

минут. Однако пламя было очень слабым и голубоватым, и его даже нельзя было заснять на видеокамеру. Поэтому, чтобы доказать его существование, пришлось вносить в это пламя кусочек воска и снимать его плавление.

Процесс горения в условиях невесомости может поддерживаться только за счет молекулярной диффузии или искусственной вентиляции. Без вентиляции тепловое излучение очага горения лишь охлаждает его и, в конце концов, может прекратить процесс, не оставив даже дыма. В обычных же условиях тепловое излучение служит положительной обратной связью, поддерживающей горение. Поэтому для прекращения пожара в невесомости достаточно выключить вентиляцию и немного подождать.

Желто-оранжевый цвет верхушки пламени в обычных условиях обусловлен свечением частичек сажи, уносимых вверх поднимающимся потоком горячего воздуха. Сажа – это микрочастицы, содержащие углерод, не успевший сгореть, т.е. превратиться в CO_2 . В невесомости пламя свечи имеет меньшие размеры и горит при более низкой температуре, чем при обычных условиях (так как нет достаточного притока свежего воздуха, содержащего кислород), поэтому сажи очень мало (она не образуется при температуре меньше 1000°C). Но даже если бы ее было достаточно, то из-за низкой температуры она светила бы инфракрасным светом, а значит, цвет у пламени в невесомости всегда голубоватый.

Из-за того что в невесомости нет восходящего движения воздуха, пламя имеет шарообразную форму (рис. 35). По той же причине свеча в невесомости горит практически без дыма. Опять же из-за низкой температуры горения при невесомости образуется меньше паров стеарина (или парафина), поэтому свеча дает меньше света и быстрее сгорает фитиль. Таким образом, свеча в невесомости должна быть сделана из ве-

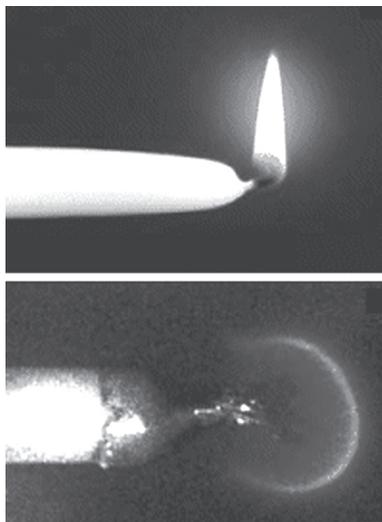


Рис.35. Горение свечи на Земле (вверху) и в невесомости (внизу)

щества, имеющего более низкую температуру плавления, и иметь несгораемый фитиль, например из асбеста.

Изучение процессов горения было продолжено на космических челноках, где продемонстрировали, что шарики из газовой смеси горят, выделяя такую малую мощность (меньше 1 Вт), что горение каждого из них может продолжаться несколько часов. При этом потери энергии на тепловое излучение компенсируются выделением энергии при сгорании газовой смеси, которая поступает в шарики посредством диффузии из окружающей среды. В отличие от обычных условий, огонь в невесомости «не хочет» распространяться. Более того, горящие по соседству шарики всегда отталкиваются друг от друга, так как между ними концентрация топлива и окислителя меньше, а горение распространяется всегда в ту сторону, где его больше. А в 1997 году на станции «Мир» случился пожар, который, к счастью, удалось потушить. И все-таки, на международной космической станции, кружащей сейчас вокруг Земли, тоже предусмотрено создание специальной лаборатории по изучению процессов горения, так как научиться управлять горением, экономя при этом на топливе, – мечта конструкторов тепловых двигателей и всего человечества.

Почему сгоревшая спичка изогнута? Если зажженную спичку держать горизонтально, то по мере передвижения язычка пламени ее сгоревшая часть будет изгибаться и подниматься (рис.36). Этого не происходит, если спичку держать вертикально. Причиной изгиба сгоревшей спички служит вертикальное движение воздуха в области горения, в результате которого устанавливается направленный снизу вверх температурный градиент. Поэтому верхняя часть горящей спички нагревается до более высокой температуры, чем нижняя. При горении масса и объем спички уменьшаются, и, чем больше температура горения, тем более заметны эти изменения. Значит, верхняя часть горящей спички укорачивается в большей степени, чем нижняя, и сгоревшая часть спички загибается

