

время течет ток порядка $2 - 4$ кА, плотность которого составляет $(1 - 2) \cdot 10^{-12}$ А/м², и выделяется энергия до 1,5 ГВт. И это электрическое поле исчезло бы, если не было бы молний! Получается, что в хорошую погоду электрический конденсатор Земли разряжается, а при грозе – заряжается.

Человек не чувствует электрического поля Земли, так как является хорошим проводником. Поэтому заряд находится и на поверхности человека, локально искажая электрическое поле Земли (рис.101). Под грозовым облаком плотность наведенных на земле положительных зарядов может значительно возрастать, а напряженность электрического поля может достигать 100 кВ/м, т.е. в 1000 раз превышать ее значение в хорошую погоду. В результате во столько же раз увеличивается положительный заряд каждого волоска на голове человека, стоящего под грозовой тучей, и они, отталкиваясь друг от друга, встают дыбом.

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 всегда заряжался отрицательно при трении о шерсть или шелк. Величина заряда и его знак зависят от материалов 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.

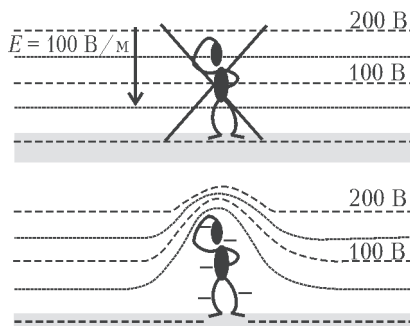


Рис. 101. Эквипотенциальные линии электрического поля Земли без человека и их искажение стоящим человеком

Облако – фабрика по производству электрических зарядов. Грозовое облако – это огромное количество пара, часть которого сконденсировалась 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 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 которой крупные льдинки заряжаются отрицательно, а мелкие – положительно. Со временем положительно заряженные мелкие льдинки оказываются в верхней части облака, а отрицательно заряженные крупные – внизу. Другими словами, верхушка грозового облака теперь заряжена 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.102).

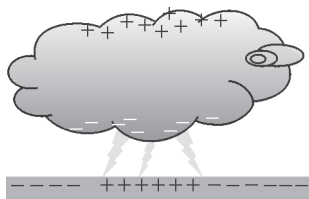


Рис. 102. Отрицательно заряженная нижняя часть облака поляризует поверхность Земли под собой так, что она заряжается положительно, и когда возникают условия для электрического пробоя, происходит разряд молнии

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 году российский ученый А.Гуревич из Физического института им. П.Н.Лебедева РАН предположил, что своеобразным зажиганием 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. Попадая в электрическое поле между облаком и землей, эти электроны ускоряются до околосветовых скоростей, ионизируя молекулы воздуха на пути своего движения и таким образом вызывая лавину электронов, движущихся вместе с ним к земле. Ионизированный канал, созданный этой лавиной электронов, сразу же используется молнией для разряда.

Каждый, кто видел молнию, заметил, что это не ярко светящаяся прямая, соединяющая облако и землю, а ломаная линия. Поэтому проводящий канал для разряда молнии называют ее «ступенчатым лидером». 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. Доказательство для такой интерпретации ступенчатого характера молнии – 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, энергия которого может составлять до 250000 электрон-вольт, что примерно в два раза превышает энергию, используемую при рентгеновском просвечивании 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 молнии. Считается, что грозой на небе руководит Илья-пророк, и нам не дано знать его планы. Однако ученые давно пытались заменить Илью-пророка, создавая проводящий канал между грозовой тучей и землей. Б.Франклин для этого во время грозы запускал воздушный змей, оканчивающийся проволокой и связкой металлических ключей. Этим он вызывал слабые разряды, стекающие вниз по проволоке, и первым доказал, что молния – это отрицательный электрический разряд, стекающий с облаков на землю. Опыты Франклина были чрезвычайно опасными. Один из тех, кто пытался их повторить, русский физик Г.Рихман в 1753 году погиб от удара молнии.

