

Использование интерактивных технологий в процессе изучения явления электромагнитной индукции и практического применения элементов теории Максвелла в курсе общей физики

The using of interactive technologies during electromagnetic induction phenomena study with practical using of Maxwell's theory elements in physics of general course

Ильина Л.Ф., Тажибаева Д.К.

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (E-mail: l_191137@mail.ru)

Қазіргі кезде ақпаратты ұғу процесі мен адамның интеллектуалдық даму процесі жана жолдар мен технологияларды жасау мен интенсификациялауды мәжбүр етеді. Макроскопиялық электродинамика теориясын түсінуге дейін, материяның табиғаты мәселесін кеңейту қажет. Сондықтан электродинамикада материяның басқа түрі енгізіледі, өрістік материя, демек, электромагниттік өріс. Бұл бөлімнің оқытылуы өте қиын, сондықтан оны қазіргі заманның интерактивті технологияларыңыз оқып үйрену мүмкін емес. Бұл жағдаймен сәйкес «Электрлік күші мен магнетизм» бөлімін өткенде инновациондық технологиялар мен электрондық білім беру ресурстар қолдануда әдістерді тексеру жүргізілді.

Information's learning process and process of person intellectual development demand intensification and using of new methods and technologies at present time. Before understanding the heart of macroscopic electrodynamics theory it is necessary to widen and extend matter concept. Just one kind of matter — substance has in view in the classical variant. Another form of matter — field substance, i.e. electrodynamics field, is introduced exactly in electrodynamics. Section not traditional, difficult enough, therefore its development without application of modern interactive technologies inconveniently. In this article in conformity with it the approbation of methods on basis of innovation technologies and electronic educational resources using was carried out.

Раздел «Электричество и магнетизм» — один из наиболее сложных разделов физики. Его логическая структура: формирование понятия электрического заряда и электромагнитного поля; изучение взаимодействия поля и вещества, электрического и магнитного полей и т.д.

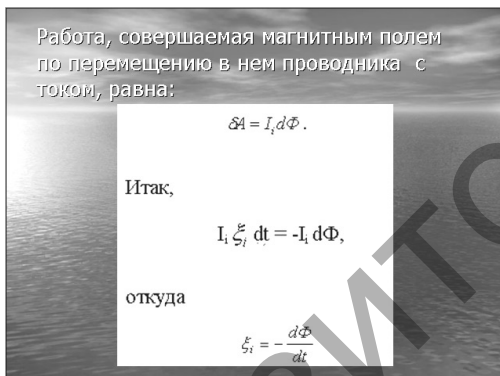
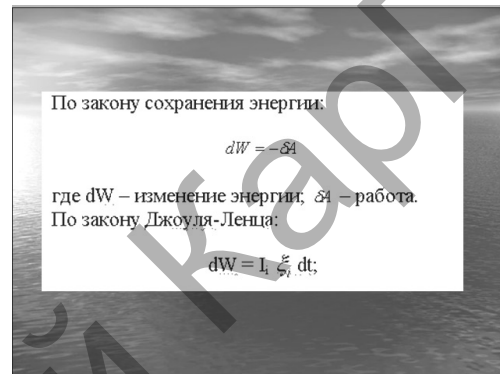
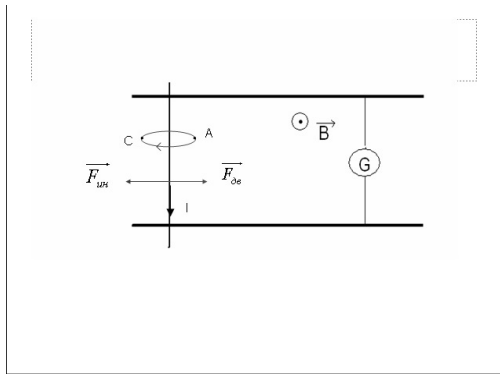
Именно в электродинамике, творцом которой был Дж. К.Максвелл, логично вводится вторая форма материи — полевая, т.е. электромагнитное поле.

