) $\frac{\text{А} \cdot \text{с}^2}{\text{кг} \cdot \text{м}}$; 3) $\frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}^2}$; 4) $\frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}$; 5) $\frac{\text{А} \cdot \text{м}}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}$.

18. Прямолинейный проводник длины 10 см перемещают в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Проводник, вектор его скорости и вектор индукции поля взаимно пер-

пендикулярны. С каким ускорением нужно перемещать проводник, чтобы разность потенциалов на его концах U возросла, как показано на рисунке?

- 1) 10 м/с^2 ; 2) 15 м/с^2 ; 3) 20 м/с^2 ;
4) 25 м/с^2 ; 5) 30 м/с^2 .



19. Максимальная кинетическая энергия материальной точки массой 10 г , совершающей гармонические колебания с периодом 2 с , равна $1 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$. При этом амплитуда колебаний этой точки равна:

- 1) $4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; 2) $9,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; 3) $4,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; 4) $9 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;
5) $4,5 \cdot 10^{-1} \text{ м}$.

20. В электрическом колебательном контуре емкость конденсатора 2 мкФ , а максимальное напряжение — 5 В . В момент времени, когда напряжение на конденсаторе равно 3 В , энергия магнитного поля катушки равна:

- 1) $1,6 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$; 2) $2,2 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$; 3) $3,0 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$; 4) $4,6 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$;
5) $6,5 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$.

Для формирования банка тестовых вопросов преподаватели привлекают студентов, решая при этом и воспитательные задачи. Составление тестов студентами активизирует их познавательную и умственную деятельность. Студенты начинают осознавать и оценивать собственные возможности. Появляется дополнительная мотивация к учебе. Совершенствуется умение четко формулировать вопросы, логически мыслить, искать нетрадиционные ответы. Обучение становится творческим.

Оправдал себя опыт использования *тестовых заданий в лабораторном практикуме*. При существующем дефиците времени, выделяемом учебными планами на изучение классической электродинамики, тестирование позволяет повысить эффективность проведения и результативность лабораторного практикума. Тестовые задания позволяют преподавателю оперативно производить контроль готовности группы студен-

тов численностью до 12 человек к выполнению лабораторной работы. При достаточной домашней подготовке решение 2-3 несложных тестов занимает не более 5-10 минут учебного времени у каждого студента. После выполнения и оформления лабораторной работы на следующем аудиторном занятии студенты защищают отчеты. При защите студентам предлагаются более содержательные тесты. Получив задание и подготовив (или выбрав) ответ, студент должен обосновать свой выбор. Если ответ неверен, то преподаватель в форме диалога предлагает проанализировать другие варианты решения.

Тестовый опрос студентов при защите лабораторных работ позволяет разнообразить тестовый материал по уровню сложности в рамках каждой темы работы. Это позволяет преподавателю осуществлять индивидуальный подход к студенческой аудитории, а также способствует неформальному усвоению учебного материала и развитию мышления студентов.

Методы диагностики *на семинарских занятиях* также дополняются тестированием.

Для развития способностей и учета склонностей студентов составляется психологический портрет студента путем тестирования. Задания выдаются с учетом их психологических особенностей (исследователь, экспериментатор, технолог, дизайнер и т.д.). Это важно учитывать, когда на изучение физики отводится мало времени. Каждая группа студентов с одинаковым типом индивидуальности готовит коллективные задания при обсуждении их на семинаре или по отчету в лабораторном практикуме, который проводится в форме «круглого стола». В «заключительной речи» излагаются методы познания, физические законы, физические методы, используемые при выполнении лабораторной работы. Студенты указывают, где исследования могут быть применены на практике, подчеркивают социальную, эстетическую значимость физической науки. Таким образом, устанавливается связь между миром науки и миром человека. Учет индивидуальных способностей студентов способствует развитию социально-психологических особенностей личности.

Популярность кроссвордов среди людей разных поколений и склонностей общеизвестна. Применяют *игровую фор-*

му проверки знаний студентов в ряде случаев на основе программной оболочки «Кроссворд». Преподаватель может легко наполнить программную оболочку конкретным содержанием, не вдаваясь в технологические особенности игры. Опыт проведения зачетов на компьютере в форме разгадывания кроссвордов показал, что компьютерная оценка хорошо коррелирует со средней семестровой оценкой, выставяемой преподавателем. Удобно проводить в такой форме и физические диктанты. Оболочка «Кроссворд» позволяет и самим студентам составлять кроссворды, обмениваться ими и проводить в игровой форме взаимопроверку знаний. Это концентрирует внимание студентов на определениях физических понятий, закрепляет знания.

7.3. Типичные ошибки и недостатки в знаниях и умениях студентов и пути их устранения

Анализ уровня сформированности физических понятий у студентов, приступающих к изучению классической электродинамики, выявил основные недостатки в их знаниях. Начальные уровни подготовки студентов, преобладающий тип репродуктивного мышления при изучении электродинамики в университете в настоящий период не соответствуют требованиям новой КХ.

Основные причины затруднений студентов при изучении электродинамики:

1) студенты сталкиваются с новой и обширной системой понятий;

2) математический аппарат требует высокого уровня абстрактного мышления;

3) требуется использовать концепции смежных дисциплин.