В 1990-х годах ученые научились вызывать молнии, не подвергая опасности свою жизнь. Один из способов вызвать молнию – запустить с земли небольшую ракету прямо в грозовую тучу (рис.103). Вдоль всей траектории ракета ионизирует воздух и создает таким образом проводящий канал между тучей и



Рис. 103. Несколько разрядов молний, вызванных пуском ракеты в грозовую тучу. Самая левая вертикальная линия – след от запущенной ракеты

землей. И если отрицательный заряд нижней части 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 являющаяся двигателем эволюции. В 1953 году биохимики экспериментально показали, что одни из

«кирпичиков» жизни – аминокислоты – могут быть созданы путем пропускания разряда молнии через воду, в которой растворены газы «первобытной» атмосферы Земли (метан, аммиак и водород). Спустя 50 лет эти опыты были повторены и дали те же результаты. Вот почему 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 порядка $10^9 - 10^{10}$ Дж. Большая часть этой энергии тратится на гром, нагрев воздуха, световую вспышку и другие электромагнитные излучения, и только маленькая часть выделяется в том месте, где молния входит в землю. Однако и этой маленькой части вполне достаточно, чтобы вызвать пожар, убить человека или разрушить здание. Молния может разогревать канал, по которому она движется, до 30000°C , что в 5 раз выше, чем температура на поверхности Солнца. Температура внутри молнии гораздо выше температуры плавления песка ($1600-2000^\circ\text{C}$), но расплавится песок или нет, зависит также от длительности молнии, которая может составлять от десятков микросекунд до долей секунды.

Амплитуда тока молнии обычно равна нескольким десяткам килоампер, но иногда может превышать и 100 кА. Лишь самые мощные молнии вызывают рождение фульгуритов – полых цилиндров, сделанных из оплавленного песка (рис.104, 105). Наиболее длинные из раскопанных фульгуритов уходили под землю на глубину более пяти метров.

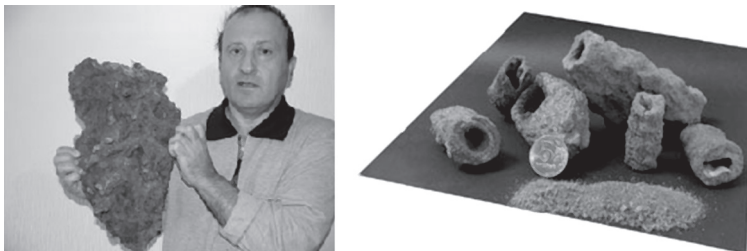


Рис. 104. Крупный фульгурит массой 7,3 кг, найденный автором на окраине Москвы (слева) и его полые цилиндрические фрагменты, образованные из оплавленного песка



Рис.105. Сосна, расположенная на западной окраине Москвы. Под сосной находится огромный фульгурит, поэтому корни сосны уходят в землю на большом расстоянии от ствола. По мнению автора, семечко сосны оказалось внутри полого цилиндра фульгурита, образованного разрядом молнии

Зимой грозы очень редки. Знал об этом и Ф.И.Тютчев, когда писал «люблю грозу в начале мая, когда весенний первый гром...» Чтобы образовалось грозовое облако, необходимы восходящие потоки влажного воздуха. Концентрация насыщенных паров растет с температурой и максимальна летом. Разность температур, от которой зависит возникновение восходящих

потоков воздуха, тем больше, чем выше температура у поверхности Земли, так как на высоте нескольких километров температура не зависит от времени года. Значит, интенсивность восходящих потоков максимальна тоже летом. Поэтому и грозы у нас, в средней полосе, чаще всего бывают летом, а на севере, где и летом холодно, грозы довольно редки.

Почему грозы чаще бывают 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 тяжело 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-то грозы и гремят над сушей чаще (рис.106). Замечено также, что особенно часто

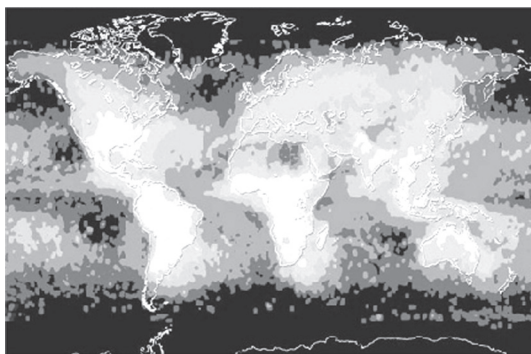


Рис. 106. Распределение частоты гроз по поверхности суши и океанов: самые темные места на карте соответствуют частотам не более 0,1 гроз в год на квадратный километр, а самые светлые – более 50 гроз в год на квадратный километр

