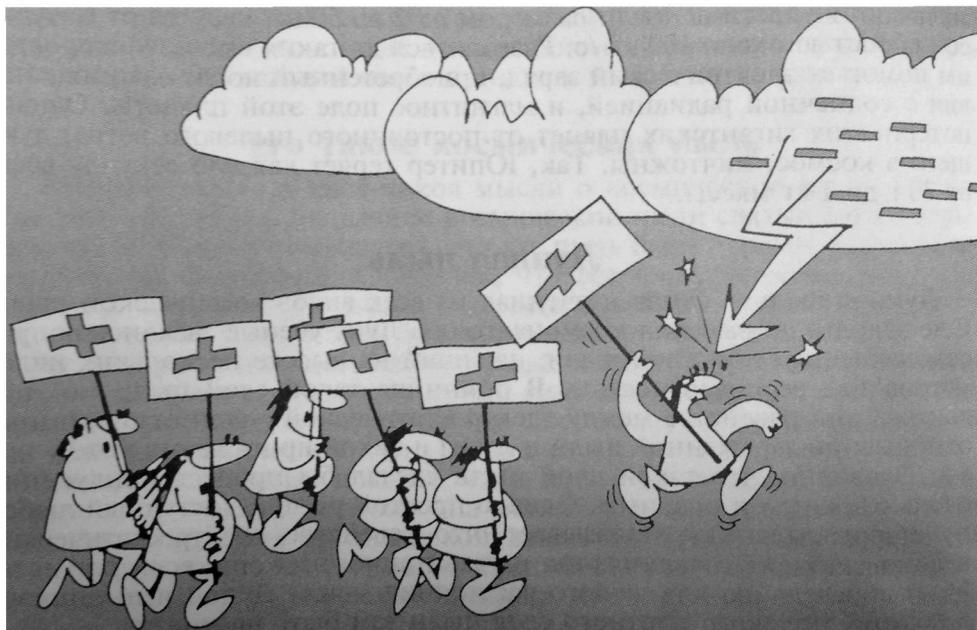


Молния, или Как заряжается Земля



В каждый момент времени в разных точках Земли сверкают молнии более чем 2000 гроз (рис. 20.1). В каждую секунду около 50 молний ударяют в поверхность Земли, и в среднем 1 км^2 поражается молнией около 6 раз в году. Еще Б. Франклин доказал, что

молнии, бьющие в землю из грозовых облаков — это электрические разряды, переносящие на нее отрицательный заряд. При этом каждый разряд снабжает Землю несколькими десятками кулонов, а амплитуда тока при ударе молнии составляет от 20 до 100 кА. Скоростная фотосъемка показала, что разряд молнии длится несколько доли секунды и состоит из нескольких более коротких разрядов. Молнии издавна интересуют ученых, но и в наше время об их природе мы знаем лишь немного больше, чем 250 лет тому назад, хотя смогли их обнаружить даже на других планетах.

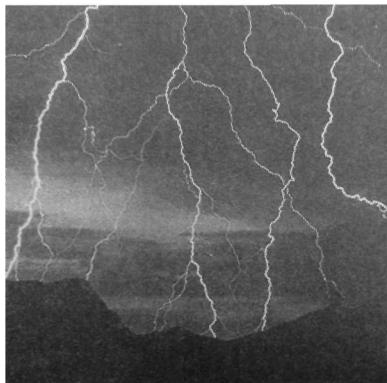


Рис. 20.1

Молния — вечный источник подзарядки электрического поля Земли

С помощью измерительных приборов, установленных на атмосферных зондах, в начале XX в. было измерено электрическое поле Земли, напряженность которого у поверхности оказалась равной около 100 В/м , что соответствует суммарному заряду планеты около $400\,000 \text{ Кл}$. Переносчиками зарядов в атмосфере Земли служат ионы, концентрация которых увеличивается с высотой и достигает максимума на высоте 50 км , где под действием космического излучения образовался электропроводящий слой — ионосфера. Поэтому электрическое поле Земли — это поле сферического конденсатора с приложенным напряжением около 400 кВ . Под действием этого напряжения из верхних слоев в нижние все время проходит ток $2\text{--}4 \text{ кА}$, плотность которого составляет $1\text{--}2 \cdot 10^{-12} \text{ А/м}^2$, и выделяется энергия до $1,5 \text{ ГВт}$. И это электрическое поле исчезло бы, если бы не было молний. Поэтому в хорошую погоду электрический конденсатор Земли разряжается, а при грозе заряжается.

