

YILDIRIM BOŞALMASI ve

YILDIRIMDAN KORUNMA



Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ

İstanbul Teknik Üniversitesi - Elektrik-Elektronik Fakültesi



YILDIRIM

Işığı (şimşek) ve sesi (gök gürültüsü) ile ayrımsal (fraktal) bir olay olan yıldırım, herkes tarafından bilinen, en tanınmış doğa olayıdır.



İlk insanlar ve atalarımız yıldırım tanrının öfkesi ve güç gösterisi olarak görmüştür.

M.Ö. 2200'lü yıllarda yaşamış olan Akadlılar'ın, ateşli bir yıldırım oku ve gök gürültüsünü temsil eden kamçısıyla bir hava tanrısı olduğu bilinmektedir.



Eski Yunanlılar, yıldırım boşalmalarının Zeus'un silahı olduğuna inanırlardı (M.Ö. 5. yüzyıl).



Romalılar ise yıldırımın Jupiter'in Vulcan tarafından yapılan silahı olduğuna inanıyorlardı.





İskandinavlıların Thor adını verdikleri bir yıldırım tanrısı vardı.

Thor's Day



Almanların Thunar, Donar veya Donner,
veya İngilizce Dunnor olarak söylenen bir
yıldırım tanrısı vardı.



Slavların Perun,
Finlilerin Ukko Pitkänen,
Rusların Pjarun,
Pole'lerin Piorun,
Sırp'ların Dunder,
Litvanyalıların Perkuns veya Perkunas,
the prime Celtic thunder god is Taranis olarak söylenen
yıldırım tanrıları vardı.



Hintlilerin
Indra adını verdikleri
bir yıldırım tanrısı vardı.



Indra holding vajra ['thunderbolt' club]

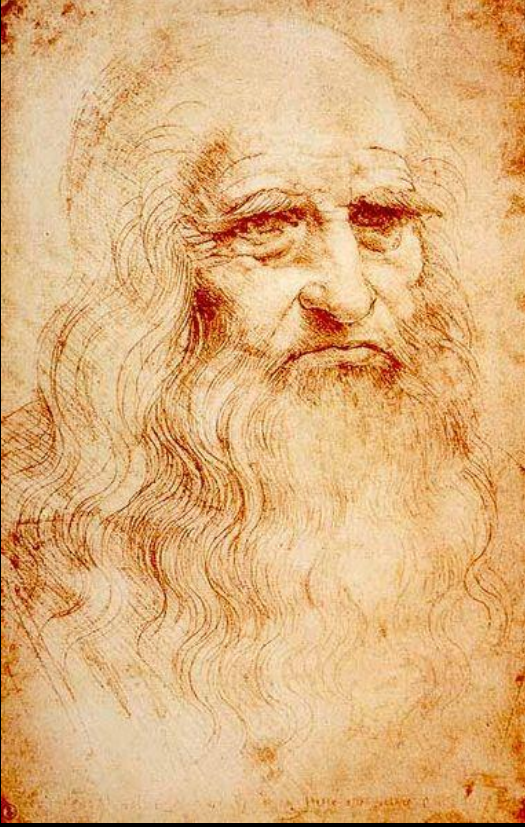
Bunların dışında da yıldırım ve gök gürültüsü pek çok eski uygarlıkta ve mitolojide yer almaktadır.





Aristo, yıldırım olayını dünya ile ay arasındaki boşlukta, ateş ile hava arasındaki dengenin değişimi olarak açıklamaya çalışmıştır.

Aristoteles
(MÖ 384 – MÖ 322)
Antik Yunan Filozofu



Uzun yıllar sonra, Leonardo da Vinci, yıldırımın bulutların çarpışmasının bir sonucu olduğunu söylemiştir.

Bu açıklamalarda, yıldırım ile elektriksel olaylar arasındaki ilişki bilinmiyordu.

Leonardo da Vinci

(15 Nisan 1452 – 2 Mayıs 1519)

İtalyan mimar, müzisyen,
anatomist, mucit, mühendis,
heykeltıraş, geometrici ve ressam



Otto von Guericke
(1602 – 1686)
Alman Fizikçi

Elektrik üretmek için yapılan ilk araç,
1663'te yapılan, Otto von Guericke'nin
sürtünme makinası idi.





Eski Yunanlılar, kechribarın (Yunanca "Electra"nın) bir k rke sürtüldüğünde, kağıt (papi r s) veya tahta gibi küçük parçacıkları çektiğini biliyorlardı.



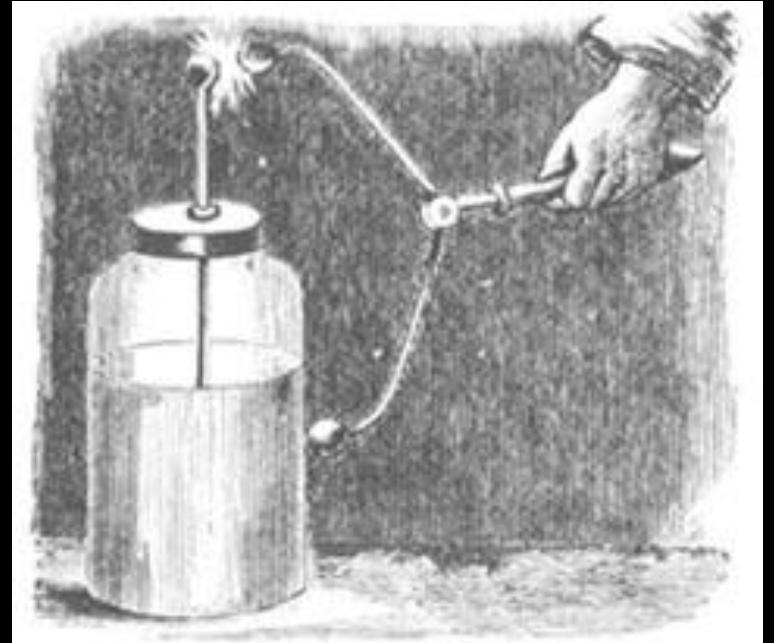
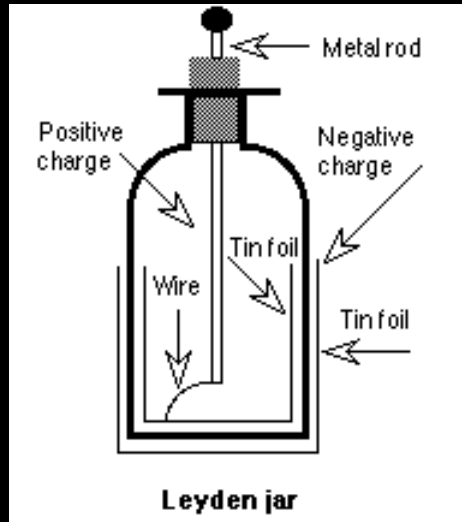
 ngiliz bilim adamı William Wall, "elektrik boşalmasının kıvılcım şekli ve sesi ile yıldırıma ve gök gürültüsüne benzer" olduğunu söyleyen ilk ki iydi. Yıl 1708 idi.

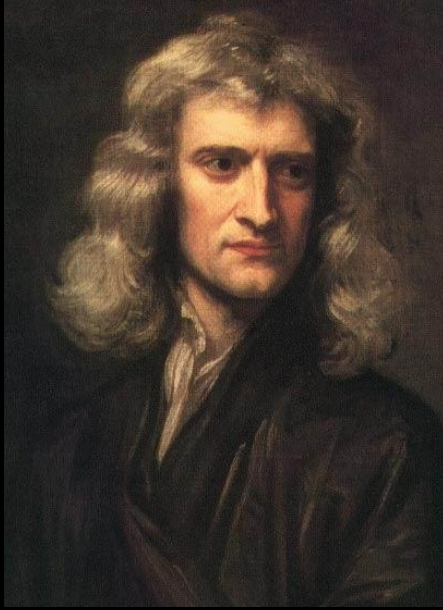


1745'te "Leiden (Leyden) şişesi" olarak bilinen yapıyı oluşturan Pieter van Muschenbroek, "elektrik kıvılcımlarının yıldırım boşalmalarına benzer" olduğunu söylemiştir.

