

Рис. 120. Расслоение общества «ВЗ» со временем, отложенным по оси абсцисс в днях. Обозначения те же, что и на рисунке 119

пе «0», уже через 1000 дней могут оказаться в группе «100», т.е. обладать средним состоянием этого общества.

На рисунке 120 показано, как изменяется относительная доля бедных в том случае, когда выигрыш (и проигрыш) от торговой сделки не ограничен законом ЗНТ и действуют правила общества «ВЗ». Иными словами, два участника торговой сделки кладут все свои деньги «на бочку», а компьютер случайным образом определяет, какую долю с «бочки» берет каждый при условии, что денег на ней не остается.

Видно, что в обществе «ВЗ», состоящем из 10000 человек, очень быстро наступает состояние, при котором доля проигравших в результате произошедших торговых сделок (черная кривая) и их среднее состояние (красная кривая) уже перестают меняться со временем, достигая стабильных величин. И хотя 63% людей оказываются проигравшими, их суммарное состояние все-таки составляет 27% богатств общества и остается стабильным, в отличие от того случая, когда действует закон ЗНТ.

Пусть знает каждый, что... Общество, где граждане вступают друг с другом в экономические отношения, всегда расслаивается так, что бедных в нем оказывается больше, чем богатых. При этом распределение доходов в обществе равных возможностей, где не действуют законы, аналогичные закону ЗНТ, остается неизменным, что и делает такое общество стабильным.

ПЫЛЬ: ДОМА И В КОСМОСЕ

Что такое пыль? Пыль – это взвешенные в воздухе и осевшие на поверхность тел очень мелкие твердые частицы органического или минерального происхождения. Обычно пыль под действием влажности превращается в грязь. Отдельные частицы пыли имеют размеры от 10^{-9} до 10^{-4} м и самую различную форму. Они могут нести электрический заряд или быть электронейтральными. Концентрацию пыли часто выражают числом частиц в единице объема. Меньше всего пыли на вершинах гор – например, в Альпах ее концентрация всего 200–2000 см⁻³. На улицах крупных городов пыли в сотни раз больше, а в жилых домах ее концентрация достигает 6 млн см⁻³.

Постоянными источниками пыли являются некоторые виды производства, сельского хозяйства, транспортные средства, а также пожары, извержения вулканов, движущиеся ледники и различные катастрофы (рис.121). Пыль причиняет ущерб промышленному оборудованию, снижает качество выпускаемой продукции, а также может быть причиной самых разных заболеваний. Поэтому исследование пыли – важная научно-техническая проблема, стоящая перед человечеством.

Как избавиться от пыли? Для устранения пыли воздух пропускают через специальные пылеуловители, в работе которых могут использоваться различные технологии. Многослойные тканевые фильтры бытовых пылесосов могут задерживать 99,9% частиц с размером более 1 мкм. Так как частицы пыли способны электризоваться, то для пылеудаления часто применяют фильтры, внутри которых находится электростатически заряженный элемент, притягивающий к себе микрочастицы. Для того чтобы сделать пылеудаление более эффективным, воздух в помещении ионизируют. В некоторых современных пылеуловителях бытового и промышленного применения используется центробежный способ концентрации микрочастиц. Воздух в этих устройствах заставляют вращаться, после чего частицы пыли, отброшенные от центра вращения, собирают на периферии.

Влажный воздух служит хорошим индикатором пыли. Конденсация влаги (образование тумана) из пара может происходить только на так называемых ядрах конденсации. Такими ядрами и служат мельчайшие пылинки, парящие в воздухе.



Рис.121. Одна из крупнейших катастроф современности, когда в результате обрушения двух небоскребов Всемирного торгового центра в Нью-Йорке образовалось более 100000 тонн микроскопической пыли

Поэтому чем больше пыли в воздухе, тем чаще и гуще там туманы. Осаждаясь на землю, туманы очищают воздух от пыли. Однако избавляться от пыли, осаждая ее парами воды, чаще всего не представляется возможным. А когда это удастся, то приходится уже бороться с грязью, которую мы развели. Поэтому физики сейчас исследуют процессы, приводящие к слипанию частичек пыли, чтобы впоследствии ими управлять, превращая облако пыли в маленький камушек, падающий на землю.

