

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Учебное пособие для вузов

Составители:
А.Н. Ларионов,
В.В. Чернышёв,
Н.Н. Ларионова

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета
2009

Введение

Измерения являются одним из важнейших путей познания законов природы, дают количественную оценку окружающего мира, раскрывая действующие в природе закономерности. Физика и математика стали точными науками потому, что благодаря измерениям они получили возможность устанавливать точные количественные соотношения, выражающие объективные законы природы.

Многие великие учёные высоко ценили значение измерений. Д.И. Менделеев выразил значение измерений следующим замечанием: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немислима без меры». Английскому физiku Кельвину принадлежит следующее изречение: «Каждая вещь известна лишь в той степени, в какой её можно измерить».

Всякий закон, устанавливающий связь между физическими величинами, формулируется в результате опыта, основой которого служат измерения. Он может считаться верным лишь с той степенью точности, с которой выполнены измерения, положенные в его основу. Можно без преувеличения сказать, что все физические законы, устанавливающие связи между различными величинами, были сформулированы благодаря усовершенствованию измерительной техники.

Известно множество примеров, когда создание нового прибора вызывало значительные изменения в развитии и даже содержании целых отраслей знаний. С другой стороны, появление новых областей науки обязательно влечёт за собой интенсивную разработку новых методов и средств измерений. Точные измерения неоднократно позволяли делать фундаментальные открытия. Например, использование созданного Майкельсоном интерферометра для обнаружения ожидаемого смещения интерференционной картины при изменении направления распространения света позволило установить отсутствие такого смещения. Анализ результатов точных экспериментальных исследований Майкельсона, выполненный Эйнштейном, привёл к установлению границ применимости классической механики и формулировке основных положений теории относительности. Повышение точности измерения плотности воды привело в 1932 г. к открытию тяжёлого изотопа водорода – дейтерия, ничтожное содержание которого в воде немного увеличивает её плотность.

Можно было бы привести ряд других примеров открытий, сделанных в результате повышения точности измерений. Это указывает на необходимость максимального увеличения точности измерений, для чего необходимо руководствоваться определёнными приёмами и правилами при выполнении эксперимента и обработке полученных результатов. В данном учебном пособии рассмотрены методы измерений физических величин, способы оценки погрешностей, сопровождающих измерения, пути уменьшения экспериментальных ошибок, а также правила представления результатов эксперимента.

тинное значение ($A_{ист}$) измеряемой величины (рис. 2.1). Погрешность измерения всегда проявляется в совокупном виде, то есть имеет место суммарная погрешность, обусловленная рядом факторов, влияющих на результат измерений.

Первым шагом на пути вычисления погрешности является классификация составляющих суммарной погрешности, выявление закономерностей и причин появления этих составляющих с целью нахождения способов уменьшения влияния погрешностей на результаты измерений.

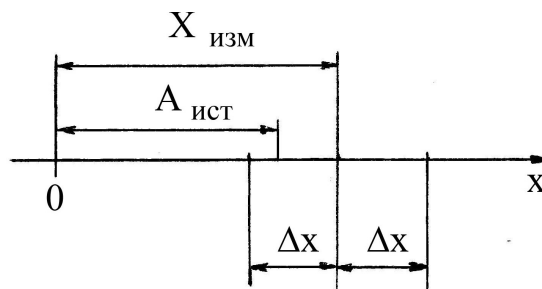


Рис. 2.1

Для классификации необходимо ввести критерии, в соответствии с которыми суммарную погрешность можно разделить на составляющие. Приведённые ниже критерии не являются единственно возможными, однако построенная по ним классификация утверждена 70 сессией Международного комитета мер и весов в 1981 г.

В зависимости от закономерности проявления различают систематические, случайные и грубые погрешности (промахи).

Случайной называется составляющая погрешности, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины, то есть погрешность, величина и знак которой не могут быть точно предсказаны. Поэтому случайную погрешность нельзя скорректировать. Случайную погрешность невозможно устранить, однако величину случайной погрешности можно оценить и найти способ её уменьшения. Оценить случайную погрешность удаётся путём математической обработки данных повторных измерений на основе теории вероятности.

Систематической называется составляющая погрешности, остающаяся постоянной или закономерным образом изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины. Причинами систематической погрешности являются, главным образом, несовершенство метода, средства или объекта измерения. Систематические погрешности можно разделить на следующие группы.

1. Ошибки, природа которых известна и величина может быть достаточно точно определена. Такие ошибки могут быть устранены введением поправок. Величина поправок, которые имеет смысл вводить, устанавливается в зависимости от величин других ошибок, сопровождающих измерение. Существует правило, согласно которому поправка, величина которой не превышает 0,5 % от средней квадратичной погрешности результата измерений (смотрите п. 3), не вводится.

2. Ошибки известного происхождения, но неизвестной величины. К ним относятся погрешности измерительных приборов. Максимальные погрешности измерительных линеек, микрометров и некоторых других

приборов иногда наносят на самих приборах (рис. 2.2) или указывают в прилагаемом к прибору паспорте. Цена деления шкалы измерительных приборов должна быть согласована с



Рис. 2.2

возможностями самого прибора. Поэтому не-целесообразно пытаться на глаз оценивать доли деления, если они не отмечены на шкале.