Pieter van Muschenbroek
(1692-1761)

Hollandalı Matematik Öğretmeni





Isaac Newton
(1643-1727)

İngiliz fizikçi, matematikçi, astronom,
mucit, filozof, simyacı

18. yüzyıldan beri yıldırım olayı
üzerinde çalışan pek çok araştırmacı
bulunmaktadır.

Newton, elektrik boşalmalarını gözlerken
"kıvılcımları gözlemem beni çok küçük
ölçekte bir yıldırımın gözlediğimi
düşünmeme neden oldu" dedi.





Benjamin Franklin
(1706-1790)

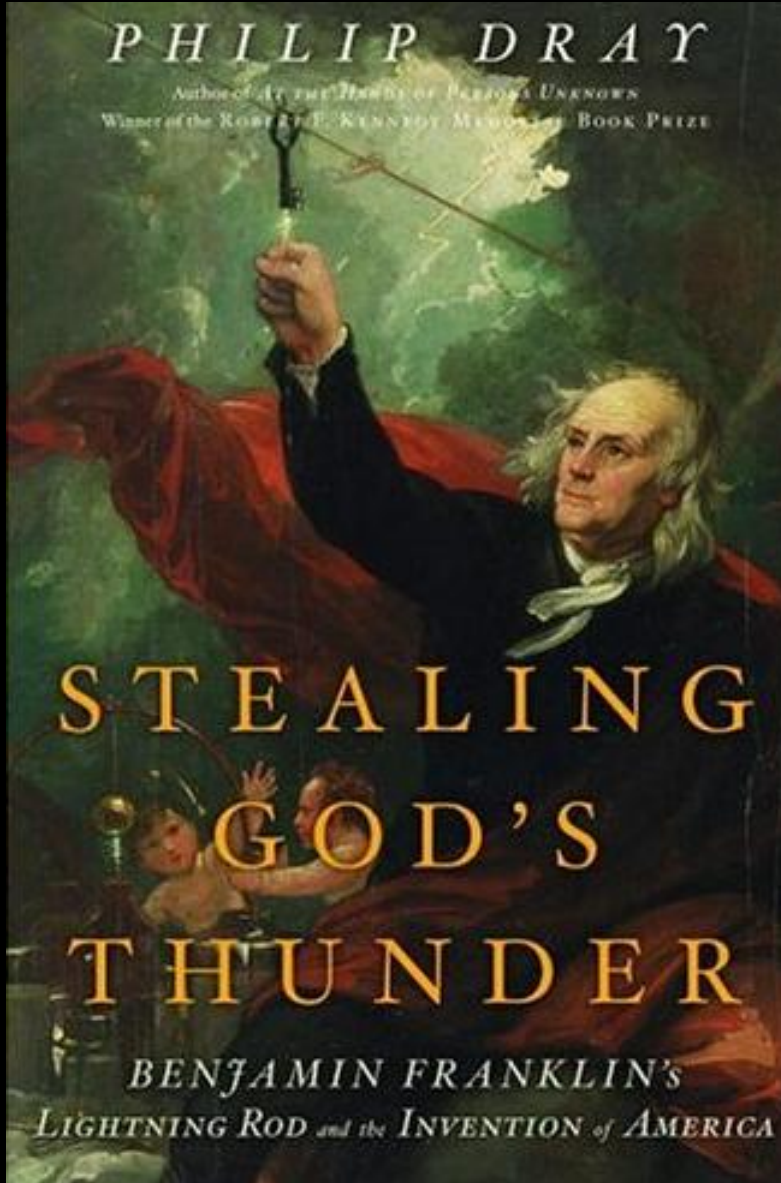
Benjamin Franklin, 1749'da, çalışmaları sonunda elektrik akımı ile yıldırım boşalması arasındaki benzerliği söylediği çalışmalar yapmıştır.





Benjamin Franklin'in uçurtma deneyi (1752)

Oğlu ile Leyden şişesine ipe bağlı anahtar üzerinden yıldırım yüklüyor



Benjamin Franklin, 1760'ta Philadelphia'da Mr. West binasına yıldırım çarparken etkinliğini kanıtladığı "yıldırım çubuğu (bugün Franklin çubuğu veya yakalama ucu olarak söylenen koruma elemanı)" ile bir yıldırımdan koruma sistemi tasarlamıştır.

This rod is believed to be an original of Franklin's.

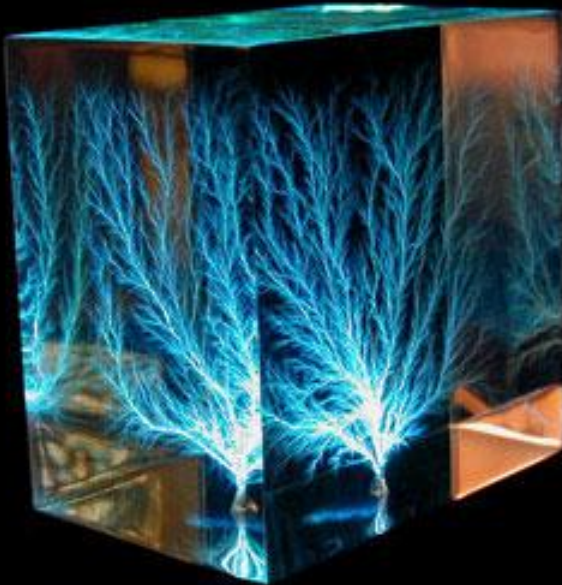




Georg Wilhelm Richmann
(1711-1753)

Yıldırım boşalması üzerine çalışmalar yapan
St. Petersburg'lu Prof. Richmann, 1753 yılında gerçek yıldırım
yaptığı deney sırasında yıldırım çarpması sonucu öldü.
Asistanı ağır yaralı... 6 Ağustos 1753

Lichtenberg şekilleri olarak
adlandırılan şekilleri keşfeden
Lichtenberg



Georg Christoph Lichtenberg
(1742 – 1799)
Alman Bilim Adamı, Fizikçi



İlk klidonografi yapan Peters, yıldırım boşalmalarının fotoğrafını çekmek için dönen kamerayı geliştiren Boys, ilk yıldırım boşalması simülatörünü (üretecini) yapan Steinmetz, 1924 yılında darbe üreticini geliştiren Erwin Marx (1893 - 1980) ve daha pek çok kişi bu konuda çalışmalarda bulunmuştur.

