

Равные тяжести на равных длинах уравниваются, на неравных же длинах не уравниваются, но перевешивают тяжести на большей длине.

Архимед

Данная сила уравнивается другою, если произведение первой силы на ее возможное перемещение равно произведению другой силы на возможное перемещение этой второй силы.

Симон Стевин

Равновесие получается в результате уничтожения нескольких сил, которые борются и взаимно сводят на нет действие, производимое ими друг на друга; статика имеет своей целью дать законы, согласно которым происходит это уничтожение.

Жозеф Луи Лагранж

В процессах... легко узнать восстановление равновесия теплорода, его переход от тела более или менее нагретого к телу более холодному.

Сади Карно

Исходным пунктом для меня была... устойчивость материи, которая, с точки зрения прежней физики, предстает подлинным чудом.

Нильс Бор

Ядро урана, которое мы предполагаем шарообразным, сплющивается от удара нейтрона, и форма ядра испытывает периодические изменения, в результате чего оно становится менее устойчивым и иногда совсем выходит из равновесия...

Энрико Ферми

## А так ли хорошо знакомы вам? равновесие и устойчивость?

Эти два понятия не раз встречались в предыдущих выпусках «Калейдоскопа», но еще не были его «главными героями». Теперь, сведенные вместе, они призваны продемонстрировать, насколько важно выявление условий и характера самых разных состояний равновесия. Возникнув в статике и гидростатике, эта проблема со временем проявилась во всех областях физики. Разве не об этом свидетельствует появление таких терминов, как «динамическое равновесие» и «неравновесный газ», «гидродинамическая неустойчивость» и «равновесное излучение», «устойчивая орбита» и «стабильный изотоп»?

Более того, понятия-ветераны постоянно расширяли сферу своего «влияния», давно уже выйдя за рамки решений чисто физических или инженерных задач. Так, химию интересуют условия протекания колебательных реакций; биологию волнуют проблемы устойчивого существования сложных органических соединений; в математике возникла теория катастроф, исследующая конструктивную роль неустойчивых процессов; появилась молодая наука – синергетика, занимающаяся изучением упорядоченных структур, рождающихся в неустойчивых системах. Таким образом, неравновесные состояния и различного вида

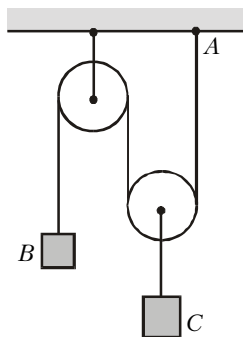
неустойчивости, приводящие к образованию качественно новых объектов и явлений, *устойчиво* привлекают внимание и силы современных исследователей.

Мы же пока обратимся к более простым, близким к школьным, ситуациям, связанным с равновесием и устойчивостью. Возможно, они вызовут у вас интерес – а ведь это самое что ни на есть *неравновесное* (в хорошем смысле слова!) состояние.

### Вопросы и задачи

1. Почему значительно легче удерживать на пальце половую щетку, перевернутую «вверх ногами», чем палку той же длины?

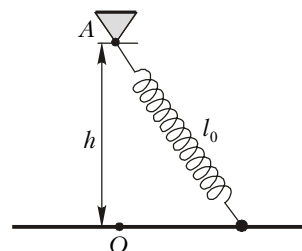
2. Система из подвижного и неподвижного блоков находится в равновесии. Сохранится ли оно, если точку закрепления каната А сместить вправо?



3. Каков характер равновесия шарика, находящегося на поверхности, изображенной на рисунке?



4. Бусинка, способная двигаться по гладкой горизонтальной спице, соединена с пружиной длиной  $l_0$ , закрепленной другим концом в точке А, отстоящей от спицы на  $h$ . Каковы положения равновесия бусинки?



5. Для чего к воздушному змею приделывают хвост?

6. Почему доска обычно плавает в воде широкой гранью горизонтально, а не вертикально, хотя оба положения доски равновесные?

7. Может ли корабль устойчиво плавать на водной поверхности, если его центр тяжести лежит выше центра вытесненной им воды (центра давлений)?

8. Почему пузырьки газа в воде имеют форму шара?

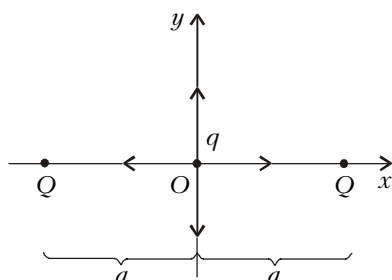
9. Отчего струя воды, вытекающая

щая из водопроводного крана или пипетки, распадается на отдельные капли?

10. Почему сливаются вместе две или несколько коснувшихся друг друга капель?

11. Равны ли между собой температуры жидкости и ее насыщенного пара – ведь при испарении из жидкости вылетают наиболее «энергичные» молекулы?

