

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО, УЧЕБНИК И МЕТОДИКА

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

УЧЕБНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В.В. Майер

Р.В. Майер



Майер В.В.
Майер Р.В.

**Электричество:
Учебные
экспериментальные
доказательства**



МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ ®

УДК 537.8+53.082
ББК 22.33
М 14

Майер В. В., Майер Р. В. **Электричество: учебные исследования.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. — 232 с. — ISBN 978-5-9221-0648-1. (Библ. уч. и шк.)

Представлен новый подход к проблеме формирования у учащихся системы эмпирических знаний по физике. На основе анализа курса физики построена полная и логически непротиворечивая система физических доказательств по электричеству. Разработана методика использования физических доказательств на уроке физики, предложены специальные задания и методы оценки уровня сформированности эмпирических знаний по электричеству.

Книга предназначена для преподавателей, аспирантов и студентов физических факультетов педагогических вузов; она будет полезна также учителям физики средних общеобразовательных школ и учащимся классов углубленного изучения физики.

ISBN 978-5-9221-0648-1

© ФИЗМАТЛИТ, 2007

© В. В. Майер, Р. В. Майер, 2007

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ	11
Введение. ДОКАЗАТЕЛЬНОСТЬ ПРИ ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ	13
В.1. Экспериментальный метод доказательства в физике	13
В.1.1. Явление и сущность (13). В.1.2. Эмпирические и теоретические знания (14). В.1.3. Что такое доказательство (16). В.1.4. Дедуктивное доказательство в математике (17). В.1.5. Необходимость индуктивного доказательства в естественных науках (18). В.1.6. Научный факт как проявление реальной действительности (19). В.1.7. Имеет ли факт доказательную силу (20). В.1.8. Установление обобщенного факта и эмпирического закона (21). В.1.9. Эмпирические знания как система фактов (22). В.1.10. Что доказывают физические факты (23). В.1.11. Экспериментальные доказательства и цикл научного познания (25).	
В.2. Использование экспериментального доказательства при изучении физики	27
В.2.1. Необходимость формирования эмпирических знаний (28). В.2.2. Эмпирические и теоретические знания как независимые составляющие физических знаний (29). В.2.3. Что значит усвоить факт (30). В.2.4. Экспериментальное доказательство на уроке физики (30). В.2.5. Непосредственное и опосредованное доказательства (31). В.2.6. Логическая непротиворечивость доказательства (32). В.2.7. Особенности экспериментального доказательства при изучении физики (33). В.2.8. Как использовать экспериментальные доказательства при обучении физике (34). В.2.9. Уровни владения физическим экспериментом (34). В.2.10. Задания для оценки уровня эмпирических знаний учащихся (35). В.2.11. Методика диагностирования эмпирических знаний учащихся (37). В.2.12. Оценка эмпирических знаний учащихся методом беседы (39).	
Глава 1. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ	41
1.1. Явление электризации тел	41
1.1.1. Электризация тел (41). 1.1.2. Взаимодействие твердых, жидких и газообразных тел с наэлектризованными телами (41). 1.1.3. Проводники и изоляторы (42). 1.1.4. Электроскоп (43). 1.1.5. Два рода электричества (43).	

1.2. Электрический заряд и его измерение	44
1.2.1. Электрический заряд (44). 1.2.2. Электрометр (45). 1.2.3. Сосредоточенность заряда на внешней поверхности про- водника (45). 1.2.4. Цилиндр Фарадея (46). 1.2.5. Электроста- тическая машина (46). 1.2.6. Образование при электризации зарядов двух знаков (47). 1.2.7. Делимость электрического заряда (47). 1.2.8. Закон сохранения заряда (48). 1.2.9. Эле- ментарный заряд (49).	
1.3. Явление взаимодействия электрических зарядов	50
1.3.1. Взаимодействие одноименных и разноименных заря- дов (50). 1.3.2. Закон Кулона (50).	
1.4. Явление электростатической индукции	51
1.4.1. Электростатическая индукция (51). 1.4.2. Наличие в проводнике свободных носителей заряда (52). 1.4.3. Электро- фор (53). 1.4.4. Распад струи на капли в электрическом по- ле (53). 1.4.5. Генератор Кельвина (54). 1.4.6. Электрофорная машина (55).	
1.5. Электростатическое поле и его характеристики	57
1.5.1. Электростатическое поле (57). 1.5.2. Напряженность электрического поля (57). 1.5.3. Принцип суперпозиции (58). 1.5.4. Отсутствие поля внутри проводящей сферы (59). 1.5.5. Диполь (60). 1.5.6. Силовые линии поля (60). 1.5.7. За- ряды как истоки и стоки силовых линий поля (61). 1.5.8. По- ле заряженной плоскости (61). 1.5.9. Поле параллельных заряженных разноименно пластин (62). 1.5.10. Потенциаль- ность электрического поля (62). 1.5.11. Потенциал (63). 1.5.12. Измерение напряжения (64). 1.5.13. Измерение потен- циала поля (66). 1.5.14. Эквипотенциальные поверхности (66). 1.5.15. Перпендикулярность силовых линий эквипотенциаль- ным поверхностям (67). 1.5.16. Напряженность поля плоского конденсатора (67). 1.5.17. Энергия электрического поля (68).	
1.6. Явление распределения зарядов в проводнике	69
1.6.1. Распределение заряда по поверхности проводника (69). 1.6.2. Отсутствие зарядов внутри полого проводника (69). 1.6.3. Увеличение потенциала проводника (70). 1.6.4. Зави- симость плотности заряда от кривизны поверхности провод- ника (70). 1.6.5. Электрический ветер (70). 1.6.6. Равен- ство потенциалов всех точек поверхности проводника (71). 1.6.7. Выравнивание потенциалов проводников при их соеди- нении (71).	
1.7. Явление поляризации диэлектриков	72
1.7.1. Поляризация диэлектриков (72). 1.7.2. Отсутствие сво- бодных электрических зарядов в диэлектрике (73). 1.7.3. На- пряженность электрического поля в диэлектрике (73).	