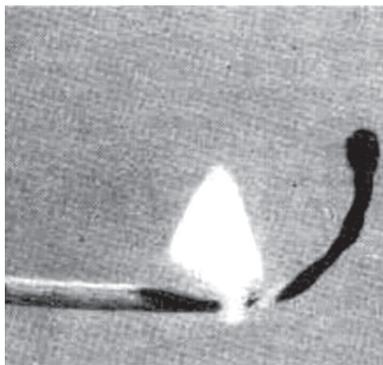


Рис. 36. Горизонтально расположенная спичка при горении загибается вверх

вверх. Этому также способствует поток воздуха, направленный всегда снизу вверх вблизи горящей спички.

От чего зависит цвет пламени? Цвет пламени зависит от того, какие элементы «сгорают» в нем. Высокая температура пламени дает возможность атомам перескакивать на некоторое время на более высокие энергетические уровни, а потом, возвращаясь в исходное состояние, излучать свет определенной частоты, которая соответствует структуре электронных оболочек данного элемента. Газовая горелка горит голубым пламенем из-за наличия СО – угарного газа. Желто-оранжевое пламя спички объясняется наличием солей натрия в древесине. Поэтому, если вы хотите сделать пламя газовой горелки желтым, посыпьте его обычной солью. Атомы меди придают пламени ярко-зеленый цвет, который иногда воспринимается нами как белый. Чтобы это увидеть, достаточно «посолить» пламя газовой горелки медной стружкой, которую легко получить из медного провода с помощью напильника. Алюминий и железо не обладают выраженной способностью окрашивать пламя.

Как обнаружить пожар? Суть любого метода предотвращения пожара – раннее обнаружение возгорания. Постоянными спутниками пожара являются высокая температура и дым. Поэтому в качестве детекторов пожара используют устройства, измеряющие температуру и/или уровень задымленности. Эти датчики помещают на потолке, так как горячий воздух, содержащий частицы дыма от очага возгорания, всегда устремляется вверх.

В помещениях, где много пыли и дыма от работающих двигателей и где хранятся легковоспламеняющиеся жидкости (автомобильные гаражи, например), очевидно, не следует пользоваться детекторами дыма для предотвращения пожара, так как они будут давать много ложных сигналов. Поэтому в таких местах более уместен температурный датчик, обычно настроенный на 60 °С. Как правило, такие датчики представляют собой биметаллический контакт, замыкающийся при нагревании и включающий таким образом пожарную сирену или другие устройства оповещения. Этот тип датчика пожарной сигнализации – один из самых старых и часто срабатывает уже тогда, когда пожар успевает разрастись до угрожающих размеров.

В большинстве случаев при выборе типа детектора пожарной сигнализации предпочтение отдается дымовому датчику, так как пожар обычно сопровождается выделением большого количества дыма, и именно этот тип детектора способен предупредить людей в здании об опасности. Дымовые датчики исполь-

зуют ионизацию или фотоэлектрический принцип для обнаружения дыма в воздухе.

В ионизационных детекторах дыма основным элементом является источник радиоактивного (альфа) излучения (как правило, америций-241, ^{241}Am), ионизирующий воздух в пространстве между металлическими пластинами-электродами, электрическое сопротивление между которыми постоянно измеряется с помощью специальной схемы (рис.37). Оказывающиеся между пластинами микрочастицы дыма связываются с ионами,