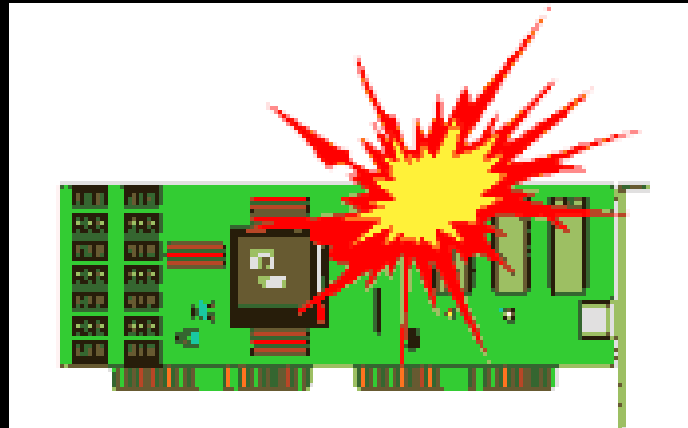
YILDIRIM

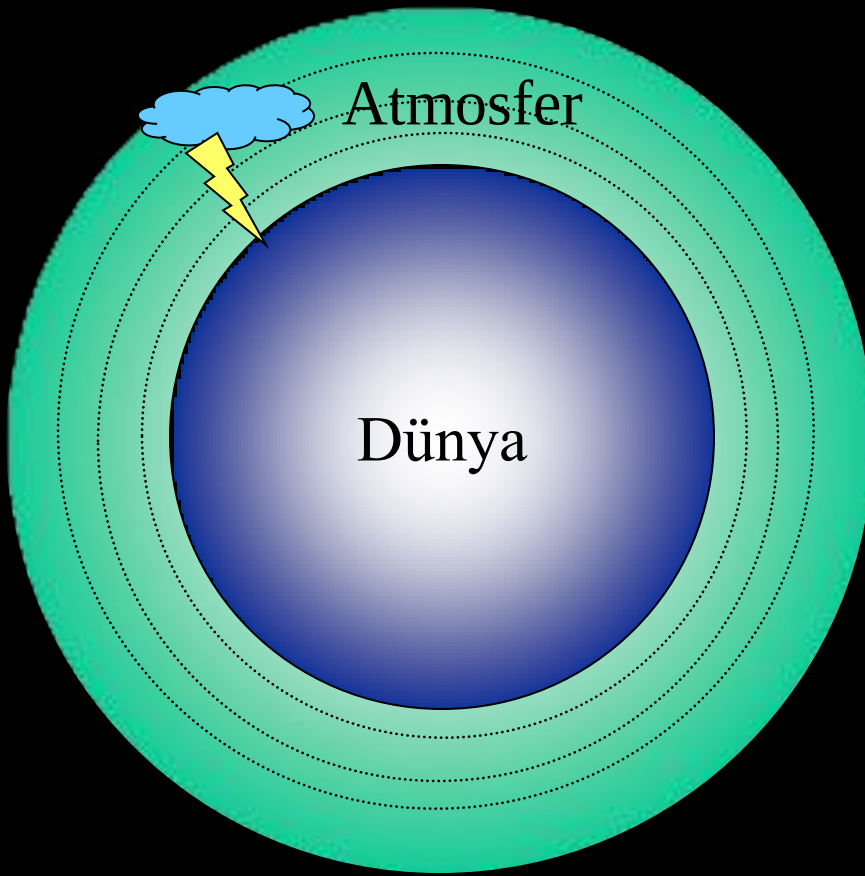


Yıldırım, rasgele ve kestirilemez bir olaydır.

Yıldırım, "en az dirençli yol" olarak adlandırılan temel fizik yasasını izlemektedir.

Yıldırım, her yıl dünyada ortalama 20 000'den fazla yangına ve 2 milyar doları aşan maddi zarara neden olur.





Atmosferin Katmanları

Troposfer: 6-16 km

Stratosfer: 25-30 km

Şemosfer: 80-90 km

İyonosfer: 250-200 km

Eksosfer: 10000 km

Uzay

veya

Dünya + 100-150 km Heaviside

tabakası + 200-700 km ikinci tabaka

Küresel Kondansatör:

Dünyanın ortalama yarıçapı, $r_1 = 6368$ km

Yıldırımın olduğu tabakanın kalınlığı, $a = 50$ km ($r_2 = 6418$ km)

$\epsilon_0 = 8,854$ pF/m = 8,854 nF/km

ϵ_r (hava) = 1

$$C = 4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot r_1 \cdot r_2 / (r_2 - r_1) \approx 90 - 100 \text{ mF}$$

veya Düzlemsel (bulut-yer) kondansatörü: elektrotları arası açıklık = yaklaşık 1-2 km



Yıldırım Bulutu
Kümülü-nimbus
(Çap: yaklaşık 10 km
Yükseklik: yaklaşık 14-15 km)

Yeryüzündeki ortalama elektrik alanı:

İyi havada:

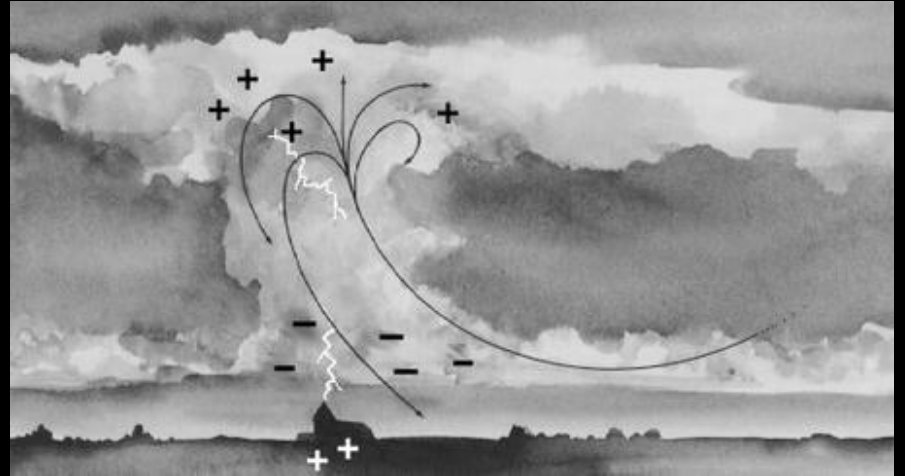
$$100 \text{ V/m} = 0,1 \text{ kV/m} = 0,001 \text{ kV/cm}$$

Fırtınalı (yıldırımlı) havada:

$$15\text{-}20 \text{ kV/m}$$

Bulutun altındaki alan:

$$1000 - 10000 \text{ V/m} = 1 \text{ kV/m} - 10 \text{ kV/m}$$



Yıldırım türleri:

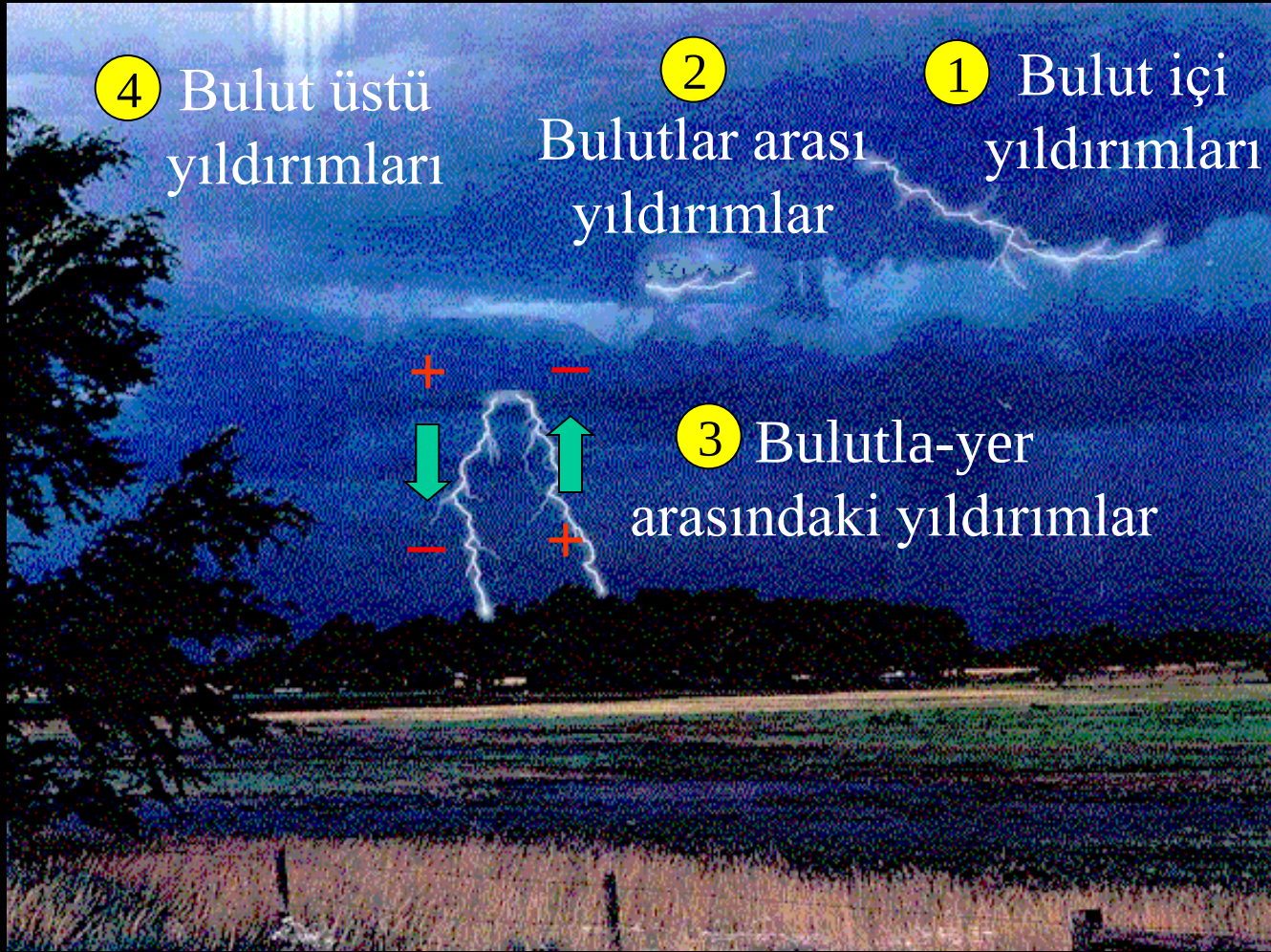
1. Bulutiçi
2. Bulutlararası
3. Buluttan havaya (Bulutüstü)
4. Bulut-yer



