

**ТЕМА 5****ЭКСПЕРИМЕНТ.  
ИЗМЕРЕНИЯ****1. СЛОВО ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ  
ФИЗИКЕ**

Физика — одна из наук, цель которой — познание природы. Когда физик сталкивается с каким-либо явлением природы, он старается выделить те особенности явления, которые ему кажутся самыми важными. Так, древние греки, наблюдая движение, обратили внимание на то, что движущееся тело в конце концов останавливается. Галилей и Ньютон, наблюдая то же самое явление, пришли к выводу, что замедление движения вызывается трением. А если трение отсутствует, движение не прекращается.

Если бы мы решили проверить это экспериментально, то увидели бы, что полностью исключить трение или другие тормозящие силы практически невозможно. Но их можно уменьшить, и чем они меньше, тем дольше будет двигаться тело. Таким образом, логично предположить, что в предельном случае, когда трение отсутствует, движение будет оставаться неизменным — оно не прекращается, о чём и говорит первый закон Ньютона.

Таков общий метод физики. Наблюдая какое-либо физическое явление, мы выделяем в нём то, что считаем самым важным, затем обобщаем и строим предположение, из которого следуют те или иные выводы. Выводы проверяем экспериментально и только после этого строим теорию.

Занимаясь экспериментальной физикой, вы прежде всего узнаете, как трудно бывает проверить теорию, измерить именно то, что вы хотите, а не что-то иное, и научитесь преодолевать такие трудности. И, кроме того, у вас появится взгляд на физику в целом, на соотношение между теорией и экспериментом, а это и есть главное содержание экспериментальной физики.

*Дж. Сквайерс, «Практическая физика»*

## Проверим своё понимание текста

- 1) На что исследователь обращает внимание прежде всего, наблюдая какое-либо явление?
- 2) Какой вопрос возникает у него? С какого вопроса начинается наука?
- 3) На что обратили внимание древние греки, наблюдая механическое движение?
- 4) Какой вопрос возник у Галилея и Ньютона, когда они увидели, что тела останавливаются?
- 5) К какому выводу пришли Галилей и Ньютон?
- 6) Каким путём они пришли к своему выводу? Закончите одним словом: «Путём ...».
- 7) Какое значение, по словам автора, имеют занятия экспериментами для студентов?

## Преобразуем текст

- ♦ 1. Представьте в виде цепочки глаголов (или словосочетаний) запись о том, что представляет собой метод физики, выделив ключевые слова:
- 1) наблюдать явление природы;
  - 2) выделять самое важное;
  - 3) ... и т. д.

---

## 2. СВЕТОВОЕ ДАВЛЕНИЕ

Как гипотеза, предположение о световом давлении было высказано ещё в начале XVII века. Теоретическое обоснование эта гипотеза получила в ньютоновской теории света, согласно которой материальные световые частицы, падая на какое-либо тело, должны производить известное давление. Мысль о световом давлении высказал и Максвелл, который считал, что световые волны, как и обычные электромагнитные волны, должны оказывать давление.

Молодой русский физик Пётр Николаевич Лебедев был непревзойдённым<sup>1</sup> мастером эксперимента. Действительно, его опыты, в которых впервые было измерено давление света, — замечательный пример экспериментального искусства.

В течение долгого времени учёные пытались подтвердить экспериментально наличие<sup>2</sup> светового давления. Но все их попытки не дали положительных результатов. Неудачи опытов объяснялись не только трудностями измерения малых величин светового давления (меньше миллиграмма на квадратный

### Новые слова

- <sup>1</sup> непревзойдённый — самый лучший;  
превзойти — стать лучше кого- или чего-либо по какому-либо признаку;  
<sup>2</sup> наличие — *presence*

**Новые слова**

<sup>1</sup> побочное явление — явление, которое не относится прямо к данному объекту исследования;

<sup>2</sup> настойчивость — *perseverance*;

<sup>3</sup> терпение — *patience*

метр), но и тем, что световое давление всегда сопровождается побочными явлениями<sup>1</sup>.

