

Лабораторный практикум Э-27

Изучение системных размерностных взаимосвязей электромагнитных величин

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра Физики (ФН-4)

Чуев А.С., Задорожный Н.А.

Введение

В физике... нет места для путаных мыслей...

*Действительно понимающие природу того или
иного явления должны получать основные законы
из соображений размерности.*

Энрико Ферми

Электромагнитные величины и физические закономерности с участием этих величин занимают большую часть общего курса физики [1-3]. Большой объем изучаемого материала, а также его важность в раскрытии многих физических явлений, включая области механики (особенно квантовой механики) и оптики, предполагают необходимость целостного и системного изучения раздела электромагнетизма в учебном курсе общей физики.

Решению этой задачи призвано способствовать настоящее методическое пособие, оформленное и апробированное в виде компьютерного лабораторного практикума [4].

Цель лабораторного практикума

Целью данного лабораторного практикума является изучение студентами единиц измерения и размерностей физических величин, достижение понимания студентами системности, как самих величин, так и закономерных взаимосвязей между ними. Студенты изучают размерности физических величин в системах СИ и LT. На основе сравнения отличий размерностей физических величин указанных двух систем, обнаруживают структурное деление физических величин, включая структурное деление электромагнитных величин.

Исходя из топологии размещения размерностей физических величин, обнаруживаются системные закономерности в природных закономерных взаимосвязях самих физических величин. При выполнении практикума приобретает умение работы со специализированной компьютерной программой и навыки пользования планарными (плоскими) изображениями системы физических величин и закономерностей. Лабораторный практикум призван способствовать закреплению теоретических знаний, приобретаемых на лекциях и при работе с литературными источниками.

Краткая характеристика объекта изучения

Системное размерностное представление физических величин (ФВ) позволяет целостно, наглядно и доходчиво представить основные ФВ различной направленности (в области механики, электромагнетизма, тепловых и излучательных явлений и др.). При этом в системе наглядно представляются также и закономерности, существующие в различных областях естествознания, которые есть не что иное, как размерностные взаимосвязи самих величин или, как это считает Л.А.Сена, их единичных значений. С учетом возможности обнаружения в системе действующих закономерностей ее более полное название - система физических величин и закономерностей (ФВиЗ). Наиболее удобно пользоваться системой ФВиЗ в электронном (компьютерном) исполнении. При работе с электронным вариантом системы следует пользоваться специально разработанной инструкцией [5].

Многоуровневое (архитектурное) изображение системы ФВиЗ приведено на рис.1.

Плоское экранное компьютерное изображение системы ФВиЗ приведено на рис.2.

