

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»

**Е.В. Дырнаева, Р.Г. Кирсанов**

# **Физика с основами биофизики**

## **Часть 2**

*Курс лекций*

Кинель 2014

УДК 53(07):57(07)  
ББК 22.3 Р : 28Р  
Д-90

*Рецензенты:*

доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой общей физики и физики нефтегазового производства ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет»

*А.М. Штеренберг;*

канд. пед. наук, доцент кафедры математики ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия»

*О. Н. Беришвили*

**Дырнаева, Е. В.**

**Д-90** Физика с основами биофизики: курс лекций / Е. В. Дырнаева, Р. Г. Кирсанов. – Кинель : РИЦ Самарской ГСХА, 2014. – Ч.2. – 222 с.

**ISBN 978-5-88575-352-4**

Издание содержит основные сведения по физике и биофизике.

Курс лекций предназначен для студентов, обучающихся по направлению: зоотехния (111100.62), биоэкология (020803.65).

© Дырнаева Е. В., Кирсанов Р. Г., 2014  
© ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА, 2014

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель издания – помочь студентам в изучении фундаментальных законов классической и современной физики, выработать умения по применению законов физики в сельскохозяйственном производстве.

В процессе изучения данного издания у студентов должны формироваться следующие профессиональные компетенции: способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, умение применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.

Издание состоит из трех разделов: «Магнетизм», «Элементы геометрической, волновой и квантовой оптики», «Атомная и ядерная физика», объединяющих 8 лекций. Каждая лекция содержит необходимый объем учебной информации. После каждой лекции предлагаются контрольные вопросы, позволяющие учащимся не только осмыслить предлагаемый материал, но и систематизировать полученные сведения. В приложении предлагаются тестовые задания, позволяющие учащимся самостоятельно обнаруживать пробелы в структуре своих знаний, лучше проверить уровень усвоения знаний.

Авторы искренне благодарят рецензентов и всех лиц, сделавших ряд ценных замечаний по содержанию материала книги, позволивших улучшить издание в процессе его создания.

# Раздел 1. МАГНЕТИЗМ

## Лекция 1. Магнитное поле

- 1.1. Магнитное поле простейших систем. Вектор магнитной индукции. Взаимная индукция. Явление электромагнитной индукции.
- 1.2. Закон Био-Савара-Лапласа и его приложения.
- 1.3. Сила Ампера и сила Лоренца.
- 1.4. Движение заряженной частицы в электрическом и магнитном полях.
- 1.5. Вещества в магнитном поле.
- 1.6. Магнитная энергия тока. Плотность магнитной энергии. Действие магнитного поля на растительный и биологический организм.

### **1.1. Магнитное поле простейших систем. Вектор магнитной индукции. Взаимная индукция. Явление электромагнитной индукции**

Магнитные свойства веществ известны людям очень давно. Свое название они получили от города Магнетии в Малой Азии, где были обнаружены залежи магнитного железняка – «камня, притягивающего железо». Первым письменным свидетельствам знакомства человека с магнитными свойствами некоторых материалов более двух тысяч лет. Одно из первых практических применений магнетизма тел – компас. Наши предки заметили: продолговатый кусочек магнитного железа, подвешенный на нитке или прикрепленный к пробке, плавающей в воде, всегда располагается так, что один его конец показывает на север, а другой – на юг. Компас был изобретен в Китае примерно за тысячу лет до нового летосчисления; в Европе он известен с XII века. Без этого простейшего навигационного прибора были бы невозможны Великие географические открытия XV-XVII веков.

Опыт показывает, что подобно тому как в пространстве, окружающем электрические заряды, возникает электростатическое поле, так и в пространстве, окружающем токи и постоянные магниты, возникает силовое поле, называемое магнитным. Наличие магнитного поля обнаруживается по силовому действию на внесенные в него проводники с током или постоянные магниты. Название «магнитное поле» связывают с ориентацией магнитной стрелки

под действием поля, создаваемого током (это явление впервые обнаружено датским физиком Х. Эрстедом (1777-1851)).

