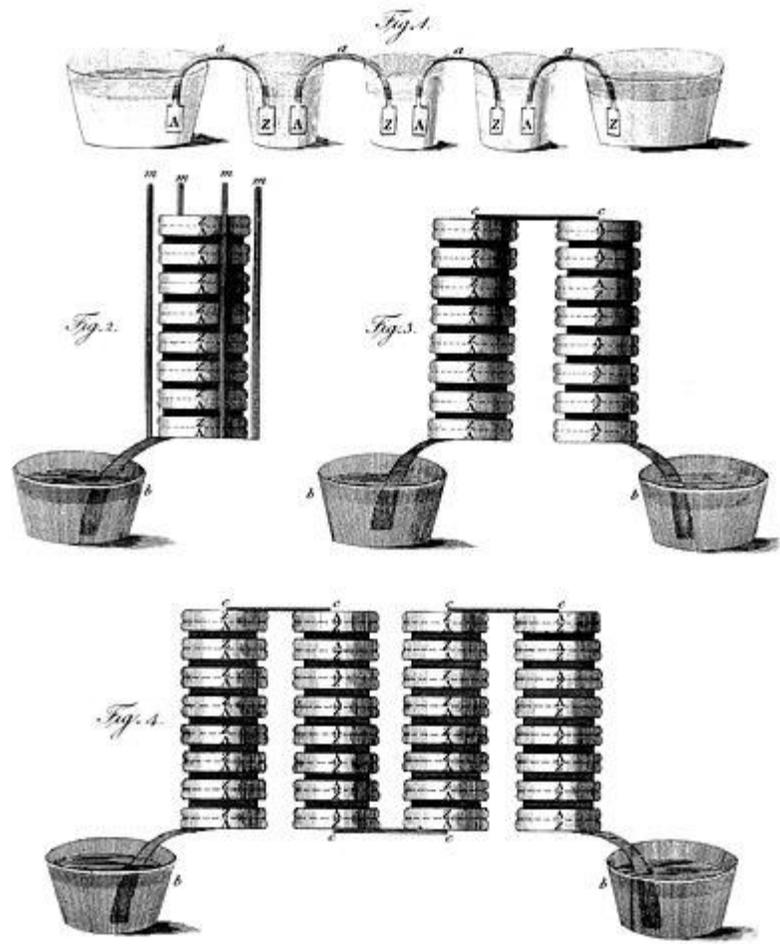


# 第二篇 电磁学

## (Electromagnetism)





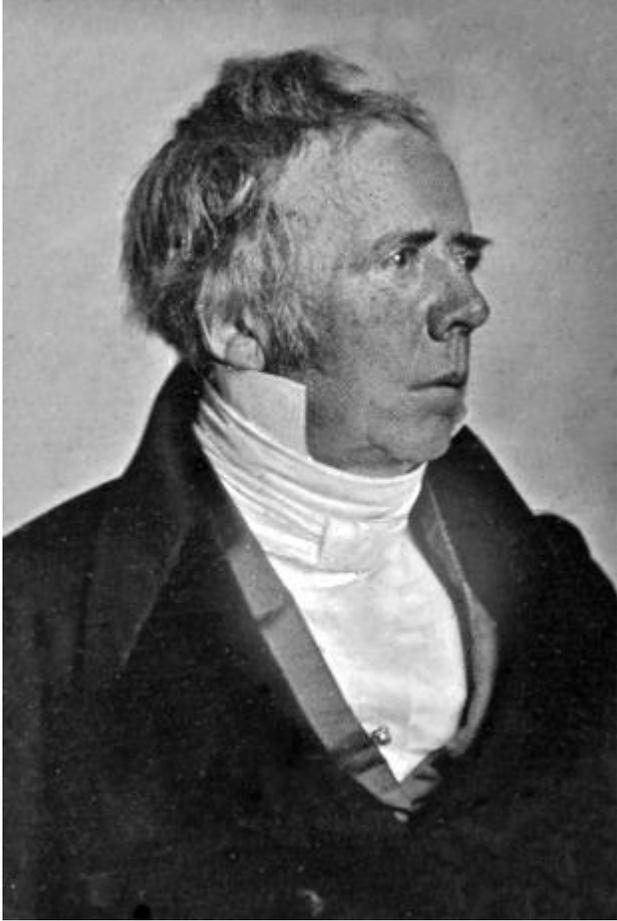




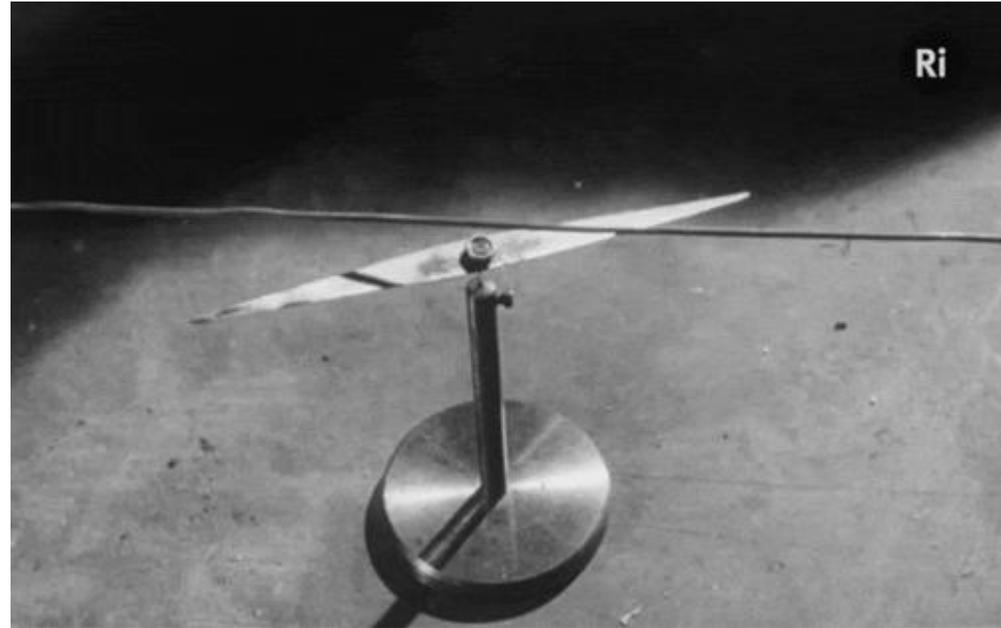