Человек не чувствует электрического поля Земли, так как является хорошим проводником. Поэтому заряд Земли находится и на поверхности человека, локально искажая электрическое поле (рис. 20.2). Под грозным облаком плотность наведенных на земле положительных зарядов может значительно возрастать, а напряженность электрического поля может превышать 100 кВ/м , что в 1000 раз больше ее значения в хорошую погоду. В результате во столько же раз увеличивается положительный заряд каждого волоса на голове человека, стоящего под грозовой тучей, и они, отталкиваясь друг от друга, встают дыбом.

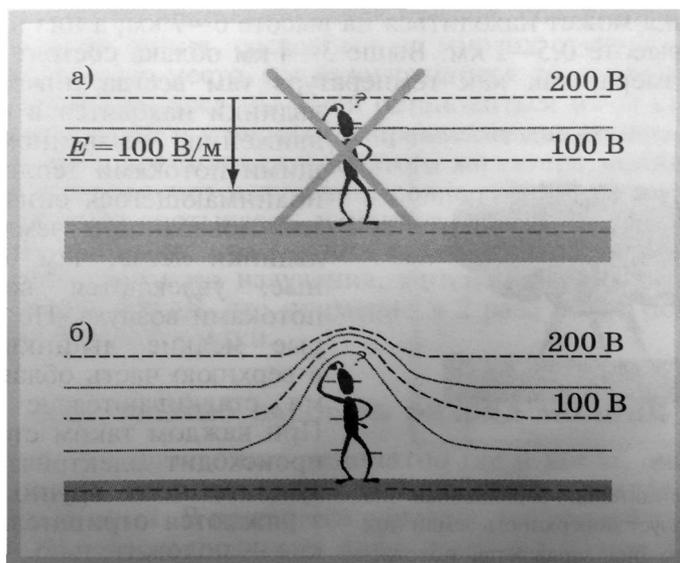


Рис. 20.2. Эквипотенциальные линии электрического поля Земли без человека (а) и их искажение стоящим человеком (б)

Электризация — удаление заряженной пыли

Чтобы понять, как облако разделяет электрические заряды, вспомним, что такое электризация. Легче всего зарядить тело, потеряв его о другое. Электризация трением — самый старый способ получения электрических зарядов. Само слово «электрон» в переводе с греческого означает «янтарь», так как янтарь при трении о шерсть или шелк всегда заряжается (отрицательно). Заряд и его знак зависят от материала трущихся тел.

Считается, что тело, до того как его стали тереть о другое, электронейтрально. Действительно, если оставить заряженное тело в воздухе, то к нему начнут прилипать противоположно заряженные частицы пыли и ионы, в результате чего через некоторое время тело окажется электронейтральным. Таким образом, на поверхности любого тела находится слой заряженной пыли, нейтрализующий заряд тела. Поэтому электризация трением — это процесс частичного снятия заряженной пыли с обоих тел. При этом результат будет зависеть от того, насколько лучше или хуже снимается заряженная пыль с трущихся тел.

Облако — фабрика по производству электрических зарядов

У тел может быть различная заряженная пыль, даже если они изготовлены из одного и того же материала: достаточно, чтобы микроструктура поверхности различалась. Например, при трении гладкого тела о шероховатое оба будут электризовываться.

Грозовое облако — это огромное количество пара, часть которого конденсировалась в виде мельчайших капелек или льдинок. Верх грозового облака может находиться на высоте 6—7 км, а низ нависать над землей на высоте 0,5—1 км. Выше 3—4 км облака состоят из льдинок разного размера, так как температура там всегда ниже нуля. Эти

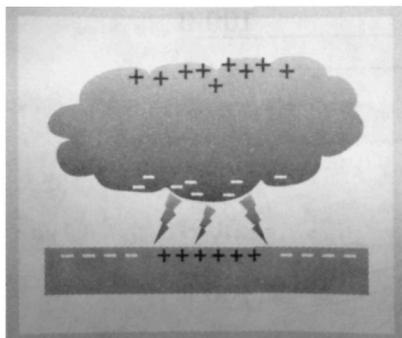


Рис. 20.3. Отрицательно заряженный низ облака поляризует поверхность земли под собой так, что она заряжается положительно, и, когда возникают условия для электрического пробоя, возникает разряд молнии

