**Физические эксперименты и психологические иллюзии**

П.Дёмин

Многие опыты «Физпрактикума» построены так, что для них не требуются сложные приборы и установки. Это не только позволяет любому читателю повторить эксперименты, но и придает им дополнительную эффектность – интересно исследовать нетривиальные физические явления при помощи самых незамысловатых средств. Однако в таких опытах можно встретиться и с трудностями, в частности с ошибками восприятия. Если в серьезной экспериментальной установке регистрирующим элементом служит точный прибор, то в опытах «физпрактикума» результат регистрирует сам экспериментатор – его глаза, уши, руки. А «показания» органов чувств человека неоднозначны и зависят от множества побочных факторов, начиная с условий наблюдения и кончая настроением наблюдателя.

Иллюзий, связанных с человеческими чувствами, известно очень много; даже перечислить их в одной статье было бы трудно. Не все они могут считаться иллюзиями в полном смысле слова, то есть каким-то случайным или подстроенным обманом – иногда это просто особые свойства наших органов чувств, о которых мы не знаем или забываем. Такие иллюзии порой играют значительную роль и в научных исследованиях. Примером тому служит оптический эффект, с которым так или иначе сталкивался каждый, – параллакс.

Параллаксом называют кажущееся относительное смещение объектов, находящихся на разном расстоянии от наблюдателя. Это смещение возникает при движении его глаз. Так, глядя в окно поезда, можно заметить, что ближние деревья уходят назад гораздо быстрей, чем дальние, а самые далекие и вовсе почти не отстают – пейзаж за окном словно поворачивается вокруг точки, в которой взгляд пересекает линию горизонта. Немалое значение имеет другой, более простой случай параллакса – изменение показаний прибора в зависимости от положения глаза; при движении глаза влево стрелка на фоне шкалы сдвигается вправо, и наоборот. Если у вас дома не найдется никакого стрелочного прибора, эксперимент можно поставить с весами в магазине. Когда вашу покупку положат на них, сделайте шаг влево. Показания весов уменьшатся на одно-два деления. Сделайте пару шагов вправо, и показания увеличатся. Вес покупки, оказывается, зависит от вашего положения перед прилавком.

Чтобы избавиться от ошибки параллакса, в точных приборах стрелку делают очень тонкой, а под шкалой располагают зеркальную полоску. При считывании показаний прибора голову нужно держать так, чтобы сама стрелка и ее отражение в зеркале совпадали. Тогда взгляд строго перпендикулярен плоскости шкалы и ошибка исключена. К сожалению, не все ошибки параллакса так легко поддаются исправлению. Скажем, при регистрации быстро-протекающих процессов с помощью некоторых высокоскоростных кинокамер возникают параллактические искажения, связанные с относительным движением пленки и элементов оптической системы. Борьба с такими искажениями – сложная техническая задача.

Еще один пример вредной иллюзии. Поставьте на лист бумаги перевернутый стакан и, обводя карандашом его край, нарисуйте друг за дружкой три дуги: маленькую, с центральным углом около десяти градусов, среднюю, с углом градусов сорок, и большую, градусов сто двадцать. Сравните их кривизну. Даже прекрасно зная, что они начерчены с помощью одного стакана, а значит, радиус их кривизны один и тот же, трудно избавиться от впечатления, будто маленькая дуга имеет минимальную кривизну, а большая – максимальную. Интересно, что с дугами, превышающими половину окружности, иллюзия не возникает; наблюдатель отчетливо видит настоящий диаметр таких больших дуг и замечает, что он одинаков у всех кривых.

Многие знают опыт с двумя мыльными пузырями, которые соединяют между собой одной трубкой. Давление внутри пузыря обратно пропорционально его радиусу, и потому воздух из меньшего пузыря переходит в больший, пока от меньшего не останется лишь небольшой сегмент, имеющий тот же радиус кривизны, что и большой пузырь. Однако если вы проделаете этот опыт сами, вам наверняка покажется, что кривизна уцелевшего пузыря намного больше кривизны маленького кусочка мыльной пленки в противоречие с названным законом. Можете не проверять формулу для давления внутри пузыря: всему виной оптическая иллюзия, описанная в примере с дугами. Эта же иллюзия проявляется и в другой ситуации. Качество поверхности часто контролируют по правильности картины интерференционных полос, возникающей при отражении света, например, по совершенству формы колец Ньютона. Этот простой опыт легко проделать дома, достаточно на плоскую пластинку положить линзу выпуклостью вниз и рассматривать точку касания на темном фоне. Вы увидите концентрические цветные кольца (кольца Ньютона). Складывая две плоские пластинки, можно наблюдать ряды параллельных или расходящихся полос, восьмерки и более сложные картины. Полосы изгибаются тем круче, чем быстрей меняется толщина воздушного зазора между двумя стеклянными поверхностями, то есть чем больше на них неровностей. Но если вы захотите сравнить качество поверхности в разных местах, нужно помнить, что длинная интерференционная полоса может показаться изогнутой сильнее, чем короткая, даже если в действительности это не так.

