

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	16
Из предисловия к первому изданию	17
Введение	18
Физика как фундаментальная естественная наука	18
Роль физики в познании окружающего мира	18
Значение физики для биофизики, медицины и фармации	19
Биофизика, ее связь с биологией, химией, физикой	19
Значение биофизики для медицины и фармации	20
Глава 1. Основы механики	22
1.1. Основная задача механики. Характеристики движения	22
1.2. Взаимодействие	25
1.3. Примеры сил	27
1.3.1. Сила тяжести	27
1.3.2. Сила взаимодействия электрона с ядром в атоме водорода ...	29
1.3.3. Сила упругости	30
1.3.4. Силы сопротивления	31
1.4. Метод анализа размерностей	32
1.4.1. Движение под действием сил, обратно пропорциональных квадрату расстояний	33
1.4.2. Движение под действием постоянной силы	33
1.5. Гармонические колебания — пример решения основной задачи механики	34
1.6. Колебания под действием внешних периодических воздействий. Явление резонанса	37
1.7. Затухающие колебания. Автоколебания	41
1.8. Сложное колебание и его спектр	43
Главное в главе 1	44
Контрольные вопросы и задания к главе 1	45
Глава 2. Законы сохранения механической энергии и импульса	48
2.1. Кинетическая энергия. Закон сохранения энергии	48
2.2. Работа	49
2.3. Потенциальная энергия	51
2.3.1. Потенциальная энергия силы упругости	52

2.3.2. Потенциальная энергия взаимодействия двух зарядов	53
2.3.3. Потенциальная энергия тела в поле тяготения Земли	53
2.4. Сила и потенциальная энергия	54
2.5. Динамика вращательного движения	56
2.5.1. Кинетическая энергия вращающегося твердого тела. Момент инерции	57
2.5.2. Работа при вращении твердого тела. Момент силы	59
2.5.3. Основное уравнение динамики вращательного движения	60
2.6. Закон сохранения импульса	60
2.7. Атом водорода	64
2.8. Теория атома Бора	68
Главное в главе 2	73
Контрольные вопросы и задания к главе 2	74
Глава 3. Идеальный газ	76
3.1. Тепловые явления. Характеристики тепловых явлений	76
3.2. Свойства газа, полученные на опыте	78
3.3. Уравнение состояния идеального газа	82
3.4. Изопроцессы	85
3.4.1. Изотермический процесс	85
3.4.2. Изобарный процесс	86
3.4.3. Изохорный процесс	86
3.5. Массы, размеры, энергии в мире молекул. Основные положения молекулярно-кинетической теории	87
3.5.1. Доказательства существования молекул	88
3.5.2. Движение молекул	88
3.5.3. Взаимодействие молекул	88
3.5.4. Твердые, жидкие и газообразные тела	90
3.6. Молекулярные основы теории идеального газа	92
3.7. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории	94
3.8. Температура — мера средней кинетической энергии молекул	95
3.9. Растворенное вещество как идеальный газ	97
3.10. Реальные газы	99
Главное в главе 3	101
Контрольные вопросы и задания к главе 3	102
Глава 4. Термодинамика	104
4.1. Первое начало термодинамики	104
4.1.1. Применение первого начала к изохорному процессу	108

4.1.2. Применение первого начала к изобарному процессу	108
4.1.3. Применение первого начала к изотермическому процессу	108
4.2. Адиабатный процесс	109
4.3. Энтропия	111
4.4. Второе начало термодинамики	114
Главное в главе 4	117
Контрольные вопросы и задания к главе 4	117
Глава 5. Статистика молекул	118
5.1. Скорости молекул. Опыт Штерна	118
5.2. Распределение молекул по скоростям	119
5.3. Вероятность	122
5.4. Распределение Больцмана	122
5.4.1. Распределения молекул под действием силы тяжести	124
5.4.2. Распределение молекул по проекциям скоростей их движения	124
5.5. Распределение Максвелла	125
5.6. Наиболее вероятная скорость	127
5.7. Барометрическая формула	131
5.8. Термоэлектричество. Термопара	132
5.8.1. Электроны у поверхности металла	133
5.8.2. Контактная разность потенциалов	135
Главное в главе 5	138
Контрольные вопросы и задания к главе 5	140
Глава 6. Явления переноса	142
6.1. Длина свободного пробега молекулы	142
6.2. Диффузия. Закон Фика	144
6.3. Диффузия как случайное блуждание	148
6.4. Теплопроводность	151
6.5. Трение. Вязкость — внутреннее трение	153
Главное в главе 6	159
Контрольные вопросы и задания к главе 6	162
Глава 7. Молекулярная физика жидкой и твердой фаз, явлений на границе фаз и фазовых превращений	163
7.1. Поверхностное натяжение	163
7.1.1. Методы исследования поверхностного натяжения жидкости	165