льдинки находятся в постоянном движении, вызванном восходящими потоками теплого воздуха, поднимающегося снизу от нагретой поверхности земли. Мелкие льдинки легче, чем более крупные, увлекаются восходящими потоками воздуха. Поэтому шустрые мелкие льдинки, двигаясь в верхнюю часть облака, все время сталкиваются с крупными. При каждом таком столкновении происходит электризация, в результате чего крупные льдинки заряжаются отрицательно, а мелкие — положительно. Со временем положительно заряженные мелкие льдинки оказываются в верхней части облака, а отрица-

тельно заряженные крупные льдинки — в нижней. Другими словами, верх облака заряжается положительно, а низ — отрицательно. Все готово для разряда молнии, при котором происходит пробой воздуха, и отрицательный заряд с нижней части грозовой тучи перетекает на землю (рис. 20.3).

Молния — привет из космоса и источник рентгеновского излучения

Однако само облако не в состоянии так наэлектризовать себя, чтобы вызвать разряд между нижней частью облака и землей. Напряженность электрического поля в грозовом облаке никогда не превышает 400 кВ/м, а электрический пробой в воздухе происходит при напряженности больше 2500 кВ/м. Поэтому для возникновения молнии необходимо что-то еще, кроме электрического поля. В 1992 г. российский ученый А. Гуревич предположил, что своеобразной зажигалкой для молнии могут быть космические лучи — частицы высоких энергий, обрушивающиеся на Землю из космоса с околосветовыми скоростями.

Тысячи таких частиц каждую секунду бомбардируют каждый квадратный метр земной атмосферы.

Согласно теории Гуревича, частица космического излучения, сталкиваясь с молекулой воздуха, ионизует ее, в результате чего образуется огромное число электронов, обладающих высокой энергией. Попав в электрическое поле между облаком и землей, эти электроны ускоряются до околосветовых скоростей, ионизуя путь своего движения и, таким образом, вызывая лавину электронов, движущихся вместе с ним к земле. В ионизированном канале, созданном этой лавиной электронов, сразу же происходит разряд молнии.

Молния — это не ярко светящаяся прямая, соединяющая облако и землю, а ломаная линия, состоящая из многих ступенек. Каждая из таких ступенек — это место, где разогнавшиеся до околосветовых скоростей электроны вынуждены были остановиться из-за столкновений с молекулами воздуха и изменить направление движения. Доказательством такой интерпретации ступенчатого характера молнии являются вспышки рентгеновского излучения, совпадающие с моментами, когда молния, как бы спотыкаясь, изменяет свою траекторию. Недавние исследования показали, что молния является довольно мощным источником рентгеновского излучения, интенсивность которого может составлять до 250 000 эВ, что примерно в 2 раза выше используемого при рентгене грудной клетки.

Как можно вызвать разряд молнии

Изучать то, что произойдет непонятно где и когда, очень сложно. А именно так в течение долгих лет работали ученые, исследующие природу молний. В древности считали, что грозой на небе руководит Илья-пророк, и людям не дано знать его планы. Однако ученые очень давно пытались создать проводящий канал между грозовой тучей и землей. Б. Франклин для этого во время грозы запускал воздушный змей, оканчивающийся проволокой и связкой ме-

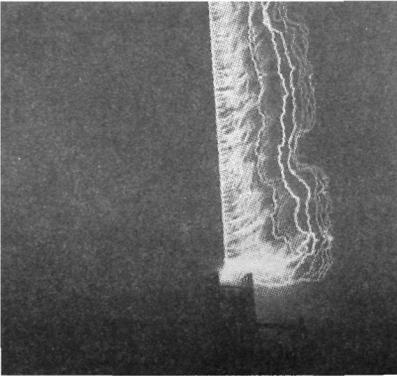


Рис. 20.4. Несколько разрядов молний, вызванных пуском ракеты в грозовую тучу. Самая левая вертикальная прямая — след от запущенной ракеты

таллических ключей, вызывая слабые разряды, стекающие вниз по проволоке. Он первым доказал, что молния — это отрицательный электрический разряд, стекающий с облаков на землю. Опыты Франклина были чрезвычайно опасными, и один из тех, кто их пытался повторить, русский физик, академик Г. В. Рихман, в 1753 г. погиб от удара молнии.