Что такое силы Ван-дер-Ваальса? Главными силами, приводящими к слипанию одинаковых молекул и состоящих из них мельчайших частичек, являются силы Ван-дер-Ваальса.

На рисунке 122,*a* приведено схематическое изображение неполярной молекулы (например, O_2 или H_2), т.е. молекулы, в которой количество электронов слева и справа одно и то же. Однако даже у неполярной молекулы время от времени один из краев оказывается отрицательным, а противоположный –

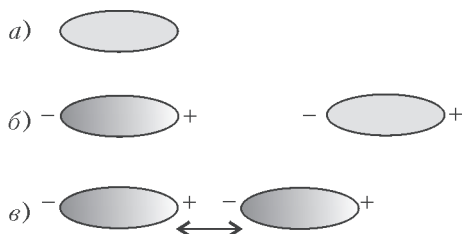


Рис.122. Как силы Ван-дер-Ваальса приводят к слипанию частиц пыли

же дисперсионными силами, т.е. силами, препятствующими рассыпанию (распылению) твердых тел и испарению жидких. К сожалению, в совершенстве управлять силами Ван-дер-Ваальса физики пока не научились, так что мгновенно превратить, например, облако угольной пыли в кусочек угля еще не могут.

Когда пыль взрывается? То что мука взрывоопасна, люди узнали очень давно. Достаточно уронить пакет с мукой так, чтобы концентрация муки в воздухе составила более 50 г/м^3 , а потом «случайно» зажечь спичку – неминуемо раздастся взрыв. Такие взрывы довольно часто происходят на элеваторах и иногда сопровождаются жертвами. Происходит это из-за того, что в муке много крахмала, а крахмал – это много-много молекул сахара, соединенных между собой. Каждая же из молекул сахара «хорошо» сгорает в воздухе, превращаясь в углекислый газ и воду и выделяя при этом большое количество теплоты. Загорание случается тогда, когда частички муки распылены в воздухе и каждая из них окружена кислородом. В этих условиях частичкам муки размером менее $0,1 \text{ мм}$ легко соединиться с кислородом, и они сгорают с огромной скоростью – детонируют.

Что такое космическая пыль? Астрофизикам не дает покоя космическая пыль. Последние гипотезы связывают появление космической пыли со взрывом звезд и утверждают, что эта пыль была первым твердым веществом во Вселенной. Космическая пыль мешает вести наблюдения астрономам, заслоняя от них некоторые области звездного неба и создавая вместо них так называемые темные туманности. В других случаях свет соседних звезд, рассеиваясь на облаках космической пыли, делает их видимыми. Химический анализ показал, что в космической пыли очень много углерода (5–10 %), и поэтому она действительно могла стать необходимым источником возникновения органичес-

положительным. Становясь на очень короткое время диполем, молекула электризует соседнюю молекулу (см. рис. 122,б), и они притягиваются друг к другу (см. рис. 122,в). Это и есть силы Ван-дер-Ваальса, которые иногда называют так-

кой жизни на Земле, построенной на основе углерода. В среднем каждый день на один квадратный метр нашей планеты опускается одна космическая пылинка, что в сумме составляет около ста тонн в день.

Космические пылинки размером с частичку, образующую дым, являются крошечными родственниками метеоритов, т.е. микрометеоритами (рис.123). Астероиды и кометы служат постоянными поставщиками космической пыли на Землю. Специальная программа сбора и изучения космической пыли проводит-

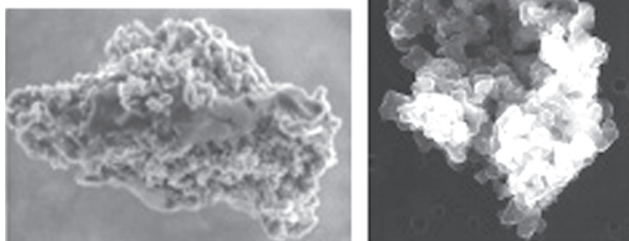


Рис.123. Микрофотографии частичек космической пыли. Горизонтальный размер левого рисунка 18 мкм, правого – 10 мкм

ся на околоземной орбите с помощью международной космической станции.

