

Молния

Самый главный бог древних греков – Зевс (Зевес) – был также Йогом молнии и грома. Его называли громовержцем, тучегонителем. Зевс хмурит брови – и сгущаются тучи. В гневе он поражает молнией, устрашает громом. Вспомним «Одиссею» Гомера. Возвратившийся после долгих странствий Одиссей застаёт у себя в доме бесчинствующих обидчиков, которые в его отсутствие пытались свататься к его жене Пенелопе. Одиссей берет в руки свой лук – и с радостью слышит гром, которым Зевс предвещает близкую гибель женихов:

Крепкую правой рукой тетиву потянувши, он ею
Щелкнул: она провизжала, как ласточка звонкая в небе.
Дрогнуло сердце в груди женихов, и в лице изменились
Все. Тут ужасно Зевес загремел с вышины, подавая
Знак. И живое веселие в грудь Одиссея проникло:
В грома Зевесовом он предвещанье благое услышал.

У римлян богом-громовержцем был Юпитер. Как у древних греков Зевс, так у римлян Юпитер считался главным богом. Точно так же главную роль отводили своим богам-громовержцам индусы (бог Индра), скандинавы (бог Тор), славяне (бог Перун).

Если ж молния вспыхнет, как пламя над горном,
Раскрываются чащи в изломах неверных,
Точно древние своды во храмах пещерных,
В подземелье Перуна, высоком и черном.

Так писал И. А. Бунин, подчеркивал мистическое чувство, возникающее, когда темные лесные чащи вдруг ярко освещаются молнией. Эта картина ассоциируется с таинственным подземельем громовержца Перуна.

В представлении древних эстов молния и гром связывались не с одним, а с двумя богами. Богом молнии был Пикне, а богом грома Эйке; действовали они, конечно, всегда вместе. Пикне и Эйке считались справедливыми и добрыми богами, карающими духов зла, прогоняющими их в море. В древнем эстонском эпосе «Калевипоэг» можно найти такие строки:

Разыгралась ширь морская,
Гребни с грохотом вздымая.
Прогремел мостом железным,
На скаку огонь метал он,
Искры сыпал, пролетая.
Налетел и старый Пикне,
Грохотал он, наступая;
Бросил молнию на землю.

Тут, карателей слышав,
Духи зла перепугались,
Со всех ног они от Пикне
Улепетывали в море...

Наблюдая молнию, люди издавна заметили, что она ударяет преимущественно в высокие объекты – деревья, постройки, столбы; поражает людей и животных на равнинных местах. Из этого подчас делались любопытные выводы, касающиеся норм поведения. Вспомним, например, известное высказывание Артабана, служившего советником у владыки древних персов Ксеркса (IV в. до н. э.). Когда Ксеркс задумал поход против греков, Артабан дал ему мудрый совет: «Взгляни, как бог молниями своими всегда поражает крупных животных и не позволяет им становиться дерзкими, а существа меньших размеров не раздражают его. И как молнии его падают всегда на самые большие дома и самые высокие деревья. Так, очевидно, он любит унижать все, что возносит себя». Эта же мысль содержится в прекрасном стихотворении Агриппы Обинье:

Ни молния, ни зной не тронут стебелька
Прижавшейся к земле ползучей повилики,
Вовек не поразит сей гнев небес великий
Былинки тоненькой и нежного цветка.
Но кедр, уткнувшийся вершиной в облака,
От бурь и войн дрожат, и гордому владыке
Грозит Юпитера разящая рука.

Постижение природы молнии. Вполне понятно, что молния и гром первоначально воспринимались людьми как выражение воли богов и, в частности, как проявление божьего гнева. Вместе с тем пытливый человеческий ум с давних времен пытался постичь природу молнии и грома, понять их естественные причины. В древние века над этим размышлял Аристотель. Над природой молнии и грома задумывался Лукреций. Но в те далекие времена разгадать эту природу ученым было не под силу. Как признавался Лукреций, «скудость познания мысль беспокоит тревожным сомненьем...». Весьма наивными представляются сегодня попытки Лукреция объяснить гром как следствие того, что «тучи сшибаются там под натиском ветров». Зная, что молния сопровождается громом, Лукреций допускал, что гром может возникнуть и без молнии. Он писал:

Часто гремят, наконец, и рушатся с грохотом громким
Льдины и град, высоко в горах сокрушаясь огромных.
Ибо, коль ветер сожмет и стеснит их, ломаются горы
Сдавленных туч снеговых, перемешанных с градом холодным.