В 1990-х гг. ученые научились вызывать молнии, не подвергая опасности свою жизнь. Один из способов вызвать молнию — запустить с земли небольшую ракету прямо в грозовую тучу. Вдоль всей траектории ракета ионизирует воздух и создает таким образом проводящий канал между тучей и землей (рис. 20.4). И если отрицательный заряд низа тучи достаточно велик, то

вдоль созданного канала происходит разряд молнии, все параметры которого регистрируют приборы, расположенные рядом со стартовой площадкой ракеты. Чтобы создать еще лучшие условия для разряда молнии, к такой ракете присоединяют металлический провод, соединяющий ее с землей.

Молния — подарившая жизнь и двигатель эволюции

В 1953 г. биохимики Стэнли Миллер и Гарольд Юри показали, что кирпичики жизни — аминокислоты могут быть созданы при пропускании разряда молнии через воду, в которой растворены газы первобытной атмосферы Земли (метан, аммиак и водород). Спустя 50 лет другие ученые повторили эти опыты и получили те же результаты. Таким образом, научная теория зарождения жизни на Земле отводит удару молнии основополагающую роль.

При пропускании коротких импульсов тока через бактерии в их оболочке (мембране) появляются поры, через которые внутрь могут проходить фрагменты ДНК других бактерий. Таким образом, гены от одного вида бактерий могут переходить к другому, и это может быть одним из механизмов эволюции.

Фульгурит — след молнии на земле

При разряде молнии выделяется энергия 10^9 — 10^{10} Дж. Большая часть этой энергии тратится на гром, нагрев воздуха, световую вспышку и другие электромагнитные волны, и только малая часть выделяется в том месте, где молния входит в землю. Однако и этого достаточно, чтобы вызвать пожар, убить человека и разрушить здание. Молния может разогревать канал, по которому она движется, до температуры $30\,000\text{ }^\circ\text{C}$, что в 5 раз выше, чем температура на поверхности Солнца.

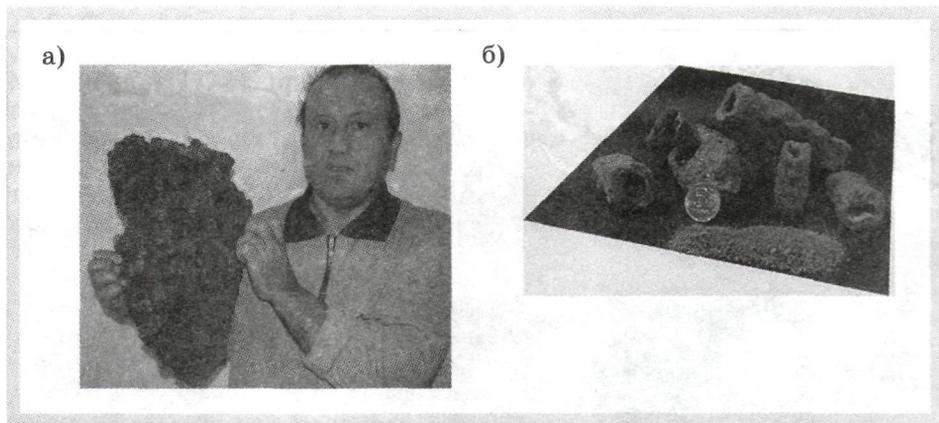


Рис. 20.5. Крупный фульгурит весом 7,3 кг, найденный автором на окраине Москвы (а), и его полые цилиндрические фрагменты, образованные из оплавленного песка (б)

Рис. 20.6. Сосна, расположенная на западных окраинах Москвы. Под сосной находится огромный фульгурит, и поэтому корни сосны уходят в землю на большом расстоянии от ствола. По мнению автора, семечко сосны оказалось внутри полого цилиндра фульгурита, образованного разрядом молнии



Температура внутри молнии гораздо выше температуры плавления песка (1600—2000 °С). Самые мощные молнии вызывают рождение фульгуритов — полых цилиндров, образованных из оплавленного песка (рис. 20.5 и 20.6). Самые длинные из раскопанных фульгуритов уходили под землю на глубину более 5 м.