На кафедре общей и теоретической физики КарГУ им. Е.А.Букетова в течение многих лет работает научно-методический семинар «Дидактические принципы и сравнительный анализ методики преподавания физики в школе и вузе», направление работы которого определяется на каждый учебный год и планируется на основе научно-исследовательской работы кафедры, координируемой Академией педагогических наук Казахстана.

В 2009–2010 учебном году семинар был посвящен использованию интерактивных технологий при изучении раздела «Электричество и магнетизм». По этому разделу выполняются дипломные работы, которые оформляются актами внедрения в учебный процесс гимназии № 93 г. Караганды, являющейся филиалом кафедры, и университета, причем не только в курсе общей физики, но и в спецкурсах. Содержание спецкурсов рассчитано не только на базовые, но и на профильные программы, что особенно актуально в условиях неизбежного перехода на 12-летнее среднее образование в РК [1].

Следует отметить, что в преподавании соответствующих спецкурсов используется опыт работы одного из авторов доклада в качестве учителя физики (по совместительству) в физико-математических классах школы-гимназии № 93 г. Караганды. Работа велась по авторским программам, и многие вопросы, связанные именно с магнетизмом, рассматривались с помощью нетрадиционных методов. Например, такое очень важное явление, как электромагнитная индукция, связывающая электрическое и магнитное поля, традиционно рассматривается на основе эксперимента (закон Фарадея); подчеркивается, что электромагнитная индукция — это явление инерционное, а вот почему, совершенно неясно [2]. Закон электромагнитной индукции можно вывести на основе закона сохранения энергии и закона инерции. Такого подхода нет ни в одном, как вузовском, так и в школьном, учебнике. При рассмотрении этого вопроса использовалась презентация, подготовленная авторами.

Пусть в горизонтальной плоскости расположены два рельса, на них положен легкий проводник, система замкнута через гальванометр и помещена в однородное магнитное поле, перпендикулярное к плоскости указанного контура. Будем двигать проводник, прикладывая к нему движущую силу $\vec{F}_{об}$. В силу всеобщего закона инерции (в данном случае речь идет не о механической, а об электромагнитной инерции) должна возникнуть сила инерции $\vec{F}_{ин} \uparrow \downarrow \vec{F}_{об}$, а это возможно лишь в том случае, если в проводнике пойдет ток такого направления, чтобы его собственное поле справа от проводника было параллельно внешнему и усиливало его, а слева было антипараллельно внешнему и ослабляло его. Используя правило буравчика, указываем направление тока (слайды 1–3). Ток и должен возникнуть, так как меняется магнитный поток, пронизывающий контур, частью которого является перемещающийся проводник, и гальванометр это зафиксирует [3].



Слайды 1–3. Вывод закона электромагнитной индукции

Слайд 4. Иллюстрация правила Ленца

Закон электромагнитной индукции в такой форме был предложен Максвеллом и называется электродинамическим законом Фарадея-Максвелла.

Знак «-» учитывает направление индукционного тока, определяемое правилом Ленца (слайд 4):

Индукционный ток всегда имеет такое направление, что его собственное магнитное поле препятствует тем изменениям, которые его вызывают.

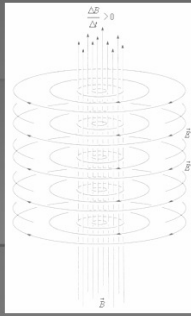
Известны три определения электромагнитной индукции: два — по Фарадею (через силовые линии и через магнитный поток) и одно — по Максвеллу (слайды 5–9). Традиционно сначала вводится вектор магнитной индукции как характеристика магнитного поля, через него — магнитный поток, а затем ЭДС индукции — через скорость изменения магнитного потока. Причем в школьном курсе физики вводится единственная векторная характеристика магнитного поля — вектор магнитной индукции (с точки зрения методики непонятно, почему он так называется) [4].

Существование электромагнитных волн было теоретически предсказано великим английским физиком Дж. Максвеллом в 1864 году. Максвелл проанализировал все известные к тому времени законы электродинамики и сделал попытку применить их к изменяющимся во времени электрическому и магнитному полям. Он обратил внимание на асимметрию взаимосвязи между электрическими и магнитными явлениями. Максвелл ввел в физику понятие вихревого электрического поля и предложил новую трактовку закона электромагнитной индукции, открытой Фарадеем в 1831 г.:

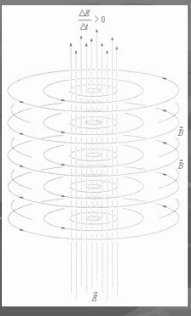
Всякое изменение магнитного поля порождает в окружающем пространстве вихревое электрическое поле, силовые линии которого замкнуты.