1.8. Явление накопления зарядов системой проводников	74
1.8.1. Накопление заряда проводниками (74). 1.8.2. Электро- емкость (75). 1.8.3. Конденсатор (75). 1.8.4. Емкость плоского конденсатора (76). 1.8.5. Параллельное соединение конденса- торов (77). 1.8.6. Последовательное соединение конденса- торов (78). 1.8.7. Энергия заряженного конденсатора (78).	
1.9. Явление пьезоэлектричества	79
1.9.1. Прямой пьезоэффект (79). 1.9.2. Обратный пьезоэф- фект (80).	
Глава 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК	81
2.1. Явление электрического тока	81
2.1.1. Электрический ток (81). 2.1.2. Тепловое действие то- ка (81). 2.1.3. Измерение силы тока (82). 2.1.4. Неоновая лампа (82). 2.1.5. Лампа накаливания (83). 2.1.6. Упорядочен- ное движение зарядов (84). 2.1.7. Условие существования тока (84). 2.1.8. Стационарное электрическое поле (85). 2.1.9. Си- ловые линии стационарного поля (86). 2.1.10. Перпендикуляр- ность силовых линий стационарного поля эквипотенциальным поверхностям (87).	
2.2. Постоянный электрический ток	88
2.2.1. Работа сторонних сил (88). 2.2.2. Гальванический эле- мент (88). 2.2.3. Гальванический элемент как источник то- ка (89). 2.2.4. Термоэлектричество (89). Аккумулятор (90). 2.2.5. Проводники и изоляторы (90). 2.2.6. Электрическая цепь (91). 2.2.7. Работа тока (91).	
2.3. Законы постоянного тока	92
2.3.1. Закон Ома для участка цепи (92). 2.3.2. Сопротивле- ние проводника (93). 2.3.3. Реостат (94). 2.3.4. Потенцио- метр (94). 2.3.5. Последовательное соединение проводни- ков (95). 2.3.6. Параллельное соединение проводников (95). 2.3.7. Внутреннее сопротивление источника (95). 2.3.8. Про- порциональность работы сторонних сил величине разделен- ных зарядов (96). 2.3.9. Равенство ЭДС сумме напряжений на внешнем и внутреннем участках цепи (97). 2.3.10. Закон Ома для полной цепи (97). 2.3.11. Первый закон Кирхгофа (98). 2.3.12. Второй закон Кирхгофа (99).	
2.4. Электрический ток в металлах	99
2.4.1. Элементарный заряд (99). 2.4.2. Отсутствие тока в веще- стве (101). 2.4.3. Электронная проводимость металлов (101). 2.4.4. Зависимость сопротивления металла от температу- ры (102). 2.4.5. Сверхпроводимость (103). 2.4.6. Сопротивле- ние металлов вблизи абсолютного нуля (104).	

2.5. Электрический ток в электролитах	104
2.5.1. Проводимость расплавов солей (104). 2.5.2. Проводимость растворов солей (105). 2.5.3. Электролиз (105). 2.5.4. Ионная проводимость электролитов (106). 2.5.5. Зависимость сопротивления электролитов от температуры (106). 2.5.6. Стекло. — твердый электролит (106). 2.5.7. Закон Фарадея для электролиза (107). 2.5.8. Кратность зарядов ионов элементарному заряду (108).	
2.6. Электрический ток в газах	108
2.6.1. Ток в газах (108). 2.6.2. Ионизация газов (109). 2.6.3. Положительные и отрицательные ионы (109). 2.6.4. Ионизация воздуха пламенем (110). 2.6.5. Ток насыщения при несамостоятельном разряде (110). 2.6.6. Рекомбинация ионов (111). 2.6.7. Искровой разряд (112). 2.6.8. Коронный разряд (112). 2.6.9. Тлеющий разряд (112). 2.6.10. Дуговой разряд (113).	
2.7. Электрический ток в вакууме	113
2.7.1. Ток в вакууме (113). 2.7.2. Направленное движение электронов в вакууме (114). 2.7.3. Автоэлектронная эмиссия (114). 2.7.4. Термоэлектронная эмиссия (115). 2.7.5. Вольт-амперная характеристика вакуумного диода (115).	
2.8. Электровакuumные приборы	116
2.8.1. Управление током в вакууме (116). 2.8.2. Усилительные свойства электровакuumного триода (116). 2.8.3. Электролюминесценция (117). 2.8.4. Визуализация пучка электронов (118). 2.8.5. Электронная пушка (118). 2.8.6. Искривление электронного пучка в электрическом поле (119). 2.8.7. Управление движением электронов посредством электрического поля (119). 2.8.8. Фокусировка электронного пучка (120). 2.8.9. Электронно-лучевая трубка (120). 2.8.10. Получение на экране электронно-лучевой трубки зависимости напряжения от напряжения (121). 2.8.11. Получение осциллограммы (122).	
2.9. Электрический ток в полупроводниках	123
2.9.1. Полупроводники (123). 2.9.2. Зависимость сопротивления полупроводников от температуры (123). 2.9.3. Собственная и примесная проводимость полупроводников (124). 2.9.4. Зависимость сопротивления полупроводников от освещения (125).	
2.10. Полупроводниковые приборы	125
2.10.1. Электронно-дырочный переход (125). 2.10.1. Возникновение ЭДС при освещении электронно-дырочного перехода (126). 2.10.1. Проводимость электронно-дырочного перехода в прямом и обратном направлениях (127). 2.10.1. Зависимость проводимости электронно-дырочного перехода от освещенности (127). 2.10.1. Биполярный транзистор (127). Полевой транзистор (128).	