7.1.2. Адсорбция	166
7.1.3. Поверхностно-активные вещества. Применение поверхностно-активных веществ в фармации и биологии	167
7.2. Давление под изогнутой поверхностью жидкости. Формула Лапласа	168
7.3. Процессы испарения и конденсации	169
7.4. Капиллярные явления	170
7.4.1. Смачивание	170
7.4.2. Зависимость давления насыщенного пара от кривизны поверхности жидкости	171
7.4.3. Капиллярная конденсация. Гигроскопические материалы	172
7.5. Твердые тела. Аморфные и кристаллические твердые тела	173
7.6. Фазы. Равновесие фаз. Фазовые переходы	174
7.6.1. Сублимация (испарение)	176
7.6.2. Плавление и кристаллизация	177
7.6.3. Размягчение и стеклование	177
7.7. Жидкокристаллическое состояние вещества	178
7.8. Кристаллические модификации	179
7.8.1. Полиморфные превращения, их роль в изменении свойств фармацевтических препаратов	180
7.9. Теплоемкость твердых тел	180
7.9.1. Закон Дюлонга и Пти	180
7.9.2. Понятие о квантовой теории твердых тел	181
7.10. Механические свойства твердых тел	182
7.10.1. Упругость и пластичность	182
7.10.2. Особенности строения и свойства эластомеров	184
Главное в главе 7	184
Контрольные вопросы и задания к главе 7	185
Глава 8. Основы гидродинамики	188
8.1. Вывод основного уравнения гидродинамики. Простейший случай ...	188
8.2. Основное уравнение гидродинамики. Общий случай	190
8.3. Число Рейнольдса. Ламинарное и турбулентное течения	192
8.4. Скорость течения при протекании жидкости по трубе	194
8.5. Расход жидкости. Закон Пуазейля	198
8.6. Уравнение непрерывности	200
8.7. Формула Бернулли	205
Главное в главе 8	207
Контрольные вопросы и задания к главе 8	208

Глава 9. Понятие о тепломассопереносе	212
9.1. Уравнение переноса тепла	212
9.2. Свободная конвекция. Число Рэлея	214
9.3. Основы теории подобия	219
9.4. Безразмерные числа — числа подобия	224
9.5. Уравнения подобия	226
9.6. Моделирование	228
Главное в главе 9	230
Контрольные вопросы и задания к главе 9	232
Глава 10. Электрическое поле	233
10.1. Закон Кулона. Основы электростатики	233
10.2. Электрическое поле. Принцип суперпозиции	234
10.3. Потенциал и напряжение	239
10.4. Диполь. Дипольный момент молекул	242
10.5. Поле диполя	247
10.6. Взаимодействие зарядов и диполей. Взаимодействие ионов, молекул между собой и молекул с ионами	248
10.6.1. Взаимодействие «заряд–заряд» (ион–ион), отталкивание	249
10.6.2. Взаимодействие «заряд–заряд» (ион–ион), притяжение	250
10.6.3. Взаимодействие молекул с электрическим полем	250
10.6.4. Взаимодействие диполя с зарядом (полярной молекулы с ионом)	251
10.6.5. Взаимодействие неполярной системы с зарядом (неполярной молекулы с ионом)	252
10.6.6. Взаимодействие двух диполей (двух полярных молекул)	253
10.6.7. Взаимодействие диполя с неполярной системой (полярной молекулы с неполярной)	255
10.7. Итоги изучения электростатики	256
Главное в главе 10	259
Контрольные вопросы и задания к главе 10	259
Глава 11. Электрический ток. Электромагнетизм	262
11.1. Характеристики электрического тока и электрических цепей ...	262
11.2. Закон Ома для полной цепи	266
11.3. Последовательное и параллельное соединения резисторов	267
11.3.1. Вычисление сопротивления	267
11.3.2. Вычисление мощности	268
11.3.3. Правила присоединения электроизмерительных приборов ...	269
11.3.4. Законы расчета электрических цепей	269