Многие столетия, включая и средние века, считалось, что молния – это огненный пар, зажатый в водяных парах туч. Расширяясь, он прорывает их в наиболее слабом месте и быстро устремляется вниз, к поверхности земли. Об этом, например, упоминается в «Божественной комедии» Данте:

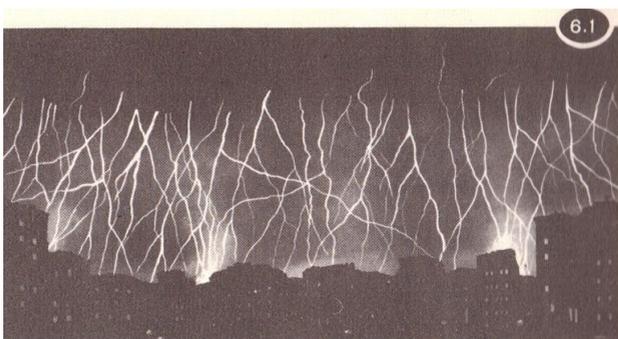
И как огонь, из тучи упадая,
Стремится вниз...

Перед нами старинный учебник физики. Он издан в 1760 г. в Санкт-Петербурге и имеет длинное витиеватое название: «Вольфианская теоретическая физика с немецкого подлинника на латинском языке сокращенная, переведена на русский язык Императорской Академии Наук переводчиком Борисом Волковым». На странице 110 учебника читаем; «Что молния есть действительно огонь, оное из того явствует, что она по прикосновении своем к телам оные зажигает. А что огонь сей состоит из серных загоревшихся частиц, оное из серного запаха, который исходит от тел, молнией пораженных, ясно познается». Итак, как утверждается в учебнике физики, молния есть огонь, который «состоит из серных загоревшихся частиц». Здесь мы встречаемся с любопытным курьезом. Дело в том, что это утверждение переведено на русский язык в 1760 г., т. е. восемь лет спустя после того, как была установлена электрическая природа молнии. Думается, что переводчик императорской Академии наук должен был бы знать об этом, тем более что исследования природы молнии проводились в эти годы не только на Западе, но и в России.

В 1752 г. Бенджамин Франклин экспериментально доказал, что молния – это сильный электрический разряд. Ученый выполнил знаменитый опыт с воздушным змеем, который был запущен в воздух при приближении грозы. На крестовине змеи была укреплена наостренная проволока, к концу бечевки привязаны ключ и шелковая лента. Ленту ученый удерживал рукой. В письме к одному из своих друзей Франклин писал: «Как только грозовая туча окажется над змеем, заостренная проволока станет извлекать из нее электрический огонь, и змей вместе с бечевою наэлектризуется... А когда дождь смочит змей вместе с бечевою, сделав их тем самым способными свободно проводить электрический огонь, Вы увидите, как он обильно стекает с ключа при приближении вашего пальца». Встречающееся в этом письме словосочетание «электрический огонь» мы сегодня переводим как «электрический заряд».

Опыт Франклина с некоторыми изменениями был немедленно повторен рядом ученых. Так, француз Далибар установил в саду на изолирующей подставке железный шест высотой 40 футов; во время грозы из шеста вылетали искры. Одновременно с Франклином исследования электрической природы молнии занимались М.В. Ломоносов и Г.В. Рихман. Во время одного из опытов, проводившегося в грозу, Рихман был убит молнией. В следующей главе мы вернемся к гибели Рихмана, в которой, как полагают, была «повинна» шаровая молния. Пока же подчеркнем, что благодаря исследованиям Франклина, Ломоносова, Рихмана в середине XVIII в. была доказана электрическая природа молнии. С этого времени стало ясно, что молния представляет собой мощный электрический разряд, возникающий при достаточно сильной электризации туч. В заключение отметим, что установление электрической природы молнии позволило Франклину создать громоотвод, который правильнее было бы называть «молниеотводом». Это был длинный металлический стержень, который предохранял постройки от поражения молнией.