Bulut-yer yıldırımları,

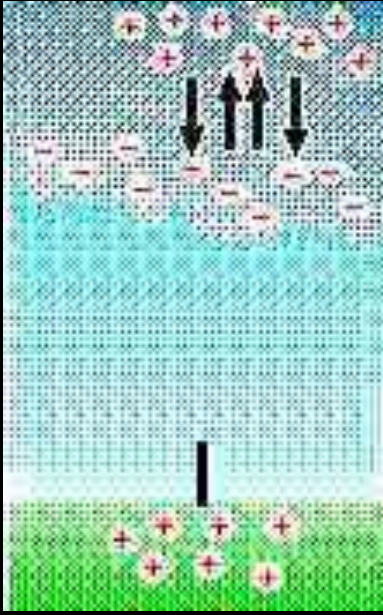
elektriksel boşalmanın **gelişme yönüne** (yukarı veya aşağı) ve gelişen yüklerin **kutbiyetine** (pozitif veya negatif olmasına) göre dört türdür.

- 4.1. Negatif inişli (%90)
- 4.2. Negatif çıkışlı
- 4.3. Pozitif inişli
- 4.4. Pozitif çıkışlı



Yıldırım,
yüksek **akımlı** (**2-400 kA**), yüksek **gerilimli** (**100-1000 MV**),
en büyük **açıklıkta** (**1-3 km**) gerçekleşen
güçlü bir elektriksel boşalma olayıdır.

Yıldırım Boşalmasının Temel Evreleri



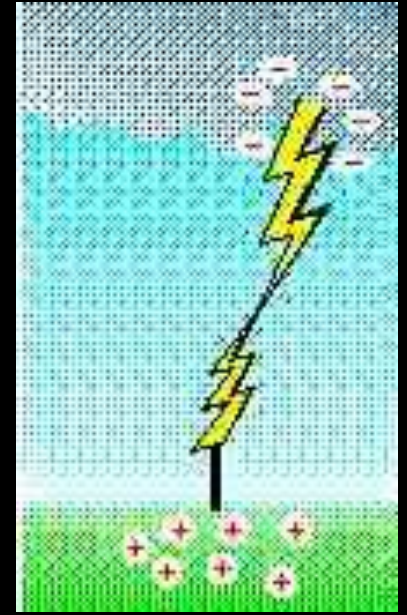
Yüklerin
Oluşumu



Yıldırım
Boşalmasının
Başlangıcı



Yıldırım
Boşalmasının
Gelişimi



Yıldırım
Boşalması



ÖZELLİKLER

Ön boşalma başlangıç elektrik alan şiddeti = 10 kV/cm

Ön boşalma adım uzunlukları = 10 - 80 m (ortalama 50 m)

Ön boşalmanın hızı = 50 - 50 000 km/s

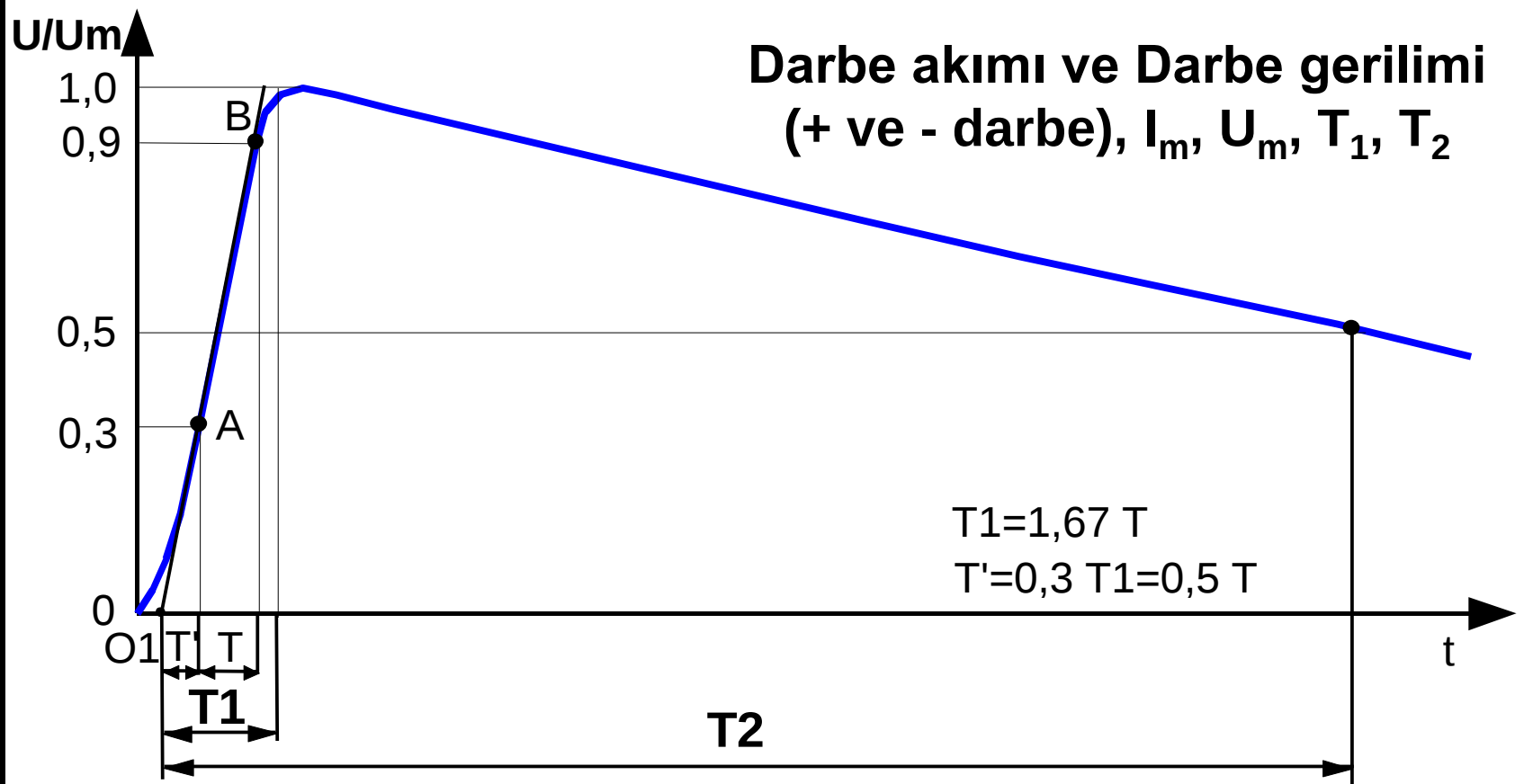
Adımlar arası duraklama süresi = 30 - 100 mikrosaniye

Yıldırımın özellikleri:

Yıldırımın elektrik yükü = 0,05 - 50 Coulomb (kulon)

Akımı = 3 kA - 400 kA (20-60 kA) (800-500 000 A)

Negatif yıldırımların maksimum akımı 25 kA kadar.