班杰明·富兰克林  
Benjamin Franklin



《班杰明·富兰克林取电于天》  
1816年，费城艺术博物馆，班杰明·韦斯特绘



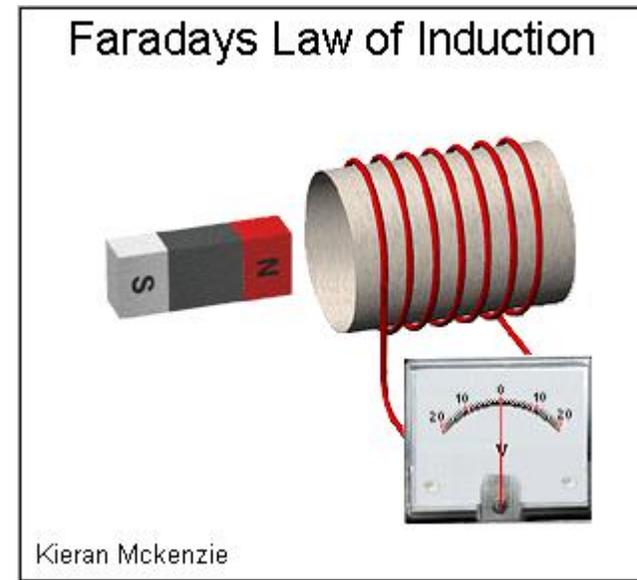
汉斯·奥斯特  
(Hans Christian Ørsted)