Максвелл высказал гипотезу о существовании и обратного процесса:

Изменяющееся во времени электрическое поле порождает в окружающем пространстве магнитное поле.




Закон электромагнитной индукции в трактовке Максвелла.



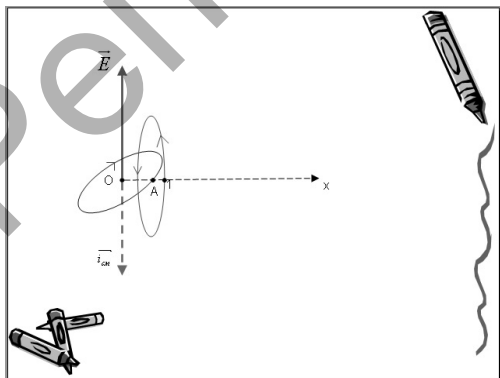
Гипотеза Максвелла.
Изменяющееся электрическое поле порождает магнитное поле.

Гипотеза Максвелла была лишь теоретическим предположением, не имеющим экспериментального подтверждения, однако на ее основе Максвеллу удалось записать непротиворечивую систему уравнений, описывающих взаимные превращения электрического и магнитного полей, т. е. систему уравнений электромагнитного поля (уравнений Максвелла).

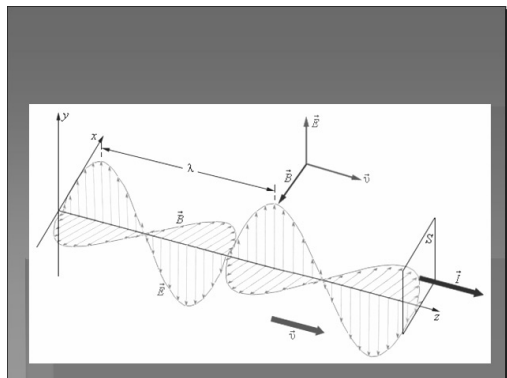
Из теории Максвелла вытекает следующее:

Существуют электромагнитные волны, то есть распространяющееся в пространстве и во времени электромагнитное поле. Электромагнитные волны поперечны – векторы **E** и **H** перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны.

Слайды 5–9. Элементы теории Максвелла



Слайд 10. Возникновение электромагнитной волны



Слайд 11. Электромагнитная волна — волна поперечная

Пусть в некой точке О создается электрическое поле напряженности \vec{E} (слайд 10).

Если оно ничем не поддерживается, то оно убывает, причем $\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \uparrow \downarrow \vec{E}$ и создает «ток смещения». «Ток смещения» создает магнитное поле. Магнитное поле создается вокруг «тока смещения».

Выберем произвольное направление, с которым совместим ось x. В точке пересечения силовой линии магнитного поля с осью x вектор \vec{H} направлен на наблюдателя, но магнитное поле тоже ничем не поддерживается, значит, тоже убывает и создает вихревое электрическое поле, направленное так, чтобы создаваемое им вторичное магнитное поле в названной точке поддерживало вторичное, т.е. было направлено на нас же. И так, на первичное электрическое поле в точке О накладывается вторичное электрическое поле, противоположное ему по направлению. Поля в точке О компенсируют друг друга, но в выбранном направлении электрическое поле создается в точке 1 и т.д. [5].

Таким образом, **электромагнитное поле распространяется в пространстве, создавая электромагнитную волну.**

Очевидно, что $\vec{H} \perp \vec{E}; \vec{v} \perp \vec{E}; \vec{v} \perp \vec{H}$, т.е. электромагнитная волна — волна поперечная (слайд 11). Электромагнитные волны распространяются в веществе с конечной скоростью

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0}}$$

Скорость электромагнитных волн в вакууме ($\epsilon = \mu = 1$) равна скорости света.

