

...не все тела в одинаковой степени обладают способностью содержать тепло, получать или передавать тепло через свою поверхность и проводить его в глубину массы.

Жан Батист Жозеф Фурье

Переход электричества от одного участка к ближайшему я принял пропорциональным электродвижущей силе в каждом участке подобно переходу теплоты, который пропорционален разности температур.

Георг Ом

...если изложенное здесь истолкование трения газов правильно, то коэффициент трения не зависит от плотности... в ближайшем будущем нам придется сопоставить свою теорию с тем, что известно о диффузии газов и о прохождении теплоты через газ.

Джеймс Клерк Максвелл

...ход вычислений теплопроводности очень похож на вычисление потока заряженных частиц в ионизированном газе.

Ричард Фейнман

А так ли хорошо знакомы вам явления переноса?

Что общего между проблемой подбора посуды для приготовления пищи и объяснением механизма затихания ветра или бури, выбором материала для строительства дома и решением задачи о разделении изотопов, особенностями движения летательных аппаратов и расплыванием капли чернил в стакане воды? В этих и еще очень многих, казалось бы, абсолютно различных ситуациях нам приходится сталкиваться с одним и тем же явлением — *переносом*: то тепловой энергии, то вещества, то импульса. В первом случае мы имеем дело с теплопроводностью, во втором — с диффузией, в третьем — с вязкостью, или внутренним трением.

Немудрено, что такого рода явления объединили одним названием — явления переноса. Более того, как оказалось, описывающие их математические модели тоже похожи, как две капли воды. Изучая явления порознь, как, например, Ньютон исследовал передачу тепла через вещество или устанавливал закономерности трения в жидкостях и газах, трудно было уловить такое подобие. Однако, начиная с работ Фурье, аналогии между различными физическими процессами стали не просто бросаться в глаза, но и послужили «катализатором» для некоторых выводов — например, закона Ома.

В задачах, предлагаемых вам сегодня, практически нет математики, особенно ярко демонстрирующей связь между явлениями переноса. Рассчитываем, однако, что вы пока и без ее помощи уловите качественную внутреннюю общность внешне разнородных процессов и сумеете совершить перенос своих новых знаний, наблюдений и обнаруженных аналогий в другие области физики.

Вопросы и задачи

1. Почему запах краски ощущается не только вблизи свежевыкрашенной поверхности, но и далеко от нее?
2. Зачем сахар размешивают ложкой в стакане чая или кофе?
3. Где дольше сохранит свой объем резиновый шарик, наполненный водородом: в холодном или теплом помещении?
4. При сильном сдавливании двух железных деталей друг с другом даже в холодном состоянии удается добиться их прочного соединения. Почему?
5. Отчего перемешавшиеся вещества, например входящие в состав воздуха азот и кислород, вновь не разделяются?
6. В сосуде, разделенном на две секции пористой перегородкой, слева находится газ, состоящий из легких молекул, а справа, при том же давлении, — из тяжелых. Через некоторое время дав-

ление справа увеличилось, затем, через большой промежуток времени, давления в секциях выравнялись. Как это объяснить?

7. Что поддерживает диффузионный поток газа из объема мыльного пузыря наружу?

8. Куда следует поместить бутылку с газировкой, чтобы побыстрее ее охладить: в снег или в измельченный лед, если их температуры одинаковы?

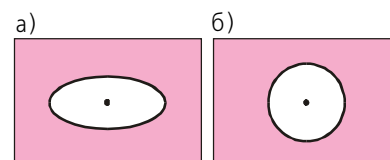
9. В каком случае и металл, и дерево будут казаться нам при соприкосновении с ними одинаково нагретыми?

10. Почему при долгом использовании обычного чайника вода в нем все медленнее закипает?

11. Температура газа возрастает вдоль некоторой оси. Куда направлен поток тепла в газе, если концентрация его молекул всюду одинакова?

12. Почему капли воды на большой раскаленной сковородке перемещаются от ее центра к краю?

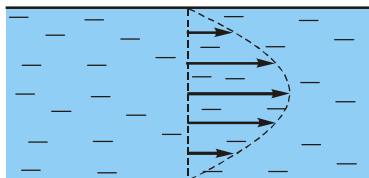
13. К обратной стороне изображенных на рисунке пластин из кристаллического гипса и стекла, покрытых спереди парафином, прикоснулись раскаленной иглой. Как по форме площади расплавленного парафи-



на определить, где гипс, а где стекло?

14. При измерении температуры на поверхности одинаковых с виду комбинезонов, в которые были облачены два полярника, на первом из них она оказалась выше, чем на втором. Какой комбинезон теплее?