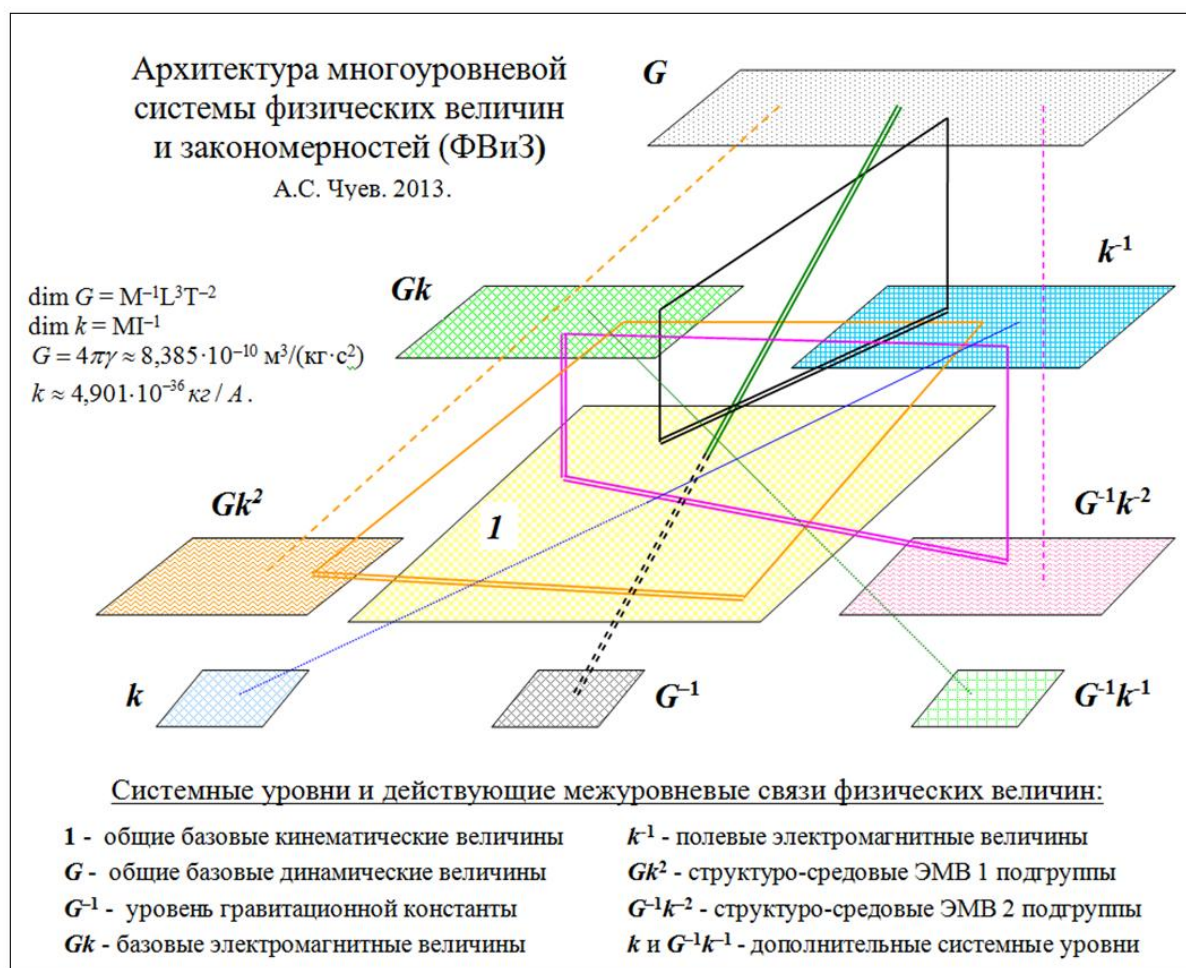


Рис. 1. Архитектурное изображение системы ФВиЗ.

ФВ, выраженные по размерности в системе СИ, расположены многоуровнево (много-
слоЙно) в определенных системных элементах. Системные элементы имеют LT – размерно-
стное представление, они строго упорядочены и расположены в одной, как бы базовой, плос-
кости. Топологические связи между системными элементами следующие: ближайшие гори-
зонтальные связи в направлении слева направо - имеют размерность *скорости* (LT^{-1}) , а бли-
жайшие косоугольные связи, идущие сверху вниз, в зависимости от их склонения вправо или
влево, имеют размерность *времени* (Т) или *длины* (L) (*пространственной протяженности*).

Многоуровневое расположение ФВ, да еще с дополнительными размерностными коэффициентами, создает определенные трудности для пользования системой в виде плоских (планарных) изображений, один из вариантов которых показан на рис.3, поэтому для удобства пользования системой разработан электронный вариант системы, применяемый в данной лабораторной работе.