молнии бьют по тем местам, где в воздухе особенно 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 считается, что каждый год молнии убивают более тысячи людей по всему миру. По крайней мере, в США, где ведется такая статистика, каждый год от удара

молнии страдают около 1000 человек и более ста из них погибают. Ученые давно пытались защитить людей от этой «кары божьей». Например, изобретатель первого электрического конденсатора (лейденская банка, 1745 г.) голландский физик Питер ван Мушенбрук в статье об электричестве, написанной для знаменитой французской «Энциклопедии», защищал традиционные способы предотвращения молнии – колокольный звон и стрельбу из пушек, которые он считал довольно эффективными. Б. Франклин, пытаясь защитить капители столицы штата Мэриленд, в 1775 году прикрепил к зданию толстый железный стержень, возвышающийся над куполом на несколько метров и соединенный с землей. Ученый отказался патентовать свое изобретение, желая, чтобы оно как можно скорее начало служить людям. Впрочем... громоотвод прикреплялся не только к зданиям (рис.107).



Рис. 107. Зонт с громоотводом. Модель продавалась в XIX веке и пользовалась спросом

Весть о громоотводе Франклина быстро разнеслась по Европе, и его выбрали во все академии, включая и Российскую. Однако в некоторых странах набожное население встретило это изобретение с возмущением. Сама мысль, 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 году в одном небольшом городке на севере Франции, где горожане потребовали снести железную мачту громоотвода и дело дошло до судебного разбирательства. Молодой адвокат, защищавший громоотвод от нападок мракобесов, 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. Ну а сейчас портрет изобретателя громоотвода – самая желанная репродукция в мире, ведь она украшает известную всем столларовую купюру.

Как можно защититься от молнии с помощью струи и лазера? Ученые предложили принципиально новый способ борьбы с молниями – создать громоотвод из... струи жидкости, которой будут стрелять с земли непосредственно в грозовые облака. Громоотводная 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 один сантиметр, а максимальная высота – 300 метров. Когда жидкий громоотвод будет доработан, им оснастят спортивные и детские площадки, где струя будет включаться автоматически, когда напряженность электрического поля станет достаточно высокой, а вероятность удара молнии – максимальной. По струе жидкости с грозового облака будет «стекать» заряд, делая молнию безопасной для окружающих.

Аналогичную защиту от разряда молнии можно сделать и с помощью лазера, луч которого, ионизируя воздух, создаст канал для электрического разряда вдали от скопления людей.

Может ли молния сбить нас с пути? Да, если вы пользуетесь компасом. В известном романе Г.Мелвилла «Моби Дик, или Белый Кит» описан именно такой 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 находитесь внутри дома или самолета? К сожалению, да! Ток грозового разряда может войти в дом, например, по телефонному проводу от рядом стоящего столба. Поэтому при грозе старайтесь не пользоваться обычным телефоном. Считается, что безопаснее говорить по радиотелефону или по мобильному. 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 самолетов, то они, вообще говоря, стараются облетать районы с грозовой активностью. И все-таки в среднем раз в год в каждый из самолетов попадает молния. Но в подавляющем большинстве случаев при попадании молнии ничего не происходит, так как алюминий, покрывающий самолет снаружи, легко пропускает ее вниз к земле.

КАК БЫСТРЕЕ СПУСТИТЬСЯ НА ЛИФТЕ В ЧАС ПИК

Мы всегда куда-то торопимся, спешка уже стала признаком деловитости. И поэтому неудивительно, что наше стремление не опоздать часто сталкивается с аналогичным желанием других людей. Как правило, это происходит утром, когда мы все идем на работу или учебу. Многих из нас, кто живет в многоэтажных домах, спешка охватывает уже на лестничной площадке, когда мы вызываем лифт, чтобы спуститься на первый этаж и выйти из дома. Мы смотрим на часы, понимая, что опять опаздываем, и если подъезд обслуживают два лифта, то, чтобы лифт пришел быстрее, нажимаем обе кнопки.