Глава 3. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ	130
3.1. Магнитное взаимодействие	130
3.1.1. Взаимодействие параллельных токов (130). 3.1.2. Зависимость магнитного взаимодействия от силы токов, длин проводников и расстояния между ними (130). 3.1.3. Связь между магнитной и электрической постоянными и скоростью света (131). 3.1.4. Зависимость магнитного взаимодействия от свойств среды (132). 3.1.5. Магнитное взаимодействие катушек (133). 3.1.6. Электромагнит (133). 3.1.7. Постоянный магнит (134). 3.1.8. Индикатор магнитного поля (134). 3.1.9. Электромагнитное реле (135).	
3.2. Существование и свойства магнитного поля	136
3.2.1. Существование магнитного поля (136). 3.2.2. Отсутствие магнитного поля у неподвижного заряда (137). 3.2.3. Зависимость магнитной составляющей электромагнитного поля заряда от выбора системы отсчета (137). 3.2.4. Возникновение электрического поля вокруг движущегося магнита (138). 3.2.5. Создание электрического и магнитного поля одним и тем же источником электричества (139). 3.2.6. Возникновение магнитного поля вокруг потока электронов (140). 3.2.7. Создание магнитного поля движущимися ионами (141). 3.2.8. Отсутствие в природе магнитных зарядов (141). 3.2.9. Вихревой характер магнитного поля (141). 3.2.10. Неконсервативность магнитного поля (142). 3.2.11. Вектор магнитной индукции (143). 3.2.12. Принцип суперпозиции магнитных полей (144). 3.2.13. Магнитное поле соленоида (145). 3.2.14. Магнитная индукция поля соленоида (146). 3.2.15. Подковообразный магнит (147). 3.2.16. Катушки Гельмгольца (147). 3.2.17. Действие магнитного поля на рамку с током (148). 3.2.18. Магнитометр (149).	
3.3. Действие магнитного поля на движущиеся заряды	149
3.3.1. Сила Ампера (149). 3.3.2. Модуль силы Ампера (150). 3.3.3. Сила Лоренца, действующая на электронный пучок (151). 3.3.4. Действие силы Лоренца на движущиеся заряды (152). 3.3.5. Удельный заряд электрона (152). 3.3.6. Движение заряда в магнитном поле (153). 3.3.7. Эффект Холла (154).	
3.4. Магнитные свойства вещества	155
3.4.1. Магнитная проницаемость железа (155). 3.4.2. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики (155). 3.4.3. Магнитная проницаемость парамагнетиков и диамагнетиков (156). 3.4.4. Магнитомягкие и магнито жесткие ферромагнетики (158). 3.4.5. Точка Кюри (158). 3.4.6. Доменная структура ферромагнетика (158). 3.4.7. Скачкообразный характер намагничивания ферромагнетика (159). 3.4.8. Зависимость магнитной проницаемости ферромагнетика от напряженности магнитного поля (159). 3.4.9. Экранирование магнитного поля ферромагнитным экраном (161).	

3.5. Электроизмерительные приборы	161
3.6.1. Магнитоэлектрический амперметр (161). 3.6.2. Магнитоэлектрический вольтметр (162). 3.6.3. Ваттметр (163).	
3.6. Явление электромагнитной индукции	164
3.6.1. Электромагнитная индукция (164). 3.6.2. Правило Ленца (165). 3.6.3. Влияние вращающегося магнитного поля на проводник (166). 3.6.4. Закон Фарадея для электромагнитной индукции (166). 3.6.5. Электрическая машина (167). 3.6.6. Вихревое электрическое поле (168). 3.6.7. Электромагнитное поле (169). 3.6.8. Индукционные токи (170). 3.6.9. Тормозящее действие индукционных токов (170). 3.6.10. Явление самоиндукции (171). 3.6.11. Пропорциональность ЭДС самоиндукции скорости изменения тока (171). 3.6.12. Сопротивление ЭДС самоиндукции порождающему ее изменению тока (172). 3.6.13. Энергия магнитного поля (173).	
Глава 4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ	174
4.1. Переходные процессы	174
4.1.1. Переходные процессы в RC -цепи (174). 4.1.2. Переходные процессы в RL -цепи (175).	
4.2. Свободные колебания	176
4.2.1. Свободные электромагнитные колебания (176). 4.2.2. Частота свободных колебаний (176). 4.2.3. Затухание колебаний (177).	
4.3. Автоколебания	178
4.3.1. Релаксационный генератор (178). 4.3.2. Генератор гармонических колебаний (178).	
4.4. Электронный осциллограф	180
4.4.1. Временная развертка осциллографа (180). 4.4.2. Генератор импульсов (181). 4.4.3. Генератор прямоугольных импульсов (181). 4.4.4. Осциллограммы заряда и разряда конденсатора (182). 4.4.5. Осциллограммы нарастания и спада тока через катушку (183). 4.4.6. Осциллограммы свободных колебаний (183).	
4.5. Вынужденные колебания	184
4.5.1. Переменное напряжение (184). 4.5.2. Использование электромагнитной индукции для получения переменного тока (184). 4.5.3. Вынужденные электрические колебания (185). 4.5.4. Электрический резонанс (186). 4.5.5. Зависимость резонанса от активного сопротивления контура (186).	