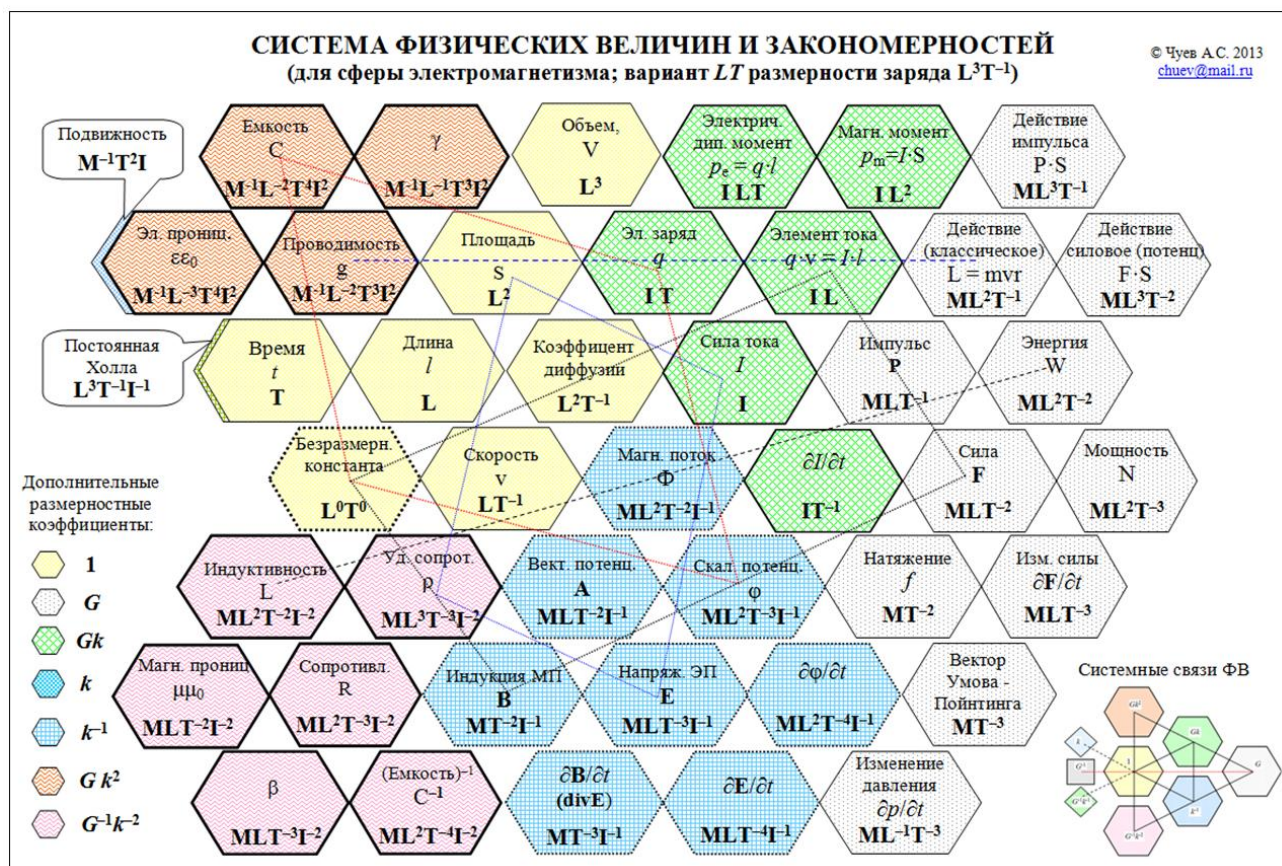


Рис. 3. Частное планарное изображение системы ФВиЗ.

Каждый системный уровень (слой) ФВ представляет собой определенную системную группу ФВ, родственных по своим физическим свойствам. Указанное родство ФВ одного и того же системного уровня объективно подтверждается значением дополнительного размерностного коэффициента и обычно выделяется на изображениях определенной цветовой раскраской.

Примечательным свойством рассматриваемой системы ФВиЗ является не только структурирование ФВ по отдельным функционально обособленным группам, но и возможность поиска, проявления и наглядной иллюстрации в системе физических закономерностей, как известных, так и потенциально возможных в природе.

Физические закономерности наглядно отображаются в системе в виде выделенных параллелограммов или выделенных линий, соединяющих до четырех ячеек с ФВ, участвующих в той или иной закономерности (входящих в уравнение связи, выражающую ту или иную природную закономерность).

Если уравнение связи содержит более четырех ФВ, то такое уравнение следует разбивать на два более простых уравнения, для которых возможны свои собственные отдельные системные изображения. В уравнениях, содержащих три ФВ, обычно участвует *безразмерная константа* или одна из ФВ присутствует во второй степени. В последнем случае системное отображение закономерности обязательно имеет вид линии. *Безразмерная константа*, распо-

лагаясь в определенном месте системы и имея нулевые показатели при LT - индексах, служит хорошим ориентиром для пользователей системы.

В электронном варианте системы ФВиЗ предусмотрен вызов известных физических закономерностей, которые уже занесены в системную базу знаний. Вызов известных закономерностей производится щелчком мышки на их наименовании в общем или структурированном (по отдельным группам) списке закономерностей. При этом на экране монитора компьютера появляется отображение вызванной закономерности в виде выделенного параллелограмма или выделенной линии, а в специальном экранном окне показывается математическая формула, соответствующая иллюстрируемой закономерности.

Более полную информацию о вызванной физической закономерности можно получить вызовом дополнительного всплывающего экранного окна. Вся информация всплывающих окон может обновляться и корректироваться.

Окраска ячеек с ФВ, используемая для выделения и обозначения принадлежности ФВ к определенному системному уровню, позволяет легко ориентироваться в системной структуре и облегчает поиск закономерных взаимосвязей ФВ. В данном варианте системы ячейки с общими базовыми кинематическими ФВ окрашены в желтый цвет, а ячейки с динамическими ФВ имеют серый цвет. Ячейки с электромагнитными ФВ разных системных уровней тоже имеют свою выделяющую окраску. Электромагнитные ФВ расположены на четырех основных системных уровнях, образуя следующие группы: **базовые электромагнитные** («материальные») ФВ, **полевые электромагнитные ФВ** и **структуро-средовые ФВ** двух типов.

На дополнительные системные уровни выведены еще две ФВ: *подвижность* носителей тока и *постоянная Холла*, используемые в физике полупроводников. Можно отметить, что *подвижность* носителей тока есть ФВ, обратная *индукции магнитного поля*, а *постоянная Холла* есть ФВ, обратная *объемной плотности электрического заряда*. Большинство ФВ, используемых в данной работе представлены в таблице Приложения 1.

Из данных таблицы видно, что отдельную группу электромагнитных величин составляют *электрический заряд*, *сила тока* и другие им подобные величины, которые можно называть «материальными». Другую группу электромагнитных величин составляют полевые величины, они включают в себя привычные полевые ФВ, за исключением *напряженности магнитного поля* и *индукции электрического поля*, которые системно относятся к упомянутой первой группе.

Уровень структуро-средовых электромагнитных величин, образующих третью специфическую группу величин, подразделяется на два подуровня ФВ противоположных по размерности. Вхождение *электрической* и *магнитной проницаемостей* (включающих в себя *электрическую* и *магнитную постоянные*) в данную системную группу говорит об электро-

магнитной структуре и у физического вакуума. На сегодня известна и широко используется лишь одна характеристика вакуума - волновое *сопротивление*. Волновое сопротивление полностью определяется *электрической и магнитной проницаемостями вакуума*:

$$R_B = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \approx 377 \text{ Ом}$$

Системное представление ФВ позволяет обнаруживать и заполнять системные «белые пятна». Поэтому здесь возможно появление новых оригинальных наименований ФВ типа *потенциальное действие*, представляющее собой произведение *силы на площадь* или произведение *натяжения на объем*.