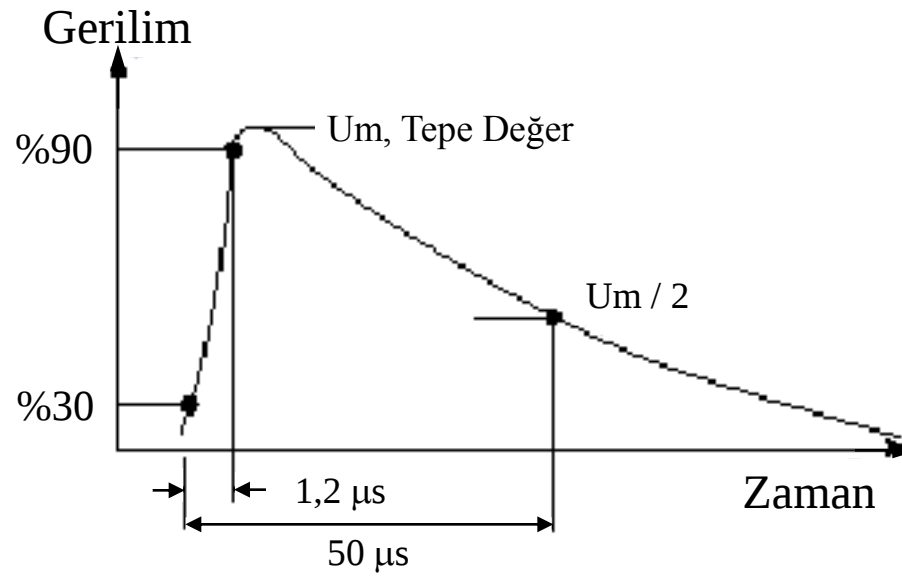
Gerilim, $U = 100-1000$ MV (megaVolt)

Akım, $I = 3 - 400$ kA (kiloAmper)

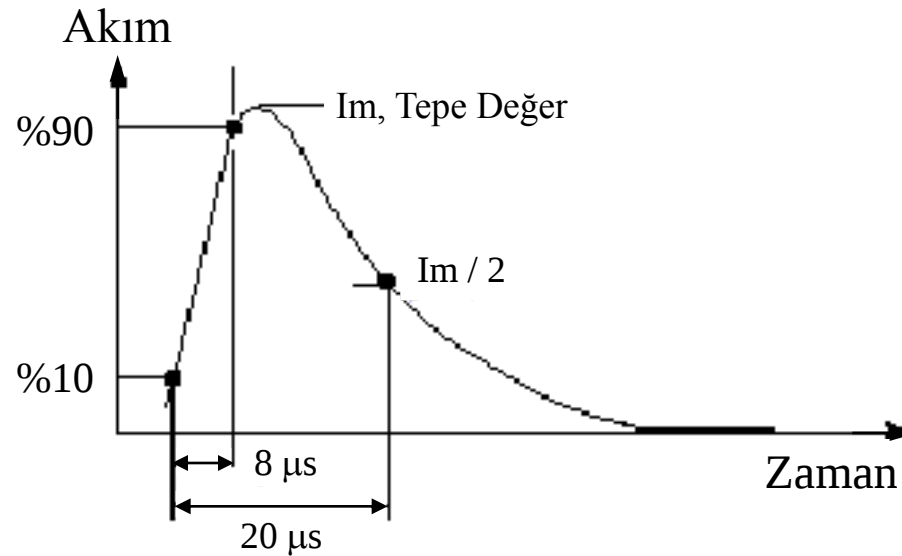
Örnek:

Güç, $P = U \times I = 100$ kV $\times$ 20 kA = 2000 MW (megaWatt)

Enerji, $W = P \times t = 2000$ MW $\times$ 10 mikrosaniye = 200 Ws = 200 J



Gerilim Darbesi



Akım Darbesi

Yıldırımın etkileri

Doğrudan + Dolaylı etkiler

- 1. Termik (ısı) etki**
(Joule kaybı nedeniyle ortaya çıkan ısı), (yangın, erime)
- 2. Termodinamik veya elektrodinamik etki**
(şekil değiştirme, deformasyon)
- 3. Elektromanyetik etki** (endüksiyon etkisi)
- 4. Akustik etki** (gök gürültüsü) (yaklaşık 10 km'ye kadar)
- 5. Görsel etki** (ışık etkisi) (şimşek)
- 6. Elektrokimyasal etki** (Ozon, NO)
- 7. Canlılara** (insan ve hayvanlara) **etkisi**,
tehlikeli yanıklar, kas kasılmaları,
kalp ve solunum sorunu, adım gerilimi

YILDIRIMLIK

(Fransızca **Paratonneire**, Eşanlamlı **Paratoner**, Eski eşanlamlı **Siperisaika**)

Yapıları, yıldırımın etkilerinden korumaya yarayan düzenek.

18. yy. ortalarında Buffon, Romas ve Franklin'in yaptıkları incelemeler, "Franklin çubuğu" denilen ve günümüzde de kullanılan düzeneğin bulunmasıyla sonuçlandı.

Düzenek, bir metal çubuktan, onu toprağın içinde bulunan topraklayıcıya bağlayan bir bağlantı iletkeninden ve toprak içinde akımı dağıtmaya yarayan topraklayıcıdan oluşur.

Louis Mertens, 19. yy.'da Faraday kafesi adı verilen, korunacak binayı topraklanmış iletkenler içine (bir Faraday kafesi içine) almaya dayanan bir yöntem geliştirmiştir. Art nouveau, bu düzeneğe kullanmak için çeşitli çatı süslemeleri geliştirmiştir.

Daha sonraları sivri uçlarda radyoaktif elementler kullanarak, yeniden yakalama ucu gibi yapılarla koruma yapılmıştır. Günümüzde radyoaktif yıldırımliklar, olası bir radyoaktiviteden sakınmak için terk edilmektedir ve yerine radyoaktif olmayan yıldırımliklar kullanılmaktadır.



Benjamin FRANKLIN

Amerikalı filozof, fizikçi ve devlet adamı (Boston 1706-Philadelphia 1790).