4.6. Переменный электрический ток	187
4.6.1. Действующее значение переменного тока (187).	
4.6.2. Амперметр и вольтметр переменного тока (188).	
4.6.3. Переменный ток в проводнике, катушке и конденсаторе (189).	
4.6.4. Сдвиг фаз между током и напряжением на резисторе, конденсаторе и катушке индуктивности (189).	
4.6.5. Емкостное сопротивление (190).	
4.6.6. Индуктивное сопротивление (191).	
4.6.7. Реактивный характер емкостной нагрузки (191).	
4.6.8. Реактивный характер индуктивной нагрузки (192).	
4.6.9. Ваттметр в цепи переменного тока (192).	
4.6.10. Полное сопротивление цепи переменного тока (193).	
4.6.11. Сдвиг фаз в цепи переменного тока (194).	
4.6.12. Активная мощность цепи переменного тока (194).	
4.6.13. Трансформатор (195).	
4.6.14. Трехфазные генератор и двигатель (196).	
4.6.15. Выпрямление переменного тока (197).	
4.7. Электрические сигналы	198
4.7.1. Сложение гармонических колебаний (198).	
4.7.2. Сложение колебаний во взаимно-перпендикулярных направлениях (199).	
4.7.3. Фигуры Лиссажу (199).	
4.7.4. Амплитудная модуляция (200).	
4.7.5. Детектирование (201).	
4.7.6. Микрофон (201).	
4.7.7. Телефон и динамик (202).	
4.7.8. Передача информации по проводам (203).	
4.7.9. Запись информации (204).	
Глава 5. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ	205
5.1. Электромагнитное излучение	205
5.1.1. Генератор УВЧ (205).	
5.1.2. Ток смещения (206).	
5.1.3. Магнитное поле тока смещения (206).	
5.1.4. Магнитное поле закрытого колебательного контура (207).	
5.1.5. Электрическое поле закрытого колебательного контура (208).	
5.1.6. Излучение открытого колебательного контура (208).	
5.2. Электромагнитные волны	209
5.2.1. Волновой характер электромагнитного излучения (209).	
5.2.2. Полуволновой диполь как излучающая антенна (210).	
5.2.3. Полуволновой диполь как индикатор электрического поля (210).	
5.2.4. Направленность излучения диполя (211).	
5.2.5. Ориентация вектора напряженности электрического поля волны (211).	
5.2.6. Ориентация вектора индукции магнитного поля волны (212).	
5.2.7. Поперечность электромагнитной волны (212).	
5.2.8. Интенсивность электромагнитной волны (213).	

5.3. Свойства электромагнитных волн	214
5.3.1. Волновод (214). 5.3.2. Генератор сантиметровых электромагнитных волн (215). 5.3.3. Перенос энергии волной (215). 5.3.4. Прямолинейность распространения электромагнитной волны (216). 5.3.5. Поглощение электромагнитных волн средой (216). 5.3.6. Отражение и преломление электромагнитных волн (217). 5.3.7. Закон отражения (218). 5.3.8. Закон преломления (218). 5.3.9. Интерференция электромагнитных волн (219). 5.3.10. Стоячая электромагнитная волна (220). 5.3.11. Дифракция электромагнитных волн (221). 5.3.12. Поляризация электромагнитных волн (222). 5.3.13. Скорость распространения (223). 5.3.14. Зависимость скорости распространения волны от свойств среды (223). 5.3.15. Явление Доплера (224).	
5.4. Применение электромагнитного излучения	225
5.4.1. Радиосвязь (225). 5.4.2. Радиолокация (226).	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	228
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	229

Предисловие

Многие современные школьные учебники и учебные пособия сильно проигрывают в том, что в них физические теории излагаются, как правило, в законченном виде. Учащимся остается только выучить теоретические положения, мало задумываясь об их экспериментальном обосновании. Обычно ссылки в учебниках на физический эксперимент не позволяют доказать изучаемые основы физической теории, а лишь разъясняют или иллюстрируют их. В результате учащиеся не всегда владеют методом физических доказательств. Следствием этого являются оторванность знаний учащихся от реального мира, неумение использовать знания на практике, неразвитость научного мышления.

В методической литературе учебный эксперимент обычно рассматривают как метод обучения, источник знаний и вид наглядности. Такой подход прямо сводит эксперимент к иллюстрации физической теории. Декларируя тезис об экспериментальности физики, современная методика преподавания физики фактически отводит эксперименту вспомогательную роль.