Какие бывают молнии. На рисунке 6.1 приведена любопытная фотография грозы. Она получена при большой выдержке, благодаря чему на одном и том же снимке оказались заснятыми сразу много молний. Большинство молний на снимке возникают между тучей и земной поверхностью, однако есть молнии, возникающие между тучами. Все эти молнии принято называть линейными. Длина отдельной линейной молнии может измеряться километрами.



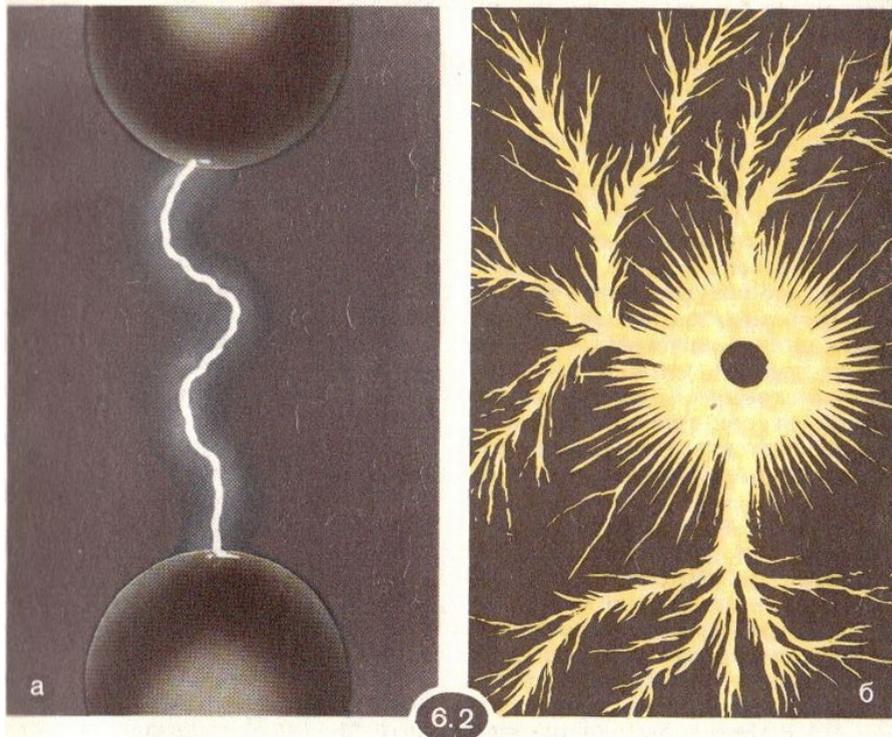
6.1(a)



6.1(б)

На рисунке 6.1,б показан довольно необычный вид молнии – так называемая ленточная молния. При этом наблюдается такая картина, как если бы возникли несколько почти одинаковых линейных молний, сдвинутых относительно друг друга.

Существует еще один вид молний, отличающийся своей загадочностью. Это так называемая шаровая молния. Она совершенно не похожа ни на линейную, ни на ленточную молнии. До сих пор природа этой молнии не разгадана, а главное, мы пока не умеем воспроизводить ее искусственно. Шаровой молнии будет посвящена следующая глава.