Систематические ошибки такого типа не могут быть исключены, но их наибольшее значение может быть установлено и учтено при определении суммарной погрешности.

3. К третьей группе систематических погрешностей относятся ошибки, о существовании которых экспериментатор не подозревает, хотя их величина может быть значительной. Чаще всего они проявляются при сложных измерениях, когда величина, которая считается определённой с высокой точностью, содержит значительную погрешность. Например, при определении плотности, как отношении массы тела к его объёму, измерение объёма может содержать существенную погрешность, если в образце имеются полости. Одним из наиболее надёжных способов убедиться в отсутствии таких погрешностей является проведение измерений другим методом и в других условиях.

4. Систематическая погрешность может быть обусловлена свойствами объекта измерений. Например, такая погрешность имеет место при измерении диаметра цилиндра, сечение которого имеет форму, отличную от круга. Измерение диаметра цилиндра в нескольких направлениях не даёт уверенности в том, что его сечение является действительно круговым, но позволяет получить значение, более пригодное для характеристики размеров цилиндра.

В отсутствие систематических ошибок случайные ошибки служат причиной разброса результатов измерений относительно истинного значения (рис. 2.3а). Наличие систематической погрешности приводит к тому, что результаты измерений будут разбросаны относительно не истинного, а смещённого значения (рис. 2.3б). Таким образом, если случайные погрешности определяют достоверность результата, то систематические погрешности устойчиво его искажают. Поэтому отсутствие систематических погрешностей или то, что они пренебрежимо малы, необходимо доказать.

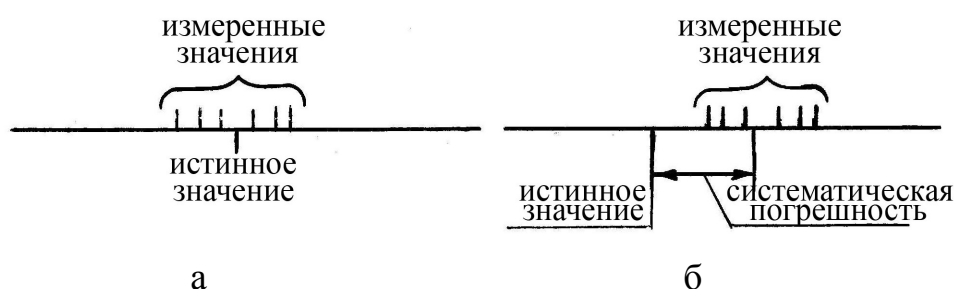


Рис. 2.3

Можно выделить следующие основные способы исключения или учёта систематических погрешностей:

- 1) устранение источников погрешности до начала эксперимента (профилактика погрешностей);
- 2) исключение погрешностей в процессе измерения;
- 3) внесение поправок в результат измерения.

Промахами, к которым относятся также грубые погрешности, называются погрешности измерений, существенно превышающие по своему значению оправдываемые объективными условиями измерений систематические или случайные погрешности. Основными причинами грубой погрешности являются неправильное или небрежное считывание показаний, дефекты средств измерений, незнание или пренебрежение источниками погрешности, случайное, сильное внешнее воздействие (помеха). Наличие грубой погрешности выявляется при обработке результатов измерений. При этом они отбрасываются из рассмотрения путём отбрасывания результатов наблюдений, содержащих грубые погрешности.

3. Оценка случайной погрешности при прямых измерениях

При повторных измерениях в одинаковых условиях наблюдается рассеяние результатов отдельных измерений. Эти отклонения носят случайный характер, как по величине, так и по знаку. Поэтому случайную погрешность нельзя скорректировать. Оценить случайную погрешность удастся путём математической обработки данных повторных измерений на основе теории вероятности. В качестве примера рассмотрим измерение времени падения одинаковых шаров с одной и той же высоты с помощью математического маятника с периодом T . Отложим по оси x результаты измерений через интервалы $[x_i...x_{i+1}]$, равные периоду T , а по оси y – количество измерений, соответствующих данному результату (рис. 3.1). Если в пределах указанных интервалов $[x_i...x_{i+1}]$ провести горизонтальные отрезки и соединить их вертикальными линиями, то получится ломаная кривая, называемая *гистограммой*.

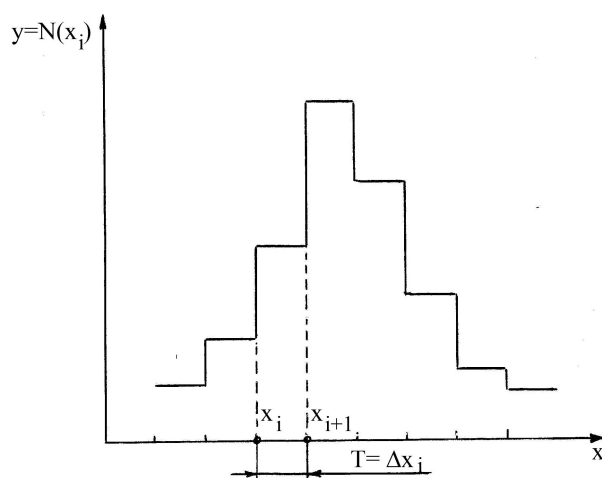


Рис. 3.1