

Если ж, напротив, вещей начала мягкими были б,  
Взяться откуда могли и твердый кремь, и железо...  
Тит Лукреций Кар

Ничто не мешает нам считать частицы эфира состоя-  
щими из материи, сколь угодно приближающейся к  
совершенной твердости...  
Христиан Гюйгенс

Твердость, кристаллизация, преломление света... яв-  
ляются результатом действия сил, знание которых  
есть один из важнейших объектов изучения природы.  
Пьер Симон Лаплас

При твердом состоянии движение происходит таким  
образом, что молекулы движутся около известных  
положений равновесия, .. это движение можно было  
бы охарактеризовать как колебательное.  
Рудольф Клаузиус

...наши представления о типическом твердом теле –  
кристалле – так определены и просты...  
А.Ф.Иоффе

...рассмотрим движение несуществующего идеально-  
го объекта, который мы назвали твердым телом.  
Ричард Фейнман

## А ТАК ЛИ ХОРОШО ЗНАКОМО ВАМ ТВЕРДОЕ ТЕЛО?

Вспомните, сколько раз приходилось встречаться с этим понятием в школе – практически во всех разделах физики. Абсолютно твердое тело – в механике; твердое состояние вещества, кристаллы и аморфные тела – при изучении тепловых явлений; металлы, полупроводники и ферромагнетики – в электромагнетизме; стеклянные призмы и линзы – в оптике.

Над тем, что же представляет собой твердое тело, ученые ломали голову, как вы могли убедиться по эпиграфам, с древности до наших дней. Уж очень важно было разобраться с его «многоликими» свойствами – чтобы построить прочные машины и овладеть искусством выплавки металлов, научиться передавать энергию на расстояние и создавать уникальные приборы.

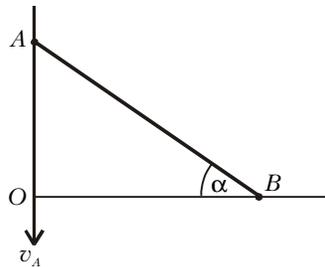
Сложившаяся в XX веке физика твердого тела, опираясь уже не на классические, а на квантовые понятия, позволила объяснить большинство явлений, возникающих в этой «общности» огромного числа связанных воедино частиц. Строение кристаллов и образование сплавов, упругость и прочность, теплоемкость и теплопроводность, электрическое сопротивление и сверхпроводимость, магнетизм и способность реагировать на свет – всем этим успешно занимается невероятно разросшаяся новая научная отрасль. В ней, кстати, зачастую стираются грани между чистой теорией и техническими приложениями. Их плодотворное взаимодействие привело, в частности, к появлению транзисторов и лазеров на твердом теле, новых композиционных материалов и высокотемпературных сверхпроводников, металлических стекол и твердотельной видеоаппаратуры.

Предлагая сегодня лишь небольшую часть из множества посвященных твердому телу задач, мы рассчитываем на то, что они не станут для вас «твердыми орешками».

### Вопросы и задачи

1. Масса сплошного куба, сделанного из твердого вещества, равна 2,5 кг. Какую массу будет иметь куб, изготовленный из того же вещества, если длину его ребра уменьшить в два раза?

2. По сторонам прямого угла  $AOB$  скользит стержень  $AB$ , как показано на рисунке. В момент, когда стержень составляет угол  $\alpha$  со стороной  $OB$ , скорость точки  $A$  равна  $v_A$ . Чему рав-



на в этот момент скорость точки  $B$ ? Решите задачу построением.

3. Один грузик подвешен на нерастяжимой нити, а другой – на жестком невесомом стержне такой же длины. Одинаковые ли минимальные скорости нужно сообщить грузикам в нижнем положении, чтобы они совершили полный оборот в вертикальной плоскости?

4. Какая колба выдерживает большее давление снаружи – круглая или плоскодонная?

5. Для чего домашние хозяйки, пытаясь снять закручивающуюся метал-

лическую крышку со стеклянной банки, поливают крышку горячей водой?

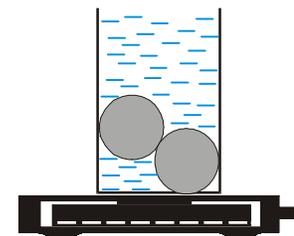
6. Металлический шарик, проходящий сквозь металлическое кольцо, застревает в нем, если шарик нагреть. Что произойдет, если нагреть не шарик, а кольцо?

7. Отчего положенная на снег деревянная доска после оттепели оказывается как бы на снежном холмике, в то время как металлическая пластина еще глубже уходит в снег?

8. Удельная теплоемкость у железа или стали значительно больше, чем у меди. Почему же паяльники делают из меди, а не из стали или железа?

9. Что дает предварительное ополаскивание заварочного чайника кипятком? Какой – медный или фарфоровый – чайник оказывается при этом выгоднее (с учетом внешнего охлаждения)?

10. В сосуд с водой помещены стальные шары одинаковой массы, как изображено на рисунке. После длительного кипячения воды сосуд сняли с пли-



ты, воду из него быстро вылили, а шары сразу же положили на лед. Под каким из них расплавится больше льда?

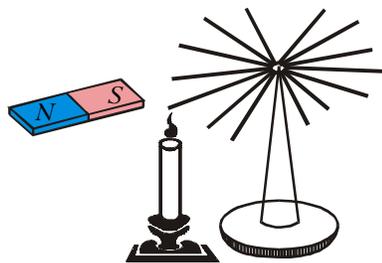
11. К концам графитового стержня, сопротивление которого уменьшается с повышением температуры, приложено постоянное напряжение. В ка-

ком случае выделяемое стержнем количество теплоты будет больше: когда он ничем не покрыт или когда покрыт асбестом?