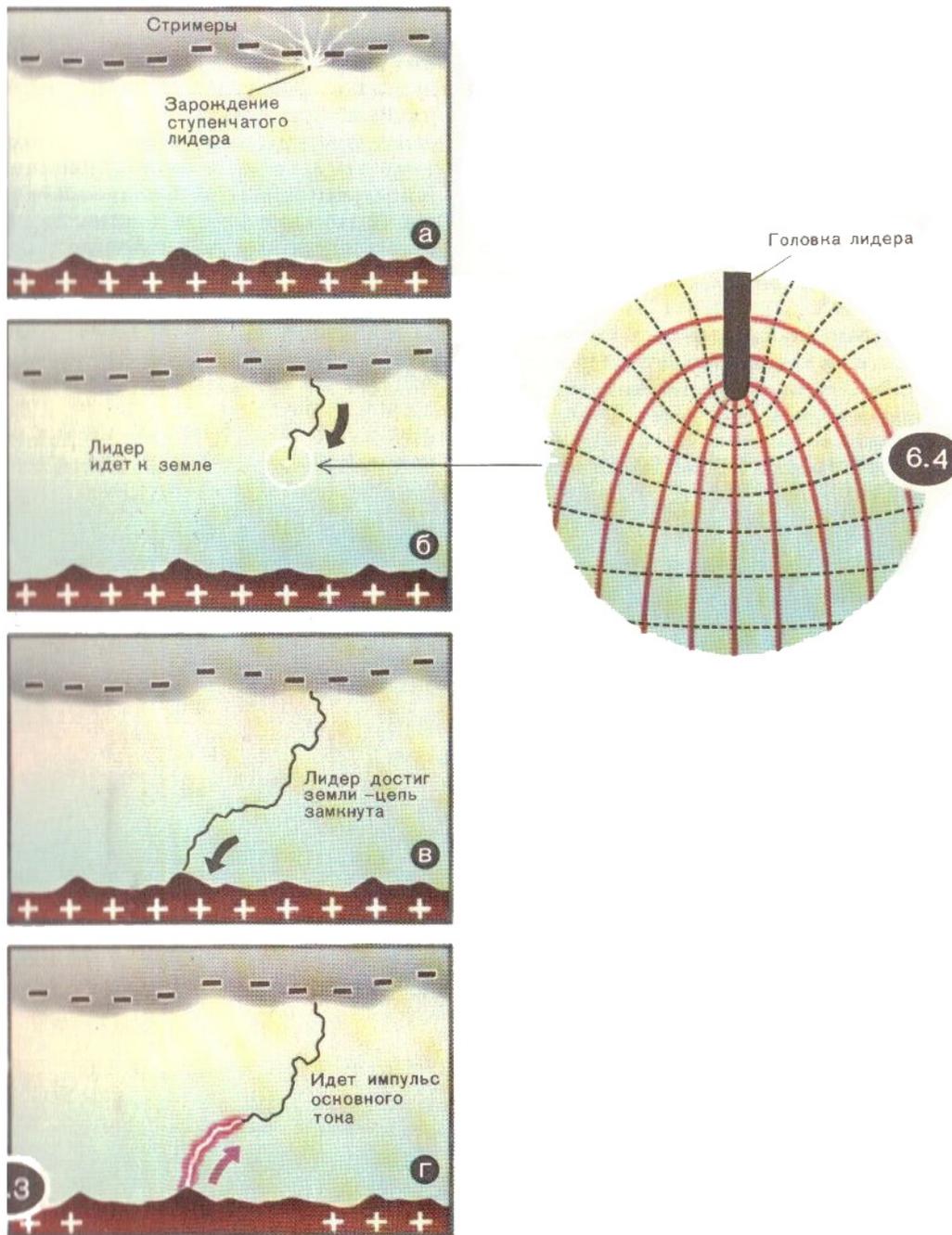
Линейную же молнию сравнительно нетрудно получить искусственно. Для этого надо создать достаточно большую разность потенциалов между двумя электродами. Если, например, расстояние между электродами равно 1 м, то для возникновения электрического пробоя межэлектродного воздушного промежутка (для создания искусственной молнии) нужна разность потенциалов $10^5 \dots 10^6$ В. На рисунке 6.2,а изображена такая искусственная молния. Надо заметить, что искусственные молнии весьма разнообразны, они могут иметь причудливую форму. В качестве примера укажем так называемый скользящий разряд, развивающийся (при определенной конструкции электродов) в плоскости от центра к периферии (рис.6.2,б).