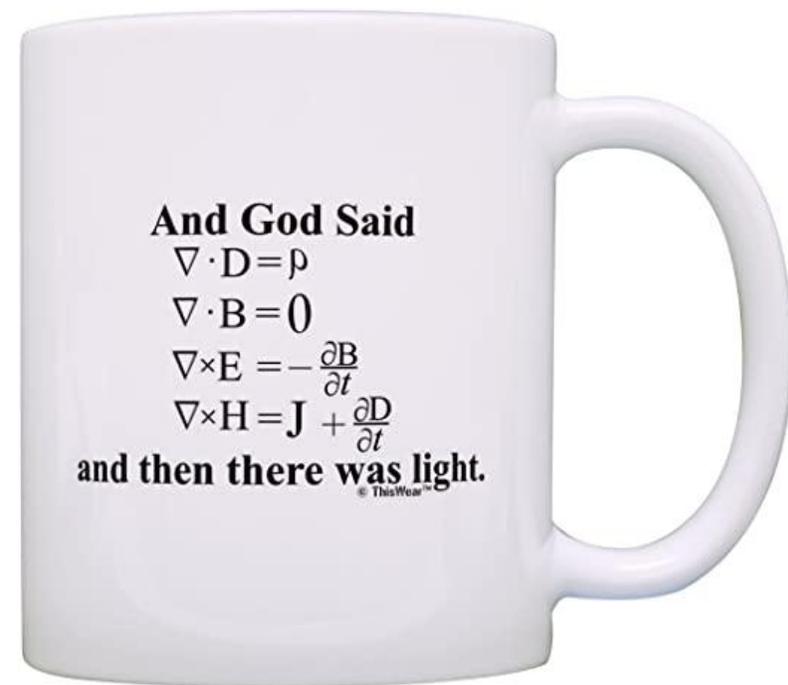
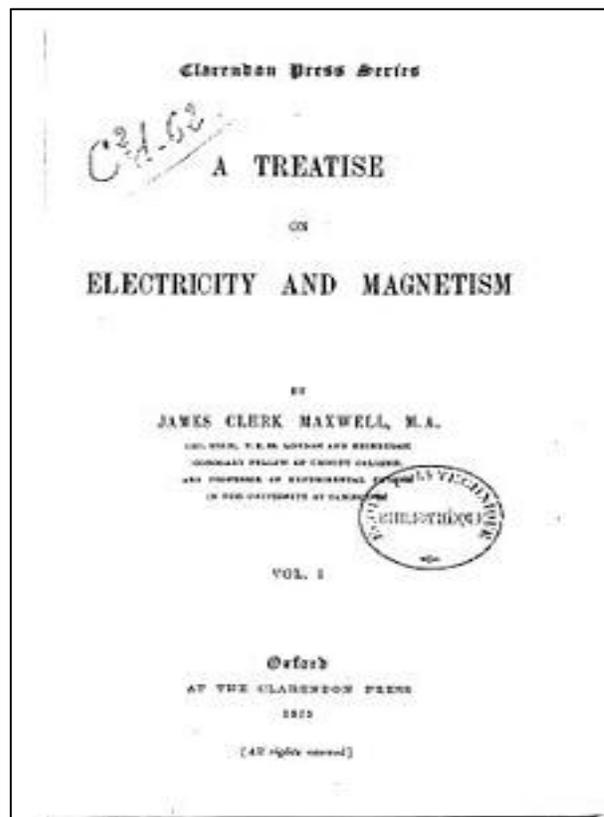
电流的磁效应的发现，结束了电现象和磁现象的独立研究