Укажем общие проблемы, ведущие к снижению качества выпускаемых специалистов:

1) несоответствие знаний выпускников средних школ, лицеев и т.д. задачам высшей школы, что является следствием низкой квалификации школьных преподавателей;

2) сложности в согласовании программ общего курса физики и математики в I и II годы университетского обучения;

- 3) общая перегрузка вузовских программ обучения;
- 4) несовершенство существующих технологий физического образования в университете;
- 5) недостатки в материально-техническом, методическом обеспечении учебного процесса и др.

Для многих студентов математика является отдельной фундаментальной дисциплиной, и им несвободно и некомфортно использовать ее язык для описания физических явлений. Математические формулировки не проясняют им смысла законов Лоренца, Максвелла. В этой ситуации попытка сделать математический аппарат стержнем изложения может восприниматься студентами как малопонятные схоластические построения.

Возможным выходом может быть преимущественно *качественный анализ* изучаемых явлений в лекционном курсе с подробным обсуждением физического смысла основных законов и *перенос количественного рассмотрения* некоторых частных следствий на семинары. Особенно важно в рамках семинара рассматривать примеры, когда количественное решение приводит к изначально неочевидным качественным результатам.

Применение опыта решения все более сложных задач под руководством преподавателя поощряет студентов к использованию математического аппарата в самостоятельной работе.

Студенты нередко имеют слабые знания фактического материала о времени жизни и деятельности того или иного ученого; приписывают ему чужие изобретения, не могут назвать фамилии отечественных ученых, физиков-земляков. Все это еще раз подчеркивает важность использования исторического и краеведческого материала в процессе изучения физики. Исторические факты оказывают сильное эмоциональное воздействие, что обеспечивает наиболее успешное восприятие и усвоение материала.

Для решения данной проблемы необходимы специальные дидактические и методические разработки. Предлагаем использовать компьютерную базу данных, которая содержит информацию о биографиях ученых, письма, аннотации важнейших работ, компьютерное моделирование классического

физического эксперимента, поставленного этими учеными, краеведческий материал.

Компьютерное обеспечение сочетается с использованием системы современных ТСО, включая учебное телевидение.

Одним из недостатков в знаниях студентов следует признать *несформированность модельных представлений* при изучении объектов электродинамики, непосредственно не воспринимаемых органами человеческих чувств. Объектов, которые вообще нельзя представить наглядно, в электродинамике достаточно много. Развитие электродинамики в целом можно трактовать как «теоретическое моделирование». Анализируя при этом многочисленные затруднения студентов, удастся выяснить их причины: *отождествление* физических понятий и моделей с физическими объектами и абсолютный характер отдельных усвоенных физических понятий и законов.

На примере изучения понятия электрического заряда рассмотрим типичные затруднения студентов.

В теории электрических и магнитных явлений понятие электрического заряда — одно из фундаментальных. Электрический заряд — это вторая после массы важнейшая характеристика элементарных частиц. Заряд является количественной и качественной характеристикой электромагнитного взаимодействия тел. Студенты затрудняются доказать основные свойства заряда: 1) дискретность электрического заряда является важным его свойством: не существует электрического заряда, меньшего по величине, чем заряд электрона; как это обосновать? 2) докажите, что электрический заряд инвариантен — он не зависит от выбора системы отсчета; 3) закон сохранения электрического заряда является одним из важнейших законов природы; как он обосновывается? 4) раскройте взаимосвязь электрического заряда с электромагнитным полем; 5) проблема электрического заряда оказалась не разрешимой в рамках электродинамической картины мира; покажите это.

На основе электронной теории Лоренца и учения Максвелла об электромагнитном поле студенты неплохо усваивают ряд вопросов программы. Например, изучение электрического поля представляет собой первую ступень на пути изучения электромагнитного поля. В дальнейшем будут

рассмотрены магнитное поле и вихревое электрическое. Электростатическое поле является самым простым из указанных полей, и на его примере легче всего усваиваются важнейшие характеристики силового поля. На таких понятиях и закономерностях, как заряд, напряжение, напряженность, электроёмкость, законы Кулона, сохранения заряда и др., строится преподавание и остальных вопросов электродинамики.

В то же время часть вопросов электродинамики усваивается только на уровне репродуктивного воспроизведения. Это относится к усвоению основных понятий, формул, законов.

Недостаточно хорошо усваиваются такие *важные понятия*, как напряженность и разность потенциалов электрического поля, индукция и поток индукции магнитного поля, энергии магнитного, электромагнитного поля. Это, в свою очередь, затрудняет усвоение формул и законов, в которые входят эти понятия и величины.

В разделе электродинамики используются термины, в употреблении которых имеет место некоторая путаница. Это термины «напряжение» и «разность потенциалов». Строго говоря, разность потенциалов между двумя точками поля или электрической цепи — это работа электрического поля по переносу единичного положительного заряда из первой точки во вторую. Напряжение — работа по переносу того же заряда между теми же точками, но совершаемая как силами электрического поля, так и сторонними силами. На тех участках цепи или поля, на которых отсутствуют сторонние силы, разность потенциалов и напряжение оказываются равными друг другу, и именно это обстоятельство позволяет авторам многих курсов физики утверждать, что разность потенциалов и напряжение — синонимы [1—4].

Это же утверждение содержится в статье Г.Я.Мякишева, помещенной в физическом энциклопедическом словаре.