Методические указания к поиску и обнаружению системных (закономерных) взаимосвязей электромагнитных величин

В пределах каждого системного уровня или подуровня обычно соблюдается правило, по которому вторая степень любой физической величины есть произведение двух равноудаленных от нее величин по любому выделенному в системе направлению.

Межуровневые связи ФВ обнаруживаются по правилу выделенного параллелограмма или выделенной линии, зачастую с участием *безразмерной константы* (см. рис.3). В частности легко определяются следующие системные связи:

- произведение пространственного *элемента электрического тока* ($q\mathbf{v} = I\mathbf{l}$) и *индукции магнитного поля* (B) равно произведению *силы* (F) на *безразмерную константу*;
- произведение *силы тока* (I) и *сопротивления* (R) равно произведению *потенциала* (φ) (вернее, разности потенциалов) на *безразмерную константу*;
- произведение *величины электрического заряда* (q) и *напряженности электрического поля* (E) равно произведению *силы* (F) на *безразмерную константу*;
- произведение *потокосцепления* ($\psi = \Phi$) на *величину, обратную индуктивности* (L^{-1}), есть произведение *силы тока* (I) на *безразмерную константу*;
- произведение *энергии* (W) и *емкости* (C) равно квадрату *электрического заряда* (q^2);
- произведение *энергии* (W) и *индуктивности* (L) равно квадрату *магнитного потока* (Φ^2).

Надо отметить, что реальные закономерности могут содержать безразмерные числовые постоянные, которые не обнаруживаются данной системой.

Отметим также, что при перемножении и сравнении содержимого ячеек, находящихся на противоположных вершинах выделенного параллелограмма, иллюстрирующего природ-

ную закономерность, дополнительные размерностные коэффициенты, имеющиеся в ячейках с ФВ, обязательно уничтожают друг друга. Это служит дополнительной проверкой правильности работы компьютерной программы и страхует от возможных сбоев в работе программы и ошибок пользователя. Это особенно важно при поиске новых закономерностей. Значения размерностей и дополнительных размерностных коэффициентов при ФВ показываются в специальной информационной строке, имеющейся на экране компьютера.

Для пользователей, получивших некоторый навык в работе с программой, правильность выделения ячеек с ФВ в закономерных взаимосвязях можно контролировать по соотношению цветов выделяемых ячеек.

Приведем конкретный пример поиска системных (природных) закономерностей. При этом воспользуемся (мысленно) не сторонами, а диагоналями выделенного параллелограмма. Например, нам надо отыскать закономерную взаимосвязь между *электрическим дипольным моментом и силой*. С помощью мышки компьютера находим и выделяем в системе две обозначенные ФВ. Линию между двумя выделенными ФВ мысленно принимаем за одну из диагоналей будущего выделенного параллелограмма. Затем выделяем мышкой *безразмерную константу* и относительно неё ищем системный элемент, образующий с нею вторую диагональ выделенного параллелограмма. В этом системном элементе отыскиваем ячейку с ФВ, цвет которой оказывается подходящим. Точнее сказать, отыскиваем ФВ, размерностные коэффициенты при которой удовлетворяют условию их взаимной компенсации при перемножении и сравнении содержимого ячеек, находящихся на противоположных вершинах выделенного параллелограмма.

В нашем примере искомой ячейкой, при выделении которой система автоматически должна построить выделенный параллелограмм и вывести на экран монитора всплывающее окно, оказывается ячейка с двойственной ФВ: *дивергенция напряженности электрического поля* ($\partial \mathbf{E} / \partial l$) и *изменение во времени «индукции» магнитного поля* ($\partial \mathbf{B} / \partial t$).

Если найденной закономерности нет в базе знаний программы, то мы должны заполнить всплывающее окно, внося в него необходимые данные по этой закономерности.

Выше найденная закономерность означает, что неоднородное по напряженности электрическое поле или меняющееся во времени магнитное поле должны оказывать силовое воздействие на электрический диполь, что и имеет место в действительности.

Обнаружив с помощью системы новую закономерность, следует дополнительно убедиться в правильности вывода о существовании этой закономерности, проверив равенство произведений (отношений) размерностей ФВ, располагаемых в ячейках на противоположных (смежных) вершинах выделенного параллелограмма и взаимное уничтожение при этом до-

полнительных размерностных коэффициентов при ФВ. Ошибки могут быть не только в работе программы, но и в наших данных о ФВ, которые вносятся в программу вручную.