«Паспортные данные» линейной молнии. Рассмотрим линейную молнию, возникающую между тучей и землей и имеющую длину, равную нескольким километрам. Разность потенциалов между тучей и землей достигает в данном случае 10^9 В. Это в тысячи раз превышает разность потенциалов между землей и нижней границей ионосферы, обеспечивающую атмосферные электрические токи хорошей погоды (см. предыдущую главу). Разряд молнии длится около 0,1 с. Средняя сила разряда составляет примерно 10^3 А, а общий заряд, переносимый молнией, достигает 100 Кл (в среднем около 20 Кл). Выделяющаяся в канале молнии энергия равна $10^9 \dots 10^{10}$ Дж. Канал молнии очень узкий. Видимый канал имеет диаметр около 1 м; при этом основной ток протекает по еще более узкому «внутреннему» каналу диаметром всего 1 см.

Наблюдая разряд линейной молнии, мы не замечаем, что он состоит из нескольких (иногда до десятка) последовательных импульсов. Длительность каждого импульса составляет всего 10^{-3} с. Промежутки между импульсами порядка 10^{-2} с. Во время импульса канал молнии нагревается до 2×10^4 К; в течение промежутки между импульсами он остывает до 10^3 К. Максимальная сила тока в импульсе может

превышать 10^5 А.

Предположим, что перпендикулярно к каналу молнии дует сильный ветер, который смещает канал на метр и более в секунду. В этом случае импульсы разряда оказываются пространственно смещенными относительно друг друга – возникает ленточная молния.



Рассмотрим задачу. Оценить энергию, выделяющуюся при разряде молнии, полагая, что электрическое поле между земной поверхностью и нижней границей тучи является однородным, т. е. подобно полю внутри плоского конденсатора. Горизонтальные размеры тучи 4×4 км, расстояние от тучи до земли 1 км, разность потенциалов между тучей и землей 10^9 В.

Для оценки можно принять, что энергия молнии равна энергии плоского конденсатора, образуемого нижним краем тучи и земной поверхностью. Площадь S каждой пластины такого конденсатора определяется горизонтальными размерами тучи. В данном случае $S=16 \text{ км}^2=1,6 \times 10^7 \text{ м}^2$. Расстояние между пластинами конденсатора $d=10^3$ м, а разность потенциалов $U=10^9$ В. Сначала находим емкость C рассматриваемого природного конденсатора, используя формулу

$$C = \varepsilon_0 S / d \quad (6.1)$$

Здесь ε_0 – электрическая постоянная; $\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ Ф/м. Подставляя числовые значения, получаем $C = 1,5 \times 10^{-7}$ Ф = 0,15 мкФ. Хотя наш «конденсатор» имеет весьма внушительные размеры, его электроемкость оказывается довольно скромной; в радиоприемниках применяются конденсаторы с электроемкостью в сто и тысячу раз большей, Пранда, у нашего «конденсатора» очень велика разность потенциалов, поэтому и энергия оказывается большой. Энергию W находим по формуле

$$W = \frac{1}{2} C U^2 \quad (6.2)$$

Подставляя сюда численные значения, получаем $W = 7,5 \times 10^{10}$ Дж. На самом деле энергия молнии по крайней мере на порядок меньше. Это вполне понятно, так как, во-первых, поле между тучей и землей лишь приближенно можно считать плоским и, во-вторых, одна молния не разряжает полностью «конденсатор» туча – земля.

Физика линейной молнии, проскакивающей между тучей и землей.

Как уже говорилось, линейная молния представляет собой несколько импульсов, быстро следующих друг за другом. Каждый импульс – это пробой воздушного промежутка между тучей и землей, происходящий в виде искрового разряда. Начнем с рассмотрения первого (начального) импульса. В его развитии есть две стадии: сначала образуется канал разряда между тучей и землей, а затем по образовавшемуся каналу быстро проходит импульс основного тока.