Об этом убедительно свидетельствует общепринятый критерий оценки знаний учащихся и работы школьного учителя: если учащийся умеет воспроизводить теорию, решать физические задачи и побеждает на олимпиадах или успешно сдает вступительные экзамены в вуз, значит, учитель подготовил хорошего ученика.

Слабые знания методов экспериментального исследования, неумение обосновать теоретические построения представляют собой типичные недостатки ответов абитуриентов на вступительных экзаменах по физике. Часто на предложение экзаменатора доказать то или иное теоретическое утверждение или описать некоторый эксперимент абитуриент затрудняется дать ответ или вообще не понимает, что от него требуется.

Однако физика не сводится к чисто умозрительным построениям, эксперимент в ней играет определяющую роль, которая заключается в первую очередь в том, что **физический эксперимент является средством физического доказательства.**

Уберем из школьного курса математики доказательства и оставим аксиомы, теоремы и задачи. Научим школьников основам математической теории и умению, пользуясь недоказанными теоремами, решать задачи. Проиллюстрируем некоторые теоремы математическими доказательствами, а остальные теоремы предложим просто выучить. В итоге мы получим не курс математики, а пародию на этот курс, настолько абсурдную, что нет необходимости в специальном доказательстве этого.

Примерно так же обстоит дело и с физикой: мы зачастую развиваем осведомленность учащихся в теории и задачах, но не учим их методу физического доказательства.

Физики предпочитают говорить, что нечто «открыто, обнаружено, установлено, обосновано, подтверждено, показано» и т. д., подразумевая под этим *экспериментальное доказательство существования явления, или определенной зависимости между физическими величинами, или данного значения физической константы*. Впрочем, желая подчеркнуть особую значимость эксперимента, вместо всех этих слов физики используют термин *«доказано»*. Это подтверждают приведенные в книге высказывания великих физиков — как экспериментаторов, так и теоретиков.

Учитель физики и выпускник школы должны быть твердо убеждены, что теоретические знания представляют собой модель — упрощенную схему реального мира, которая всегда приближенна и ограничена. Доказательство правильности физической теории заключается в проверке соответствия ее следствий фактам, являющимся результатами физических опытов и наблюдений. Если следствия физической теории логически вытекают из модели, но противоречат результатам экспериментов, то эта теория неверна.

В настоящей работе предпринята попытка построения системы учебных экспериментальных доказательств в электродинамике.

Учебная физика включает в себя школьную физику и курс общей физики педагогического института. Поэтому представленные в книге учебные экспериментальные доказательства ориентированы на электродинамику в объеме курса общей физики педагогического вуза. Иначе сделать нельзя, так как будущего учителя физики следует со студенческой скамьи готовить к использованию экспериментальных доказательств при работе в школе.

Учебные экспериментальные доказательства, которые можно использовать в школьном курсе физики повышенного уровня, обозначены одной звездочкой, а выходящие за рамки школьного курса физики — двумя звездочками.

Учебные экспериментальные доказательства в книге построены так, что каждое последующее доказательство опирается на предшествующие. При этом в конкретном доказательстве даны ссылки на те положения, которые доказаны раньше; при необходимости дается ссылка и на последующие эксперименты. Это обстоятельство привело к тому, что в ряде случаев оказалась нарушенной общепринятая схема расположения учебного материала.

Представленные в книге учебные экспериментальные доказательства по электродинамике широко используются в практике работы физического факультета Глазовского пединститута. Помимо стандартных практических и лабораторных занятий они применяются на занятиях спецкурсов и спецсеминаров, при выполнении курсовых и дипломных работ, в педагогической практике и научно-исследовательской деятельности студентов и аспирантов.

Материал книги многократно обсуждался и использовался студентами, аспирантами, учителями и преподавателями. Всем им авторы выражают искреннюю признательность за благожелательную критику и помощь в работе.

Введение

ДОКАЗАТЕЛЬНОСТЬ ПРИ ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ

Физика — единственный школьный предмет, который позволяет при изучении простейших явлений окружающей действительности формировать в сознании учащихся основы доказательного научного мышления. При обучении физике необходимо систематически и целенаправленно применять метод физического доказательства.

В.1. Экспериментальный метод доказательства в физике

Современное физическое образование моделирует процесс научного познания в физике. Поэтому рассмотрим вначале метод реализации экспериментального доказательства, принятый в физической науке.

В.1.1. Явление и сущность.

Задача науки состоит в изучении объекта исследования. Под **объектом** понимается часть объективной реальности, взаимодействующая с **субъектом** и противостоящая ему в его предметно-практической и познавательной деятельности. В силу раздвоения мира на внешнюю (открытую) и внутреннюю (сокрытую) стороны в теории познания выделяют два аспекта объекта: **явление**, то есть внешний аспект, и **сущность** — внутренний аспект.

Под сущностью понимают внутреннее содержание объекта, относительно устойчивую совокупность многообразных и противоречивых внутренних свойств, связей и отношений объекта, определяющих явление.

Явление — подвижная и легко изменяющаяся совокупность разнообразных внешних свойств, связей и отношений, дающая способ обнаружения сущности объекта посредством его чувственного восприятия.