В силовых законах типа закона Кулона или закона Ампера, где присутствуют несколько ФВ в степени два, следует брать их отношение и искать квадрат этого отношения $(q/r)^2$ или $(qv/r)^2$. Квадрат отношения ФВ, создающей поле, к *пространственной протяженности* обычно располагается на середине прямой, соединяющей элементы с *силой* и *полевой константой*, характеризующей данное силовое поле. Например, в законе Кулона полевая константа это *абсолютная электрическая проницаемость (электрическая постоянная, умножаемая на относительную диэлектрическую проницаемость)*.

При системной иллюстрации силовых законов выделенный параллелограмм, как правило, превращается в линию. Такой параллелограмм можно назвать вырожденным.

Следует отметить, что закономерности, иллюстрируемые в системе линиями (вырожденным параллелограммом), не обязательно содержат в центре квадрат одной ФВ или квадрат отношения двух ФВ. Например, выделенная горизонтальная линия, проведенная в системе от *безразмерной константы до силы* будет иллюстрировать определяющее уравнение связи для *реактивной силы*, которая равна произведению *расхода топлива на скорость* истечения газов реактивного двигателя. Горизонтальная выделенная линия от *безразмерной константы до мощности* будет иллюстрировать закономерную взаимосвязь между *мощностью, силой и скоростью*.

При подготовке к выполнению данного лабораторного практикума студенты изучают и частично конспектируют настоящие методические указания, знакомятся с нужной информацией из основной литературы [1-4], с инструкцией [5] и с информацией из дополнительной литературы. В конспекте обязательно приводятся определения: что такое единица измерения и размерность физической величины, уравнение связи. Приводятся их примеры. Даются определения основных и производных физических величин.

В конспекте приводится один из возможных вариантов цветного однорисуночного представления системы ФВиЗ.

Задачи и порядок выполнения лабораторного практикума

Задание 1. Изобразить графически в виде структурно-логической схемы местоположение электромагнитных величин во всей совокупности физических величин: механических, тепловых и прочих. Привести структуру размерностного деления электромагнитных ФВ на отдельные системные группы. Дать общую характеристику каждой из групп.

Задание 2. Для каждой из групп электромагнитных величин (см. приложение 1) привести в табличной форме несколько величин (не менее 3-х в каждой группе), указав в системе

СИ их единицы измерения, размерности и определяющие уравнения связи. В той же таблице привести аналогичные данные в LT – системе размерностей (используется вариант размерности *электрического заряда* – L^3T^{-1}), определив при этом дополнительный размерностный коэффициент, на который различаются размерности физических величин.

Задание 3. Используя учебный файл «ЭЛЕКТРО-показ.lts» компьютерной программы познакомиться с порядком размещения и визуального выделения физических величин в системных элементах, а так же с примерами визуализации (выделенным параллелограммом и выделенной линией) природных закономерностей.

По результатам выполнения задания сделать вывод о возможной классификации природных закономерностей, иллюстрируемых с помощью программы.

Задание 4. Используя учебный файл компьютерной программы «ЭЛЕКТРО-учебный.lts» найти, отобразить и запомнить в виде своих файлов (через программу Paint и клавишу Print Scrn) системную визуализацию на экране компьютера следующих пяти закономерностей (вариант дается преподавателем при выполнении работы):

Вариант А:

- 1) Определяющее уравнение связи для электрического потенциала;
- 2) Определяющее уравнение связи для магнитного потока;
- 3) Энергия заряженной емкости (выражение через напряжение);
- 4) Сила Ампера;
- 5) Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле.

Вариант Б:

- 1) Определяющее уравнение связи для напряженности электрического поля;
- 2) Определяющее уравнение связи для магнитной индукции;
- 3) Энергия катушки индуктивности с током (выражение с участием силы тока);
- 4) Закон Кулона;
- 5) Работа по перемещению заряда в электрическом поле.

Вариант В:

- 1) Определяющее уравнение связи для напряженности магнитного поля;
- 2) Определяющее уравнение связи для поляризованности диэлектрика;
- 3) Мощность в цепи постоянного тока;
- 4) Сила Лоренца;
- 5) Плотность энергии электрического поля.

Вариант Г:

- 1) Определяющее уравнение связи для намагниченности магнетика;
- 2) Определяющее уравнение связи для магнитного векторного потенциала;

- 3) Энергия заряженной емкости (выражение через заряд на емкости);
- 4) Вращательный момент, действующий на контур с током в магнитном поле;
- 5) Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле.

Вариант Д:

- 1) Определяющее уравнение связи для силы электрического тока;
- 2) Определяющее уравнение связи для плотности потока электромагнитного поля (вектор Пойнтинга);
- 3) Энергия заряженной емкости (выражение через заряд и емкость);
- 4) Вращательный момент, действующий на электрический диполь в электрическом поле;
- 5) Закон Ома в дифференциальной форме.

Два изображения из пяти скопировать на свой флэш-носитель информации, распечатать и приложить к отчету по лабораторной работе.

Задание 5. С помощью компьютерной программы найти системные взаимосвязи с участием электромагнитных величин, которые соответствуют системным закономерностям, но о них нет информации в приложении к известному учебнику И.В. Савельева. (Таблица с формулами выдается преподавателем). Найденным взаимосвязям (не менее двух) дать наименования и дополнительные пояснения, привести возможные математические выражения и сохранить в программном файле под своим оригинальным именем.