## 迈克尔·法拉第 (Michael Faraday)



电磁感应现象，将电、磁之间的联系推到一个新阶段



麦克斯韦方程组——建立了完整的电磁场理论基础

# 电磁学(electromagnetism)研究对象

## 电磁相互作用及其运动规律

**主要特点:** 研究对象不再是分离的实物, 而是连续分布的场; 用空间函数(如  $\vec{E}$ ,  $U$ ,  $\vec{B}$  等)描述其性质.

电磁学



静电场

恒定磁场

变化中的电磁场

# 第4章 电 场

## 第二节 库仑定律 (Coulomb's law)

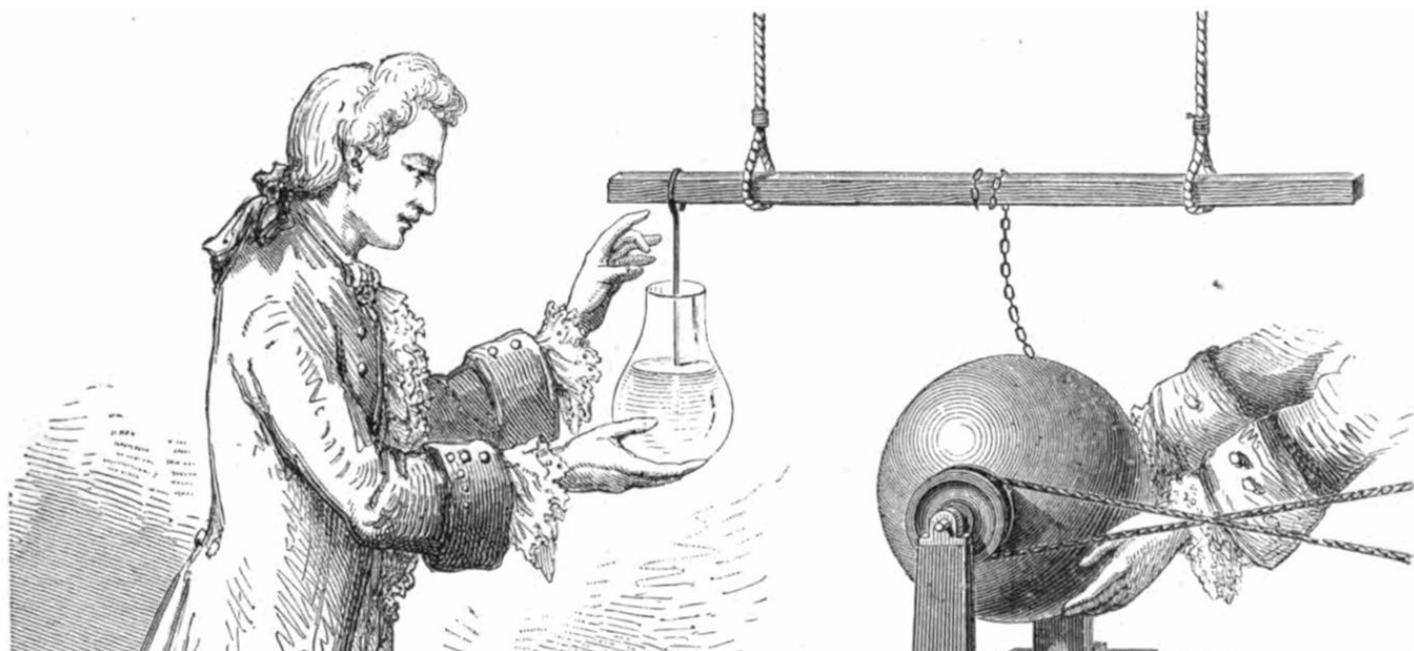


**The First Electrostatic Generator Invented By  
The German Physicist Otto Von Guericke  
C1663.**

**奥托·冯·格里克——摩擦起电的机械**



斯蒂芬·格雷 (Stephen Gray)  
导电实验





本杰明·富兰克林  
(Benjamin Franklin, 1706—1790)