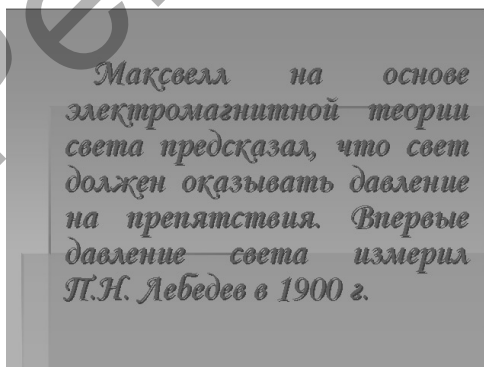
Скорость распространения электромагнитных волн в вакууме является одной из фундаментальных физических постоянных.

Вывод Максвелла о конечной скорости распространения электромагнитных волн находился в противоречии с принятой в то время теорией дальнего действия, в которой скорость распространения электрического и магнитного полей принималась бесконечно большой. Поэтому теорию Максвелла называют теорией близкого действия.

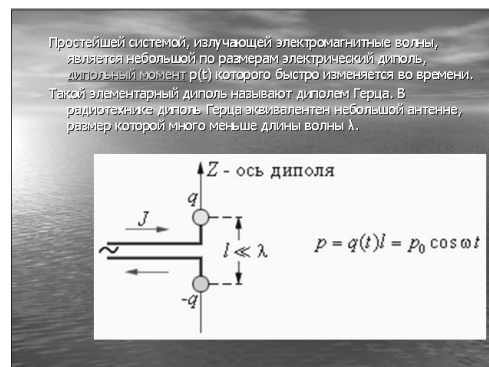
В электромагнитной волне происходят взаимные превращения электрического и магнитного полей. Эти процессы идут одновременно, и электрическое и магнитное поля выступают как равноправные «партнеры».

Электромагнитные волны переносят энергию. Поток энергии в электромагнитной волне можно задавать с помощью вектора, называемого вектором Пойнтинга.

Давление электромагнитного излучения объясняется тем, что под действием электрического поля волны в веществе возникают слабые токи, т.е. упорядоченное движение заряженных частиц. На эти токи действует сила Ампера со стороны магнитного поля волны, направленная в толщу вещества. Эта сила и создает результирующее давление. Обычно давление электромагнитного излучения ничтожно мало. Так, например, давление солнечного излучения, приходящего на Землю, на абсолютно поглощающую поверхность, составляет примерно 5 мкПа. Первые эксперименты по определению давления излучения на отражающие и поглощающие тела, подтвердившие вывод теории Максвелла, были выполнены П. Н. Лебедевым (1900 г.). Опыты Лебедева имели огромное значение для утверждения электромагнитной теории Максвелла (слайд 12).



Слайд 12. Давление электромагнитных волн



Слайд 13. Элементарный диполь

Таким образом, электромагнитное поле обладает всеми признаками материальных тел — энергией, конечной скоростью распространения, импульсом, массой. Это говорит о том, что электромагнитное поле является одной из форм существования материи.

Первое экспериментальное подтверждение электромагнитной теории Максвелла было дано примерно через 15 лет после создания теории в опытах Г. Герца (1888 г.). Герц не только экспериментально доказал существование электромагнитных волн, но впервые начал изучать их свойства — поглощение и преломление в разных средах, отражение от металлических поверхностей и т. п. Ему удалось измерить на опыте длину волны и скорость распространения электромагнитных волн, которая оказалась равной скорости света.

Опыты Герца сыграли решающую роль для доказательства и признания электромагнитной теории Максвелла. Через семь лет после этих опытов электромагнитные волны нашли применение в беспроводной связи (А. С. Попов, 1895 г.).

Электромагнитные волны могут возбуждаться только ускоренно движущимися зарядами. Цепи постоянного тока, в которых носители заряда движутся с неизменной скоростью, не являются источником электромагнитных волн. В современной радиотехнике излучение электромагнитных волн производится с помощью антенн различных конструкций, в которых возбуждаются быстропеременные токи (слайд 13).