***Это интересно:** Ханс Христиан Эрстед (1777-1851) – датский учёный, физик, исследователь явлений электромагнетизма. В 1820 обнаружил действие электрического тока на магнитную стрелку, что привело к возникновению новой области физики – электромагнетизма. В 1821 г. Эрстед одним из первых высказал мысль, что свет представляет собой электромагнитные явления. В 1822-1823 гг. независимо от Ж. Фурье «переоткрыл» термоэлектрический эффект и построил первый термоэлемент. Эрстед экспериментально изучал сжимаемость и упругость жидкостей и газов, изобрел пьезометр. Ученый проводил исследования по акустике, в частности пытался обнаружить возникновение электрических явлений за счет воздуха. В 1830 году Эрстед стал почетным членом Петербургской Академии наук.*



Электрическое поле действует как на неподвижные, так и на движущиеся в нем электрические заряды. Важнейшая особенность магнитного поля состоит в том, что оно действует только на движущиеся в этом поле электрические заряды. Опыт показывает, что характер воздействия магнитного поля на ток различен в зависимости от формы проводника, по которому течет ток, от расположения проводника и от направления тока. Следовательно, чтобы охарактеризовать магнитное поле, надо рассмотреть его действие на определенный ток.

Подобно тому, как при исследовании электростатического поля использовались точечные заряды, при исследовании магнитного поля используется замкнутый плоский контур с током (рамка с током), линейные размеры которого малы по сравнению с расстоянием до токов, образующих магнитное поле. Ориентация контура в пространстве определяется направлением нормали к контуру. Направление нормали определяется правилом правого винта: за положительное направление нормали принимается направление поступательного движения винта, головка которого вращается в направлении тока, текущего в рамке (рис. 1.1).

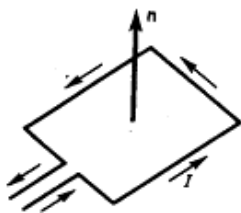


Рис. 1.1

Опыты показывают, что магнитное поле оказывает на рамку с током ориентирующее действие, поворачивая ее определенным образом. Этот результат используется для выбора направления магнитного поля. За направление магнитного поля в данной точке принимается направление, вдоль которого располагается положительная нормаль к рамке (рис. 1.2).

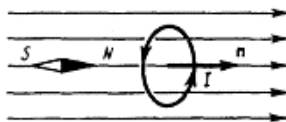


Рис. 1.2

За направление магнитного поля может быть также принято направление, совпадающее с направлением силы, которая действует на северный полюс магнитной стрелки, помещенной в данную точку. Так как оба полюса магнитной стрелки лежат в близких точках поля, то силы, действующее на оба полюса, равны друг другу. Следовательно, на магнитную стрелку действует пара сил, поворачивающая ее так, чтобы ось стрелки, соединяющая южный полюс с северным, совпадала с направлением поля.

Рамкой с током можно воспользоваться также и для количественного описания магнитного поля. Так как рамка с током испытывает ориентирующее действие поля, то на нее в магнитном поле действует пара сил. Вращающий момент сил зависит как от свойств поля в данной точке, так и от свойств рамки и определяется формулой  $M = [\vec{p}_m \vec{B}]$  где  $\vec{p}_m$  – вектор магнитного момента рамки с током ( $\vec{B}$  – вектор магнитной индукции, количественная характеристика магнитного поля). Для плоского контура с током  $I$ ,

$p_m = ISn$ , где  $S$  – площадь поверхности контура (рамки),  $\vec{n}$  – единичный вектор нормали к поверхности рамки. Направление  $\vec{p}_m$  совпадает с направлением положительной нормали. Если в данную точку магнитного поля помещать рамки с различными магнитными моментами, то на них действуют различные вращающие моменты, тогда можно говорить о характеристике магнитного поля, которая называется *магнитной индукцией*:

$$\vec{B} = \frac{M_{\max}}{p_m}.$$

Магнитная индукция в данной точке однородного магнитного поля определяется максимальным вращающим моментом, действующим на рамку с магнитным моментом, равным единице, когда нормаль к рамке перпендикулярна направлению поля. Следует отметить, что вектор  $\vec{B}$  может быть выведен также из закона Ампера и из выражения для силы Лоренца. Так как магнитное поле является силовым, то его, по аналогии с электрическим, изображают с помощью линий магнитной индукции – линий, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора  $\vec{B}$ . Их направление задается правилом правого винта: головка винта, ввинчиваемого по направлению тока, вращается в направлении линий магнитной индукции. Линии магнитной индукции можно «проявить» с помощью железных опилок, намагничивающихся в исследуемом поле и ведущих себя подобно маленьким магнитным стрелкам. Линии магнитной индукции всегда замкнуты и охватывают проводники с током. Этим они отличаются от линий напряженности электростатического поля, которые являются разомкнутыми (начинаются на положительных зарядах и кончаются на отрицательных). опыты показали, что, разрезая магнит на части, его полюсы разделять нельзя, т. е. в отличие от электрических зарядов свободные магнитные «заряды» не существуют, поэтому линии магнитной индукции не могут обрываться на полюсах. В дальнейшем было установлено, что внутри полосовых магнитов имеется магнитное поле, аналогичное полю внутри соленоида, и линии магнитной индукции этого магнитного поля являются продолжением линий магнитной индукции вне магнита. Таким образом, линии магнитной индукции магнитного поля постоянных магнитов являются также замкнутыми.