12. Точечный заряд  $q$  может двигаться по двум перпендикулярным прямым  $x$  и  $y$  между двумя одинаковыми точечными зарядами  $Q$ , как показано на рисунке. Будет ли точка  $O$  положением равновесия заряда  $q$ ?



13. Почему  $\alpha$ -частицы самопроизвольно вылетают из радиоактивных ядер?

14. Все ли виды радиоактивности изменяют химические свойства вещества?

### Микроопыт

Погрузите в мыльный раствор проволочное кольцо, по диаметру которого предварительно расположите нитку с петлей посередине. Затем осторожно проколите мыльную пленку внутри петли. Какую фигуру образует при этом нить? Почему?

### Любопытно, что...

...в своем знаменитом сочинении «О плавающих телах» Архимед рассматривал не только условия плавания, но и вопрос об устойчивости равновесия плавающих тел различной геометрической формы.

...законы гидростатики, установленные Архимедом, не были оценены по достоинству, и их пришлось «открывать» заново. В конце XVI века голландский ученый Стевин при изучении равновесия тяжелой жидкости ввел новый принцип – принцип отвердения, с помощью которого получил изящное доказательство закона Архимеда, вошедшее в учебники.

...в 1788 году французский математик и механик Лагранж доказал теорему, определяющую достаточность условия устойчивого равновесия системы тел через минимум потенциальной энергии. В том же году увидела свет его «Аналитическая механика», ставшая триумфом чистого анализа. В предисловии к ней Лагранж подчеркнул: «В этой работе вовсе нет чертежей, а только алгебраические операции».

...в некоторых задачах теории упругости вопросы устойчивости приобретают принципиальное значение. Например, тонкие оболочки при слишком большой нагрузке внезапно, «хлопком», выгибаются, что говорит о переходе устойчивого равновесия в неустойчивое.

...состояние ровной поверхности моря, когда над ней равномерно дует ветер, оказывается неустойчивым. Случайно появившиеся на поверхности малые возмущения – гребни и впадины – имеют тенденцию со временем нарастать.

...если в некотором слое морской воды ее плотность заметно возрастает по глубине, то возникает эффект «жидкого грунта», когда подводная лодка, находясь в этом слое, может продолжить длительное время сохранять равновесие.

...помимо первого, второго и третьего начал (законов), термодинамика содержит и так называемое нулевое начало: «для каждой термодинамической системы существует состояние термодинамического равновесия, которого она достигает самопроизвольно при фиксированных внешних условиях».

...минимум энергии взаимодействия молекул, составляющих твердое тело, достигается при их строго периодическом расположении. Иными словами, устойчивому равновесию твердого тела соответствует его кристаллическое состояние.

...условия равновесия трех фаз вещества – твердой, жидкой и газообразной – могут выполняться только в одной, так называемой тройной, точке. Так, тройной точке воды соответствуют температура 273,16 К и давление 609 Па.

...электрический заряд, находящийся под действием лишь электростатических сил, не может находиться в устойчивом равновесии, если рассматривать перемещения

по всем направлениям (теорема Ирншоу).

...для сохранения устойчивости движения заряженных частиц, разгоняемых в ускорителях, создают специальные конфигурации магнитного поля, стремящегося вернуть частицы на расчетную орбиту при малейшем ее возмущении.

...стабильные круговые орбиты, характерные для планет Солнечной системы, – явление весьма редкое для космоса. Из-за начальной хаотичности любой планетной системы, т.е. резкой зависимости ее будущего от начальных условий, такой конечный результат требует исключительного сочетания исходных обстоятельств.

...когда доля нейтронов в атомном ядре становится слишком большой, «избыточному» нейтрону энергетически выгодно превратиться в протон, после чего пропорция частиц в ядре оказывается более устойчивой. При этом из ядра вылетает электрон, т.е. происходит  $\beta$ -распад.

...если бы ядро бериллия – промежуточного участника термоядерного синтеза углерода из трех ядер атомов гелия – было устойчивым, углерод в звездах синтезировался бы иным путем, причем гораздо быстрее. Звезды практически взрывались бы, вместо того чтобы светить миллиарды лет.

### Что читать в «Кванте» о равновесии и устойчивости

(публикации последних лет)

1. «Гармонические колебания и равновесие» – 1996, Приложение №4, с.82;
2. «Капельная модель ядра» – 1996, Приложение №4, с.123;
3. «И Эдисон похвалил бы вас...» – 1997, №2, с.14;
4. «Планетарная модель атома и теория Бора» – 1997, №2, с.18;
5. «Гидродинамические парадоксы» – 1998, №1, с.5;
6. «Физика рулетки» – 1998, №2, с.16;
7. «Такие простые качели» – 1999, №1, с.30;
8. Калейдоскоп «Кванта» – 1999, №3, с.32; №5, с.32;
9. «Качающаяся скала» – 2000, №2, с.6;
10. «Почему кувиркается книга?» – 2000, №3, с.37.

Материал подготовил  
А.Леоневич