Следует обратить внимание на то, что максимальный поток электромагнитной энергии излучается в плоскости, перпендикулярной оси диполя. Вдоль своей оси диполь не излучает энергии. Герц использовал элементарный диполь в качестве излучающей и приемной антенн при экспериментальном доказательстве существования электромагнитных волн.

Трудно переоценить практическое значение электромагнитных волн. Одним из самых замечательных технических применений электромагнитных волн является их использование для целей связи.

Сформулируем только основные физические принципы радиосвязи:

- 1) колебательный контур превращает ток проводимости в ток смещения, для передачи которого на расстояние не нужны провода;
- 2) переход от закрытого колебательного контура к открытому позволяет получить электромагнитные волны большой частоты (до 10^8 Гц), что обеспечивает их большую интенсивность;
- 3) модуляция колебаний, т.е. получение таких высокочастотных колебаний, амплитуда или фаза которых меняется со звуковой частотой;
- 4) усиление при приеме;
- 5) демодуляция [4].

Изучение свойств электромагнитных волн, теоретически предсказанных М.Фарадеем и Д.Максвеллом и практически доказанных Г.Герцем, приводило к мысли о возможности их использования для организации беспроводной связи. Несколько исследователей попытались решить эту задачу. Добились успеха русский ученый А.С.Попов и итальянец Г.Маркони.

Впервые А.С.Попов продемонстрировал работу своего «прибора для обнаружения и регистрирования электрических колебаний» на заседании Русского физико-химического общества в ходе обстоятельного доклада 7 мая 1895 г. Прибор откликался на посылки волн от «герцевского вибратора», возбуждаемого катушкой Румкорфа, на расстоянии 25 метров. Это была демонстрация первого в мире радиоприёмника, открывшего эру радио (слайды 14–17).

А.С.Попов использовал удачный индикатор электромагнитных волн, основанный на использовании металлических опилок. Свойство металлических порошков менять свои электрические свойства под действием электромагнитных волн было использовано в приборе, который назывался когерер: в стеклянную трубочку насыпаны мелкие опилки и сделаны металлические выводы из нее [5].

На II и IV курсах физического факультета по специальности 050110 — «Физика» был проведен педагогический эксперимент. IV курсу физического факультета (группа ФОР-401) в рамках спецкурса «Методика преподавания нетрадиционных разделов физики в средней школе» был предложен физический диктант в двух вариантах по 10 вопросов в каждом на тему «Магнитное поле и его характеристики. Электромагнитная индукция. Теория Максвелла».



Первая в мире смысловая радиограмма, осуществленная 7 марта 1895 года А.С. Поповым, содержала всего два слова: "Генрих Герц" как дань уважения памяти великого ученого, открывшего дверь в мир радио.

Слайды 14–17. Радиосвязь. Приемник А.Попова

Результаты оценивались в баллах, в буквенных эквивалентах (в соответствии с кредитной технологией обучения) и традиционными оценками. Результаты таковы (диаграмма 1): 75 % оценок «отлично», 25 % оценок «хорошо» (буквенные эквиваленты А, А-, В; баллы — 4,0; 3,67; 3,0). Результат считаем закономерным, так как студенты владеют не только теорией, но и большими практическими навыками в написании физических диктантов. После прохождения каждого раздела спецкурса в группе проводился физический диктант.