Внешняя сторона объекта — явление воспринимающееся органами чувств человека либо непосредственно, либо опосредо-

ванно через специальные приборы. Результатом чувственного подхода к исследованию объекта являются **эмпирические знания**. Внутренняя сторона — сущность постигается в результате рационального подхода, что приводит к возникновению **теоретических**

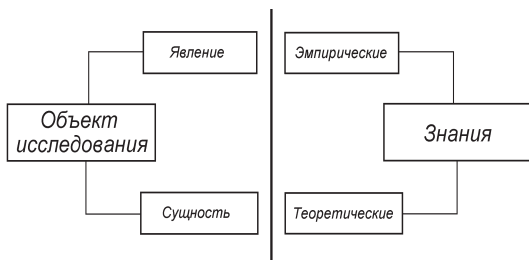


Рис. В.1

знаний. Таким образом, как это видно из рис. В.1, выделение внешней и внутренней сторон объекта эквивалентно делению знаний о нем на эмпирические и теоретические.

В.1.2. Эмпирические и теоретические знания.

Эмпирическими называются знания об объектах и происходящих с ними явлениях, получаемые с помощью наблюдений, экспериментов и социально-производственной практики людей в результате чувственных ощущений, выраженных в понятиях. Для получения эмпирических знаний используются следующие **эмпирические методы** исследования: наблюдение, эксперимент, эмпирическое описание, измерение.

Теоретические знания — это знания сущности объектов и явлений, получающиеся в результате конкретизации общих положений науки. Теория представляет собой связную систему понятий, в обобщенной форме отражающую совокупность данных экспериментов и наблюдений, устанавливающую связь между этими данными в форме научных законов, предсказывающую по возможности широкий круг новых явлений, которые могут быть обнаружены в наблюдениях и экспериментах. К **теоретическим методам** исследования относятся мысленный эксперимент, идеализация и формализация, аксиоматический метод, гипотетико-дедуктивный метод, метод математической гипотезы, метод восхождения от абстрактного к конкретному, исторический и логический методы.



"Мое намерение...— не объяснять свойства света гипотезами, но изложить и доказать их рассуждением и опытами."

"Ибо гипотезы не должны рассматриваться в экспериментальной философии. И хотя аргументация на основании опытов и наблюдений посредством индукции не является доказательством общих заключений, однако это лучший путь аргументации, допускаемый природой вещей, и может считаться тем более сильным, чем общее индукция."

Исаак Ньютон (1643–1727).

Если эмпирические знания включают результаты опыта, практики, наблюдения и эксперимента, то теоретические — их обобщение и истолкование, раскрытие сущности исследуемых явлений. Эмпирические знания нередко представляют собой научное описание, а теория есть научное объяснение.

Элементами эмпирических знаний являются **факты**, получаемые с помощью наблюдений и экспериментов и характеризующие качественные и количественные аспекты исследуемых объектов. Связи между эмпирическими характеристиками выражаются с помощью **эмпирических законов**.

Научными фактами называются элементы эмпирического знания, представляющие собой отражение объектов окружающего мира во всем их многообразии, результат чувственного ощущения человеком окружающего мира, выраженный в понятиях.

Получение факта не сводится к чувственным ощущениям, а требует их осмысления и выражения в виде эмпирического положения. Невозможно получить эмпирические знания, опираясь исключительно на наблюдение, — для этого необходимо использовать такие теоретические методы, как анализ, синтез, индукцию и т. д. Установление факта существования физического объекта или явления — сложный процесс, требующий как чувственного восприятия окружающего мира, так и рационального анализа его результатов.

Факты обыденного сознания, как правило, устанавливаются в результате стихийного взаимодействия субъекта с окружающей средой, имеют сугубо практическую направленность, выражаются в виде суждений, не содержащих научных терминов, и нередко совершенно неправильно описывают наблюдаемый объект или явление.



"Совокупность описанных выше опытов доказывает, что при прохождении куска металла (то же, должно быть, справедливо и для всякого другого проводящего вещества) мимо одиночного полюса, между противоположными полюсами магнита или вблизи электромагнитных полюсов, независимо от того, имеется ли железный сердечник или нет, внутри металла возникают электрические токи, перпендикулярные к направлению движения."

Майкл Фарадей (1791–1867).

Научные факты устанавливаются в процессе целенаправленной деятельности по изучению явления, выражаются в виде эмпирических положений, терминология которых соответствует достигнутому уровню развития науки. Как правило, факты становятся научными после многократного проведения опыта или наблюдения различными учеными и точного, конкретного описания, позволяющего повторить соответствующие наблюдения или эксперименты и подтвердить их.

В современной философии принято различать элементарные и обобщенные факты. **Обобщенный факт** есть результат обобщения **элементарных фактов**, проявляющихся в аналогичных ситуациях, при которых выявляются основные закономерности их протекания. Разновидностью обобщенных фактов является **эмпирический закон**, то есть утверждение, выражающее устойчивую связь между объектами и их свойствами, полученное в результате обобщения элементарных фактов.

В.1.3. Что такое доказательство.

Одной из важнейших черт научного мышления является доказательность рассуждений, потребность обоснования каждой посылки и гипотезы, невозможность принятия какого-то утверждения на веру. Это нашло свое отражение в **принципе достаточного основания**, впервые сформулированном Лейбницем: «Всякая истинная мысль должна быть достаточно обоснованной». Потребность в доказательстве высказываемых суждений является одним из основных отличий научного сознания от религиозного. Методы установления истинности суждения, их эффективность — существенная отличительная черта точных наук от гуманитарных: вместо малоубедительных словесных объяснений



"Я предлагаю физикам, которые еще сомневаются во взаимодействии световых лучей, повторить этот опыт, значение которого я многократно подчеркивал, так как мне кажется, что этот опыт доказывает упомянутый важный принцип со всей очевидностью, которую можно только требовать от физического опыта."