Почему зимой грозы очень редки .

Ф. И. Тютчев писал: «Люблю грозу в начале мая, когда весенний первый гром...» Чтобы образовалось грозовое облако, необходимы восходящие потоки влажного воздуха. Концентрация насыщенных паров растёт с температурой и максимальна летом. Разница температур, от которой зависят восходящие потоки воздуха, тем больше, чем выше его температура у поверхности земли, так как на высоте нескольких километров температура воздуха не зависит от времени года. Значит, интенсивность восходящих потоков максимальна тоже летом. Поэтому и грозы в средней полосе чаще всего бывают летом, а на севере, где и летом холодно, грозы довольно редки.

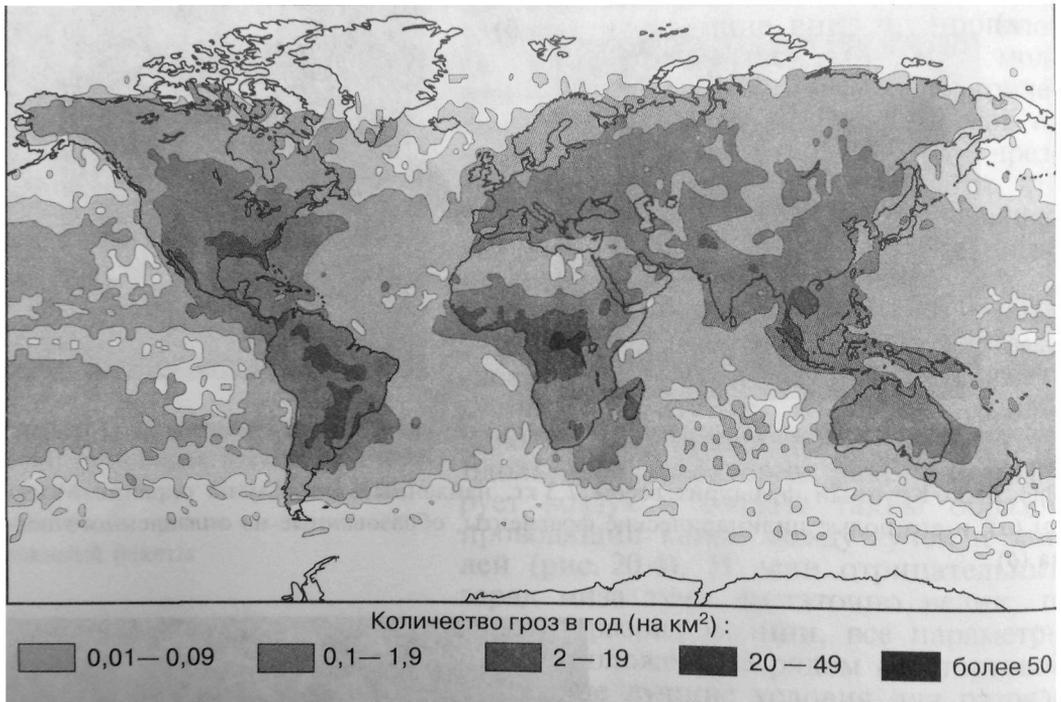


Рис. 20.7. Распределение частоты гроз по поверхности суши и океанов. Самые светлые места на карте соответствуют частотам не более 0,1 грозы в год на квадратный километр, а самые темные — более 50

Почему грозы чаще над сушей, чем над морем

Чтобы облако разрядилось, в воздухе под ним должно быть достаточное число ионов. Воздух, состоящий только из молекул азота и кислорода, не содержит ионов, и его очень сложно ионизировать даже в электрическом поле. А вот если в воздухе много инородных частиц, например пыли, то и ионов тоже много. Ионы образуются при движении частиц в воздухе аналогично тому, как электризуются при трении друг от друга различные материалы. Очевидно, что пыли в воздухе гораздо больше над сушей, чем над океанами. Поэтому грозы и гремят над сушей чаще (рис. 20.7). Замечено также, что особенно часто молнии бьют по тем местам, где в воздухе велика концентрация аэрозолей — выбросов предприятий нефтеперерабатывающей промышленности.