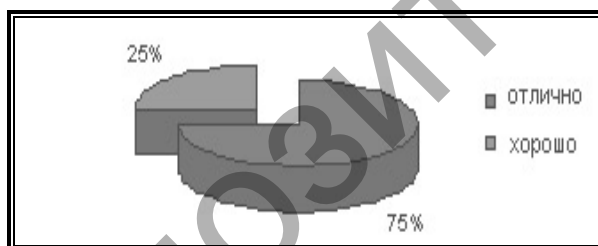


Диаграмма 1. Результаты написания физического диктанта. IV курс

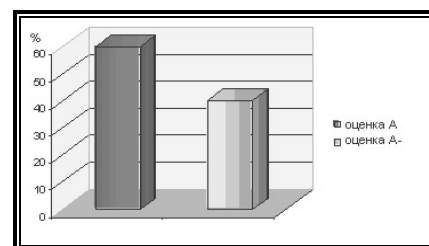


Диаграмма 2. Результаты тестирования. IV курс

Тесты включали 20 вопросов, из которых 13 — задачи. Тем не менее результаты тестирования оказались даже выше, чем результаты физических диктантов (диаграмма 2): 60 % студентов получили оценку «отлично» (4,0 балла; буквенный эквивалент А); 40 % студентов также получили оценку «отлично», но с меньшим количеством баллов (3,67 балла; буквенный эквивалент А-). Это вполне объяснимо: в тестах предлагаются варианты ответов; работая с тестами, студенты чувствуют себя более раскованно; система проверки с помощью тестов студентам более знакома и привычна. Считаем, однако, при всем сказанном выше, что уровень тестов был достаточно высок.

В контрольной работе студентам было предложено по четыре задачи в двух вариантах, из них три аналитических и одна качественная. Результаты контрольной работы ниже, чем результаты других форм контроля (диаграмма 3): 34 % студентов получили оценку «отлично» (4,0 и 3,67 балла; буквенные эквиваленты А и А-), 66 % — оценку «удовлетворительно» (2,33 балла, буквенный эквивалент С+). Считаем, что причин таких результатов несколько: во-первых, две задачи из четырех были

повышенной сложности; во-вторых, к сожалению, студенты плохо решают качественные задачи, так как недостаточно владеют навыками методического анализа содержания и решения задач. Основной причиной, с нашей точки зрения, является общепринятая тестовая система контроля уровня подготовки и учащихся, и студентов, которая не способствует приобретению соответствующих навыков. Поэтому, если в аналитических задачах этот недостаток можно скомпенсировать, если есть достаточные навыки в математических преобразованиях, то при решении качественных задач остается только физический анализ существа дела.

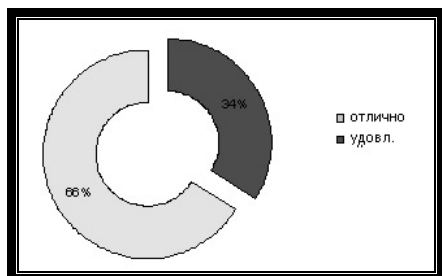
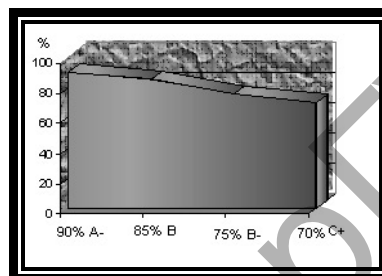


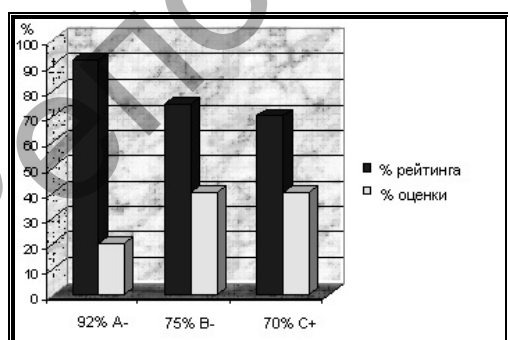
Диаграмма 3. Результаты контрольной работы. IV курс



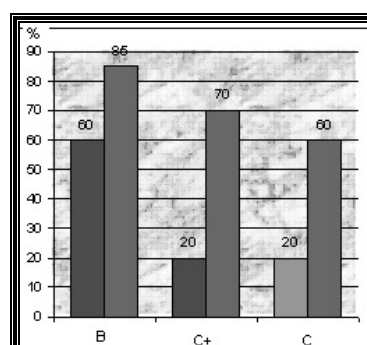
Гистограмма 1. Разброс в рейтинге при написании контрольной работы. II курс

Наиболее серьезные навыки в решении задач студенты приобретают на младших курсах. Подтверждение этому — результаты контрольной работы на II курсе. Студентам II курса (группа ФОР-201) было предложено четыре задачи, причем две из них — повышенной сложности (на электромагнитную индукцию). Что касается первой и второй задач (на силу Ампера и силу Лоренца), то и их решение требовало глубокого владения материалом. Результаты таковы: 34 % студентов получили оценку «отлично» (3,67 балла; буквенный эквивалент A-), 51 % — «хорошо» (3,0 и 2,67 балла; буквенные эквиваленты B и B-), 15 % — «удовлетворительно» (2,33 балла; буквенный эквивалент C+). Считаем положительным тот факт, что разброс в рейтинге сравнительно небольшой: от 90 до 70 % (гистограмма 1), а это свидетельствует о том, что группа II курса достаточно сильная и ее студенты мало отличаются по уровню подготовки.