Огюстен Френель (1788–1827).

изучаемых явлений и их причин математика, физика, химия и другие естественные науки используют более или менее строгие доказательства.

Практическое применение научной теории возможно лишь после доказательства справедливости основных ее положений, причем это применение, в свою очередь, доказывает справедливость теории. Если метод доказательства теоретических положений отсутствует, то вряд ли такую теорию можно считать научной.

Под доказательством в широком смысле понимают любую процедуру установления истинности высказанного положения, которая может быть реализована как логическими рассуждениями, так и чувственными восприятиями объектов и явлений непосредственно или опосредованно через приборы.

В.1.4. Дедуктивное доказательство в математике.

Дедуктивные доказательства, предполагающие переход от общего к частному, широко используются в логике, математике, юриспруденции и т. д. Критерием правильности математической теории является ее **непротиворечивость**: каждое положение (утверждение, лемма, теорема, следствие) должно логически вытекать из других положений, и в конечном счете — из совокупности аксиом.

Соответствие математических объектов реальному миру совсем не обязательно: геометрии Римана и Лобачевского столь же верны, как и геометрия Евклида, несмотря на то, что их следствия не подтверждаются повседневным опытом.

Таким образом, для построения правильной математической теории достаточно провести цепочку логически непротиворечивых рассуждений, получив из аксиом теоремы и следствия.



"Тем не менее, в июле 1821 г. я произвел опыт, который окончательно подтвердил мое мнение по этому поводу, хотя данный опыт только косвенным путем доказывает, что электрические токи существуют в магнитах вокруг каждой отдельной частички. Этот опыт вместе с тем непосредственно доказывает, что близость электрического тока не возбуждает в медном металлическом контуре никакого тока путем влияния, даже при самых благоприятных условиях для такого влияния."

Андре Мари Ампер (1775–1836).

Подчеркнем, что математическим доказательством являются логические рассуждения, а не проверка справедливости доказываемого положения на единичных конкретных примерах. В самом деле, проверка теоремы Пифагора на частных случаях, безусловно, важна, но не является доказательством ее справедливости.

Это совсем не означает, что в процессе развития математики ученые не обращались к конкретным фактам, а затем, пользуясь методом научной индукции, не переходили от частного к общему, делая выводы для всей совокупности объектов. Известно, например, что при изучении зависимости длины окружности l от ее диаметра d проводились серии измерений этих величин на конкретных окружностях. Однако формула $l = \pi d$ получена в конечном счете путем логических рассуждений. Они являются математически строгим доказательством, а результаты измерений — всего лишь частные примеры, которые подтверждают, но не доказывают формулу.

В.1.5. Необходимость индуктивного доказательства в естественных науках.

Математика ограничивается дедуктивным доказательством исключительно из-за того, что она рассматривает примитивные, реально не существующие модели объектов, выдуманные человеком. Любая математическая теория опирается на совокупность аксиом, принципиально не доказываемых в рамках этой теории. Таким образом, *дедуктивные рассуждения принципиально не позволяют полностью обосновать теорию, а могут лишь показать ее логическую непротиворечивость*. Значит для проверки теоретических положений необходимо соотнести вытекающие из них следствия с фактами, устанавливаемыми в опытах и наблюдениях.



"Итак, прежде всего я займусь описанием метода, который позволит наглядно представить себе движение подобной жидкости; затем я выведу следствия из некоторых выбранных условий движения, применю их к наименее сложным явлениям электричества, магнетизма и гальванизма и покажу, наконец, как с расширением этого метода и с введением другой идеи, которою мы равным образом обязаны Фарадею, можно наглядно представить законы притяжения и индуктивных действий магнитов и токов; при этом я не буду делать никаких предположений о физической природе электричества, которые выходят за пределы фактов, доказанных на опыте."

Джеймс К. Максвелл (1831–1879).

Научная индукция — умозаключение, в котором общее заключение об объектах данного класса делается на основании познания их частных свойств, признаков, причинно-следственных связей наблюдаемых явлений.

Окружающий мир бесконечен в пространстве и времени, жизнь человека или даже цивилизации ограничена, поэтому совокупность опытов, проведенных человечеством, пренебрежимо мала по сравнению с возможным их числом.

Проверка истинности физической теории во всевозможных вариантах связана с постановкой бесконечного числа экспериментов, отличающихся параметрами установок, проведенных в разные моменты времени в разных точках пространства. Отсюда следует принципиальная невозможность построения естественнонаучной теории без индуктивных обобщений. В этом не слабость, а **сила физической науки: теория, опирающаяся на частные факты, может предсказывать и объяснять другие, не исследованные факты.**

В.1.6. Научный факт как проявление реальной действительности.