Беспилотные космические корабли, исследовавшие окрестности Юпитера и Сатурна, обнаружили там потоки космической пыли, источниками которых служат эти гигантские планеты. Оказалось, что мельчайшие частицы пыли размером от 2 до 50 нм несутся от Сатурна со скоростью около 100 км/с. Разогнаться до таких высоких скоростей им помогает электрический заряд, приобретенный после взаимодействия с солнечной радиацией, и магнитное поле этой планеты. Однако потери гигантских планет от постоянного «пылевого ветра», дующего в космос, ничтожны. Так, Юпитер теряет каждую секунду всего от 20 г до 1 кг массы.

Лунная пыль. Это самая изученная из всех видов космической пыли. Еще задолго до высадки космонавтов на Луну ученые задались вопросом: существует ли слой пыли, парящий на высоте нескольких километров над ее поверхностью? В принципе, такой слой пыли мог появиться при равенстве между электростатической силой отталкивания одноименно заряженных пыли и Луны и силой гравитационного притяжения между ними.

Очевидно, что такой слой пыли сделал бы процесс прилунения очень сложным и опасным. Однако простой расчет показывает, что равенство электростатических и гравитационных сил, если оно есть, будет справедливо для любого расстояния между Луной и пылинкой, а поэтому никакого плотного слоя пыли быть там не может.

В 1972 году американскому астронавту Х.Шмидту после высадки на Луну и прогулки по ее пыльной поверхности показалось, что вокруг пахнет порохом. Причиной этого оказалась лунная пыль, просочившаяся в скафандр астронавта. Шмидт даже стал чихать, и у него развилась аллергия – лунный вариант сенной лихорадки. Кроме того, прилипающая снаружи к скафандру пыль мешала передвигаться и создавала массу проблем в работе многих систем и приборов.

Отсутствие атмосферы на Луне создало идеальные условия для возникновения и сохранения там очень толстого слоя пыли. И вот почему. Во-первых, все, что летело в сторону Луны, благополучно долетело до ее поверхности, а не сгорело в атмосфере, как это происходит на Земле. Во-вторых, на Луне нет ветров, рек и дождевых потоков, а значит, вся космическая пыль, смешанная с микро- и макрометеоритами, лежит там, куда упала очень давно или совсем недавно.

Микроскопический анализ лунной пыли показал, что она является смесью мельчайших базальтовых фрагментов, шариков и острых кусочков вулканического стекла с вплавленными минералами. После того как несколько сотен килограммов пыли были доставлены американскими космонавтами на Землю, возникли проекты по борьбе с пылью при следующих высадках на Луну. Оказалось, что лунная пыль очень богата элементарным железом. На Земле встречаются только окислы железа, а чистое железо сразу окисляется и ржавеет.

Известно, что атомы железа поглощают микроволновую энергию на частотах, используемых бытовыми СВЧ-печами (2,45 ГГц). Поэтому авторы одного из проектов предлагают доставить на Луну СВЧ-устройства и обработать всю пыль в месте будущей высадки. Под действием СВЧ-излучения железо, вкрапленное в стеклянные пылинки, быстро нагреется до 1200 °С и расплавится. После этого расплавленное железо начнет нагревать стекло, которое тоже расплавится. В результате соседние частички лунной пыли должны сплавиться и образовать гладкую стекловидную поверхность. Это могло бы убедить экипаж будущей экспедиции от неблагоприятных воздействий лунной пыли.

ПРОВОДА ДЛЯ СВЕТА: СВЕТОВОДЫ

Идея управлять светом так, как мы научились это делать с электрическим током, давно владела умами ученых. Во второй половине XIX века в мире появились электродуговые источники света. Одной электрической дугой, дававшей в то время гораздо больше света, чем первые лампочки накаливания Эдисона, вполне можно было осветить сразу несколько комнат, большое помещение или производственный цех. Однако для этого необходимо было научиться «делить и заворачивать» свет, передавая его по криволинейным траекториям. Кроме того, электрическая дуга была отнюдь не безопасна, и давать ее свет пороховому цеху надо было так, чтобы не взлететь на воздух, а именно – ставить дуговой светильник где-то в сторонке и от него разводить свет куда надо. Но как?