摩擦起电的机械 1663

导体和绝缘体

莱顿瓶 1745

电荷守恒定律 1746

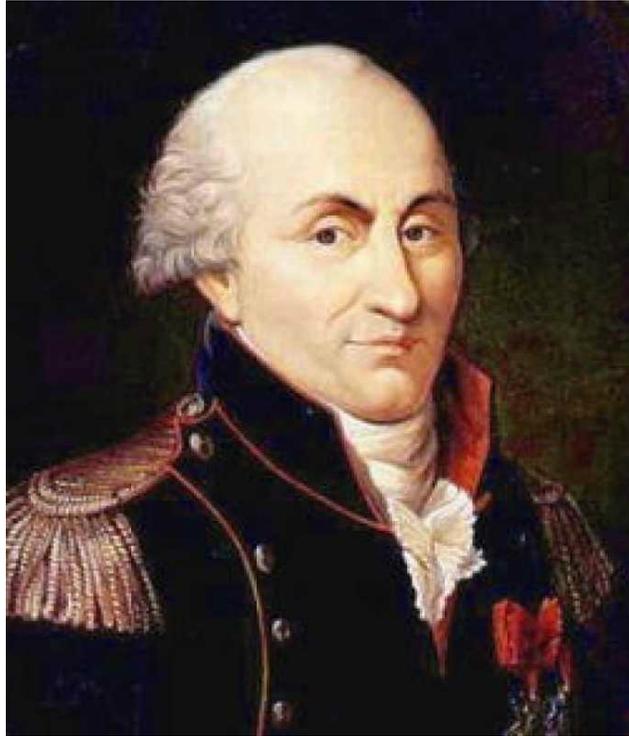
避雷针 1750

伏打电堆 1800



电力

既有斥力，又有吸引力



查尔斯·奥古斯丁·德·库仑  
(Charles-Augustin de  
Coulomb, 1736 - 1806)