До сих пор мы рассматривали макроскопические токи, текущие в проводниках. Однако согласно предположению французского физика А. Ампера (1775-1836), в любом теле существуют микроскопические токи, обусловленные движением электронов в атомах и молекулах. Эти микроскопические молекулярные токи создают свое магнитное поле и могут поворачиваться в магнитных полях макротоков. Например, если вблизи какого-то тела поместить проводник с током (макроток), то под действием его магнитного поля микротоки во всех атомах определенным образом ориентируются, создавая в теле дополнительное магнитное поле. Вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  характеризует результирующее магнитное поле, создаваемое всеми макро- и микротоками, т. е. при одном и том же токе и прочих равных условиях вектор  $\vec{B}$  в различных средах будет иметь разные значения. Магнитное поле макротоков описывается вектором напряженности  $\vec{H}$ . Для однородной изотропной среды вектор магнитной индукции связан с вектором напряженности следующим соотношением:  $\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$ , где  $\mu_0$  – магнитная постоянная,  $\mu$  – безразмерная величина – магнитная проницаемость среды, показывающая, во сколько раз магнитное поле макротоков  $\vec{H}$  усиливается за счет поля микротоков среды.

Сравнивая векторные характеристики го ( $\vec{E}$  и  $\vec{D}$ ) и магнитного ( $\vec{B}$  и  $\vec{H}$ ) полей, укажем, что аналогом вектора напряженности электростатического поля  $\vec{E}$  является вектор магнитной индукции  $\vec{B}$ , так как векторы  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  определяют силовые действия этих полей и зависят от свойств среды. Аналогом вектора электрического смещения  $\vec{D}$  является вектор напряженности  $\vec{H}$  магнитного поля. Одно из важнейших свойств магнитного поля – явление *электромагнитной индукции*. Его суть состоит в том, что при всяком изменении магнитного потока, пронизывающего какой-либо контур, в нем наводится электродвижущая сила. Если электрический ток, как показали опыты Эрстеда, создает магнитное поле, то не может ли в свою очередь магнитное поле вызывать электрический ток в проводнике? Многие ученые с помощью опытов пытались найти ответ на этот вопрос, но первым решил эту задачу Майкл Фарадей (1791-1867).

В 1831 г. Фарадей обнаружил, что в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного поля возникает электрический ток. Этот ток назвали *индукционным током*.

Индукционный ток в катушке из металлической проволоки возникает при вдвигании магнита внутрь катушки и при выдвигании магнита из катушки (рис.1.3), а также при изменении силы тока во второй катушке, магнитное поле которой пронизывает первую катушку (рис.1.4).

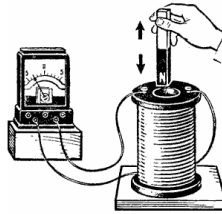


Рис. 1.3

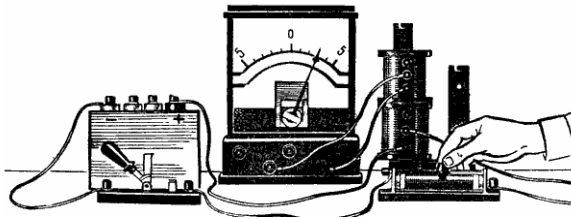


Рис. 1.4

Явление возникновения электрического тока в замкнутом проводящем контуре при изменениях магнитного поля, пронизывающего контур, называется *электромагнитной индукцией*. Появление электрического тока в замкнутом контуре при изменениях магнитного поля, пронизывающего контур, свидетельствует о действии в контуре сторонних сил неэлектростатической природы или о возникновении ЭДС индукции. Количественное описание явления электромагнитной индукции дается на основе установления связи между ЭДС индукции и физической величиной, называемой *магнитным потоком*.

**Правило Ленца.** Опыт показывает, что направление индукционного тока в контуре зависит от того, возрастает или убывает магнитный поток, пронизывающий контур, а также от направле-

ния вектора индукции магнитного поля относительно контура. Общее правило, позволяющее определить направление индукционного тока в контуре, было установлено в 1833 г. Э. Х. Ленцем.