Той же группе студентов был предложен физический диктант из двух вариантов по 12 вопросов в каждом. Результаты таковы: 20 % студентов получили оценку «отлично» (3,67 балла; буквенный эквивалент A-), 40 % — оценку «хорошо» (2,67 балла; буквенный эквивалент B-), 40 % — оценку «удовлетворительно» (2,33 балла; буквенный эквивалент C+). Более низкие результаты физического диктанта по сравнению с контрольной работой объясняем тем, что у студентов курса нет навыков в написании физических диктантов. Тем не менее разброс в рейтинге по группе невелик: от 92 до 70 % (гистограмма 2).



Гистограмма 2. Разброс в рейтинге при написании физического диктанта. II курс



Гистограмма 3. Разброс в рейтинге при тестировании. II курс

Тесты в двух вариантах включали по 20 вопросов каждый. Результаты тестирования: 60 % получили оценку «хорошо» (3,0 балла; буквенный эквивалент B) и 40 % — «удовлетворительно» (2,33 и 2,0 балла; буквенные эквиваленты C+ и C). Разброс в рейтинге и здесь невелик — от 85 до 60 % (гис-

тограмма 3). И хотя навыки в тестировании у студентов, безусловно, есть, но, во-первых, тесты по содержанию были достаточно сложными, а, во-вторых, студенты неразумно распределили время на написание физического диктанта и на тестирование (оба вида контроля проводились в течение 50 минут). Обращает на себя внимание и тот факт, что студенты правильно ответили на сложные вопросы, связанные, например, с током смещения, уравнениями Максвелла, и допустили ошибки в ответах на гораздо более простые вопросы, что подтверждает наше предположение о том, что студенты уделили больше внимания сложным вопросам, а на простые вопросы у них просто не хватило времени.

Выводы

1. В данной статье предлагается логический переход от явления электромагнитной индукции к теории Максвелла и ее практическому применению к анализу электромагнитных волн с использованием интерактивных технологий. Особого внимания заслуживает вывод закона электромагнитной индукции (в формулировке Максвелла) на основе законов сохранения энергии и инерции и анализ основных свойств электромагнитных волн без использования весьма сложного математического аппарата.

2. Предлагаемый материал иллюстрируется с помощью фрагментов презентации, подготовленной авторами диаграмм и гистограмм.

3. Приводятся результаты педагогического эксперимента на II и IV курсах физического факультета КарГУ им. Е.А.Букетова по специальности 050110 — «Физика».

4. Содержание статьи базируется на использовании опыта работы авторов как в вузе, так и в школе. Поэтому изложенный в ней материал может быть полезен в преподавании курсов общей физики и спецкурсов в университете и в физико-математических классах средней школы.

References

1. *Ilyina L.F., Tazhibayeva D.K.* The using of interactive technologies during «Electricity and magnetics» part study in general physics course // Present-day tendencies of higher and education system development Release of Republic guidance conference. — Karaganda: State Industrial University. Ser. Physics. — 2010. — 5 Nov. — P. 171–174.
2. *Ilyina L.F., Tazhibayeva D.K.* The using of innovation technologies during magnetic phenomenon study // Vestnik KarGU. Ser. Physics. — 2010. — № 3 (59). — P. 84–89.
3. *Ilyina L.F., Nursultanova A.H.* Teaching technique of electromagnetism principles in secondary school with using of interactive technologies // Vestnik KarGU. Ser. Physics. — 2009. — № 4 (56). — P. 81–85.
4. Physics e-book. <http://ultra.lan>.
5. *Ilyina L.F.* Technical guidelines by the «Electricity and magnetics» part. — Karaganda: KarSU publ., 1991. — 224 p.
6. References of «Radiomuseum» website (radiomuseum.ur.ru).