В XIX веке английский физик Дж.Тиндал показал, что для изменения направления света можно использовать эффект полного внутреннего отражения на границе «вода–воздух». В его опытах свет распространялся вдоль струи воды, вытекающей из сосуда, внутри которого находился источник света (рис.124). Опыт, конечно, был красивым, но разводить свет по комнатам и цехам с помощью водяных струй никто не хотел.

Примерно в то же время возникает идея использовать свет для передачи информации. В 1880 году шотландец А.Белл получает патент на оптический телефон, который он назвал фотофоном, но его более раннее изобретение – телефон – оказалось куда более практичным. Белл считал, что фотофон может работать, посылая световые сигналы через атмосферу к другим таким же аппаратам и улавливая их сигналы. Но оказалось, что атмосфера не способна служить для света таким же надежным каналом передачи, как металлический провод для электрического тока. Прошло еще 70 лет, и изобретение Белла было воплощено лишь

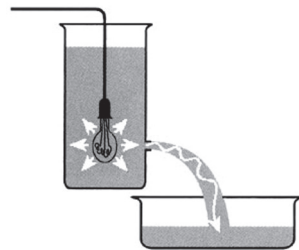


Рис.124. «Вытекание» света из освещенной лампы

в нескольких устройствах, например как средство оптической связи между кораблями, находящимися недалеко друг от друга. Идея использования света для высокоскоростной передачи информации так и оставалась идеей из-за отсутствия способов передачи света на большие расстояния без значительных потерь его интенсивности.

В середине XX века стало очевидно, что совсем скоро количество телефонных и других линий связи на земле будет таково, что всю добываемую медь придется переплавлять в электрические провода, а их – зарывать обратно в землю. Да и качество проводной связи уже не устраивало многих, особенно тех, кто хотел сделать связь помехоустойчивой, недоступной для других и высокоскоростной. И тут вспомнили о казавшихся ранее смешными опытах Тиндала и стали пытаться делать световоды из стекла, так как песка – основного материала для изготовления стекла – на земле более чем достаточно, да и раньше стекло использовали для «отведения» света с улицы в дом.

Так как коэффициент преломления стекла около 1,7, а у воздуха 1,0, то обычный стеклянный стержень может быть световодом, если луч света, оказавшись внутри стержня, будет составлять с его осью угол меньше угла полного внутреннего отражения, т.е. меньше $\arccos(1,0/1,7)$, или около 54 градусов. Таким способом дополнительной подсветки пользуются до сих пор некоторые врачи, прижимая язык пациента стеклянной палочкой и освещая другим ее концом удаленные участки глотки. Однако хорошими световодами стеклянные стержни стать не смогли из-за того, что поверхность стекла быстро загрязнялась и оптические характеристики световода ухудшались. Поэтому

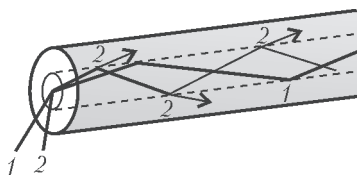


Рис.125. Схематическое изображение световода, на котором сердцевина и оболочка разделены пунктирными линиями; 1 и 2 – лучи, падающие на торец световода под разными углами к его оси

решили на стеклянный стержень световода наносить защитный слой (оболочку), имеющий показатель преломления меньше, чем у стекла.

На рисунке 125 показан ход двух лучей через световод, вошедших через его торцевую поверхность. Видно, что луч 1, составляющий с осью световода более острый угол, чем луч 2, испытывает полное внутреннее отражение от оболочки. В то же время луч 2 при каждом

отражении от оболочки теряет часть своей энергии, которая выходит из световода. Очевидно, что существует предельный угол с осью α_{\max} , при котором луч, двигаясь по световоду, еще претерпевает полное внутреннее отражение. Величину этого угла легко вычислить, применив законы преломления и отражения света на торцевой и боковой поверхностях сердцевинки световода:

$$\alpha_{\max} = \arcsin \sqrt{n_c^2 - n_{об}^2},$$

где n_c и $n_{об}$ – коэффициенты преломления сердцевинки и оболочки световода соответственно.