Изображения найденных системных взаимосвязей запомнить через клавишу Print Scrn и программу Paint, сохранить, распечатать и приложить к отчету по работе.

Задание 6. Освоить практическое пользование планарным (плоским) изображением системы электромагнитных величин.

Форма отчета по лабораторному практикуму

Форма отчета по лабораторному практикуму должна соответствовать общепринятым на кафедре «Физика» требованиям. Предварительный отчет, подготавливаемый студентом до выполнения лабораторного практикума, должен включать: наименование и номер работы, краткое изложение цели работы, основные теоретические сведения по теме лабораторного практикума, письменный ответ на пять контрольных вопросов методички, один вариант планарного изображения системы ФВЗ применительно к блоку электромагнитных величин, заготовки таблиц, требуемых по заданию. Окончательный отчет должен включать выполнение всех пунктов задания, заключение или выводы по работе. Выводы должны отражать достижение поставленных целей.

Способы и средства контроля знаний студента

Для допуска к лабораторному практикуму студент предъявляет преподавателю предварительно оформленный отчет и демонстрирует знание теории по теме практикума и методики его выполнения. В качестве средства контроля знаний студентов по данному практикуму используются следующие контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение следующих понятий: физическая величина, единица измерения физической величины, размерность физической величины.
2. Сформулируйте определения для: системы физических величин и системы единиц физических величин. Приведите примеры. В чем отличия этих понятий?
3. Назовите семь основных и две дополнительные физические величины международной системы единиц СИ. Назовите единицы измерения этих величин, их обозначения. Как обозначаются размерности этих величин?
4. Какие системы единиц называются естественными? Какие единицы физических величин называют планковскими и каков порядок их величин?
5. В чем принципиальное отличие основных и производных физических величин любой системы единиц? Что такое определяющее уравнение связи?
6. Назовите две основные группы, которые образуют механические физические величины.
7. Как отличаются по размерности механические величины системы СИ от содержащих их LT-размерностных системных элементов?
8. Назовите три основные группы электромагнитных физических величин в изучаемой системе. Как отличаются по размерности физические величины этих групп (в системе СИ) от содержащих их LT-размерностных элементов?
9. Как производится поиск закономерностей в системе размерностных взаимосвязей физических величин в бумажном и электронном вариантах исполнения? Приведите примеры из электромагнетизма. В каких случаях системная закономерность имеет вид прямой линии?
10. На какие системные группы можно разделить известные Вам физические закономерности в области электромагнетизма?

Оценка выполнения лабораторного практикума

В соответствии с балльной рейтинговой системой, действующей на кафедре «Физика», выполнение лабораторного практикума оценивается в **3 рейтинговых балла**. Итоговая оцен-

ка учитывает уровень подготовки студента к выполнению данной работы, качество ее выполнения, а также качество и своевременность ее защиты.

За допуск к лабораторному практикуму его выполнение – 1 балл. При отсутствии заготовленной формы отчёта или незнании ответов на контрольные вопросы – студент к выполнению лабораторного практикума не допускается.

За безошибочное выполнение, качественное оформление и понимание существа лабораторного практикума – 1 балл. Если отчет имеет ошибки, неправильно (включая, небрежно) оформлен или студент не понимает существа выполненной работы и не способен объяснить полученные результаты, ставится – **0 баллов**. Студенту, не выполнившему лабораторный практикум, предоставляется возможность повторного его выполнения и исправления отчёта.

Защита лабораторного практикума проводится в форме устных вопросов и ответов по данной теме или тестирования (в течение 10 минут 3 вопроса; мин. оценка – **0 баллов**, макс. оценка – **1 балл** (при этом студенту предоставляется возможность пройти процедуру защиты повторно). Защита лабораторного практикума спустя два месяца с момента его выполнения не принимается.

Лабораторный практикум считается полностью выполненным, если студент защитил его и получил в сумме **не менее 2-х баллов**.

Студенты, допущенные к защите, но не набравшие установленного минимума баллов, могут быть допущены к повторной защите в сроки, установленные кафедрой.

Литература основная

1. Савельев И.В. Курс общей физики: в 5 кн. : Кн. 2. Электромагнетизм.: Учеб. пособие для втузов. – М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2004. (Раздел 11.3).

2. Мартинсон Л.К., Морозов А.Н., Смирнов Е.В. Электромагнитное поле. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. – 422 с.

3. Литвинов О.С., Горелик В.С. Электромагнитные волны и оптика. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2006. – 448 с.

4. Чуев А.С., Задорожный Н.А. Компьютерный практикум по изучению системы электромагнитных величин и их закономерностей. // Журн. «Физическое образование в вузах». Т.19. №1-2013. С. 98-104.

5. Инструкция пользователя к компьютерному лабораторному практикуму «Изучение системных размерностных взаимосвязей физических величин». МГТУ им. Н.Э. Баумана. В электронном формате прилагается к компьютерной программе. 2014 г.