Если в цепях постоянного тока на тех участках, где отсутствуют источники тока, действительно в силу традиций и привычки можно согласиться с эквивалентностью названных терминов, то для электростатического поля понятие напряжения не только не является устоявшимся, но и практически не употребляется.

Слабее других вопросов раздела усваиваются электромагнитные явления.

В недостаточной степени студенты овладевают *решением задач*. Несколько лучше дело обстоит с применением знаний при решении задач в знакомой ситуации и значительно хуже — при решении задач, в которых необходимо применять знания в измененной ситуации.

Типичные ошибки, встречающиеся у студентов при решении задач, вызваны рядом причин:

1) отсутствием твердого знания теории, т.к. в основу каждой физической задачи положено то или иное частное проявление одного или нескольких фундаментальных законов природы и их следствий;

2) неумением представить решение физической задачи в виде ее основных этапов:

а) анализ условия задачи и его наглядная интерпретация схемой или чертежом;

б) составление уравнений, связывающих физические величины, которые характеризуют рассматриваемое явление с количественной стороны;

в) совместное решение полученных уравнений относительно той или иной величины, считающейся в данной задаче неизвестной;

г) анализ полученного результата и числовой расчет;

3) неумением учитывать при анализе задач и составлении уравнений, какие из величин, входящих в формулы, являются скалярными, какие — векторными;

4) неучетом величин, которые нужно взять из справочных таблиц. Эти величины следует округлять со степенью точности, определяемой конкретными условиями решаемой задачи;

5) неправильным или несогласованным выбором системы единиц. Обычно предпочтение отдается Международной системе единиц (СИ);

6) отсутствием в расчетных формулах действий с наименованиями, с тем, чтобы убедиться, что результат получается в единицах измерения искомой величины в принятой системе.

Недостатки в знаниях и умениях студентов связаны:

1) с недоработками структуры учебного материала;

- 2) с недочетами методики изложения ряда вопросов;
- 3) с недостатками речевой культуры при изложении материала.

Следует уделить особое внимание *речевой культуре* изложения материала как преподавателя, так и студентов. Нередко графическая иносказательность переносится на словесный язык. О напряжении (давлении, скорости и любых других величинах) говорят, что оно «выше», «ниже», «поднимается» или «опускается». Аналогично при объяснении электропроводности кристаллов используется слово «зона». Относится оно к энергии электронов на энергетической диаграмме, и к расположению их в пространстве самого кристалла никакого отношения не имеет.

7.4. Методы контроля творческой деятельности студентов

Методы контроля творческой деятельности студента предполагают системно-комплексную работу по ряду направлений.

1. Собеседование со студентами с целью определения общекультурного уровня развития, кругозора, целевых установок студентов.

2. Психологическое тестирование на определение доминирующего типа мышления, уровня творческих, вариативных способностей, характера сформированных ценностных отношений, доминирующих мотивационных установок.

3. Тестирование по физике, включающее тесты на выявление:

- а) уровня понимания физических процессов;
- б) качества теоретической подготовки;
- в) степени практических навыков проведения физического эксперимента;
- г) навыков технического творчества.

4. Индивидуальная работа по развитию творческих способностей студентов и контроль качества и количества выполненных творческих, исследовательских заданий и т.п.

Контрольные вопросы по усвоению понятий классической электродинамики могут быть условно разделены на несколько групп в зависимости от проверяемых умений.

Приведем примеры.

I группа (репродуктивные знания и умения)

1. Сформулируйте и напишите в векторной форме закон Кулона.
2. Докажите теорему Гаусса-Остроградского.
3. Закон Ома в векторной форме.
4. Теория моста Уитстона.
5. Что такое основная кривая намагничивания?

II группа (объяснение явления, закона)

1. В чем сущность явления электростатической индукции?
2. В чем состоит физический смысл векторов смещения и поляризации?
3. Как объяснить наличие тока смещения?
4. Какие процессы приводят к образованию контактного потенциала, контактной разности потенциалов?
5. Удельная проводимость металла по классической электронной теории.
6. Как объяснить эффект Холла? От чего зависит величина $\Delta\varphi$? Как на эффекте Холла сказывается наличие неосновных свободных зарядов?
7. Объясните влияние сетки на анодный ток трехэлектродной лампы.
8. Объясните явление пробоя в разреженном газе.

III группа (предсказание)

1. Как изменятся векторы \vec{D} , \vec{E} , \vec{P} , если диэлектрик в конденсаторе заменить на диэлектрик с большим ϵ ?
2. Как изменятся векторы \vec{D} , \vec{E} , \vec{P} , если увеличить напряжение на конденсаторе?
3. Два одинаковых конденсатора емкостью C имели напряжение U , и $U_2 > U_1$. Как изменится энергия системы, если их соединить параллельно?
4. Вычислите изменение энергии плоского конденсатора при удалении диэлектрика.
5. Будет ли расходоваться энергия переменного тока в цепи, содержащей только реактивное сопротивление?

IV группа (причинно-следственные связи)

1. При каких условиях относительная ошибка измерения сопротивления мостом Уитстона наименьшая? Почему?

2. Как и почему изменяются свойства диодов с увеличением температуры?

3. Почему магнитная стрелка тангенс-буссоли должна быть малых размеров?

4. Почему нельзя уменьшать ток в цепи электромагнита до окончания лабораторной работы?

5. Почему движок потенциометра рекомендуется двигать только в одну, а затем только в другую сторону?