И вот эту почти безнадежную задачу успешно решает молодой Лебедев. В 1899 году им был проделан уникальный эксперимент, в результате которого было измерено это ничтожно малое давление света на твёрдое тело и доказано, что сила давления света прямо пропорциональна энергии падающего луча и не зависит от цвета. Доклад Лебедева о полученных результатах был в центре внимания на Международном конгрессе физиков в Париже в 1900 году.

Но молодой учёный не остановился на этом. Он поставил перед собой неизмеримо трудную задачу — доказать давление света на газы. И здесь ему нужно было измерить величины в сто раз меньшие, чем те, которые он измерял в своей первой работе.

Годы исканий, десятки и сотни опытов, проведённых с исключительной настойчивостью<sup>2</sup> и терпением<sup>3</sup>, принесли исследователю успех. Исследование Лебедева о давлении света на газы, законченное в 1919 году, было признано учёными мира «верхом экспериментального искусства современной физики». Лебедев был избран членом Лондонского Королевского института, членом целого ряда других научных обществ. Он стал кандидатом на Нобелевскую премию.

**Проверим своё понимание текста**

- 1) Когда впервые было высказано предположение о существовании давления света?
- 2) Кто теоретически обосновал гипотезу о световом давлении?
- 3) Какова была позиция Максвелла относительно давления света?
- 4) Почему в течение долгого времени учёным не удавалось экспериментально наличие светового давления?
- 5) Кто и когда измерил давление света на твёрдое тело?
- 6) Какую следующую задачу поставил перед собой Лебедев?
- 7) Какие трудности ему пришлось преодолеть, чтобы решить поставленную задачу?
- 8) Через сколько лет ему удалось наконец измерить давление света на газы?
- 9) Благодаря чему к Лебедеву пришёл успех?
- 10) Почему Лебедева называли «непревзойдённым мастером эксперимента», и как вы понимаете эти слова?

### 3. ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Экспериментальный метод исследования появился в физике в начале XVII века, когда Галилео Галилей применил его для изучения механического движения тел. В основе любого эксперимента лежат измерения. Именно они дают количественную характеристику окружающего мира, раскрывая действующие в природе закономерности. Д.И. Менделеев писал: «Наука начинается с тех пор, как начинает измерять».

Под измерением понимается нахождение числового значения физической величины опытным путём с помощью специальных технических средств. Термин «величина» применяется в отношении свойств, которые можно оценивать<sup>1</sup> количественно, то есть измерять. Можно измерять температуру, массу, геометрические размеры и прочее. Те же свойства и характеристики, которые невозможно оценить количественно, например, запах и вкус, называют не величинами, а свойствами.

Измерить физическую величину — это значит выяснить, сколько раз в ней содержится однородная с ней величина, принятая за единицу измерения. Во всех случаях проведения измерений независимо от измеряемой величины, метода и средств измерений есть общее, что составляет основу измерений — это сопоставление<sup>2</sup> измеряемой величины с её единицей измерения.

В физике и технике не существует абсолютно точных измерительных приборов, следовательно, нет и абсолютно точных результатов измерений. Значение величины<sup>3</sup>, получаемой в результате измерения, лишь в большей или меньшей степени приближается к истинному. В зависимости от степени приближения к точности различают истинное, действительное и измеренное значение физической величины.

Истинное значение физической величины — это значение, идеально отражающее в качественном и количественном отношениях соответствующие свойства объекта. Из-за несовершенства средств и методов измерения истинные значения величин практически получить нельзя. Их можно представить только теоретически.

Действительное значение физической величины — это значение величины, найденное экспериментальным путём и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

Измеренное значение физической величины — это значение, полученное при измерении с использованием конкретных методов и средств измерения.

По способу получения результатов измерений их разделяют на прямые и косвенные.