Еще ошибочней бывают результаты сравнительной оценки площадей и объемов. Это тем более неожиданно, что линейные размеры тренированный глаз оценивает довольно точно. Попробуйте угадать, во сколько раз объем куба, изображенного на рисунке справа, больше объема левого куба? Какое соотношение между объемами цилиндров? Эллипсоидов? Минутку, не читайте дальше текст! Сделайте оценку и запомните числа.

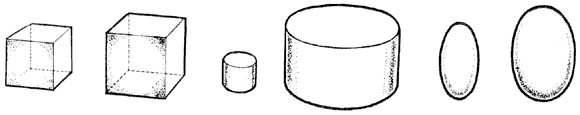


Рис. 1. Результаты сравнительной оценки площадей и объемов

А теперь проверьте результаты. Объем правого куба больше объема левого в два раза, объемы цилиндров относятся как один к тридцати, эллипсоидов – как один к трем. А насколько площадь черного кольца меньше площади белого круга, который оно ограничивает?

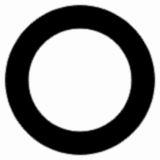


Рис. 2. Насколько площадь черного кольца меньше площади белого круга, который оно ограничивает?

Измерив их, нетрудно убедиться, что площади равны. В данном случае иллюзия усиливается не только «провокационным» вопросом, но и специальной раскраской: черные предметы кажутся человеческому глазу меньше белых. Этот эффект называют иррадиацией, Значение таких ошибок в оценке площади и объема для наших опытов очевидно.

Целый ряд зрительных иллюзий связан с движением. Подвесьте на темном фоне яркий грузик на белой нитке и попробуйте разглядывать этот маятник двумя глазами, поместив перед одним из них темное стекло (подойдет стекло от солнцезащитных очков). Вы заметите, что маятник описывает вытянутый эллипс. Убрав стекло, легко убедиться, что он по-прежнему качается в одной плоскости. Закройте стеклом другой глаз, и маятник вновь двинется по эллипсу, только в другую сторону (если стекло перед левым глазом, маятник кажется вращающимся по часовой стрелке, если перед правым – против часовой стрелки). Иллюзия будет еще сильней, если сосредоточить взгляд на нити недалеко от точки подвеса, Эта иллюзия объясняется тем, что наш глаз замечает светлые предметы быстрей, чем темные (разница во времени, конечно, очень невелика – доли секунды.

Качающийся маятник виден глазу, закрытому стеклом, немного отстающим по сравнению со своим истинным положением, а другой глаз видит его как обычно. Это рассогласование и рождает впечатление объемности при плоском движении маятника. Подобные иллюзии могут привести к ошибкам при изучении движения предмета, по-разному рассеивающего свет в различных направлениях.

Механизм человеческого зрения вообще достаточно сложен и окончательно не ясен: в нем участвуют не только хрусталик и сетчатка, но и сам мозг. Поэтому при случайных переключениях внимания наблюдателя также могут возникать некоторые иллюзии. Общеизвестный пример – «выворачивающийся куб», который кажется обращенным к нам разными гранями в зависимости от того, на какой из его вершин сосредоточен взгляд. Другую иллюзию того же типа можно наблюдать с помощью картонного пропеллера, вращающегося на небольшом гвоздике. Такую вертушку нужно рассматривать в сумеречной комнате на фоне светлого окна, чтобы видеть только ее контур и не иметь возможности определить, какая из лопастей пропеллера находится ближе, а какая дальше. Иногда кажется, что пропеллер вращается в одну сторону, а иногда – в другую. Сосредоточившись, можно небольшим усилием воображения «переключать» направление вращения вертушки по своему желанию. Да, что там направление вращения вертушки! Способность человека, видеть то, что он ожидает увидеть, значительно шире, и это доказывают многие курьезные примеры.

В книге М.Миннарта «Свет и цвет в природе» указано, что различные люди видят в расположении пятен на Луне достаточно четкий рисунок, образующий человеческое лицо в профиль, анфас или в три четверти, женскую фигуру, старуху с вязанкой хвороста, зайца, омара и многое другое. Эдгар По в рассказе «Сфинкс» описывает, как неверное представление о расстоянии до объекта может вызвать ошибочную оценку его размеров. Небольшое насекомое, медленно ползущее по паутинке за оконным стеклом, представилось рассказчику огромным чудовищем, стремительно перемещающимся по отдаленному холму, а слабый звук, изданный насекомым, показался ему громким криком. Последняя деталь показывает, что такому обману подвержено не только зрение, но и слух. Незнакомые, непонятные звуки часто пугают человека лишь потому, что, не имея точных сведений о расстоянии до их источника, он преувеличивает их громкость. Впрочем, акустические обманы встречаются реже, чем зрительные, поскольку от наших ушей в мозг поступает значительно меньше информации, чем от глаз. Из особенностей слуха стоит подчеркнуть лишь одну. Наша способность определять на слух, где расположен источник звука, основана на разной силе сигналов, приходящих в правое и левое ухо; мы ожидаем найти источник с той стороны, откуда звук громче. Если же сила обоих сигналов одинакова (например, когда источник находится в вертикальной плоскости, проходящей через центр головы), звук кажется раздающимся прямо в мозгу, и точное положение источника указать трудно. Завяжите глаза вашему товарищу и попросите его определить место, в котором вы постучали ложечкой по стакану. Он будет правильно находить это место во всех случаях, кроме тех, когда расстояние от стакана до обоих ушей окажется одинаковым.