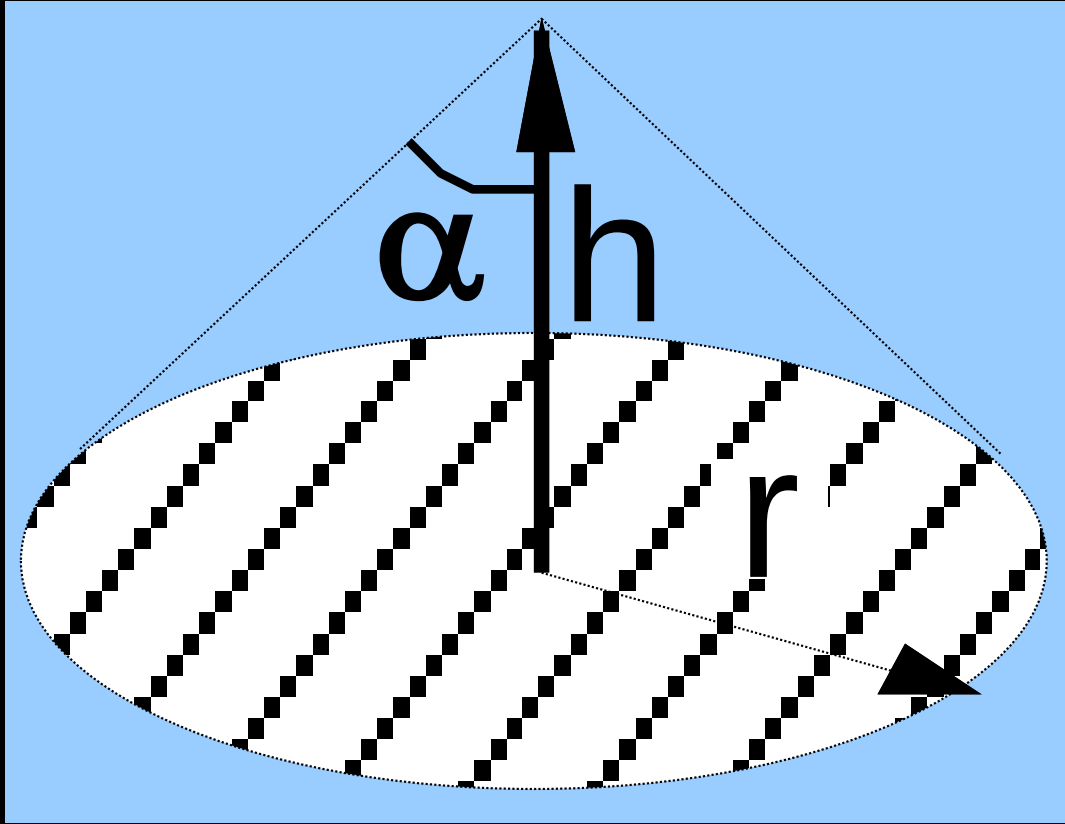
Genç yaşta, basımevi yöneten ve liberal bir gazete yayımlayan kardeşi James'in yanına girdi, basımcılık mesleğini sevdi ve edebiyat çalışmalarına başladı.

1730'da Philadelphia'da bir basımevi ve bir gazete kurdu. Poor Richard adlı bir almanak çıkardı.

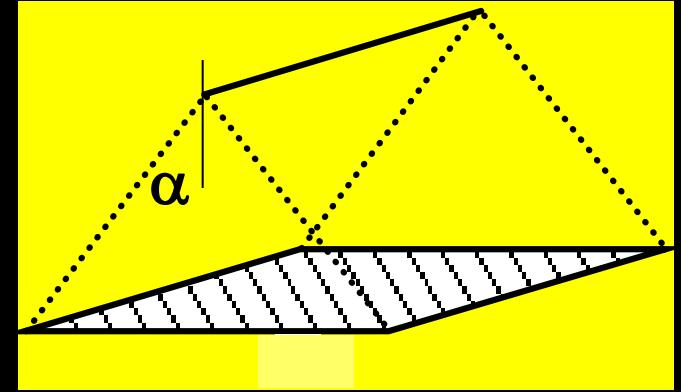
Her şeye ilgi duyuyordu; bir kulüp açtı, bir kütüphane, bir hastane ve yangına karşı bir sigorta şirketi kurdu, basımevlerini çoğalttı; mason etkinliklerine katıldı, zamanla en önde gelen masonlardan biri oldu. Franklin, özellikle elektrik olaylarıyla ilgili araştırmalar yaptı, uçların gücünü keşfetti ve elektriğin korunumu ilkesini ortaya attı. 1752'de, şimşegın elektrikselle özelliğini buldu ve yıldırımılığı icat etti. Bunun üzerine Royal Society of London ve Paris Bilimler akademisi Franklin'e kapılarını açtı. Franklin 1736'da, Philadelphia meclis sekreteri oldu ve siyasete atıldı. 1750'de Pennsylvania meclisi'ne seçildi, arazi vergisine karşı olan büyük ailelerle mücadele etti.



İngiliz Amerika Postaları'nın genel müdürlüğüne getirildi, posta servisinde düzeltmeler yaptı. Kuzey Amerika'daki sömürgeler isyanının başlangıcında, sömürgelerde yaşayanlar Franklin'i, 1757'de şikayetlerini Londra'ya iletmekle, 1765'te de Damga resmi yasası'na karşı itirazlarını Lord Grenville'e bildirmekle görevlendirdi. 1772'de Massachusetts valisi Hutchinson'un sömürge halkına yönelen hakaretlerle dolu mektuplarını ele geçirerek yayımladı. Neredeyse asilerin suç ortağı diye tutuklanacaktı. Hem İngiltere kralının sadık bir uyruğu, hem iyi bir Amerikan vatandaşı olarak kalamayacağını anladı. Philadelphia'da coşkuyla karşılandı ve birinci Amerikan Kongresi'ne milletvekili seçildi. Jefferson ve John Adams ile birlikte Bağımsızlık Bildirisi'ni hazırladı (1776) ve tek başınalık siyasetinden yana olmasına karşın, Fransa ile ittifak görüşmelerini yürütmekle görevlendirildi. Paris'te coşku ve hayranlıkla karşılandı ve Fransızlar'ın bu duygularından yararlanmayı başardı. 1778'de Fransa ile ABD arasında dostluk anlaşması, daha sonra, 1783'te İngiltere ile barış antlaşması imzalandı. Bununla birlikte, Franklin Amerika'ya ancak 1785'te döndü.