6. Почему нельзя усреднять вектор индукции для одного значения тока определенного направления?

V группа (сравнение)

1. Различие металла и полупроводника с точки зрения электронной теории.

2. Как изменятся рассмотренные соотношения, если вместо разряда изучать процесс заряда емкости через сопротивление?

3. В чем принципиальная разница между вынужденными электромагнитными колебаниями и автоколебаниями?

4. Как распределяется потенциал внутри гальванического элемента: при разомкнутой внешней цепи; при замкнутой внешней цепи?

5. По каким траекториям движется электрон между отклоняющими пластинами при подаче на эти пластины:

а) постоянного напряжения;

б) синусоидального напряжения;

в) пилообразного напряжения?

6. Каковы наиболее существенные различия в петлях гистерезиса ферромагнетиков, используемых для сердечников трансформаторов и для постоянных моментов?

7. При каком сердечнике активное сопротивление катушки будет большим: при сплошном металлическом или набранном из изолированных металлических пластин? Ответ объясните.

VI группа (графические умения и навыки)

1. Изобразите проекции траектории электронов на плоскость, перпендикулярную оси электронной трубки, в случае однородного поля.

2. Нарисуйте скорости нескольких электронов и покажите, куда направлены силы Лоренца.

3. Нарисуйте (без соблюдения масштаба) и исследуйте график зависимости периода колебаний данного магнитометра от тока в соленоиде.

4. Нарисуйте зависимость смещения от времени для различных режимов колебательной системы.

5. Каков физический смысл графиков, полученных в лабораторной работе?

6. Нарисуйте потенциальную диаграмму для двух последовательно соединенных резисторов. Одинаковый ли наклон к оси абсцисс отрезков диаграммы, относящихся к разным резисторам? Объясните ответ.

VII группа (как сделать?)

1. Как убедиться в существовании остаточного магнетизма у сердечника?

2. Можно ли снятие полного цикла гистерезиса начать с какой-либо произвольной точки?

3. Как и для чего можно использовать эффект Холла?

4. Как учесть при измерениях саморазряд вольтметра?

5. Как рассчитать сопротивление проводника, пластины сечения которого непрерывно изменяются вдоль его длины?

6. Можно ли поставить электроннолучевую трубку таким образом, чтобы электронный пучок не отклонялся?

7. Каким образом можно измерять силу тока в электронной лампе?

8. Как рассчитать резонансные сопротивления последовательного и параллельного контуров?

Обратим внимание на важность *формулировки творческих заданий* на примере следующего задания: дать оценку достоверности изучаемой зависимости, сделать самостоятельные выводы. Например, перед рассмотрением закона Ома сту-

денту предлагается подготовительный эксперимент с электрической лампочкой: ее накал при различных напряжениях различен. Преподаватель спрашивает, можно ли говорить о линейной зависимости величин (видимо, нельзя). Такую постановку вопроса в задании целесообразно изменить. Будет правильнее спросить: этот простой опыт показывает нам взаимосвязь между обеими величинами; что мы можем сделать, чтобы *точнее* определить вид зависимости?

Другой пример: в опыте с манной крупой преподавателем показана плоская картина электрического поля. Как показать, что поле существует в пространстве? Что для этого надо сделать? Дадим более подробное разъяснение развертывания вопросов в задании.

О картине распределения силовых линий электрического поля можно получить представление из опыта. Если поместить манную крупу или мелкие игольчатые кристаллики гипса в какую-нибудь непроводящую жидкость (керосин, касторовое масло, вазелин и т.п.) и создать в ней электрическое поле, то под действием электрического поля крупинки или кристаллики, играющие в данном случае роль пробных тел, располагаются в цепочки. Форма цепочек дает представление о силовых линиях поля.

Почему силовая линия — модель?

Напряженность электрического поля позволяет дать его количественную характеристику. Напряженность можно изобразить как любую векторную величину стрелкой определенного направления и длины, причем в каждой точке электрического поля. В связи с этим изображение множества векторов напряженности поля — очень трудоемкая работа; силовые линии позволяют дать модель этого описания. Каждая силовая линия — это пространственная кривая, тангенциальное направление которой во всех исследуемых точках совпадает с направлением вектора напряженности электрического поля \vec{E} в соответствующей точке. Это значит, что силовая линия — это линия, по которой следует двигаться в электрическом поле, чтобы проследить направление его напряженности, или в направлении которой движется положительно заряженная частица под влиянием электрического поля.

Так как через любую точку электрического поля можно провести силовую линию, то нужно условиться о необходимом количестве таких линий. Поскольку желательно, чтобы картина силовых линий давала представления о значении напряженности, количество изображаемых силовых линий, проходящих через середину площади сечения, согласуют с величиной напряженности. Следовательно, густота силовых линий становится относительной мерой напряженности поля. В местах, где силовые линии расположены густо, напряженность велика, и наоборот.

В однородном поле напряженность постоянна, поэтому силовые линии параллельны и находятся друг от друга на равных расстояниях. В радиальном поле напряженность с увеличением расстояния от заряда, образующего поле, уменьшается.

Задание: сравнить два способа описания электрического поля:
 а) с помощью системы векторов напряженности (рис. 65);
 б) с помощью системы силовых линий (рис. 66).