Может подвести даже такое простое чувство, как осязание. Скрестите указательный и средний пальцы одной руки и коснитесь ими острого ребра какого-нибудь предмета (стола, шкафа) так, чтобы ощутить его кончиками обоих пальцев. Закройте глаза и сосредоточьтесь на ощущениях своих пальцев. Вам покажется, что вы ощупываете не одно, а два ребра. Проведите пальцами вдоль ребра до его конца – это усилит эффект. Слегка поверните пальцы вокруг их оси в одну и другую сторону – два воображаемых ребра разойдутся немного в стороны, а затем вновь сблизятся. Проведите теперь пальцами от переносицы до кончика носа, и вам покажется, что у вас два носа вместо одного. Эта иллюзия связана с необычным взаимным расположением пальцев: сигналы, посылаемые ими в мозг, «расшифровываются» по прежней схеме, которая теперь не соответствует действительности.

Особенно трудно распознаются иллюзии, причина которых заключена в непривычном сочетании ощущений разных органов чувств. Положите в раковину воздушный шарик, наполните его водой и попробуйте поднять. Быть может, с первой попытки это не удастся – вы невольно сделаете слишком слабое усилие и будете удивлены большим весом шарика. Между тем, если бы то же количество воды было налито в кастрюлю, вы сразу приложили бы нужную силу. Тяжесть воды ассоциируется с ощущением жесткого корпуса кастрюли, а тонкие резиновые стенки воздушного шарика ассоциируются с его ничтожным весом. Это поначалу и вводит в заблуждение.

Наш вестибулярный аппарат тоже не всегда работает точно, особенно если зрительные образы противоречат его ощущениям. Это рождает ошибки в определении вертикали и горизонтали. Велосипедисту, спускающемуся по склону, дорога кажется менее крутой, чем на самом деле, – привыкший к горизонтальному положению земли глаз автоматически делает поправку, отсчитывая углы от плоскости дороги. Другой пример. Иногда приходится подниматься по выключенному эскалатору. Обратите внимание, насколько неуверенными бывают несколько первых шагов. Привычка наклоняться вперед, чтобы не упасть, шагнув на уходящую из-под ног ленту, настолько сильна, что мы бессознательно следуем ей, даже когда видим, что ступени неподвижны. Ощущение вертикального и горизонтального направлений зависит не только от зрительных впечатлений, но и от стереотипов, сформировавшихся в мозгу человека. Из этого следует, кстати, что все опыты по механике нужно проводить на поверхности, горизонтальность которой проверена каким-либо уровнем, а не только нашими собственными ощущениями.

Может показаться, что иллюзии и обманы чувств проявляются в особых условиях и вряд ли встретятся нам при проведении опытов. Возможно, не в каждом эксперименте они играют заметную роль. Однако встречаются ситуации, которые без их учета не объяснить. Вот одна из подобных ситуаций.

Поставьте на плиту чайник с небольшим количеством воды и дайте ей закипеть. Затем, выключив огонь, слегка приподнимите чайник. Постарайтесь запомнить ощущение тепла, которое передалось вам от нагретой ручки. Теперь быстро долейте в чайник один-два литра холодной воды из заранее приготовленной кастрюли. Закройте крышку и снова приподнимите чайник, оценивая температуру ручки. Вы с удивлением обнаружите, что она не только не стала холоднее, но даже несколько нагрелась! Можно долго ломать голову над тем, почему ручка чайника нагревается при доливании в него холодной воды, можно даже придумать несколько объяснений разной сложности и разной правдоподобности. А истинное объяснение совсем просто. Конечно же, за короткое время опыта ручка не успела ни остыть, ни нагреться. Более горячей она кажется лишь потому, что чайник стал тяжелее, и его ручка с большей силой давит на вашу ладонь.

Описание ошибок наших органов чувств можно было бы продолжить; их причины бывают не только психофизиологическими, но и чисто физическими, и это, помимо практических соображений, также привлекает к ним внимание физика. Во всяком случае, такие ошибки представляют собой настолько обширный и интересный предмет исследований, что человек, познакомившийся с ними поближе, не пожалеет о затраченных усилиях, даже если ему потом не придется столкнуться с иллюзиями и использовать полученные знаний в конкретной работе.

**Список литературы**

Я.И.Перельман. Занимательная физика. Москва – Ленинград. 1947г.

М.Миннарт. Свет и цвет в природе. Москва. 1958г.

Д.Р.Джадд. Г.Вышецки. Цвет в науке и технике. Москва. 1978г.

С.Толанский. Оптические иллюзии. Москва 1967г.