#### Новые слова

<sup>1</sup> оценивать (оценить) количественно — *estimate quantitatively*;

<sup>2</sup> сопоставлять (сопоставить) — *to compare*;

унификация — *unification*;

<sup>3</sup> истинное значение величины — *true meaning (importance) of size*;

истина — *true*

Прямые — это измерения, при которых искомое значение физической величины находят из опытных данных. Величина измеряется непосредственно прибором. Примерами служат измерение длины — линейкой, массы — при помощи весов и др. Прямые измерения широко применяются в машиностроении, а также при контроле технологических процессов (измерение температуры, давления и др.).

Косвенные — это измерения, при которых искомую физическую величину определяют на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, получаемыми путём прямого измерения, то есть приборами измеряется не собственно определяемая величина, а другие, функционально с ней связанные. Значение же искомой величины находят путём вычисления по формуле.

Косвенные измерения широко распространены в тех случаях, когда искомую величину невозможно или слишком сложно измерить непосредственно или когда прямое измерение даёт менее точный результат. Роль их особенно велика при измерении величин, недоступных прямому измерению, например, при определении размеров астрономического или внутриатомного порядка.

Все отрасли техники — от строительной механики и машиностроения до ядерной энергетики — не могли бы существовать без развёрнутой системы измерений, без которых невозможно проведение всех без исключения технологических процессов, управление ими и контроль, а также проверка свойств и качества выпускаемой продукции.

## Проанализируем структуру текста

- 1) Определите роль абзаца 1 в тексте.
- 2) Прочитав начальные фразы абзацев 2 и 3, объедините их в одну подтему текста. Сформулируйте общий вопрос к этим двум абзацам.
- 3) Абзацы 4–7. Можно ли их объединить в одну подтему текста? Что помогает вам решить эту задачу?
- 4) В чём отличие, с точки зрения содержания, абзаца 4 от абзацев 5–7?
- 5) Абзац 8, состоящий из одной фразы, обозначает переход к новой подтеме и является её началом. Перечислите, какие абзацы объединяются в эту подтему.
- 6) Абзац 12 — заключительный. О чём этот абзац? Обратите внимание на то, что подобные по содержанию абзацы практически всегда стоят в текстах на последнем месте.

## Преобразуем текст

- ♦ 2. Выделите в основной части текста все понятия и запишите их в той же последовательности, что и в тексте.

♦ **3.** Сформулируйте вопросы к тексту, опираясь на выделенные вами понятия, а также ключевые слова и первые строчки абзацев.

## Определяем значение слов

♦ **4.** Используя материал текста, составьте возможные словосочетания со словами: величина, значение величины, единица измерения.

♦ **5.** Познакомьтесь с определениями двух важных для вас понятий, которые вы встретите в следующем задании.

*Техника* — машины, механические орудия, устройства, облегчающие труд человека.

*Технология* — совокупность методов обработки и изготовления продукции, применяемых в процессе её производства.

♦ **6.** Найдите в каждом ряду слово или словосочетание, лишнее по смыслу:

а) техника, машина, строительная техника, экскаватор, лифт, компьютер, электролампа, гора, мобильный телефон, подъёмный кран;

б) плавка металлов, технологический процесс, таяние снега, резка стали, производственный процесс, устаревшая технология, технология металлов.

🔑 — на стр. 150.

### {ТОЛЬКО ФАКТЫ}

Измерения, проводившиеся на протяжении 25 лет, показывают, что орбита Луны увеличивается и она отдаляется от Земли со скоростью примерно 4 см в год.

Альберто Кото Гарсиа (Испания) — самый быстросчитающий человек в мире. Скорость вычислений его мозга составляет 5 операций в секунду. Он может перемножить в уме два 8-значных числа за 56 секунд и сложить 100 однозначных чисел за 19 секунд.