11.4. Магнитное поле. Аналогия характеристик электрического и магнитного полей	270
11.4.1. Закон Био—Савара—Лапласа	275
11.5. Расчет магнитных полей	276
11.5.1. Напряженность магнитного поля в центре витка с током ...	277
11.5.2. Поле бесконечного прямолинейного проводника с током ...	277
11.5.3. Поле внутри длинного соленоида	278
11.6. Движение заряженной частицы в магнитном поле	279
11.6.1. Заряд движется параллельно вектору магнитной индукции	279
11.6.2. Заряд движется перпендикулярно вектору магнитной индукции	280
11.6.3. Заряд движется под углом к вектору магнитной индукции	281
11.7. Масс-спектрометрия	282
11.8. Электромагнитная индукция	284
11.8.1. Явление самоиндукции. Индуктивность	286
11.8.2. Индуктивность соленоида	287
11.9. Электрические и механические колебания	289
11.10. Метод анализа размерностей при определении характеристик колебаний	294
11.10.1. Пружинный маятник	294
11.10.2. Математический маятник	295
11.10.3. Колебательный контур	295
11.10.4. Крутильный маятник	296
11.11. Переменный ток	297
Главное в главе 11	298
Контрольные вопросы и задания к главе 11	300

Глава 12. Метрологические требования при работе с физической

аппаратурой	303
12.1. Общие правила работы в лаборатории	303
12.2. Электрические измерения	306
12.2.1. Определение результата измерений	306
12.2.2. Определение диапазона прибора и точности измерений ...	306
12.2.3. Измерения в электрических схемах	307
12.3. Методы электрических измерений	309
12.3.1. Метод моста	309
12.3.2. Компенсационный метод	310

12.4. Фиксация результатов измерений	311
12.4.1. Запись результатов эксперимента	311
12.4.2. Вычисления	311
12.4.3. Схемы и графики	312
12.5. Вычисление погрешностей	316
Главное в главе 12	318
Контрольные вопросы и задания к главе 12	318
Глава 13. Колебания и волны. Звук	319
13.1. Энергия колебания	319
13.2. Волны, уравнение волны	321
13.3. Примеры: звуковые и электромагнитные волны	325
13.4. Поток энергии волны	327
13.5. Эффект Доплера	328
13.6. Физические характеристики звуковой волны и физиологические характеристики восприятия звука	330
13.7. Ультразвук	332
13.7.1. Основы теории ультразвукового исследования органов	332
Главное в главе 13	334
Контрольные вопросы и задания к главе 13	335
Глава 14. Оптика	338
14.1. Геометрическая оптика	338
14.1.1. Законы отражения	338
14.1.2. Законы преломления	339
14.1.3. Полное внутреннее отражение	340
14.1.4. Рефрактометрия	341
14.1.5. Дисперсия	342
14.2. Линзы	344
14.2.1. Построение изображений	345
14.2.2. Лупа и глаз	347
14.2.3. Микроскоп	348
14.3. Волновая оптика. Поляризованный свет	349
14.4. Получение поляризованного света	351
14.4.1. Двойное лучепреломление	352
14.5. Распространение поляризованного света в оптически активных веществах. Закон Био	353
14.6. Распространение поляризованного света. Закон Малюса	356
14.7. Интерференция волн	359

14.7.1. Условие минимумов	360
14.7.2. Условие максимумов	361
14.7.3. Дискретность волновых явлений	362
14.8. Стоячие волны	363
14.9. Интерференция света. Интерферометр Рэлея	366
Главное в главе 14	367
Контрольные вопросы и задания к главе 14	369
Глава 15. Тепловое излучение. Понятие о квантах	371
15.1. Испускание и поглощение света	371
15.2. Закон Кирхгофа — закон связи испускания и поглощения	375
15.3. Зависимость лучеиспускательной способности от длины волны ...	376
15.4. Законы излучения абсолютно черного тела	379
15.4.1. Закон Стефана–Больцмана	379
15.4.2. Первый закон Вина (закон смещения)	380
15.4.3. Второй закон Вина	380
15.5. Закон смещения и представление о кванте	381
15.6. Корпускулярно-волновой дуализм	382
Главное в главе 15	385
Контрольные вопросы и задания к главе 15	386
Глава 16. Спектры атомов и молекул	389
16.1. Излучение отдельных атомов и молекул	389
16.2. Спектр атома водорода	391
16.3. Свойства спектра водорода	398
16.4. Рентгеновское излучение. Рентгеновские спектры	403
16.5. Молекулярные спектры	407
16.5.1. Электронные спектры	409
16.6. Люминесценция	410
16.7. Лазер. Понятие об индуцированном излучении	414
Главное в главе 16	416
Контрольные вопросы и задания к главе 16	417
Глава 17. Физические основы спектрального анализа	419
17.1. Интерференция света от двух щелей	419
17.2. Дифракционная решетка	421
17.3. Поглощение света прозрачными телами	427
17.4. Рассеяние света	433