Итак, казалось бы, мы сделали все, чтобы как можно быстрее спуститься на первый этаж. Но, так ли это?

Забегая вперед, успокою всех тех, кто нажимает обе кнопки днем или поздно вечером. Действительно, вызывая оба лифта сразу не в часы пик, вы ускоряете свой спуск вниз. Однако одновременный вызов всеми двух лифтов в часы пик не только не дает выигрыша, но может даже удлинить ожидание на лестничной площадке. Думаю, что у большинства читателей такое предостережение «нажимающим две кнопки» вызвало улыбку. По их мнению, этого просто не может быть!

Что общего между рыбалкой и вызовом лифта? А вот и простой довод в защиту «нажимающих две кнопки» — нажимая обе кнопки, мы увеличиваем в два раза вероятность того, что хотя бы один лифт появится в течение, скажем, одной минуты после нажатия кнопок. Другими словами, рыбак с двумя удочками скорее поймает свою первую рыбку, чем рыбак, у которого только одна удочка. Но верно ли такое сравнение? Если и есть аналогия между вызовом обоих лифтов и рыбной ловлей, то она довольно необычная. Во-первых, рыбок (лифтов) в пруду должно быть только две, а во-вторых, каждый поймавший рыбку должен отпустить ее обратно в пруд, затратив на это какое-то время (открывание и закрывание дверей). А что если все рыбаки закинут по две удочки (нажмут две кнопки)? Быстрее ли они поймают такую «золотую» рыбку, плывущую вдоль берега пруда туда и обратно?

Наверное, читатель уже достаточно запутался, и пришло время обратиться за помощью к компьютеру. Очевидно, что вопрос «о двух кнопках» не единственный, на который мог бы ответить компьютер. А как, например, зависит время ожидания лифта (ВОЛ) от этажности дома или от того, с какого этажа сделан вызов? Как изменяется ВОЛ при постановке одного из лифтов на плановый ремонт? Когда ВОЛ начинает зависеть от грузоподъемности лифта?..

Устроим все так. Чтобы ответить на некоторые из этих вопросов, попробуем смоделировать события, происходящие при эксплуатации лифта в течение часа (с 8 до 9 утра, например), когда на каждую из 16 лестничных площадок подъезда 17-этажного дома выходят 8 человек и вызывают лифт (один или оба), чтобы спуститься на первый этаж. Будем считать, что если в момент очередного вызова лифт уже двигался (выполняя один из предыдущих вызовов), то новый вызов заносится в память лифтового компьютера, который составляет очередь заказов для последующего выполнения. Каждый из двух лифтов обладает информацией только об очередности своих будущих заказов и ничего не знает о том, где находится и какие заказы выполняет другой лифт. Поэтому один из лифтов может прибыть по вызову на этаж спустя, например, одну секунду после того, как всех людей оттуда забрал другой лифт. Другими словами, наши лифты лишены какого-либо интеллекта.

Рассмотрим две ситуации, в первой из которых вероятность появления человека у лифта будет постоянна, т.е. не будет зависеть от времени в течение данного часа (см. «равномерное» распределение на рисунке 108,а), а во второй она будет максимальна в середине часа, т.е. в 8 ч 30 мин (см. «нормальное» распределение на рисунке 108,б). Зададим также следующие параметры лифта: скорость $v = 0,5$ этаж/с; время на открывание и закрывание дверей $T = 10$ с; грузоподъемность – 4 человека. Для простоты допустим, что в 8:00 оба лифта находятся на первом этаже и ждут вызова.

Теперь попросим компьютер выдать «случайную» последовательность появления людей в лифтовых холлах на всех этажах подъезда, а первого из них – нажать на кнопки вызова лифта. Не принуждая к выбору того или иного лифта, мы лишь будем «следить», одну или обе кнопки нажал «человек», и вычислять время ожидания им лифта, а также остальные параметры его эксплуатации. При этом мы сможем управлять средней величиной отношения случаев, когда были нажаты обе кнопки, к общему числу вызовов лифтов.