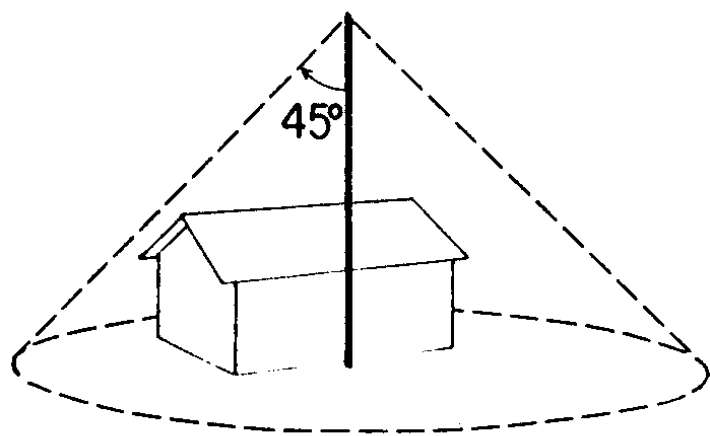


Benjamin Franklin (1706-1790)
Franklin çubuğu (1760), Franklin konisi

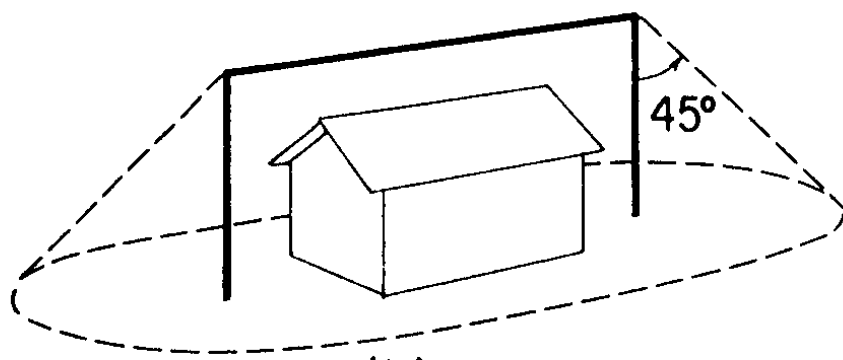


Koruma teli,
Koruma hattı,
Koruma iletkeni

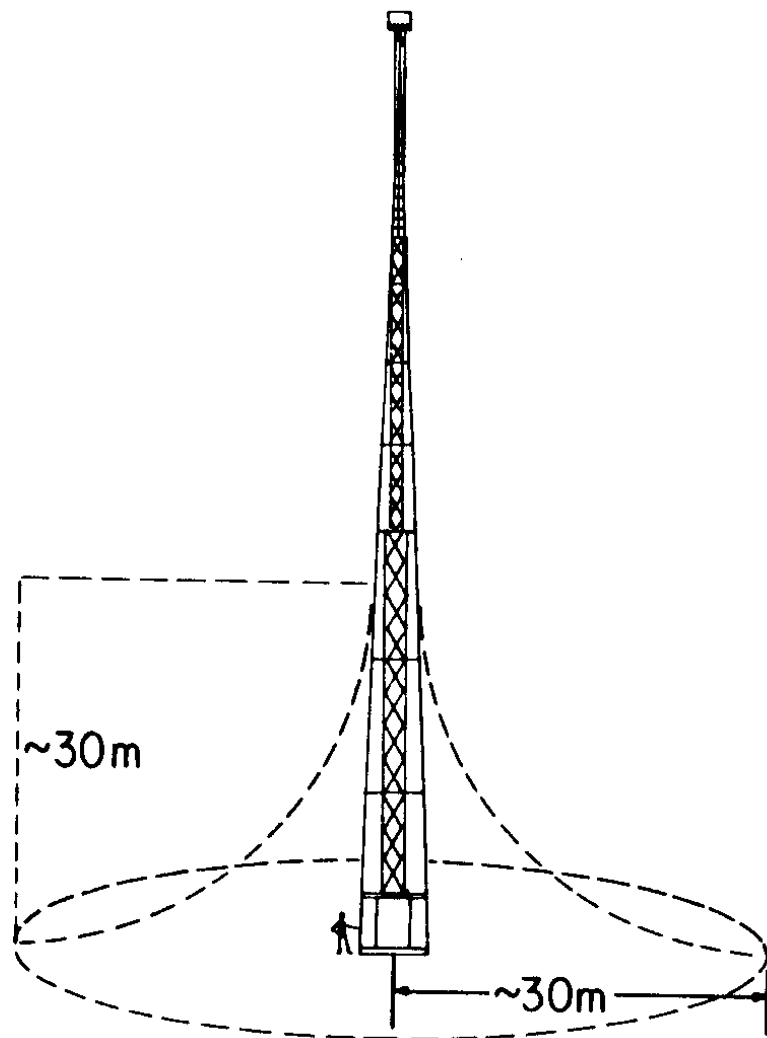
Koruma açısı
Koruma bölgesi



(a)



(b)



(c)



Michael FARADAY

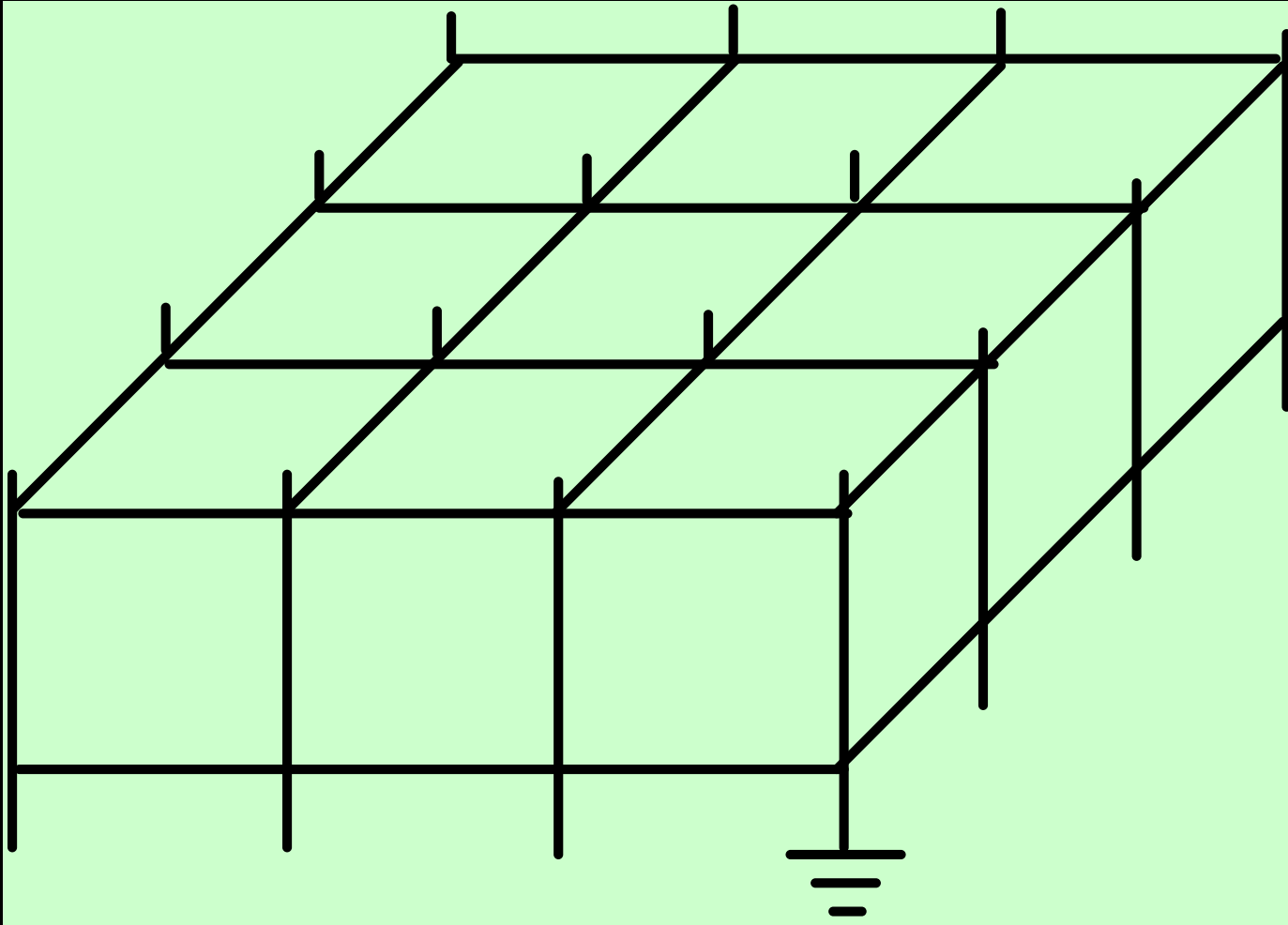
İngiliz kimyacı ve fizikçi (Newington, Surrey, bugün Southwark, 1791 - Hampton Court 1867).

Bir demircinin oğluydu. Londra'da bir kitapçıda çalışmaya başladı, daha sonra bir ciltçinin yanında çırak oldu. Böylece çok sayıda kitap okuma fırsatını buldu ve özellikle kimyaya ve elektriğe ilgi duydu. Geceleri Davy'nin Royal Institution'da verdiği derslere katıldı ve bilimsel konferansları izledi. Davy burada kendisine asistanlık görevi verdi; aynı yerde 1825'te laboratuvar müdürü, 1833'te de kimya profesörü oldu.