Итак, создание физической картины мира, адекватно отражающей закономерности окружающего мира, не может быть основано исключительно на абстрактных рассуждениях, а должно опираться на систему фактов. Под фактом или эмпирическим положением понимают результаты наблюдений или экспериментов, выраженные в научных понятиях посредством естественного или



"Исследованное нами явление мы назвали лучами электрической силы. Пожалуй, их можно было бы назвать световыми лучами с очень большой длиной волны. По крайней мере мне представляется весьма вероятным, что описанные опыты доказывают идентичность света, тепловых лучей и электродинамического волнового движения. Я думаю, что теперь смело можно использовать все преимущества, которые допущение этой идентичности дает нам как для оптики, так и для учения об электричестве."

Генрих Герц (1857–1894).

искусственного (математического) языка. Установление единичного факта осуществляется в результате взаимодействия объекта и субъекта познания (исследователя), поэтому он отчасти субъективен. Но многократное установление одного и того же факта различными исследователями, выявление и точное описание условий наблюдения или эксперимента, приводит к повышению объективности устанавливаемого эмпирического положения. Так появляются научные факты.

Научный факт — совокупность характеристик объективной реальности, выявленных посредством наблюдений и экспериментов.

Установление единичного факта сводится к проведению наблюдения или эксперимента, на основе осмысления результатов которых сформулировано соответствующее эмпирическое положение. Научные факты лежат в основе физической теории. Следствия физической теории, подтвержденные наблюдениями или экспериментами, также являются научными фактами.

В.1.7. Имеет ли факт доказательную силу.

Существует точка зрения, что эксперимент может опровергнуть теорию или определить границы ее применимости, но, в принципе, он не может что-либо доказать, так как позволяет получить единичный факт, установленный с какой-то погрешностью и отражающий лишь частное явление, протекающее в конкретных условиях, в данный момент времени и в данной области пространства. Поэтому даже большая совокупность фактов в принципе не может доказать теоретического утверждения, в котором рассматривается бесконечно большое количество ситуаций.

Дальнейшее развитие этого тезиса приводит к абсурду: так как ни логические рассуждения, в конечном счете опирающиеся



"Явление магнитного вращения плоскости поляризации, открытое Фарадеем в 1845 г., было первым доказательством внутренней связи между оптическими и электромагнитными явлениями."

Хендрик Антон Лоренц (1853–1928).

на исходные положения, принятые без доказательства, ни ссылки на факты, всегда единичные, принципиально не позволяют обосновать справедливость теории, то физика, как и остальные естественные науки, совершенно бездоказательна, и мы не можем сказать, правильно или нет она объясняет окружающий мир. Однако это не так, и подтверждением этому служит весь научно-технический прогресс.

С другой стороны, единственный опыт, взятый в отрыве от других экспериментов и положений физической теории, доказывает немного.

Например, рассмотрим опыт: к гальваническому элементу подключают нихромовую проволоку, в результате чего, она нагревается. Данный эксперимент можно рассматривать как доказательство того, что протекание тока вызывает нагревание проводника только в том случае, если принять за известное утверждение, что при подключении провода к гальваническому элементу через него течет ток. Последнее утверждение само нуждается в доказательстве.

Таким образом, *для физической науки доказательную силу имеет не один, а ряд экспериментов.*

В.1.8. Установление обобщенного факта и эмпирического закона.

Выявление системы единичных фактов, соответствующих аналогичным ситуациям, и их обобщение приводит к установлению **обобщенного факта** или **эмпирического закона**.

Допустим, проведен эксперимент и его результат зафиксирован: «При создании условий эксперимента $У_1$ имеет место результат $Р_1$.» Например, при погружении алюминиевого и медного электродов, соединенных с гальванометром, в водный раствор поваренной соли происходит отклонения стрелки гальванометра, то есть по цепи течет ток.



"Во многих случаях капля наблюдалась в течение пяти или шести часов, и за это время она захватывала не восемь или десять ионов, как в описанном опыте, но сотни их. В общей сложности я наблюдал таким путем захват многих тысяч ионов, и во всех случаях захваченный заряд, определенный, как указано выше, был либо в точности равен наименьшему из всех захваченных зарядов, либо равнялся небольшому целому, кратному этой величины. В этом заключается прямое и неопровержимое доказательство того, что электрон не есть "статистическое среднее", но что все электрические заряды на ионах либо в точности равны заряду электрона, либо представляют небольшие целые, кратные этого заряда."

Роберт Милликен (1868–1953).

Для установления обобщенного факта или эмпирического закона проводят ряд экспериментов при различных условиях $У_2, У_3, \dots У_N$, аналогичных $У_1$, фиксируя результаты $Р_2, Р_3, \dots Р_N$, аналогичные $Р_1$. Эмпирические данные обрабатывают и обобщают, формулируя общее положение, имеющее вид научного закона. Например: если два разных металла погрузить в электролит и соединить проводником, то по нему потечет электрический ток.

Таким образом, каждый обобщенный факт, а также эмпирический закон представляют собой индуктивное обобщение всегда конечного числа частных фактов на бесконечное многообразие различных ситуаций. В этом заключена прогностическая сила индуктивных рассуждений: выполнив серию из конечного числа опытов, исследователь выявляет закономерность, которая позволяет предсказывать результаты других опытов, выполненных в несколько измененных условиях. Большое значение имеют методы установления причинно-следственных связей, к которым относятся метод сходства, метод различия, метод сопутствующих изменений, метод остатков.

В.1.9. Эмпирические знания как система фактов.

Система обобщенных фактов, образующих фундамент физики и позволяющих обосновать ее важнейшие положения, составляет *эмпирический базис физической науки*.