Как Франклин отклонил молнию

К счастью, большинство разрядов молнии происходят между облаками и поэтому не угрожают здоровью людей. Однако известно, что каждый год молнии убивают более тысячи людей по всему миру. Изобретатель первого электрического конденсатора (лейденской банки) Питер ван Мушенбрук (1692—1761) в статье об электричестве, написанной для французской «Энциклопедии», защищал традиционные способы предотвращения молнии — колокольный звон и стрельбу из пушек, которые, как он считал, оказываются довольно эффективными.

Б. Франклин, пытаясь защитить от удара молнии Капитолий столицы штата Мериленд, в 1775 г. прикрепил к зданию толстый железный стержень, возвышающийся над куполом на несколько метров и соединенный с землей. Ученый отказался запатентовать свое изобретение, желая, чтобы оно как можно скорее начало служить людям (рис. 20.8).

Весть о громоотводе Франклина быстро разнеслась по Европе, и его выбрали во все академии, включая и Петербургскую. Однако в некоторых странах встретили это изобретение с возмущением. Сама мысль о том, что человек так легко и просто может укротить главное оружие Божьего гнева, казалась кощунственной. Поэтому в разных местах люди из благочестивых соображений ломали громоотводы. Любопытный случай произошел в 1780 г. в небольшом городке Сент-Омер на севере Франции, где горожане потребовали снести железную мачту громоотвода, и дело дошло до судебного разбирательства. Молодой адвокат построил защиту на том, что и разум человека, и его способность покорять силы природы имеют Божественное происхождение. Все, что помогает спасти жизнь, — во благо, доказывал молодой адвокат. Он выиграл процесс и снискал большую известность. Адвоката звали Максимилиан Робеспьер.



Рис. 20.8. Зонт с громоотводом. Модель продавалась в XIX в. и пользовалась спросом

Как можно защититься от молнии с помощью струи и лазера

Ученые предложили принципиально новый способ борьбы с молниями. Громоотвод будет создан из струи жидкости, которой будут стрелять с земли непосредственно в грозовые облака. Громоотводная



Рис. 20.9. Выстрел жидкостью или лазером по грозовой туче, нависшей над стадионом

жидкость представляет собой солевой раствор, в который будут добавлены жидкие полимеры: соль предназначена для увеличения электропроводности, а полимер будет препятствовать распаду струи на отдельные капельки. Диаметр струи составит примерно 1 см, а максимальная высота 300 м. Когда жидкий громоотвод будет доработан, им оснастят спортивные и детские площадки. Когда напряженность электрического поля будет достаточно высокой, а вероятность удара молнии — максимальной, струя будет включаться автоматически. По струе жидкости с грозового облака будет стекать заряд, делая молнию безопасной для окружающих (рис. 20.9). Аналогичную защиту от разряда молнии можно сделать и с помощью лазера, луч которого, ионизируя воздух, создает канал для электрического разряда вдали от скопления людей.

Может ли молния сбить нас с пути

В известном романе Г. Мелвилла «Моби Дик» описан случай, когда разряд молнии, сопровождающийся сильным изменением магнитного поля, перемагнитил стрелку компаса. Однако капитан судна взял обычную швейную иглу, ударил по ней, чтобы намагнитить, и поставил ее вместо испорченной стрелки компаса.

Может ли поразить молния, если вы в доме или самолете

Ток грозового разряда может войти в дом по телефонному проводу от рядом стоящего столба. Поэтому при грозе старайтесь не пользоваться обычным телефоном. Считается, что говорить по радиотелефону или по мобильному телефону безопаснее. Небезопасно касаться во время грозы труб центрального отопления, которые тоже являются электрическим проводником, соединяющим дом с землей. Из этих же соображений специалисты советуют при грозе выключать все электрические приборы, в том числе компьютеры и телевизоры.

Что касается самолета, то, вообще говоря, самолеты стараются облетать районы с грозовой активностью. И все-таки в среднем раз в год в каждый из самолетов попадает молния. В подавляющем большинстве случаев при попадании молнии ничего не происходит, так как алюминий, покрывающий самолет снаружи, легко пропускает ее вниз к земле.