库伦通过直接测量找到了  
电力遵循的规律

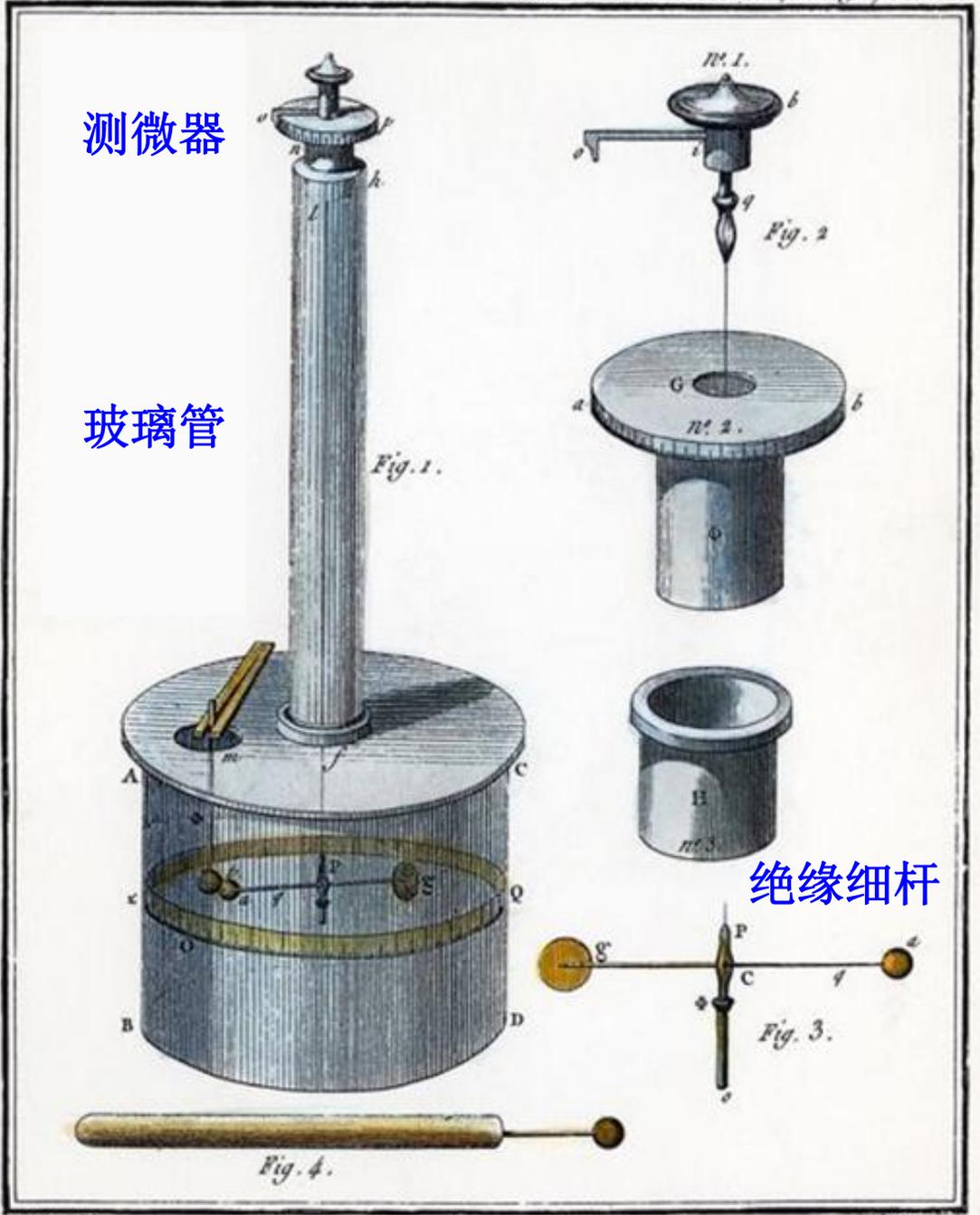
1781年 有关扭力的论文  
当选为法国科学院院士

1784年 在提交法国科学院的一篇论文中金属丝的扭力定律：

金属丝的**扭力正比于扭转角度**

测量小至  $6.48 \times 10^{-6}$  N

1785 Coulomb 扭称



测微器

玻璃管

绝缘细杆

银丝扭转角度  $a_t = a_a - a_i$

测微器调零  $a_i = 0^\circ$

a球转动  $a_a = 36^\circ$

银丝扭转角度  $a_t = 36^\circ$

测微器反方向旋转  $a_i = -126^\circ$

a球转动  $a_a = 18^\circ$