Первая стадия (образование канала разряда) показана на рисунках 6.3,а,б,в. Все начинается с того, что в нижней части тучи формируется электростатическое поле очень большой напряженности – $10^5 \dots 10^6$ В/м. Свободные электроны получают в таком поле огромные ускорения. Эти ускорения направлены вниз, поскольку нижняя часть тучи заряжена отрицательно, а поверхность земли положительно. На пути от одного столкновения до другого электроны приобретают значительную кинетическую энергию. Поэтому, сталкиваясь с атомами и молекулами, они ионизируют их. В результате рождаются новые (вторичные) электроны, которые, в свою очередь, ускоряются в поле тучи и затем в столкновениях ионизируют новые атомы и молекулы. Возникают целые лавины быстрых электронов, образующие у самого «дна» тучи плазменные «нити» – так называемые стримеры.

Сливаясь друг с другом, стримеры дают начало плазменному каналу, по которому впоследствии пройдет импульс основного тока (рис. 6.3,а). Этот развивающийся от «дна» тучи к поверхности плазменный канал наполнен свободными электронами и ионами и поэтому может хорошо проводить электрический ток. Его называют лидером или, точнее, ступенчатым лидером. Дело в том, что канал формируется не плавно, а скачками – «ступенями».

Головка лидера выскакивает из тучи и движется к земле с огромной скоростью (порядка 10^7 м/с). Пройдя около 50 м, она внезапно останавливается. Остановка длится около 50 нс. Лидер как бы «набирается сил», как бы «размышляет», в каком направлении ему двигаться далее. Затем следует бросок еще на 50 м, причем совсем не обязательно в направлении предыдущего броска, – и снова остановка на 50 нс. Так отдельными бросками (ступенями) головка лидера постепенно приближается к земной поверхности, оставляя позади себя канал разряда в виде прихотливой ломаной линии (рис. 6.3,б). Заметим, что лидер светится относительно слабо, он почти не виден; при высокоскоростной фотосъемке его головка выглядит небольшим светлым пятнышком, рывками перемещающимся к земле.

Почему в движении лидера наступают паузы и притом относительно регулярные – этого мы пока не знаем. Но сами физические процессы, происходящие вблизи головки лидера, вполне понятны.

Напряженность поля под тучей достаточно велика – она составляет $10^3 \dots 10^4$ В/м; в области пространства непосредственно перед головкой лидера она еще больше. Увеличение напряженности поля в этой области хорошо объясняет рисунок 6.4, где штриховыми кривыми показаны сечения эквипотенциальных поверхностей, а сплошными кривыми – линии напряженности поля. В сильном электрическом поле вблизи головки лидера происходит интенсивная ионизация атомов и молекул воздуха. Она происходит за счет, во-первых, бомбардировки атомов и молекул быстрыми электронами, вылетающими из лидера (так называемая ударная ионизация), и, во-вторых, поглощения атомами и молекулами фотонов ультрафиолетового излучения, испускаемого лидером (фотоионизация). Вследствие интенсивной ионизации встречающихся на пути лидера атомов и молекул воздуха плазменный канал растет, лидер движется к поверхности земли.

Но вот лидер, наконец, достиг земли (рис.6.3,в). С учетом остановок по пути ему понадобилось на это время 10...20 мс при расстоянии 1 км между тучей и земной поверхностью. Теперь тучу соединяет с землей плазменный канал, прекрасно проводящий ток. Канал ионизованного газа как бы замкнул тучу с землей накоротко. На этом первая стадия развития начального импульса заканчивается.

Вторая стадия протекает быстро и мощно. По проложенному лидером пути устремляется основной ток (рис. 6.3,г). Импульс тока длится примерно 0,1 мс. Сила тока достигает значений порядка 10^5 А. Выделяется значительное количество энергии (до 10^9 Дж). Температура газа в канале достигает $(1...2) \times 10^4$ К. Вот теперь как раз и рождается тот необычайно яркий свет, который мы наблюдаем при разряде молнии, и возникает гром, вызванный резким расширением внезапно нагретого газа.

Существенно, что и свечение, и разогрев плазменного канала развиваются в направлении от земли к туче, т.е. снизу вверх. Поясим это, разбив условно весь канал на несколько частей. Как только канал образовался (головка лидера достигла земли), вниз соскакивают прежде всего те электроны, которые находились в самой нижней его части; поэтому нижняя часть канала первой начинает светиться и разогреваться. Затем к земле устремляются электроны из следующей (более высоко находящейся) части канала; начинаются свечение и разогрев этой части. И так постепенно – от низа до верха – в движение к земле включаются все новые и новые электроны; в результате свечение и разогрев канала распространяются в направлении снизу вверх.