12. Сплошной металлический цилиндр вращается вокруг своей оси симметрии. Как направлено возникающее в цилиндре электрическое поле?

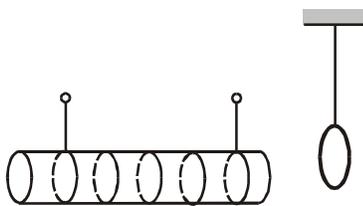
13. Можно ли, понижая температуру, получить сверхпроводящий германий или сверхпроводящий кремний?

14. К вертушке, сделанной из железных проволочек, подносят магнит, как показано на рисунке, а недалеко



от магнита располагают горелку, нагревающую одну из проволочек. Что будет происходить с вертушкой?

15. Перед полюсом электромагнита на длинной нити подвешено кольцо из сверхпроводника так, как показано на рисунке. Что произойдет с кольцом,



если по обмотке электромагнита пропустить переменный ток?

16. Если ударить молотком по одному концу длинной металлической трубы, то у другого ее конца можно услышать двойной удар. Почему?

17. По какой причине калориметры обычно изготавливают из металла, а не из стекла?

18. Отчего мел среди раскаленных углей кажется темным?

19. Стекло мало прозрачно для тепловых (инфракрасных) лучей. Почему же парники покрывают стеклом?

### Микроопыт

Толстый гвоздь плотно оберните полоской бумаги и внесите его в пламя свечи. Загорится ли бумага?

### Любопытно, что...

...более трех тысяч лет назад для изготовления орудий и инструментов использовали железо, извлеченное из

метеоритов (оно «происходит с неба»). На это указывают записи, обнаруженные в клинописных табличках хеттов – народа, жившего в то время на территории Малой Азии.

...по представлениям древних ученых, различные кристаллы должны были быть «родственниками». Так, считалось, что хрусталь образуется из льда, а алмаз – из хрусталя.

...для получения стали к достаточно мягкому чистому железу примешивают углерод. При быстром охлаждении расплавленной массы углерод выделяется в виде маленьких зерен, образуя в кристаллической решетке множество микроскопических дефектов. Они препятствуют передвижению по решетке дефектов иного рода – дислокаций, и поэтому металл становится твердым.

...при растяжении стержней, изготовленных из большинства твердых материалов, прежде всего металлов, их объем увеличивается, несмотря на уменьшение поперечных размеров.

...один моль атомов практически всех химических элементов в твердом состоянии занимает объем порядка объема обычного карандаша (попробуйте сделать эту оценку сами).

...простой способ определения сравнительной твердости тел давно используется в минералогии. Выстроен ряд из десяти минералов по способности оставлять друг на друге царапины. Самым твердым в нем оказался, разумеется, алмаз, а самым мягким – тальк.

...некоторые твердые вещества обладают полиморфизмом – могут существовать в нескольких кристаллических состояниях с разными структурами и свойствами. Так, одной из причин гибели экспедиции Скотта на Южный полюс в 1912 году считается образование течей в топливных канистрах, запаянных оловом, – при низких температурах «белое» олово превратилось в серый порошок. Вероятно, то же самое произошло на 100 лет раньше при отступлении Наполеона из России, когда у французских солдат стали отваливаться форменные пуговицы, сделанные из олова.

...только в середине 80-х годов нашего века была открыта третья кристаллическая форма существования углерода в природе. Это так называемые фуллерены, напоминающие своей формой пустотелые футбольные мячи.

...для изменения объема твердого тела даже на один процент необходимо огромное давление. Скажем, для

металлов оно составляет величину, превосходящую атмосферное давление в 10 000 раз.

...обнаруженная при исследованиях под давлением плотная модификация кварца послужила разгадке тайны Аризонского метеорита, в котором были найдены вкрапления неизвестных в земных условиях кристалликов.

...образующийся при сверхнизких температурах твердый диэлектрический водород может под колоссальным давлением перейти в металлическую фазу. Причем, как было показано опытным путем, металлический водород способен проявлять и сверхпроводящие свойства.

...около двадцати лет назад был проведен эксперимент, когда возбужденный в кольцевом сверхпроводнике ток не изменялся по величине в течение двух с половиной лет. А сегодня в США уже приступают к строительству сверхпроводящей линии электропередачи длиной в 1000 километров, рассчитывая полностью избежать в ней потерь энергии.

...по поведению сейсмических волн, бегущих сквозь земную толщу от очага землетрясения, была обнаружена граница между мантией – твердой оболочкой Земли – и ее жидким ядром.

...идея волоконно-оптической связи, похоже, овладела миром. Сейчас по гибким стеклянным проводам, в несколько раз превосходящим по прочности сталь, одновременно передают на тысячи километров десятки тысяч телефонных разговоров.

### Что читать в «Кванте» о твердом теле

(публикации последних лет)

1. «Конструкции из углерода» – 1993, №1/2, с.17;
2. «Из жизни физиков и физики» – 1994, №1, с.2;
3. «На лезвии меча» – 1994, №2, с.17;
4. «Как в металле протекает электрический ток» – 1995, №1, с.37;
5. «Волоконно-оптическая связь» – 1995, №5, с.8;
6. «Точка Кюри» – 1996, №2, с.35;
7. «Идеальные проводники и кинетическая индуктивность» – 1996, №4, с.40;
8. «Гипотеза сотворения мира» – 1997, №1, с.2;
9. «Как устроены металлы?» – 1997, №2, с.2.

Материал подготовил  
А.Леонович