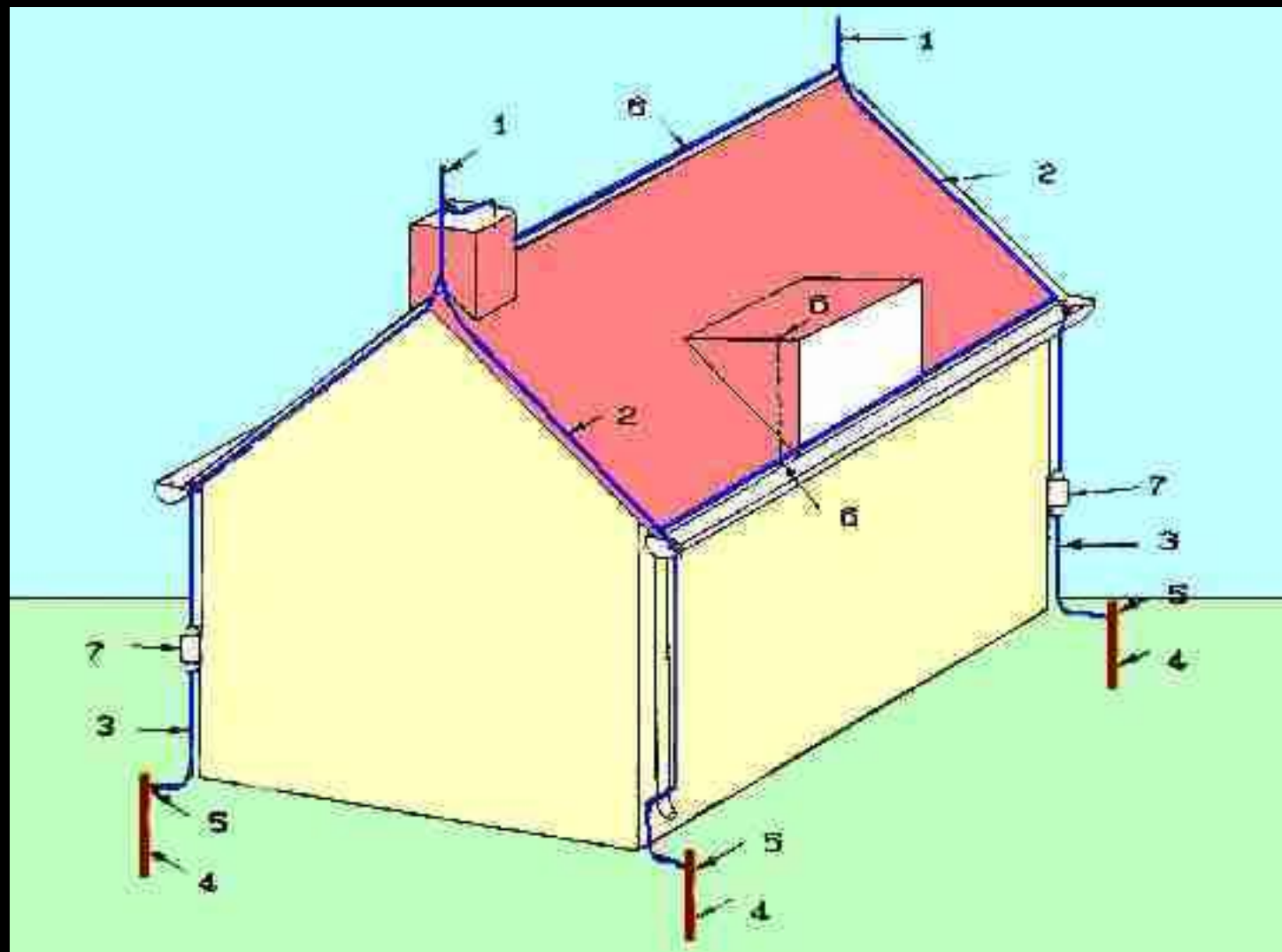
Kimyayla ilgili ilk araştırmalarında maden kömürü katranlarında benzeni buldu. Basit bir aletin içinde sıkıştırma ve soğutma yoluyla, çağında bilinen hemen bütün gazları sıvılaştırmayı başardı. Oersted'in buluşundan sonra, 1821 yılında elektromanyetizma konusunu incelemeye başladı ve bir mıknatısın elektrik akımı üzerindeki etkisini gözledi; böylece Ampère'in kuramlarını tamamlamış oldu. Bu yolla, sürekli mıknatısların etkisi altındaki bir devreyi döndürmeyi başardı ve elektrik motorunu çalıştıracak ilkeyi bulmuş oldu.

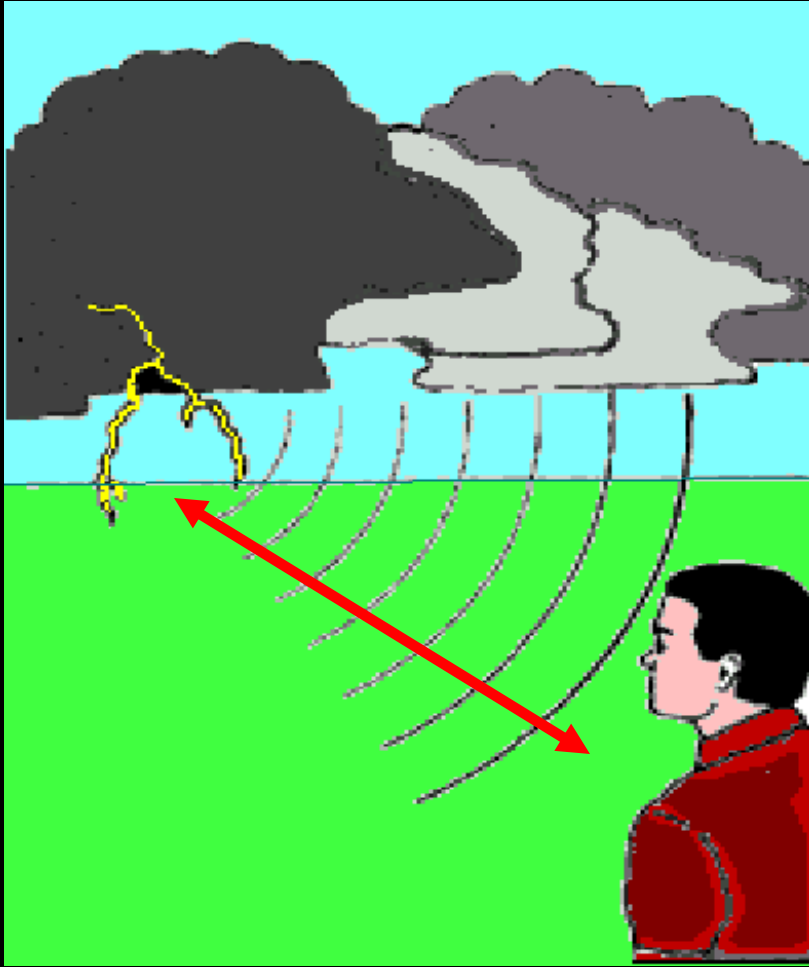


1831'de, kuşkusuz en önemli buluşunu gerçekleştirdi: mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren elektromanyetik indüklemeyi bularak dinamoların yapımını sağladı. 1833'te elektroliz kuramını ortaya koydu; olayın adını, elektrot ve iyon terimlerini ortaya attı: kendi adını taşıyan nitelik ve nicelik yasalarını belirledi. Daha sonra elektrostatikle uğraştı, 1843'te bir elektroskoba bağlı silindir yardımıyla elektriğin korunumu ilkesini doğruladı. Etkiyle elektriklenme kuramını ortaya koydu; çukur bir iletkenin (Faraday kafesi) elektrostatik etkilere ekran oluşturduğunu gösterdi. 1846'da elektrostatik enerjinin dielektriklerde yerleştiğini buldu. Bu buluşu Maxwell'in elektromanyetiklik kuramını geliştirmesine yardımcı oldu ve elektrikle Hertz dalgaları arasındaki bağıntıları açıklamaya yaradı. Yine bu buluş, yalıtkanların özgül indüklenme gücünü tanımlamayı sağladı. 1838'de elektro-ışıldama olayını ortaya koydu. 1845 tarihli son buluşları, polarize ışığın manyetik alan üzerindeki etkisi ve diyamanyetikliktir.



Michael Faraday (1791-1867)
Faraday Kafesi





Yıldırımın uzaklığını kestirme

Işık hızı = 300 000 000 m/s

Ses hızı = 340 m/s (havada)

Yol, $l = (\text{Hız, } v) \times (\text{Zaman, } t)$

Örnek:

$l = 1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$ ise

sesin bu yolu gitme süresi

$t = 1000/340 \approx 3 \text{ s}$

olur.

Yıldırımın uzaklığı (km) = (Gök gürültüsünü duyma anı - Şimşek anı) (s) / 3 s

Örnek: Ölçülen süre 9 saniye ise yıldırım 3 km uzaklıkta,
18 saniye ise yıldırım 6 km uzaklıktadır.

Not: Gök gürültüsü en çok 10 km'den insan kulağı ile duyulabilecek şiddette olmaktadır.



Yıldırım güvenlik pozisyonu