15. На рисунке изображено распределение скорости жидкости по сечению круглой трубы. Куда направлена действующая на трубу сила вязкого трения?



16. Как объяснить, что в жару растительное масло выливается из бутылки легко, а постоявшее на морозе — заметно труднее?

17. Почему опытная хозяйка определяет степень готовности варенья по способности сахарного сиропа образовывать тонкие нити?

Микроопыт

Устройте «водоворот» в ведре с воздухом и в таком же ведре с водой, раскрутив их приблизительно до одной скорости с помощью, например, большой деревянной ложки. Что придет в покой раньше — воздух или вода?

Любопытно, что...

...методы, разработанные к 1822 году французским математиком Фурье в его «Аналитической теории тепла», посвященной теории теплопроводности, обладали такой универсальностью, что стали одним из главных инструментов математической физики, а затем и теории функций.

...выравнивание температур двух в разной степени нагретых тел, приведенных в соприкосновение, происходит таким образом, что температура контакта не зависит от времени и определяется лишь тепловыми свойствами веществ, из которых изготовлены тела. Это объясняет, в частности, почему разные материа-

лы при одной и той же температуре кажутся столь различными на ощупь.

...вода проводит тепло приблизительно в 200 раз хуже, чем медь, теплопроводность же воздуха примерно в 20000 раз меньше теплопроводности меди. А вот гелий, охлажденный до температуры ниже 2,19 кельвинов — так называемый гелий II, — обладает уникальными свойствами, превосходя по теплопроводности медь почти в 100 раз и проявляя при этом сверхтекучесть, т.е. полное отсутствие вязкости.

...вещество плотных звезд, именуемых белыми карликами, состоит в основном из ядер гелия и свободных электронов, что обеспечивает сходный с металлами электронный механизм теплопроводности, из-за чего звезда практически по всему объему имеет температуру порядка 100 миллионов кельвинов.

...в 1855 году швейцарскому физики А. Фику пришла в голову аналогия между движением вещества вследствие диффузии и распространением тепла из-за теплопроводности. «Достаточно, — посчитал Фик, — заменить в законе Фурье слова «количество тепла» словами «количество вещества» и слово «температура» словом «концентрация». Так появился на свет диффузионный закон Фика.

...своеобразным продолжением знаменитого опыта по диффузии золота в свинце, проведенного в 1896 году английским металлургом У.Робертсом-Остеном, стали сенсационные эксперименты американского исследователя Э. Киркендайла, показавшего в 1942 году, что, вопреки предположениям теоретиков, атомы различных металлов диффундируют друг в друга с разной скоростью.

...частицы, входящие в состав космических лучей, отклоняясь межзвездными магнитными полями, блуждают по Галактике в полном соответствии с диффузионным движением молекул в газах или жидкостях.

...будучи не только физиком,

но и врачом, Жан Пуазейль, в честь которого названа единица вязкости, при исследовании течения жидкости по тонким трубкам (1840 г.) интересовался, прежде всего, аналогией с циркуляцией крови по сосудам. Много позже выяснилось, что частицы крови при увеличении ее скорости ориентируются так, чтобы, в отличие от обычных жидкостей, сопротивление потоку было минимальным и вязкость уменьшалась.

...вязкость жидкостей очень сильно зависит от температуры. Так, при нагревании на 200 градусов от начальной температуры минус 20 градусов Цельсия вязкость глицерина уменьшается примерно в миллион раз!

...прежде чем охлаждаемая жидкая струйка превратится в твердое волокно, она должна прожить достаточно долго, чтобы успеть затвердеть. Как показал Уильям Стретт (лорд Рэлей), время жизни такой жидкой нити пропорционально ее вязкости. Для воды оно составляет десятитысячные доли секунды — вот почему из воды невозможно изготовить волокна.

Что читать в «Кванте» о явлениях переноса

(публикации последних лет)

1. «О явлениях переноса» — 1996, Приложение №4, с. 42;
2. «Эстафетный бег молекул, или Как работает термос» — 1997, №5, с. 31;
3. «Просто физика» — 1998, №4, с. 11;
4. «Дом, который построил...» — 1999, Приложение №6, с. 60;
5. «Где найти прошлогоднюю зиму?» — 2000, №5, с. 36;
6. «Чуть-чуть физики для настоящего охотника» — 2000, Приложение №5, с. 110;
7. «Как в землю казан закопали» — 2001, №1, с. 29;
8. «Физика приготовления кофе» — 2001, №4, с. 3;
9. «Как чайник стал таймером» — 2001, №5, с. 36.

Материал подготовил
А.Леонович