银丝扭转角度  $a_t = 144^\circ$

测微器反方向旋转  $a_i = -567.5^\circ$

a球转动  $a_a = 8.5^\circ$

银丝扭转角度  $a_t = 576^\circ$

a球转动  $\alpha_a = 36^\circ, 18^\circ, 8.5^\circ$   
转动角度之比 1, 1/2, 1/4

因为小角度，  
与两球的距  
离成正比

距离之比

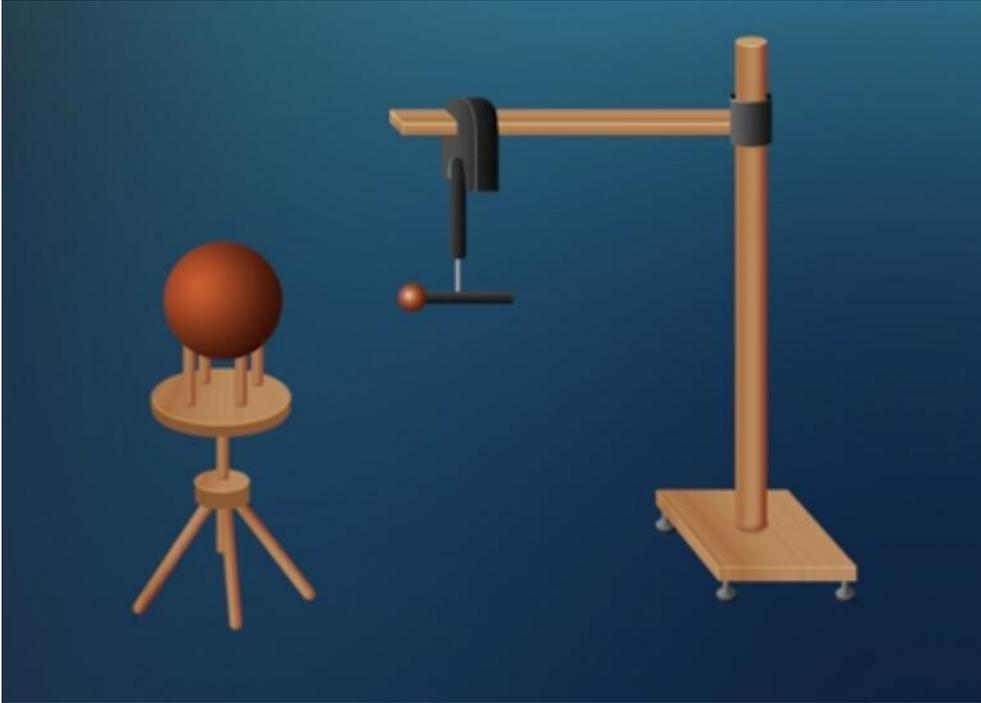
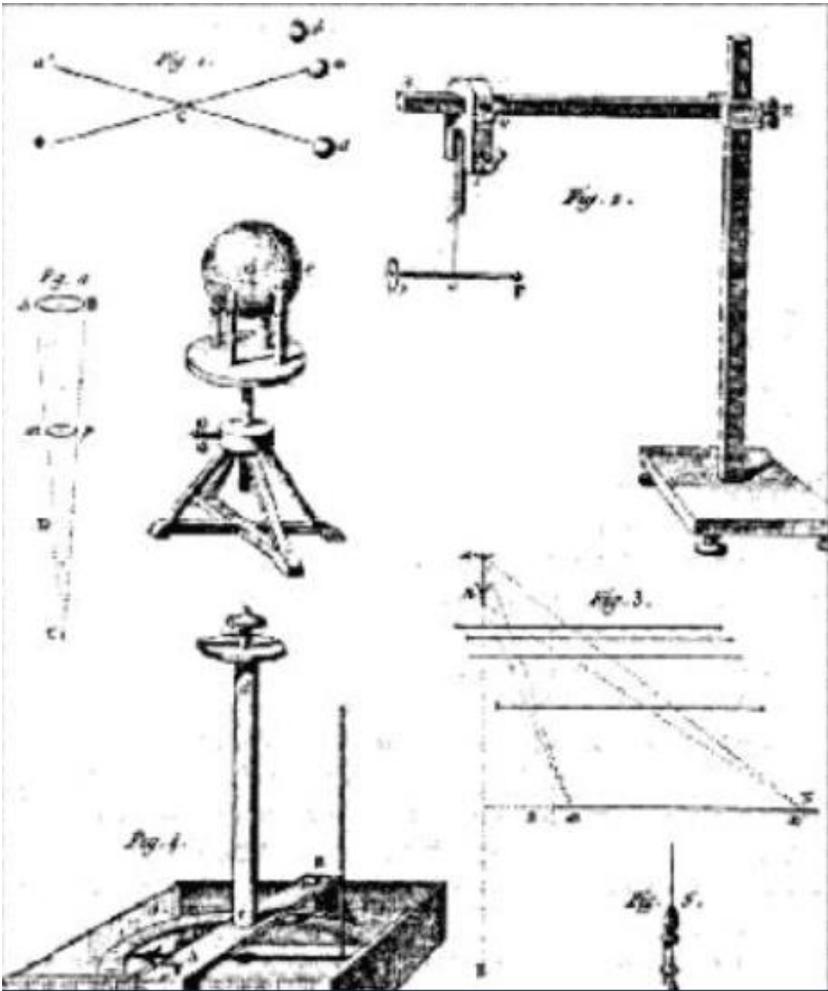
银丝扭转角度  $\alpha_t = 36^\circ, 144^\circ, 576^\circ$   
银丝扭转角度之比 1, 4, 16