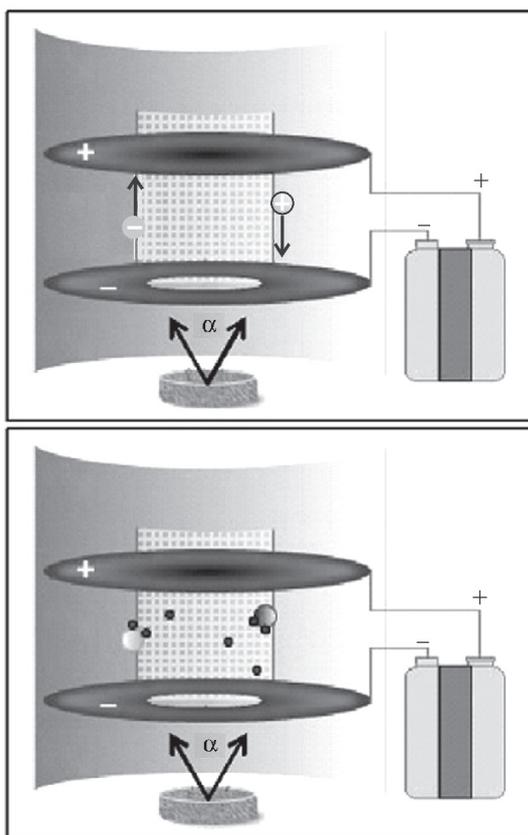


Рис.37. Работа ионизационного датчика дыма. Вверху: в отсутствие дыма ионы воздуха движутся между электродами; внизу: частицы дыма (черные маленькие кружки), связываясь с ионами, нейтрализуют их заряд, увеличивая сопротивление между электродами

нейтрализуют их заряд и увеличивают таким образом сопротивление между электродами, на что реагирует электрическая схема, подавая сигнал тревоги. Датчики, устроенные на этом принципе, демонстрируют весьма впечатляющую чувствительность, реагируя еще до того как самый первый признак дыма обнаруживается живым существом. Следует отметить, что никакой опасности для человека этот источник радиации не представляет, так как альфа-лучи не могут пройти даже через лист бумаги и полностью поглощаются слоем воздуха толщиной несколько сантиметров.

Известно, что при увеличении влажности растет электропроводность воздуха. Поэтому недостатком ионизационного детектора является его чувствительность к влажности окружающего воздуха. Этому недостатка лишен самый распространенный датчик дыма – оптический, использующий тот факт, что частицы дыма рассеивают свет, проходящий через воздух (рис.38). Поэтому интенсивность рассеянного света может служить показателем задымленности воздуха.

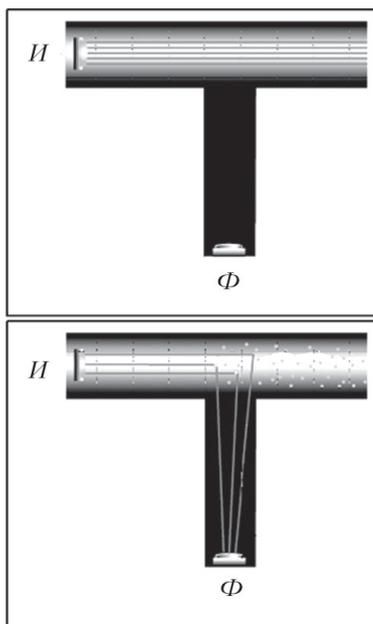


Рис.38. Работа оптического датчика дыма. Вверху: в отсутствие дыма лучи света распространяются от источника (И) прямолинейно; внизу: частицы дыма (серые точки) рассеивают лучи света, поворачивая часть из них на 90° , что регистрируется фотодетектором (Ф)

ВЕТЕР: ЭНЕРГИЯ ИЗ НИЧЕГО

За счет каких источников человечество собирается покрывать все возрастающие затраты энергии? Мир рано или поздно столкнется с тем, что запасы невозобновляемых сырьевых ресурсов – нефти, газа и угля – будут исчерпаны. По расчетам специалистов, при нынешних объемах добычи угля на Земле хватит лет на 400 – 500, а нефти и газа – максимум на столетие. К тому же, опустошение земных недр и сжигание топлива уродуют планету и год от года ухудшают ее экологию. Одним словом, перед человечеством стоит задача освоения экологически чистых, возобновляемых, или, как их еще называют, нетрадиционных источников энергии.

Сколько энергии дает нам Солнце? Почти все источники энергии на Земле обязаны своим происхождением солнечной радиации – энергии, которую Земля получала, получает и будет получать от Солнца. Исключениями являются энергия геотермальных вод, а также приливов и отливов. Мощность солнечного излучения, падающего на Землю, составляет $1,74 \cdot 10^{17}$ Вт. Очень малая часть этой энергии, примерно 0,01%, запасается растениями в виде различных химических соединений, которые потом можно использовать для еды или топлива. Нефть, газ, уголь, торф и древесина – все это солнечная энергия, припасенная для нас различными растениями. Гораздо больше, около 1 – 2%, солнечной энергии, падающей на Землю, преобразуется в энергию ветров. Однако добывать энергию из ветра оказалось непросто. Только сейчас, когда все заговорили об экологически чистых и возобновляемых источниках энергии, люди вспомнили о ветре – вечном двигателе на Земле.