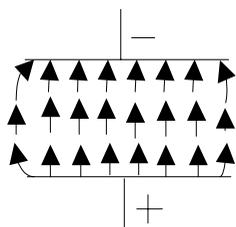


Рис. 65. Изображение электрического поля с помощью векторов напряженности линий

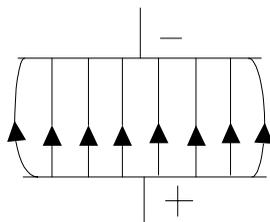


Рис. 66. Изображение электрического поля с помощью силовых линий

Силовые линии электрического поля не связаны с определенными точками пространства. Как это можно показать на опыте с манной крупой? Какие выводы можно сделать?

В опыте положение крупинки, через которую мысленно проводится силовая линия, можно легко менять, например, постукиванием пластинки, на которой лежат крупинки. При этом, хотя частицы и перемещаются, общая картина не меняется. Таким образом, важным является не отдельная линия, а система силовых линий как целое.

Силовые линии свидетельствуют о существовании электрического поля. Если устранить поле (разрядить конденсатор) и постучать по пластинке, то порядок частиц нарушается.

Творческая деятельность студентов в ряде случаев организуется через их привлечение к *составлению* тестовых заданий. Опыт преподавания классической электродинамики убедил в необходимости поэтапного подхода к этой деятельности студентов.

1 этап. *Использование заданий с выбором правильного ответа* для контроля знаний студентов, причем после индивидуальной работы студентов над выполнением заданий тестового типа должно производиться их коллективное решение с обсуждением всех вариантов ответа и обоснованием правильного.

2 этап. После изучения темы преподавателем формируются вопросы к тестовому заданию, а студентам поручается *составить варианты ответов*, один из которых должен быть правильным. На семинарском занятии обсуждаются наиболее удачные подборки и анализируются основные недостатки составленных студентами возможных вариантов ответов.

3 этап. На этом этапе в качестве домашней работы студентам поручается самостоятельное составление тестовых заданий по пройденной теме и *выбор критериев оценки*, а на семинарском занятии производится по этим заданиям *взаимоконтроль* знаний самих студентов, на основе которого проводится *зачет* по данной теме.

На этих этапах студенты знакомятся с основными рекомендациями, которым необходимо следовать при составлении заданий. Кроме того, важно знать и учитывать, изучен ли данный учебный материал, закреплен ли.

4 этап. *Итоговые* контрольные работы по составлению тестов по предложенной теме. Результаты оцениваются преподавателем.

5 этап. Подготовка *серии тематических тестов*.

Опыт показывает, что составление тестовых заданий для контроля знаний значительно обогащает труд преподавателя и студентов, которые исследуют возможности составления тестовых заданий не только на семинарских, но и на практических и лабораторных занятиях.

Ниже обобщается также опыт развития творческой активности студентов *при выполнении физического практикума*. Каждая работа практикума включает элементы, требующие творческого подхода, проявления самостоятельности при выполнении всей работы в целом. Перед каждой работой студент получает индивидуальное домашнее задание, требующее проведения расчетов, построения теоретических графиков и т.д. В отчете по теме студент должен описать другие установки (стенды) или предложить собственный проект, позволяющий исследовать изучаемое явление, и т.д.

Творческий подход невозможен без глубоких знаний, умений и навыков. Поэтому предварительно студенты работают с *обучающе-контролирующими программами*. В обучающих частях программ в диалоговом режиме пользователь получает вопросы, требующие предварительной подготовки и проявления элементов творчества. При этом программа не перейдет к следующему вопросу, пока не получит от обучаемого правильный ответ. По желанию программа может выдать подсказку в виде нужного соотношения (формулы), правила, фрагмента текста или указать необходимую литературу. В конце работы выводится на экран оценка знаний студента и соответствующий комментарий. Последовательность вопросов, численные значения величин выдаются с помощью генератора псевдослучайных чисел. Контролирующая часть программы выдает пользователю только информацию о верности ответа и итоговую оценку. Кроме того, от студента требуется *составление программы расчетов* для выполнения заданий.

В практикуме во время аудиторных занятий студенты реализуют простейшие схемы, подбирая элементы, работая пальчиком, а затем исследуют собранные схемы на соответствующих измерительных стендах.

7.5. Приобретение эмоционально-ценностного отношения студента к изучению электродинамики

Осознание необходимости гуманизации и гуманитаризации процесса обучения физике до сих пор проходит весьма трудно и во многом болезненно. Педагоги традиционно рассматривают физику как основу техники, плохо представляют

общекультурную компоненту физического образования. Новое понимание физики *как важнейшего элемента современной культуры* требует немалых усилий для того, чтобы это переосмыслить.

О необходимости рассмотрения физических знаний с обязательным учетом ценностей человеческого бытия с целью более глубокого лично заинтересованного их осмысления в разное время высказывались многие классики науки, начиная с Б.Паскаля и заканчивая И.Пригожиным. В преобразовании научного знания, когда становится очевидной культурная ценность науки и научного образования, ученые видели залог успеха в воспитании гармонично развитой личности, способной и готовой к творческой деятельности.

Приобщая студентов к *ценностям науки и научного познания*, преподаватель стремится к тому, чтобы эти ценности стали приобретением студентов, помогающим им самореализоваться как творческой личности.

Что такое ценности науки и научного познания?