17.5. Виды спектров	436
17.5.1. Непрерывные спектры	436
17.5.2. Линейчатые спектры	437
17.5.3. Полосатые спектры	438
17.5.4. Спектры поглощения	438
17.6. Получение и исследование спектров	439
17.7. Люминесцентный анализ	442
17.8. Методы радиоспектроскопии и их применение в фармации	443
Главное в главе 17	445
Контрольные вопросы и задания к главе 17	446
Глава 18. Радиоактивное излучение	449
18.1. Изучение строения ядер атомов	449
18.2. Радиоактивность. Превращение ядер	451
18.3. Закон радиоактивного распада	457
18.4. Дозиметрия ионизирующих излучений	462
18.5. Метод меченых атомов и его использование	465
18.6. Как правильно относиться к радиации?	465
18.7. Шкала электромагнитных волн	466
18.7.1. Инфракрасное излучение	467
18.7.2. Ультрафиолетовое излучение	468
18.7.3. Рентгеновское излучение	468
18.7.4. Рентгеноструктурный анализ	469
Главное в главе 18	470
Контрольные вопросы и задания к главе 18	471
Глава 19. Основы квантовой механики	473
19.1. Принцип неопределенности	473
19.2. Уравнение Шрёдингера — основное уравнение квантовой механики	476
19.3. Физический смысл волновой функции	478
19.3.1. Принцип Борна—Йордана	478
19.3.2. Электронография, ее использование для исследования вещества. Принцип действия электронного микроскопа ...	480
19.4. Условие нормировки	482
19.5. Основное состояние атома водорода	483
Главное в главе 19	489
Контрольные вопросы и задания к главе 19	492

Глава 20. Введение в квантово-химические представления. Атом водорода	494
20.1. Состояние электрона в атоме водорода	494
20.1.1. Постановка задачи	494
20.1.2. Вероятность обнаружить электрон в тонком сферическом слое или в заданном направлении	495
20.1.3. Условия нормирования в сферических координатах	498
20.1.4. Уравнение Шрёдингера в сферической системе координат ...	498
20.2. Орбитальное квантовое число	499
20.2.1. Разделение переменных в уравнении Шрёдингера для атома водорода	499
20.2.2. Выбор постоянной разделения	500
20.2.3. Величина l — орбитальное квантовое число	502
20.2.4. Уровни энергии атома водорода	502
20.3. Основы квантово-химических представлений об орбитали	503
20.3.1. Угловая часть волновой функции	504
20.3.2. Решение для угловой части. s -состояние	506
20.3.3. Решение для угловой части. p -состояние	507
20.4. К вопросу о сущности понятия «орбиталь»	508
Главное в главе 20	512
Контрольные вопросы и задания к главе 20	514
Глава 21. Момент импульса в квантовой механике. Спин	517
21.1. Физические величины как операторы	517
21.2. Момент импульса в квантовой механике	519
21.2.1. Проекция момента в s -состоянии	522
21.2.2. Проекция момента в p -состоянии	522
21.3. Атом водорода в магнитном поле	523
21.4. Спин электрона	526
21.5. Момент импульса электрона в атоме с учетом спина	528
Главное в главе 21	530
Контрольные вопросы и задания к главе 21	532
Глава 22. Взаимодействие электронов	534
22.1. Проблема двух электронов	534
22.2. Обменное вырождение	537
22.3. Принцип Паули	538
22.3.1. Спины электронов в атоме гелия	539
22.3.2. Случай трех электронов. Атом лития	540