Литература дополнительная

1. Чуев А.С. Системный подход в физическом образовании инженеров. // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. - № 2. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/299700.html> (дата обращения: 2.02.2012).
2. Стоцкий Л.Р. Физические величины и их единицы: Справ. Кн. для учителя. – М.: Просвещение, 1984. – 239 с.
3. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. – М.: Наука. 1988. 432 с.
4. Чуев А.С., Легейда А.С. Система физических величин в электронном исполнении. Необратимые процессы в природе и технике: Тезисы докладов Четвертой Всероссийской конференции 29-31 января 2007 г. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, ФИАН, 2007. С. 626-630.

Приложение 1

Системные уровни общих базовых и электромагнитных величин, их расположение в системных элементах

№ п/п	Наименование физической величины (ФВ)	Обозначение ФВ	Размерность ФВ в СИ	Размерность системного LT – элемента, в который входит ФВ	Соотношение размерностей LT - элемента и ФВ в СИ
Динамические общие базовые величины					
1	Энергия	W	ML^2T^{-2}	L^5T^{-4}	$M^{-1}L^3T^{-2} = G$
2	Объемная плотность энергии (давление)	w	$ML^{-1}T^{-2}$	L^2T^{-4}	
3	Мощность	N	ML^2T^{-3}	L^5T^{-5}	
4	Импульс (количество движения)	P	MLT^{-1}	L^4T^{-3}	
5	Объемная плотность импульса	ρ_P	$ML^{-2}T^{-1}$	LT^{-3}	
6	Сила механическая	F	MLT^{-2}	L^4T^{-4}	
7	Изменение силы	dF/dt	MLT^{-3}	L^4T^{-5}	
8	Вращательный момент силы	M	ML^2T^{-2}	L^5T^{-4}	
9	Объемная плотность силы	ρ_F	$ML^{-2}T^{-2}$	LT^{-4}	
10	Натяжение (поверхностная плотность энергии)	f	MT^{-2}	L^3T^{-4}	
11	Вектор Умова-Пойнтинга (изменение натяжения)	s	MT^{-3}	L^3T^{-5}	
12	Объемная плотность натяжений	ρ_f	$ML^{-3}T^{-2}$	T^{-4}	
13	Давление	p	$ML^{-1}T^{-2}$	L^2T^{-4}	
14	Градиент давления	$grad p$	$ML^{-2}T^{-2}$	LT^{-4}	
15	Изменение давления	dp/dt	$ML^{-1}T^{-3}$	L^2T^{-5}	

16	Вязкость динамическая	η	$ML^{-1}T^{-1}$	L^2T^{-3}	
17	Масса (инертная)	m	M	L^3T^{-2}	
18	Расход (ток) массы	m/t	MT^{-1}	L^3T^{-3}	
19	Объемная плотность массы	ρ_m	ML^{-3}	T^{-2}	
20	Поток объемной плотности массы	j_m	$ML^{-2}T^{-1}$	LT^{-3}	
21	Механич. момент инерции $I = \Sigma(m_i r_i)^2$	I_m	ML^2	L^5T^{-2}	
22	Момент импульса (действие актуальное)	$L = mvr$	ML^2T^{-1}	L^5T^{-3}	
23	Потенциальное действие $\Pi = FS = f \cdot V$	Π	ML^3T^{-2}	L^6T^{-4}	
Кинематические общие базовые величины					
1	Безразмерная константа		L^0T^0	L^0T^0	1
2	Пространственная протяжен- ность (длина)	l	L	L	
3	Площадь	S	L^2	L^2	
4	Объем пространства	V	L^3	L^3	
5	Время	t	T	T	
6	Изменение объема	dV/dt	L^3T^{-1}	L^3T^{-1}	
7	Поток объема	Vv	L^4T^{-1}	L^4T^{-1}	
8	Вязкость кинематическая (ко- эффициент диффузии)	ν	L^2T^{-1}	L^2T^{-1}	
9	Скорость	v	LT^{-1}	LT^{-1}	
10	Ускорение	a	LT^{-2}	LT^{-2}	
11	Угловая скорость (угловая частота)	ω	T^{-1}	T^{-1}	
12	Угловое ускорение	ε	T^{-2}	T^{-2}	
13	Вихрь вращения	ξ	$L^{-1}T^{-1}$	$L^{-1}T^{-1}$	
14	Кривизна пространства	l^{-1}	L^{-1}	L^{-1}	
Базовые («материальные») электромагнитные величины					
1	Электрический заряд	q	TI	L^3T^{-1}	$L^3T^{-2}I^{-1} = G \cdot k$
2	Поверхностная плотность электрического заряда	σ_q	$L^{-2}TI$	LT^{-1}	
3	Объемная плотность электрического заряда	ρ_q	$L^{-3}TI$	T^{-1}	
4	Электрический дипольный момент	$q \cdot l$	LTI	L^4T^{-1}	
5	Индукция электрического по-	D	$L^{-2}TI$	LT^{-1}	
6	Изменение индукции электри- ческого поля	dD/dt	$L^{-2}I$	LT^{-2}	
7	Поляризованность диэлектри-	P	$L^{-2}TI$	LT^{-1}	
8	Сила электрического тока	I	I	L^3T^{-2}	
9	Пространственный элемент тока	$I \cdot l = qv$	LI	L^4T^{-2}	
10	Плотность электрического то- ка	j	$L^{-2}I$	LT^{-2}	
11	Магнитный дипольный мо- мент	p_m	L^2I	L^5T^{-2}	