Хотелось бы подчеркнуть следующие бесспорные факторы научного, общекультурного и психолого-педагогического значения:

1) новое осмысление науки, согласно которому физика обладает общезначимой ценностью в качестве важнейшего элемента современной культуры;

2) эти ценности, безусловно, заложены и в самом учебном знании, и следует предпринять определенные методические усилия, чтобы они стали очевидными, доступными и привлекательными для студентов;

3) учебное знание обретает смысл культуры, если способствует положительному самоизменению студента, формирует и развивает его как субъекта познавательного процесса.

Электродинамика богата научными и техническими открытиями, ее развитие заметно повлияло на мышление человека, на изменение научной картины мира.

Переоценка роли науки в жизни человека изменила традиционную расстановку мест в сложившейся иерархии. Тенденция такова: человек становится мерой всех наук.

Студенты приобретают представления о том, *как добываются* научные знания, и формируют свои *личностные ка-*

чества. Используемый для раскрытия ценностей электродинамики как научной отрасли и научного познания социокультурный материал включает в себя:

- 1) методологические;
- 2) мировоззренческие;
- 3) историко-научные;
- 4) биографические;
- 5) общекультурные знания и представления.

При этом предполагается рассмотрение вопросов электродинамики *в тесном взаимодействии* с ценностно-мировоззренческим осмыслением существа этого раздела.

Анализ аксиологической литературы позволяет выявить общие, «сквозные», универсальные ценности (рис. 67):

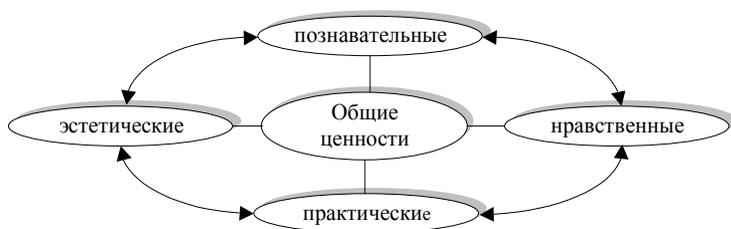


Рис. 67

- 1) познавательные;
- 2) эстетические;
- 3) нравственные;
- 4) практические.

Они взаимосвязаны, и формирование одних естественным образом затрагивает и другие. Так, например, на конкретных фактах студент убеждается в том, что красиво поставленный эксперимент, как правило, ведет к получению объективных результатов, а правильная теория обладает внутренней гармонией.

Деятельность преподавателя концентрируется на реализации в обучении *основных направлений*:

1) электродинамика как *научное знание и научная деятельность*;

2) *творчество* классиков науки и техники;

3) физические знания, методы и мышление как *эффективное средство решения* производственных, экологических и других проблем.

Без глубокого *переживания* ценностей не может быть их усвоения.

Эмоционально-ценностное отношение проявляется при *прямом* и *косвенном* взаимодействии преподавателя и студента (рис. 68).

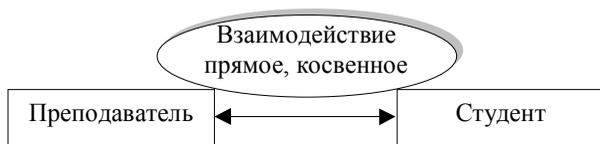


Рис. 68

Влияние *прямого* взаимодействия преподавателя и студента по конкретной физической проблеме изображено на рис. 69, а *косвенного* — на рис. 70.

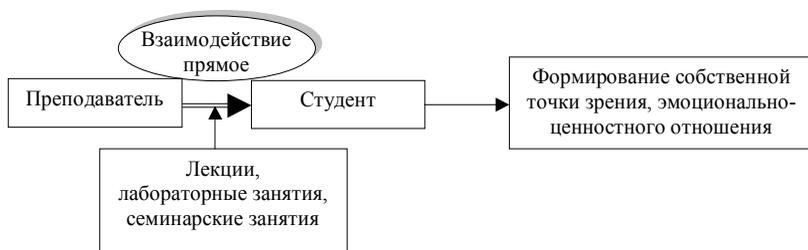


Рис. 69

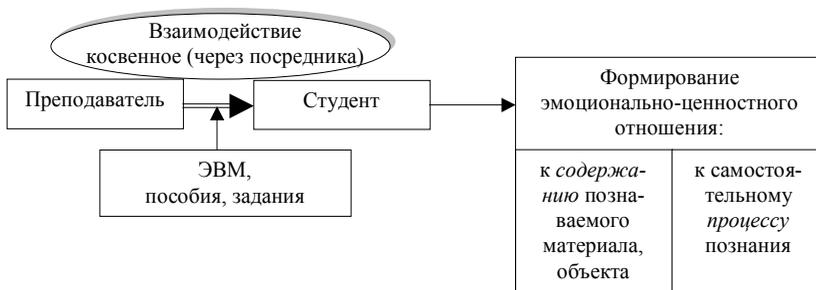


Рис. 70

Приведем примеры заданий, выполнение которых имеет целью формирование эмоционально-ценностного отношения студентов.

1. Вам на контрольной работе предложили решить задачу, для решения которой необходимо знание формулы, еще не пройденной. Как вы поведете себя?

2. Дайте четкую аргументацию требований к знаниям и умениям, чтобы решить следующую задачу (предлагается задача).

3. Дайте аргументацию требований к знаниям и умениям работы с амперметром (потенциометром).