22.4. Теория возмущений	542
22.5. Обменная энергия	544
Главное в главе 22	549
Контрольные вопросы и задания к главе 22	549
Глава 23. Теория химической связи	552
23.1. Постановка задачи	552
23.2. Вычисление энергии взаимодействия атомов в молекуле водорода	553
23.3. Энергия связи атомов в молекуле водорода	558
23.4. Свойство насыщения химической связи	563
23.5. Спин и валентность	565
23.6. Роль возбужденных состояний в создании валентности	568
23.7. Пересечение кривых энергии взаимодействия атомов	570
23.8. Валентность углерода	572
23.9. Направленные валентности	574
23.10. Нелокализованная связь	576
23.11. Энергия активации	578
Главное в главе 23	579
Контрольные вопросы и задания к главе 23	580
Глава 24. Молекулярная биофизика	582
24.1. Биофизика белка и нуклеиновых кислот	582
24.1.1. Первичная, вторичная и третичная структуры биологических полимеров	583
24.1.2. Природа сил стабилизации структуры биополимеров	585
24.1.3. Структура воды и взаимодействие биомолекул	588
24.2. Вторичная структура биополимеров	590
24.2.1. Альфа-спираль	590
24.2.2. Бета-конфигурация белка (β -слой)	591
24.2.3. Двойная спираль ДНК	593
24.3. Методы исследования структуры биомолекул	596
24.3.1. Структурный анализ	596
24.3.2. Оптические методы: дисперсия оптического вращения, круговой дихроизм	598
Главное в главе 24	600
Контрольные вопросы и задания к главе 24	600
Глава 25. Биофизика клетки	602
25.1. Основные функции биомембран в клетке	602

25.1.1. Роль физических методов в развитии представлений о строении биологических мембран	603
25.1.2. Современные представления о строении биологических мембран	603
25.1.3. Модельные липидные мембраны и липосомы	604
25.2. Динамика биомембран	607
25.2.1. Подвижность липидных и белковых молекул в мембране	607
25.2.2. Латеральная диффузия, флип-флоп-диффузия. Вязкость	608
25.2.3. Фазовые переходы в липидном бислое	609
25.2.4. Роль физического состояния липидов для функционирования мембран, нарушение его в патологии	611
25.3. Транспорт веществ через биологические мембраны	611
25.3.1. Пассивный и активный транспорт	613
25.3.2. Уравнения пассивного транспорта: Теорелла, Нернста–Планка, Фика	613
25.3.3. Виды пассивного транспорта: простая и облегченная диффузия, осмос, фильтрация	616
25.3.4. Активный транспорт	618
25.3.5. Ионные насосы	619
25.4. Биоэлектрические потенциалы	621
25.4.1. Потенциал покоя	622
25.4.2. Формула Гольдмана–Ходжкина	623
25.4.3. Электрогенные ионные насосы живой клетки	624
25.4.4. Физические методы регистрации биопотенциалов	624
25.5. Биофизика нервного импульса	625
25.5.1. Потенциал действия	626
25.5.2. Эквивалентная электрическая схема возбудимой мембраны	627
25.5.3. Уравнение Ходжкина–Хаксли	628
25.5.4. Распространение возбуждения вдоль нервного и мышечного волокна	631
Главное в главе 25	633
Контрольные вопросы и задания к главе 25	635

Глава 26. Термодинамика биологических процессов и биофизика

сложных систем	638
26.1. Особенности термодинамического метода изучения биологических систем и протекающих в них процессов	638

26.1.1. Применение первого начала термодинамики к биологическим системам	639
26.1.2. Теплообмен, виды теплообмена	640
26.1.3. Биоэнергетика	641
26.1.4. Второе начало термодинамики	641
26.1.5. Энтальпия, энергия Гиббса, электрохимический потенциал	642
26.2. Организм, как открытая термодинамическая система	645
26.2.1. Продукция энтропии и обмен энтропией с окружающей средой в открытых системах	645
26.2.2. Уравнение Пригожина	647
26.3. Стационарное состояние биологических систем	649
26.3.1. Адаптация и аутостабилизация	651
26.3.2. Самоорганизация неравновесных систем	652
26.4. Моделирование биологических процессов	653
26.4.1. Математическая модель роста	655
26.4.2. Модель хищник–жертва	656
26.4.3. Модель развития эпидемии (пандемии)	658
26.4.4. Фармакокинетическая модель	659
Главное в главе 26	661
Контрольные вопросы и задания к главе 26	663
Заключение	666
Список литературы	667
Предметный указатель	668

ВВЕДЕНИЕ

ФИЗИКА КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ЕСТЕСТВЕННАЯ НАУКА

Все люди имеют представления о себе и окружающем мире. Эта картина мира основана на индивидуальном жизненном опыте.

Такие представления обязательно содержат сведения о веществе и его характеристиках. Обобщением понятия о веществе является представление о материи.

В школьном курсе геометрии изучаются понятия «точка», «прямая», «плоскость». Вспомните, как определяются эти понятия? Они никак не определяются. Свойства этих понятий раскрываются в аксиомах и теоремах. Эти понятия лежат в основании всей геометрии и поэтому называются «фундаментальными». Подобные понятия есть не только в геометрии, но и в алгебре, физике, химии.