Правило Ленца можно наглядно показать с помощью легкого алюминиевого кольца (рис.1.5).

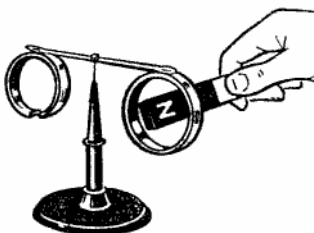


Рис. 1.5

**Это интересно:** Эмилий Христианович Ленц (при рождении Генрих Фридрих Эмиль Ленц, нем. Heinrich Friedrich Emil Lenz; 12



(24) февраля 1804, Дрезден – 29 января (10 февраля) 1865, Рим) – знаменитый русский физик. С 1823 до 1826 г. принимал участие в качестве физика в кругосветном путешествии Коцебу. Результаты научных исследований этой экспедиции напечатаны им в «Мемуарах Санкт-Петербургской академии наук» (1831). В 1829 г. принимал участие в первой экспедиции на Эльбрус под руководством генерала Эмануэля. В 1828 г.

выбран адъюнктом академии, а в 1834 г. академиком. Вместе с тем он состоял профессором, а в последние годы и ректором Санкт-Петербургского университета. Преподавал также в знаменитой Немецкой школе Святого Петра (1830-1831), в Главном педагогическом институте и в Михайловском артиллерийском училище. Лекции его по физике и физической географии отличались замечательной ясностью и строгой систематичностью. Такими же качествами обладали и его известные руководства физики (для гимназии) и физической географии; оба учебника выдержали несколько изданий, но первый из них был особенно рас-

1. Что представляют собой электромагнитные колебания и волны?
2. От чего зависит индуктивное сопротивление?
3. От чего зависит емкостное сопротивление?
4. Что называется реактивным сопротивлением?
5. Назовите характерные признаки резонанса напряжений, резонанса токов.
6. Как вычислить мощность, выделяемую в цепи переменного тока?
7. Что может служить источником электромагнитных волн?
8. Какие характеристики поля периодически изменяются в бегущей электромагнитной волне?
9. В чем заключается физический смысл векторов Умова-Пойтинга?
10. Как влияют электромагнитные волны на биологические объекты?

## **Раздел 2. ЭЛЕМЕНТЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ, ВОЛНОВОЙ И КВАНТОВОЙ ОПТИКИ**

### **Лекция 1. Геометрическая оптика**

- 1.1. Основные законы геометрической оптики.
- 1.2. Зеркала.
- 1.3. Тонкие линзы.
- 1.4. Глаз как оптическая система.
- 1.5. Оптические приборы для визуальных наблюдений
- 1.6. Физиологическое действие света.

#### **1.1. Основные законы геометрической оптики**

Основные законы геометрической оптики были известны задолго до установления физической природы света.

**Закон прямолинейного распространения света:** в оптически однородной среде свет распространяется прямолинейно. Опытным доказательством этого закона могут служить резкие тени, отбрасываемые непрозрачными телами при освещении светом источника достаточно малых размеров («точечный источник»). Другим доказательством может служить известный опыт по прохождению света далекого источника сквозь небольшое отверстие, в результате чего образуется узкий световой пучок. Этот опыт приводит к представлению о световом луче как о геометрической линии, вдоль которой распространяется свет. Следует отметить, что закон прямолинейного распространения света нарушается и понятие светового луча утрачивает смысл, если свет проходит через малые

отверстия, размеры которых сравнимы с длиной волны. Таким образом, геометрическая оптика, опирающаяся на представление о световых лучах, есть предельный случай волновой оптики при  $\lambda \rightarrow 0$ . Границы применимости геометрической оптики будут рассмотрены в разделе о дифракции света.

На границе раздела двух прозрачных сред свет может частично отразиться так, что часть световой энергии будет распространяться после отражения по новому направлению, а часть пройдет через границу и продолжит распространяться во второй среде.

**Закон отражения света:** падающий и отраженный лучи, а также перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости (плоскость падения). Угол отражения  $\gamma$  равен углу падения  $\alpha$ .

**Закон преломления света:** падающий и преломленный лучи, а также перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости. Отношение синуса угла падения  $\alpha$  к синусу угла преломления  $\beta$  есть величина постоянная для двух данных сред:  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$ .

Закон преломления был экспериментально установлен голландским ученым В. Снеллиусом в 1621 г.