Во всех световодах должно соблюдаться неравенство $n_c > n_{об}$, и тогда все лучи, лежащие внутри угла α_{\max} , будут претерпевать полное внутреннее отражение при каждой их встрече с отражающей границей. И хотя траектория каждого луча представляет собой ломаную линию, световой пучок в целом распространяется по сердцевинке вдоль оси световода. Угол α_{\max} определяет входную угловую апертуру световода, а лучи внутри него называют апертурными (направляемыми). Внеапертурные лучи, падая на границу «сердцевина – оболочка», частично преломляются, выходят в оболочку, а потом и вообще покидают световод.

Все геометрические соотношения для углов падения, отражения и преломления остаются практически неизменными, если световод изогнуть, однако не слишком резко. Поэтому световой пучок будет послушно следовать за всеми изгибами световода, распространяясь по любой криволинейной траектории. Так как толщина самых толстых волокон световодов составляет не более 0,1 мм, то даже наматывание его на карандаш практически не уменьшает светопередачу. Со второй половины XX века световоды начинают широко применять для локального освещения и «доставки» изображения.

Однако восхищение первыми появившимися световодами, сделанными в начале 1950-х годов из натурального кварца (речного песка), сменилось разочарованием. Оказалось, что, несмотря на действительно очень привлекательные свойства, световоды обладали явной «близорукостью» – они не могли передавать свет на большие расстояния. Так, на расстоянии 1–2 м интенсивность света падала в два раза. А это значит, что на расстоянии 100 м из такого световода можно было взять только одну миллионную часть первоначальной интенсивности света. Причиной такого быстрого ослабления света являлись примеси и неоднородности, содержащиеся и появляющиеся в кварцевых нитях световода при их вытяжке. Примеси уменьша-

ли прозрачность кварца и рассеивали идущий по световоду свет. Эта была первая проблема, которую предстояло решить.

Но появилась и вторая проблема. Световоды решили использовать не только для подсветки, но и для передачи информации, для чего вход световода освещали короткими импульсами света. Оказалось, что импульсы света, проходя через световод, не только теряют свою интенсивность, но и «расплываются» во времени, становясь более широкими (рис. 126). Это не давало



Рис. 126. Зависимость от времени интенсивности света, падающего на входной торец световода (слева), и выходящего из него (справа)

возможности пропускать через световод высокочастотные импульсы света, ограничивая тем самым его пропускную способность.

О причине этого недостатка световода можно догадаться, если внимательно рассмотреть ход лучей на рисунке 125. Видно, что лучи, упавшие на торец сердцевины перпендикулярно его поверхности, будут двигаться параллельно оси световода и выйдут первыми из него, так как им для этого надо преодолеть меньший путь. Потом выйдут те лучи, которые упали на торец под небольшими углами, и, наконец, последними до конца световода дойдут лучи, путь которых был самым ломаным и длинным. Понятно, что расплывание световых импульсов в световоде будет зависеть от диаметра волокна: чем меньше диаметр, тем меньше расплывание. Поэтому, уменьшая диаметр сердцевины, можно добиться того, чтобы по световоду распространялся только один осевой луч, тогда расплывание импульсов исчезнет.

Наконец, третья проблема при использовании первых световодов была связана с тем, что тогда еще не было лазеров – мощных источников монохроматического света. А когда в световод запускали белый свет, то на выходе он оказывался окрашенным, так как величина входной апертуры зависит от цвета (она максимальна для фиолетового света). В 1960-х годах появились первые лазеры, а потом и светодиоды, и с тех пор прогресс в изготовлении световодов идет бок о бок с прогрессом в создании источников монохроматического излучения.

Настоящая революция в изготовлении световодов произошла в 1970 году, когда появилась возможность выпускать кварцевое стекло с такой высокой прозрачностью, что 1 км стекла ослабля-