## 4. ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

При любом измерении важнейшее значение имеет его точность. Однако практически невозможно достичь абсолютной точности. И значит, истинное значение физической величины узнать нельзя. Значение величины, измеренной в эксперименте, неизбежно отличается от её истинного значения и является приблизительным. Найти приблизительное значение и оценить возможное отклонение от него измеренной величины можно с помощью серии измерений и обработки их результатов.

Отклонение результатов измерения от истинного значения измеряемой величины называют *погрешностью измерения*. Во многих случаях погрешности оказываются весьма значительными. Погрешности сопровождают каждое измерение, их невозможно избежать. Но, стремясь к большей точности, их можно уменьшить.

На процесс измерения и получение результатов измерения влияет множество объективных и субъективных факторов, которые и приводят к погрешностям. Прежде всего, существенно влияет на возможность точного измерения качество применяемой измерительной аппаратуры. *Инструментальные погрешности* определяются несовершенством приборов: несовершенством принципов их действия, неточностью градуировки шкалы прибора и др. В технике используют измерительные приборы с определённой, заранее заданной точностью в нормальных условиях работы. Если же прибор работает в условиях (температура, атмосферное давление, влажность, загрязнение воздуха), отличных от нормальных, возникает дополнительная погрешность, которая увеличивает общую инструментальную погрешность.

*Методические погрешности* связаны с несовершенством методов измерений и обработки полученных результатов.

При измерениях возникают и *субъективные погрешности*, которые обусловлены индивидуальными особенностями человека, выполняющего измерения: степенью его опытности и внимательности, несовершенством органов чувств человека и т. д. Это приводит к неправильной установке приборов или неточному считыванию показаний приборов.

Поскольку невозможно выяснить с абсолютной точностью истинное значение измеряемой величины, за её истинное значение принимают среднестатистическое значение, которое получают при статистической обработке результатов серии измерений. Это полученное значение, называемое действительным, не является точным, поэтому в измерениях необходимо указывать, какова их точность. Для этого вместе с полученным результатом указывается погрешность измерений. Например, запись о времени  $T = 2,8 \pm 1$  с означает, что истинное

значение промежутка времени  $T$  лежит в интервале от 2,7 до 2,9 секунды.

Следует заметить, что к настоящему времени понятие «погрешность» устарело, и на международном уровне вместо него было введено понятие «неопределённость измерений». Однако термин «погрешность» допускается в нормативных документах, используемых в России.

## Проверим своё понимание текста

- 1) Какой показатель измерений имеет важнейшее значение?
- 2) Можно ли измерить какую-либо величину с абсолютной точностью?
- 3) Можно ли определить в эксперименте истинное значение величины?
- 4) Какое значение величины получают в эксперименте?
- 5) Достаточно ли измерять искомую величину один раз (однократно)?
- 6) Каким путём можно приблизиться к более точному значению величины?
- 7) Какие данные получают в результате серии измерений и обработки их результатов?
- 8) Что такое погрешность измерений?
- 9) Можно ли в принципе проводить измерения без погрешностей?
- 10) Что можно сделать с погрешностями, если их невозможно вообще исключить?
- 11) Какие две группы факторов влияют на точность измерений?
- 12) Влияет ли качество измерительных приборов на точность измерения?
- 13) В чём может заключаться несовершенство приборов?
- 14) Считаются ли погрешности, связанные с измерительной аппаратурой, объективными или субъективными?
- 15) Знаете ли вы, что во всех выпускаемых приборах всегда указывается (задаётся) точность, с которой они должны работать в нормальных условиях?
- 16) Почему заданная точность работы прибора даётся с учётом нормальных условий? Могут ли изменения в условиях влиять на указанную точность работы приборов?
- 17) Какие отличия от нормальных условий приводят к дополнительным погрешностям, снижая точность работы приборов?
- 18) Что такое методические погрешности, с чем они связаны?
- 19) Что такое субъективные погрешности, чем они обусловлены?
- 20) От каких индивидуальных особенностей человека, проводящего измерения, зависит точность результатов?
- 21) Какие ошибки в работе может допустить в ходе измерений неопытный или невнимательный человек?
- 22) Какой способ используют для того, чтобы максимально приблизиться к истинному значению измеряемой величины?
- 23) Какое значение величины получают после серии измерений и их обработки?
- 24) Что значит «обработка результатов после серии измерений»?
- 25) Как называют среднестатистическое значение измеренной величины?
- 26) Как в результате обработки всех полученных данных записывается искомая величина? Что обязательно указывают в записи?