При научном описании материя является первичным, фундаментальным понятием. Понятие материи нельзя определить, оно наполняется содержанием по мере изучения и анализа ее свойств. Современную физику можно охарактеризовать как науку *о наиболее общих свойствах материи*.

Другие науки, изучающие человека и окружающий его мир, основываются на физике, развивая и конкретизируя установленные при изучении общих свойств материи факты, понятия и законы.

Для будущих провизоров, инженеров химиков — технологов и биотехнологов этими науками являются, в первую очередь, химия и биология. Они вместе с физикой называются *естественными науками*. Таким образом, физика — **фундамент естественных наук**.

Неопределяемые понятия, лежащие в фундаменте одной из наук, например геометрии, можно раскрыть в рамках другой науки. В физике получают свое раскрытие многие фундаментальные понятия геометрии, химии и биологии. Например, понятие «точка» определяется в физике, как тело, *размерами которого в данных условиях можно пренебречь*.

РОЛЬ ФИЗИКИ В ПОЗНАНИИ ОКРУЖАЮЩЕГО МИРА

Считается, что если бы исчезли все книги, файлы, а знания остались бы только в головах людей, то наибольшее значение для практической жизни имела бы фраза: «Все тела состоят из молекул, которые находятся в непрерывном хаотическом движении и на близких расстояниях

отталкиваются». С другой стороны, эта фраза является основой одного из разделов физики, а именно, **молекулярно-кинетической теории**.

Этот пример показывает, что физика играет фундаментальную роль в изучении (использовании) окружающего мира. С одной стороны, познание в других науках часто основывается на понятиях, выработанных в рамках физики.

С другой стороны, для «познания в других науках» для изучения и использования окружающего мира применяются инструменты, созданные на основе знания физики. Все современные технические достижения: компьютер, томограф и многое другое, есть результаты физических исследований. Например, биологическую лабораторию невозможно представить без микроскопа. В аптеке, в которой не только продают, но и готовят лекарственные препараты, для контроля их состава используются *рефрактометры* и *поляриметры*. Действие всех этих приборов основано на законах большого раздела физики — **оптики**.

ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИКИ ДЛЯ БИОФИЗИКИ, МЕДИЦИНЫ И ФАРМАЦИИ

С тех пор, как Антон ван Левенгук изготовил линзы с увеличением до трехсот раз и впервые наблюдал и зарисовал (опубликовано впервые в 1673 г.) ряд простейших, сперматозоиды, бактерии, эритроциты и их движение в капиллярах, биологи и медики чрезвычайно широко пользуются *микроскопом*. В наше время физические приборы и методы измерения абсолютно необходимы провизорам. Достаточно заметить, что год за годом физические методы все более вытесняют методы химии для анализа вещества по фармакопее во всех странах.

Еще более важное значение имеет факт освоения физических идей, самого физического стиля мышления химиками, биологами, медиками и, конечно, фармацевтами и инженерами, занимающимися производством лекарств и их компонентов.

БИОФИЗИКА, ЕЕ СВЯЗЬ С БИОЛОГИЕЙ, ХИМИЕЙ, ФИЗИКОЙ

За последние полвека на стыке биологии, химии и физики возникла новая наука — **биофизика**, которую, возможно, лучше было бы называть физико-химической биологией. С одной стороны, основываясь на

достижениях физики и химии, биологи получают возможность понимания, а следовательно, и предсказания протекания основных жизненных процессов. С другой стороны, биологические объекты требуют для своего анализа развития как понятийного аппарата, так и приборного парка физиков.

Таким образом, **биофизика** — это наука, вскрывающая внутренние механизмы биологических процессов на основе идей и методов физики.

ЗНАЧЕНИЕ БИОФИЗИКИ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ И ФАРМАЦИИ

Роль биофизики в фармации и медицине можно понять, рассмотрев задачу ветеринара: «Как вылечить слона от простуды?»

Ветеринары чаще всего лечат кошек и собак. На опыте, который стоил жизни множеству животных, установлено, что кошкам для излечения от простуды нужно (условно) 1 г некоторого сильнодействующего препарата, а собакам — 1,8 г. Сколько лекарства нужно давать в случае простуды слону? Методом проб и ошибок ответить на этот вопрос невозможно — слонов не хватит.

Попробуем рассуждать как *биологи*. Для излечения нужно создать в организме и некоторое время поддерживать определенную концентрацию этого препарата. Известно (биологам!), что скорость распада и выведения веществ из организма пропорциональна *удельной интенсивности метаболических процессов* q . Наиболее исследованным метаболическим процессом является дыхание — потребление организмом кислорода.