Первой лопастной машиной, преобразующей энергию ветра в движение, был парус. Ему уже почти 6000 лет (под парусом ходили еще древние египтяне), но до сих пор это древнее изобретение обладает наивысшим коэффициентом полезного действия среди всех известных ветроагрегатов. Позже появились ветряные мельницы, которые служили человечеству несколько столетий, вплоть до середины прошлого века (рис.39). Они качали воду, поднимали камни, вращали мукомольные жернова. Пришедшие им на смену ветроэнергетические станции сейчас



Рис. 39. Старинная мельница и парк современных ветроэлектростанций, каждая из которых, обладая мощностью 1 МВт, способна удовлетворить бытовые потребности в электричестве 750 семей

вырабатывают электрическую энергию. В странах северной Европы все большая часть электроэнергии добывается с помощью ветрогенераторов. Например, в Дании уже сейчас 20% всей вырабатываемой электроэнергии отнимается у ветра, а США планируют к 2010 году довести мощность ветроустановок до 80000 МВт, что соответствует 5% от общей мощности всех электростанций.

Сколько ветра на Земле? Исследователи из Станфордского университета (США) в 2005 году составили «ветровую» карту мира, нанеся на нее значения среднегодовой скорости ветра в 8199 местах на высоте 80 м (на этой высоте обычно располагают современные ветроэлектрогенераторы) от поверхности Земли. Оказалось, что скорость ветра в 13% всех исследованных областей такова, что, если разместить ветряные генераторы в этих точках, они перекроют потребности человечества в электроэнергии в пять раз, вырабатывая мощность 72 ТВт (1 ТВт = 10^{12} Вт). Следует отметить, что современные модели ветряных электростанций становятся эффективными, когда скорость ветра превышает 25 км/ч (6,9 м/с). Однако мощь земных ветров была явно недооценена, поскольку измерения скорости ветра, например, на побережье Северного Ледовитого океана, а также в центральных районах Африки в карту включены не

были. А истинная способность ветра снабжать энергией человечество гораздо выше сделанных сегодня оценок.

Как солнечная энергия рождает ветер? Ветер в атмосфере возникает тогда, когда в ней появляются области низкого и высокого давления. Основная причина появления таких зон это неодинаковый нагрев поверхности Земли Солнцем – вблизи экватора очень сильно и чуть-чуть около полюсов. В результате этого воздух на экваторе бывает раскален до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в Арктике его температура всегда ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблица 5

Зависимость плотности воздуха и насыщенных водяных паров от температуры при нормальном атмосферном давлении

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Плотность воздуха, кг/м^3	Плотность насыщенных паров, кг/м^3
-25	1,423	
-20	1,395	
-15	1,368	
-10	1,342	
-5	1,317	
0	1,292	0,005
5	1,269	0,007
10	1,247	0,009
15	1,225	0,013
20	1,204	0,017
25	1,184	0,023
30	1,165	0,030
35	1,146	0,039
40	1,127	0,051

Из таблицы 5 следует, что плотность воздуха вблизи поверхности Земли на экваторе на 20% меньше, чем в приполярных районах с температурой около $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. А это значит, что «вес» атмосферы над экватором должен быть тоже меньше, чем у полюсов. Таким образом, атмосферное давление на экваторе всегда ниже, чем в приполярных областях. Неодинаковый нагрев воздуха – основной ветряной движитель, но не единственный. Он определяет глобальную картину ветров, дующих на высотах свыше 1000 м (рис.40).

Вращение Земли – вечный источник ветров. Земля, вращаясь вокруг своей оси, пытается закрутить воздух вокруг себя в ту