4. Дайте аргументацию требований к отчету по лабораторной работе «Изучение законов постоянного тока».

5. Как вы передадите новую информацию, полученную на лекции по теме «Взаимодействие заряженных тел», в обобщенном виде?

6. Проведите анализ новых для вас терминов электродинамики.

7. Сможете ли изобразить содержание текста §16 в учебнике А.Н.Матвеева «Электричество и магнетизм» в виде схемы основных понятий и связей между ними?

8. Сконструируйте задание для своего товарища, более сложное, чем выполненное вами.

9. Оцените задание, выполненное вашим товарищем.

10. Какой вспомогательный материал вы поместили бы на стенд для тех, кто изучает тему «Постоянный электрический ток»?

11. Какие проверочные задания вы составите и подберете к теме «Электростатика»?

12. Составьте памятки и рекомендации для своих товарищей по изучению конкретной темы.

13. Напишите образцовый письменный отчет о конкретной работе физпрактикума.

14. Студенту нужно постоянно анализировать свои учебные действия при работе с измерительными приборами, например, осциллографом. Зачем это нужно делать?

15. Расскажите, что вы знаете об ученых, внесших вклад в развитие электродинамики. Кто из них наиболее симпатичен вам как личность? Почему?

16. В чем проявляются ваша доброжелательность и трудолюбие при изучении электродинамики?

17. Уместен ли юмор при изучении электродинамики?

18. Оцените вашу деятельность по выполнению лабораторной работы физпрактикума «Изучение законов постоянного тока». Почему она может служить примером для других?

19. В чем проявляется ваша увлеченность физикой при изучении электродинамики?

20. Какие вопросы электродинамики вам больше всего нравятся (или не нравятся)? Почему?

21. Какие задачи по электродинамике для вас наиболее трудны? Почему?

22. Какой вид учебной деятельности при изучении электродинамики вы делаете с удовольствием?

23. Нужна ли и где ваша аккуратность при изучении электродинамики?

24. Как можно сберечь или рациональнее использовать учебное время во время лабораторных занятий?

25. Как оптимально организовать свой учебный труд на лекции?

26. Найдите в дополнительной литературе самую интересную задачу по электродинамике.

27. Разработайте трудную задачу по электродинамике для преподавателя.

28. Оцените свой ответ на семинаре, прокомментируйте оценку.

29. Придумайте интересные вопросы по электродинамике своему товарищу.

30. Что может дать вам изучение математического аппарата электродинамики?

31. Сравните свои знания электродинамики, полученные в школе и на студенческой скамье.

32. Выделите главное для себя в изученном вопросе о токе смещения.

33. Вычлените интересные (важные) идеи электродинамики.

34. Оцените речь на семинаре выступающего с устным ответом вашего товарища. Сравните со своей речью.

35. Раскрыли ли вы в полной мере свои познавательные способности при изучении электродинамики? Что еще хотели бы изучить?

36. В чем конкретно проявилась ваша личная добросовестность, точность и аккуратность при изучении электродинамики?

37. Какие радости и огорчения вы испытывали при изучении электродинамики?

38. Чему вы радовались (огорчались) сегодня на семинарском (лабораторном) занятии?

39. Горите ли вы желанием общаться с преподавателем? Почему?

40. Представляет ли для вас ценность общение с преподавателем? Почему?

41. Представляет ли для вас ценность новое знание (умение), полученное на занятиях? Почему?