Экспериментально установлено, что при потреблении 1 л кислорода в организме выделяется приблизительно 20 Дж/л тепла. Кстати, эти измерения проводились с использованием *калориметра* — физического прибора. Если организм потребляет каждую секунду Q л/с кислорода, то общее количество выделяемого в единицу времени тепла $J = 20 Q$ Дж/с. Отметим, что величина Q определяется методами химического анализа. Тогда удельная интенсивность, интенсивность метаболических процессов в единице массы M животного $q = Q/M$ будет определена, если удастся определить зависимость $Q(M)$.

Теперь в дело вступают *физики*. Очевидно, что тепло производится примерно равномерно во всей массе животного. Примем для простоты, что животное имеет форму шара. Это шарообразная *модель*. Физики часто имеют дело с моделями. Тогда масса животного M связана с его размерами R соотношениями:

$$M = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho; \quad R = \left(\frac{3M}{4\pi\rho}\right)^{1/3}, \quad (B1)$$

где ρ — плотность тела животного.

Для того чтобы животное не нагревалось и не охлаждалось, а поддерживало постоянную температуру тела, необходимо, чтобы все выделяющееся тепло с той же скоростью отводилось от тела (**закон сохранения энергии**). Отвод выделяющегося тепла происходит через поверхность тела площадью S . То есть $J = \chi S$, где χ — коэффициент теплоотдачи. Для шара $S = 4\pi R^2$ и используя элементарную математику получим для интенсивности метаболических процессов:

$$q = \frac{J}{20M} = \frac{\chi S}{20M} = \frac{\chi 4\pi R^2}{20M} = \frac{4\pi\chi}{20M} \left(\frac{3M}{4\pi\rho}\right)^{2/3} = kM^{-1/3}. \quad (B2)$$

Величина k — коэффициент пропорциональности, не зависящий от массы M . Вывод: *удельная интенсивность процессов метаболизма вследствие закона сохранения энергии уменьшается с ростом массы организма*. На языке биологии закон сохранения энергии называется «*тепловым балансом организма*». Физики всегда используют в работе точные законы.

На основе этого общего вывода можно дать конкретные рекомендации по лечению слона. Если кошка весит 3 кг, а слон — 3000 кг, то лекарства ему нужно дать не в 1000 раз, а только в $1000/(1000)^{-1/3} = 100$ раз больше. Нужно дать 100 г лекарства, и слон будет здоров. Если дать в 1000 раз больше (1 кг лекарства), то слон, скорее всего, умрет, ведь при больших дозах любое лекарство превращается в яд.

На самом деле, нужно дать чуть больше, ведь форма слона отличается от шара. Обычно нужно дать примерно 200 г.

Очевидно, что сочетание физического и биологического подходов принципиально важно в фармации и медицине. Первые 23 главы учебника, в основном, знакомят с «физическим подходом», последние три главы посвящены тому, как сочетать физический подход с биологическим.

Глава 1

ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

Тема

Основная задача механики. Законы Ньютона.
Равноускоренное и колебательное движения

1.1. ОСНОВНАЯ ЗАДАЧА МЕХАНИКИ. ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖЕНИЯ

Главнейшая цель науки — **предсказать будущее**. В конкретных областях научных знаний эта глобальная цель наполняется реальным содержанием. Приступая к изучению основ механики, необходимо знать, что *основной задачей (целью) механики является определение (предсказание) положения и движения тела в любой момент времени (t) в будущем или в прошлом, если известно его движение сейчас (в момент t_0).*

Для того чтобы научиться решать основную задачу механики, приведем в систему имеющиеся у каждого интуитивные и школьные представления о движении.

Положение тела определяется его *координатой* $x = x(t)$ (в пространстве — тремя координатами). При этом часто считают, что $t_0 = 0$, полагая, что часы включаются, когда начинается движение. *Перемещение* $s = x - x_0$. Перемещение и координата измеряются в метрах (м).

Единицы измерения (*размерность*) в физике записывают с использованием квадратных скобок. Например, для перемещения: $[s] = \text{м}$.

Время измеряется в секундах (с): $[t] = \text{с}$. Все помнят, сколько секунд в часе? $1 \text{ час} = 3600 \text{ с}$.

Рассмотрим скорость движения. По определению *скорость* v есть производная от координаты по времени. Например, если движение происходит по оси x , то

$$v = \frac{dx}{dt}. \quad (1.1)$$

Отметим сразу, что в физике и технических дисциплинах удобно записывать производную как будто это отношение дифференциалов, а не обозначать ее штрихом. Обозначение в виде отношения dx/dt позволяет переходить к отношению разностей $\Delta x/\Delta t$, если это допустимо по естественно-научным соображениям. Очевидно, что $[v] = \text{м/с}$.