## Проанализируем структуру текста

- 1) Определите роль абзаца 1. Найдите в нём главную фразу, которая ставит задачу любого измерения.
- 2) Какой компонент содержания текста находится в абзаце 2?
- 3) Определите общую подтему абзацев 3–5? Почему их можно объединить? Какие ключевые слова этих абзацев помогают решить задачу?
- 4) Определите подтему абзаца 6, опираясь на ключевые слова и словосочетания.
- 5) Какую дополнительную информацию содержит абзац 7?

## Преобразуем текст

✦ 7. Найдите в тексте фразы, которые соответствуют по смыслу приведённым ниже. Обратите внимание на слова-синонимы.

- 1) Значение измеренной величины всегда отличается от истинного значения.
- 2) Часто при измерениях погрешности бывают очень большими.
- 3) Не бывает измерений без погрешностей.
- 4) Сам процесс измерений и точность результатов зависят от целого ряда объективных и субъективных факторов.
- 5) Точность измерений зависит, прежде всего, от качества самих измерительных приборов.
- 6) В приборах, выпускаемых в промышленности, всегда есть указание их заданной точности.
- 7) Работа прибора в условиях, отличных от нормальных (при повышенных температурах, давлении, влажности, загрязнении воздуха и т. п.), приводит к дополнительным погрешностям.
- 8) Неправильная установка прибора или неправильное считывание его показаний могут стать причиной погрешности измерений.

## 5. УЧЕБНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

### Готовимся читать текст

♦ **8.** Перед вами текст, который является частью предисловия из университетского учебного пособия для студентов 1-го курса инженерных специальностей.

Конечная цель учёбы студента-инженера — стать специалистом широкого профиля. Современный специалист должен уметь ставить и проводить в лабораторных или производственных условиях научный эксперимент.

Знания об эксперименте как научном методе исследования, умения и навыки<sup>1</sup> его проведения нужны каждому специалисту-инженеру. Учебные лабораторные работы по физике — один из видов занятий при изучении курса физики. Конечная их цель — приобрести знания, умения и навыки, необходимые для проведения учебного, а затем и научного физического эксперимента. Для достижения этой цели в ходе каждой работы студентам придётся решать целый ряд задач, позволяющих научиться:

- давать краткую характеристику изучаемого в данной работе явления, объяснять его суть;
- работать с приборами;
- проводить измерения, соблюдая заданные условия; аккуратно записывать результаты в заранее составленные таблицы;
- вычислять и учитывать инструментальную и случайные погрешности прямых и косвенных измерений;
- представлять результаты эксперимента в виде сводных таблиц<sup>2</sup> и графиков;
- анализировать полученные результаты, делать выводы и составлять отчёт о работе<sup>3</sup>.

По цели, объёму и содержанию лабораторные работы по физике могут резко различаться между собой. Однако все они содержат одинаковые конкретные этапы. Более того, сравнительный анализ выполнения учебной лабораторной работы и проведения научного эксперимента с использованием стандартной методики показывает, что в обоих случаях проводятся одни и те же этапы, в ходе эксперимента выполняются аналогичные действия.

Итак, можно утверждать, что деятельность инженера и студента при проведении экспериментов сопоставима по структуре. Для осуществления экспериментов используется система одинаковых действий. В то же время работа инженера отличается от работы студента своей спецификой.

#### Новые слова

<sup>1</sup> навык — *skill*;

<sup>2</sup> сводные таблицы — *summary tables*;

<sup>3</sup> отчёт о работе — *report on work*