**Это интересно:** Виллеброрд Снелл (1580, Лейден – 30 октября 1626, Лейден) – голландский математик, физик и астроном. Родился в Лейдене в семье профессора математики.



В 1613 году стал преемником отца на должности профессора Лейденского университета. Предложил использовать метод подобия треугольников при проведении геодезических измерений, при помощи которого нашёл решение «задачи Снеллиуса-Потнó»: найти точку, из которой стороны данного (плоского) треугольника видны под заданными углами.

В 1621 г. открыл закон преломления света. Однако результаты многочисленных экспериментов по оптике опубликованы не были. Позже они были обнаружены в архивах Рене Декартом, который использовал их при написании своих «Начал философии».

Постоянную величину  $n$  называют относительным показателем преломления второй среды относительно первой. Показатель преломления среды относительно вакуума называют абсолютным показателем преломления. Относительный показатель преломления двух сред равен отношению их абсолютных показателей преломления:  $n = \frac{n_2}{n_1}$ .

Законы отражения и преломления находят объяснение в волновой физике. Согласно волновым представлениям, преломление является следствием изменения скорости распространения волн при переходе из одной среды в другую. **Физический смысл показателя преломления** – это отношение скорости распространения волн в первой среде  $v_1$  к скорости их распространения во второй среде  $v_2$ :  $n = \frac{v_1}{v_2}$ . Абсолютный показатель преломления равен отношению скорости света  $c$  в вакууме к скорости света  $v$  в среде:  $n = \frac{c}{v}$ . Рисунок 2.1 иллюстрирует законы отражения и преломления света.

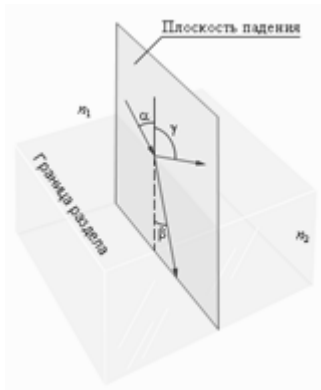


Рис. 2.1

Среду с меньшим абсолютным показателем преломления называют оптически менее плотной. При переходе света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную  $n_2 < n_1$  (например, из стекла в воздух) можно наблюдать явление *полного отражения*, то есть исчезновение преломленного луча. Это явление

ние наблюдается при углах падения, превышающих некоторый критический угол  $\alpha_{np}$ , который называется *предельным углом полного внутреннего отражения* (рис. 2.2).

Для угла падения  $\alpha = \alpha_{np}$ ,  $\sin \beta = 1$ ; значение  $\sin \alpha = n_2/n_1 < 1$ .

Если второй средой является воздух ( $n_2 \approx 1$ ), то формулу удобно переписать в виде  $\sin \alpha_{np} = 1/n$ , где  $n = n_1 > 1$  – абсолютный показатель преломления первой среды. Для границы раздела стекло-воздух ( $n = 1,5$ ) критический угол равен  $\alpha_{np} = 42^\circ$ , для границы вода-воздух ( $n = 1,33$ )  $\alpha_{np} = 48,7^\circ$ .

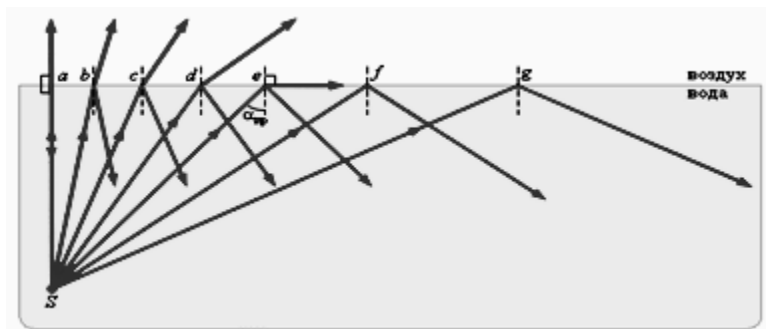


Рис. 2.2

Явление полного внутреннего отражения находит применение во многих оптических устройствах. Наиболее интересным и практически важным применением является создание волоконных световодов, которые представляют собой тонкие (от нескольких микрон до миллиметров) произвольно изогнутые нити из оптически прозрачного материала (стекло, кварц). Свет, попадающий на торец световода, может распространяться по нему на большие расстояния за счет полного внутреннего отражения от боковых поверхностей.

Научно-техническое направление, занимающееся разработкой и применением оптических световодов, называется *волоконной оптикой*.

*Это интересно:* попытки использовать свет для передачи информации уходят к временам, когда человек только научился