42. Что нового для себя вы узнали на семинарском занятии? Чему научились? Где это может пригодиться?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Зилев П.А. Курс физики. Ч.2. — Звук.-Свет.-Электричество. — Изд. 3. — Варшава, 1900. — 500 с.
2. Поль Р.В. Введение в современное учение об электричестве. — Изд. 2. — Москва-Ленинград: ГНТИ, 1931. — 344 с.
3. Поль Р.В. Учение об электричестве. — М.: Физматгиз, 1962. — 516 с.
4. Гримзель Э. Курс физики. Магнетизм и электричество. — Москва-Ленинград: ГТТИ, 1932. — 448 с.
5. Путилов К.А. Курс физики. Учение об электричестве. Т.2. — Изд. 6-е. — М.: Физматгиз, 1963. — 593 с.
6. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. Т. 2. — Электрические и электромагнитные явления. — Л.: ГИТТЛ, 1949. — 592 с.
7. Тамм И.Е. Основы теории электричества. — Изд. 9-е. — М.: «Наука», 1976. — 616 с.
8. Фейман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т.5. — Электричество и магнетизм. — М.: Мир, 1977.
9. Парселл Э. Берклевский курс физики. Электричество и магнетизм. М.: «Наука», 1971. — 448 с.
10. Сивухин Д.В. Электричество: Учеб. пособие. — М.: «Наука», Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. — 688 с.
11. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм: Учеб. пособие. — М.: Высш. шк., 1983. — 463 с.
12. Гершензон Е.М., Малов Н.Н. Курс общей физики: Электродинамика: Учеб. пособие. — С.: Просвещение, 1990. — 319 с.
13. Съезд российских физиков-преподавателей «Физическое образование в XXI веке». — М.: Физический факультет МГУ, 2000. — 426 с.
14. Современный физический практикум // Сб. тез. докл. VI учеб.-метод. конф. стран Содружества. — М.: Издательский дом МФО, 2000. — 256 с.
15. Наука и образование на пороге III тысячелетия: Тез. докл. Международный конгресса: В 2 кн. — Мн., 2000. — 282 с.
16. Образовательный стандарт. Высшее образование. Специальность Н.02.01.00 «Физика». — Мн., 1999. — 34 с.
17. Джанколи Д. Физика. — М.: Мир, 1989.
18. Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма. — М.: Высш. шк., 1983.
19. Телеснин Р.В., Яковлев В.Ф. Курс физики. — Электричество. — М.: Просвещение, 1970.
20. Калашников С.Г. Электричество. — М.: Наука, 1970.
21. Хуторская Л.Н., Попко Н.М. Технология научно-методического анализа содержания классической электродинамики как раздела общего курса физики // Технообраз' 2001: Технологии непрерывного образования и саморазвития личности: Мат. международ. науч. конф.: В 3 ч. Ч.1. — Гродно, 2001. — С. 418—420.
22. Хуторская Л.Н. Основы обучения физике: Учеб. пособие. — Гродно: ГрГУ, 2000. — 185 с.
23. Хуторская Л.Н. Ошибки по физике и их предупреждение: Учеб. пособие по метод. препод. физ. — Гродно, 1993. — 102 с.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. Методолого-теоретические основы модернизации методической системы изучения классической электродинамики в университете.....	4
1.1. Основные аспекты анализа традиционной системы изучения классической электродинамики как раздела курса общей физики.....	4
1.2. Современные концепции формирования специалиста-профессионала XXI века.....	17
1.3. Концептуальные основы совершенствования методической системы изучения классической электродинамики.....	30
ГЛАВА 2. Целеполагание в деятельности студента и преподавателя при изучении классической электродинамики.....	44
2.1. Нормативные требования к изучению электродинамики в университетском курсе общей физики.....	44
2.2. Дерево целей в деятельности студента и преподавателя при изучении электродинамики.....	50
ГЛАВА 3. Содержание классической электродинамики и пути его совершенствования.....	61
3.1. Виды знаний, формируемых при изучении электродинамики.....	61
3.2. Виды умений.....	69
3.3. Формирование опыта творческой деятельности студентов при изучении классической электродинамики.....	71
3.4. Модульно-блочный подход к содержанию раздела.....	75
3.5. Методологические знания.....	78
3.6. Исторический материал при изучении классической электродинамики.....	83
3.7. Математический аппарат при изучении классической электродинамики.....	89
ГЛАВА 4. Материально-техническое обеспечение изучения классической электродинамики.....	95
4.1. Анализ материально-технического обеспечения при традиционном изучении классической электродинамики.....	95

4.2. Материально-техническое обеспечение лекционных, практических, семинарских занятий.....	97
4.3. Модернизация материально-технического обеспечения лабораторного практикума.....	101
4.4. Компьютеризация раздела классической электродинамики...	105
ГЛАВА 5. Организация учебных занятий студентов при изучении электродинамики.....	119
5.1. Психолого-педагогическая основа взаимосвязи внутрипредметных учебных занятий.....	119
5.2. Варианты взаимосвязи организационных форм изучения классической электродинамики.....	122
5.3. Тематическое и временное планирование изучения электродинамики.....	125
5.4. Пример блочно-модульного варианта изучения электродинамики.....	127
ГЛАВА 6. Методы преподавания и учения.....	129
6.1. Виды деятельности преподавателя и студента.....	129
6.2. Характеристика методов преподавания классической электродинамики.....	140
6.3. Характеристика методов учения студентов при изучении электродинамики.....	164
6.4. Характеристика УИРС, научно-исследовательской работы студентов.....	185
6.5. Методы развития познавательного интереса студентов....	186
6.6. Методы формирования опыта творческой деятельности студентов и их эмоционально-ценностного отношения к изучению классической электродинамики.....	189
ГЛАВА 7. Контроль, проверка результатов обучения.....	199
7.1. Критерии эффективности методической системы изучения классической электродинамики.....	199
7.2. Содержание и методы проверки результатов обучения.....	202
7.3. Типичные ошибки и недостатки в знаниях и умениях студентов и пути их устранения.....	216
7.4. Методы контроля творческой деятельности студентов.....	221
7.5. Приобретение эмоционально-ценностного отношения студента к изучению электродинамики.....	228
Рекомендуемая литература.....	235

Учебное издание

Попко Наталья Михайловна
Хуторская Лариса Николаевна

**МЕТОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИЗУЧЕНИЯ
КЛАССИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ
В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ**

Учебное пособие

Редактор Н.П.Дудко
Компьютерная вёрстка: Т.А.Коваленко

Сдано в набор 19.07.2001. Подписано в печать 26.09.2001.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная №1.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл.печ.л. 13,80. Уч.-изд.л. 13,09.

Тираж экз. Заказ .

Налоговая льгота — Общегосударственный классификатор
Республики Беларусь ОКРБ 007-98, ч.1, 22.11.20.600.

Учреждение образования
«Гродненский государственный университет
имени Янки Купалы».

ЛВ №96 от 02.12.97.

Ул. Ожешко, 22, 230023, Гродно.

Отпечатано на технике издательского отдела Учреждения образования
«Гродненский государственный университет имени Янки Купалы».

ЛП №111 от 29.12.97.

Ул. Ожешко, 22, 230023, Гродно.