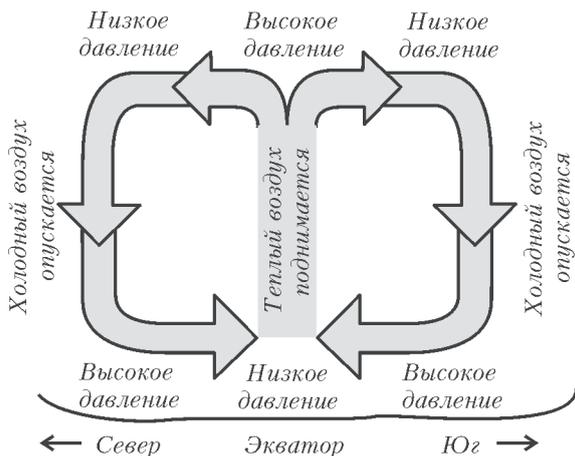


Рис.40. Неодинаковый нагрев Земли солнечным излучением приводит к тому, что влажный воздух над более нагретыми областями (экватор) поднимается на высоту, где его водяные пары конденсируются, что сопровождается выделением тепла. В результате поднявшийся и обезвоженный воздух опять нагревается, образуя область высокого давления, что приводит к циркуляции воздуха – образованию глобальной картины ветров

же сторону. Однако Земле удастся вовлечь в эту круговерть только касающиеся поверхности планеты слои воздуха. Чем выше находятся слои, тем больше их движение отстает от вращения Земли. Это отставание воздуха от Земли, вращающейся на восток, воспринимается нами как ветер, постоянно дующий на запад. Таким образом, вращающаяся Земля порождает целую систему ветров, являясь главным фактором образования погоды. Поэтому изменения вращения Земли, вызванные многими причинами (в том числе и землетрясениями), могут приводить к изменению картины ветров и погоды. Должно существовать и обратное влияние – изменения погоды и ветров могут изменять скорость вращения Земли.

Оказывается, есть силы, которые не дают воздуху двигаться по прямой из области высокого давления в область низкого давления, если эти области находятся на разных географических широтах.

Сила Кориолиса. Пусть, например, масса воздуха, находящаяся вблизи Северного полюса в зоне высокого давления, начинает двигаться на юг (рис.41). Как только это произойдет, масса воздуха будет отклоняться на запад все больше и больше.

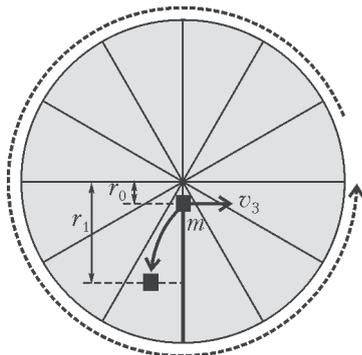


Рис.41. Схематическая иллюстрация действия силы Кориолиса (вид на северное полушарие Земли из космоса)

правлении запад-восток стала несколько меньше, компенсируя увеличение расстояния до оси вращения. Чтобы объяснить этот эффект, находясь в неинерциальной системе координат, каковой является поверхность вращающейся вокруг оси Земли, вводят силу Кориолиса, названную в честь французского физика и инженера Г.Кориолиса (1792 – 1843). Таким образом, в северном полушарии вращение Земли заставляет поворачивать все ветра правее, и они движутся к области низкого давления по спирали, закручиваясь против часовой стрелки, если смотреть на это из космоса. Наоборот, в южном полушарии сила Кориолиса закручивает ветра в противоположном направлении.

Испарение и конденсация водяных паров. К возникновению ветров могут приводить также испарение и конденсация воды. Известно, что летом днем с озера на берег дует прохладный ветерок – бриз. Происходит это из-за того, что воздух над озером нагрет меньше, чем над сушей. Большая часть солнечного излучения, падающего на воду, отражается или идет на испарение. Кроме того, удельная теплоемкость воды в несколько раз больше, чем у почвы. Поэтому днем давление насыщенного влагой и прохладного воздуха над озером больше, чем над сушей. Ночью – все наоборот. Из-за меньшей теплоемкости почвы она и воздух над ней быстрее остывают, чем вода в озере. Влага в воздухе над озером конденсируется, образуя туман, а выделяющаяся при этом энергия нагревает воздух над ночным озером. Очаг низкого давления над озером притягивает к себе ветер, дующий ночью с берега к воде.

И вот почему. Эта масса воздуха, находясь вблизи полюса и вращаясь вместе с Землей вокруг ее оси, обладает некоторым моментом импульса – векторной величиной, численно равной произведению линейной скорости вращения поверхности Земли в данной точке v_3 на массу воздуха m и на расстояние r_0 до оси вращения Земли. Закон сохранения момента импульса требует, чтобы при перемещении с полюса на юг, где расстояние r_1 до оси вращения больше r_0 , проекция скорости воздуха в на-