Слева вверху на с. 91 даны последовательные снимки, демонстрирующие постепенное формирование канала разряда. Ниже представлены снимки, показывающие, как развивается импульс основного тока. Видно, что это развитие совершается и направлении снизу вверх.

Мы видим, таким образом, что молния бьет не из тучи в землю, как это обычно принято считать, а, наоборот, из земли в тучу, Зевсы, юпитеры, перуны и прочие боги-громовержцы метали свои «молнии», что называется, «от себя» – их молнии били сверху, из туч. Так это и изображалось на всевозможных картинах. Действительность оказалась иной настоящие молнии бьют снизу вверх. И уже по одной лишь этой причине утрачивают даже подобие «божественного происхождения».

Но вернемся к физике молнии. После того как прошел импульс основного тока, наступает пауза длительностью от 10 до 50 мс. За это время канал практически гаснет, его температура падает примерно до 10^3 К, степень ионизации канала существенно уменьшается.

Однако в туче еще сохранился большой заряд, поэтому новый лидер устремляется из тучи к земле, готовя дорогу для нового импульса тока. Новый лидер идет по пути, который был проторен начальным лидером, – ведь на этом пути сохранилось еще много ионов. Поэтому новому лидеру, вообще говоря, не приходится «выбирать дороги», он без остановок, за время порядка 1 мс, пробегает весь путь сверху донизу. Его теперь называют не ступенчатым, а стреловидным лидером. И снова следует мощный импульс основного тока, распространяющийся по восстановленному каналу снизу вверх.

После очередной паузы, измеряемой десятками миллисекунд, все повторяется. В итоге высвечиваются несколько мощных импульсов, которые мы, естественно, воспринимаем как единый разряд молнии, как единую яркую вспышку.

Такова в общих чертах физика линейной молнии, возникающей между тучей и землей. Следует оговориться, что действительная картина физических процессов оказывается сложнее. Так, не всегда стреловидный лидер следует точно и полностью по пути, проложенному ступенчатым лидером. В какой-то точке этого пути он может вдруг «предпочесть» изменение дальнейшего маршрута. И тогда мы наблюдаем молнию по форме раздвоенной ломаной линии.

Гром. Гром возникает вследствие резкого расширения воздуха при быстром повышении температуры в канале разряда молнии.

Вспышку молнии мы видим практически как мгновенную вспышку и в тот же момент, когда происходит разряд; ведь свет распространяется со скоростью 3×10^8 м/с. Что же касается звука, то он распространяется значительно медленнее. В воздухе его скорость равна 330 м/с. Поэтому мы слышим гром уже после того, как сверкнула молния. Чем дальше от нас молния, тем, очевидно, длиннее пауза между вспышкой света и громом и, кроме того, слабее гром. Измеряя длительность таких пауз, можно приближенно оценить, как далеко от нас в данный момент гроза, насколько быстро она приближается к нам или, напротив, удаляется от нас. Гром от очень далеких молний вообще не доходит – звуковая энергия рассеивается и поглощается по пути. Такие молнии называют зарницами.

Почему мы слышим гром в течение нескольких секунд, тогда как разряд молнии (с учетом всей совокупности последовательных импульсов) длится всего 0,1...0,2 с? Причин тому две. Во-первых, молния имеет большую длину (она измеряется километрами); звук от разных ее участков доходит до нас в разные моменты времени. Во-вторых, происходит отражение звука от облаков и туч – возникает эхо. Эти две причины и приводят к тому, что вслед за короткой вспышкой молнии слышатся более или менее долгие раскаты грома.

Заметим, что отражением звука от облаков объясняется происходящее иногда усиление громкости звука в конце громовых раскатов.

(Л.В. Тарасов, Физика в природе, Кн. для уч-ся, - М.: Просвещение, 1988, с.92-100)