12	Изменение магнитного момента	dp_m/dt	L^2IT^{-1}	L^5T^{-3}	
13	«Напряженность» магнитного поля	H	$L^{-1}I$	L^2T^{-2}	
14	Циркуляция вектора H	$= I$	I	L^3T^{-2}	
15	Ротор вектора H	$(rotH)$	$L^{-2}I$	LT^{-2}	
16	Намагниченность магнетика	J	$L^{-1}I$	L^2T^{-2}	
17	Циркуляция вектора J	$= I_{mol}$	I	L^3T^{-2}	
18	Ротор вектора J	$(rotJ)$	$L^{-2}I$	LT^{-2}	
19	Сила поверхностного тока намагничивания на единицу длины	i	$L^{-1}I$	T^{-2}	
Полевые электромагнитные величины					
1	Магнитный поток (потокосцепление)	$\Phi;$ (Ψ)	$L^2T^{-2}MI^{-1}$	L^2T^{-2}	$M^{-1}I = k$
2	Изменение магнитного потока	$d\Phi/dt$	$L^2T^{-3}MI^{-1}$	L^2T^{-3}	
3	Электрический потенциал	φ	$L^2T^{-3}MI^{-1}$	L^2T^{-3}	
4	Напряженность эл. поля, электрическое напряжение	$grad\varphi$	$L^2T^{-3}MI^{-1}$	L^2T^{-3}	
5	Изменение электрического потенциала	$d\varphi/dt$	$L^2T^{-4}MI^{-1}$	L^2T^{-4}	
6	Векторный (магнитный) потенциал	A	$LT^{-2}MI^{-1}$	LT^{-2}	
7	Напряженность электрического поля	E	$LT^{-3}MI^{-1}$	LT^{-3}	
8	Изменение напряженности электрического поля	dE/dt	$LT^{-4}MI^{-1}$	LT^{-4}	
9	Индукция магнитного поля	B	$T^{-2}MI^{-1}$	T^{-2}	
10	Изменение индукции магнитного поля	dB/dt	$T^{-3}MI^{-1}$	T^{-3}	
11	Дивергенция и ротор напряженности электрического поля	dive $(rotE)$	$T^{-3}MI^{-1}$	T^{-3}	
12	Ротор индукции магнитного поля	$(rotB)$	$L^{-1}T^{-2}MI^{-1}$	$L^{-1}T^{-2}$	
Структуро-средовые электромагнитные величины					
(Первой группы)					
1	Абсолютная диэлектрическая проницаемость	$\varepsilon\varepsilon_0$	$M^{-1}L^{-3}T^4I^2$	T^2	$ML^3T^{-2}I^{-2} = G \cdot k^2$
2	Электрическая емкость	C	$M^{-1}L^{-2}T^4I^2$	LT^2	
3	Изменение емкости	dC/dt	$M^{-1}L^{-2}T^3I^2$	LT	
4	Электрическая проводимость (потенциальная, по φ)	g	$M^{-1}L^{-2}T^3I^2$	LT	
5	Изменение проводимости	dg/dt	$M^{-1}L^{-2}T^2I^2$	L	

6	Удельная проводимость	σ	$M^{-1}L^{-3}T^3I^2$	T	
(Второй группы)					
7	Абсолютная магнитная проницаемость	$\mu\mu_0$	$MLT^{-2}I^{-2}$	L^{-2}	$M^{-1}L^{-3}T^2I^2 = G^{-1}k^{-2}$
8	Индуктивность	L	$ML^2T^{-2}I^{-2}$	L^{-1}	
9	Изменение индуктивности	dL/dt	$ML^2T^{-3}I^{-2}$	$L^{-1}T^{-1}$	
10	Электрическое сопротивление	R	$ML^2T^{-3}I^{-2}$	$L^{-1}T^{-1}$	
11	Изменение электрического сопротивления	dR/dt	$ML^2T^{-4}I^{-2}$	$L^{-1}T^{-2}$	
12	Удельное электрическое сопротивление	ρ	$ML^3T^{-3}I^{-2}$	T^{-1}	
13	Градиент электрического сопротивления	β	$MLT^{-3}I^{-2}$	$L^{-2}T^{-1}$	
ФВ, используемые в описании эффекта Холла					
1	Постоянная Холла	R_X	$L^3T^{-1}I^{-1}$	T	L^3T^2I
2	Подвижность носителей тока	u_0	$T^2M^{-1}I$	T^2	M^{-1}