Зная скорость v , находим положение тела (координату) обратным по отношению к взятию производной действием — интегрированием (нахождением первообразной). Имеем:

$$s = x - x_0 = \int_0^t v dt. \tag{1.2}$$

Необходимо знать и зависимость от времени ускорения a . По определению ускорение — это скорость изменения скорости, или

$$a = \frac{dv}{dt}. \tag{1.3}$$

Единица измерения ускорения: $[a] = \text{м/с}^2$.

Напомним, что на графике (**рис. 1.1**) производная соответствует (равна!) тангенсу угла наклона касательной к оси абсцисс.

Это особенно понятно из рассмотрения малого прямоугольного треугольника с катетами Δv ; Δt . Ведь тангенс — отношение противолежащего катета Δv к прилежащему катету Δt , в пределе переходит в $a = dv/dt$. Интегралу на графике соответствует площадь между линией графика интегрируемой функции и осью абсцисс.

Первоначально в механике рассматривают движение точек — тел, размерами которых в данных условиях можно пренебречь. Оказывается, что любое движение, как точки, так и тел, можно представить как наложение (сумму!) двух движений — прямолинейного и равномерного вращения по окружности.

При прямолинейном движении все точки тела совершают одинаковые перемещения s . При

вращении тела все точки тела поворачиваются на одинаковый угол φ , который измеряется в радианах (рад). Поэтому для вращательного движения можно по аналогии ввести вместо скорости $v = ds/dt$ угловую скорость ω . При вращении угловая скорость

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \tag{1.4}$$

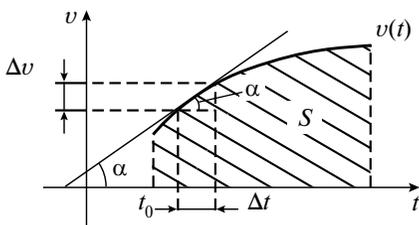


Рис. 1.1. Характеристики движения на графике зависимости скорости от времени. Ускорение — тангенс угла наклона касательной α . Перемещение — площадь s между графиком и осью t

одинакова для всех точек тела. Угловая скорость имеет размерность радиан в секунду (рад/с). Часто «радианы» в размерности не указывают и пишут $1/\text{с}$ или $[\omega] = \text{с}^{-1}$.

Между длиной дуги s , пройденной какой-либо точкой (пройденный путь) при вращении, и углом поворота существует связь. Для точки, находящейся на расстоянии r от оси вращения,

$$s = \varphi r. \quad (1.5)$$

Подобная же связь существует и между скоростями:

$$v = \omega r. \quad (1.6)$$

Имеется и аналог ускорения — *угловое ускорение*:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}, \quad (1.7)$$

которое имеет размерность радиан в секунду в квадрате ($1 \text{ рад}/\text{с}^2 = 1/\text{с}^2$), $[\varepsilon] = \text{с}^{-2}$.

Заметим, что ускорение при движении по окружности разделяется на две части: ускорение, направленное к центру вращения (*центростремительное*):

$$a_{\text{ц}} = \omega^2 r = \frac{v^2}{r}, \quad (1.8)$$

и ускорение, направленное по скорости (*касательное*):

$$a_{\text{т}} = \varepsilon r. \quad (1.9)$$

Общее ускорение при таком движении, как это видно на **рис. 1.2**, можно найти с помощью теоремы Пифагора: $a = \sqrt{a_{\text{ц}}^2 + a_{\text{т}}^2}$. Итак, *основные характеристики движения — это перемещение (угол поворота) и две первые производные — скорость и ускорение.*

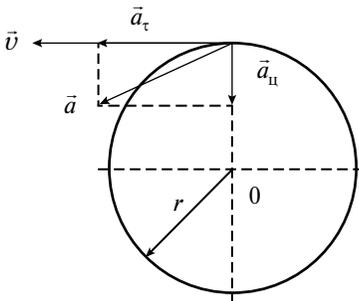


Рис. 1.2. Ускорение при движении по окружности. Другие пояснения в тексте

Казалось бы, так нужно вводить в рассмотрение и производные еще более высоких порядков. Оказывается, что в этом нет необходимости. Ускорение можно найти по-другому, используя один из важнейших законов физики — второй закон Ньютона.

! Рекомендуем выполнить задание 1 в конце главы.