扭力正比于  
扭转角度

电斥力之比



两个带同号电荷的小球间的相互排斥力和它们之间的距离的平方成反比



类比研究

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{Gm}r} \qquad \begin{matrix} T \propto \sqrt{L} \\ T \propto r \end{matrix}$$

$$F \propto \frac{1}{r^{2 \pm \delta}}$$

$\delta$  偏离平方反比的修正量,  $\delta < 4 \times 10^{-2}$

# Coulomb扭称实验之前

最早提出电力平方反比律

1755 富兰克林

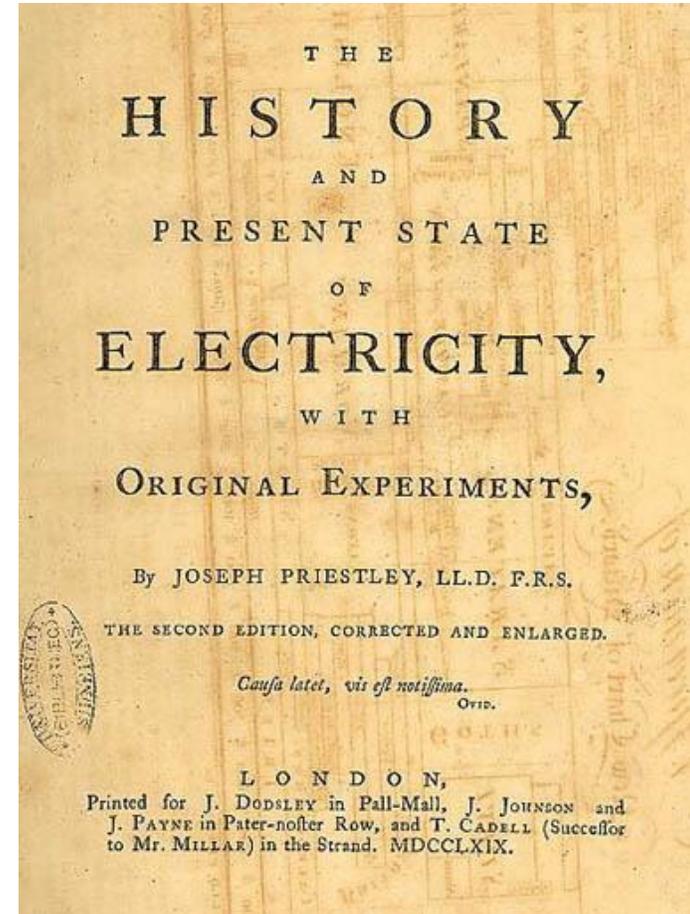
1769 J.Robison首先用直接测量方法确定电力定律

推断：正确的电力定律是平方反比律

Robison的结论比Priestley的推论晚了两年，而且他的论文直到1801年才发表

类比猜测 1967

普里斯特里 (J.Priestley)



《The history and the present state of electricity》

## Coulomb扭称实验之前

1772-1773 卡文迪许 (H. Cavendish)

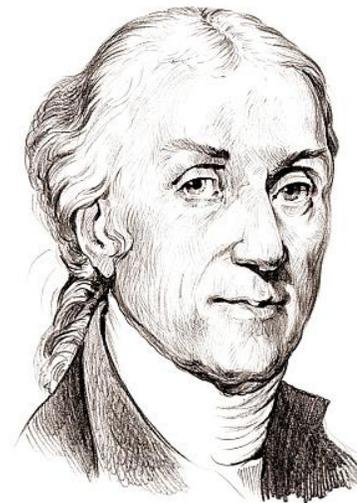
提出了精确验证电力平方反比律的方法

$$F \propto \frac{1}{r^{2 \pm \delta}} \quad \delta < 2 \times 10^{-2}$$

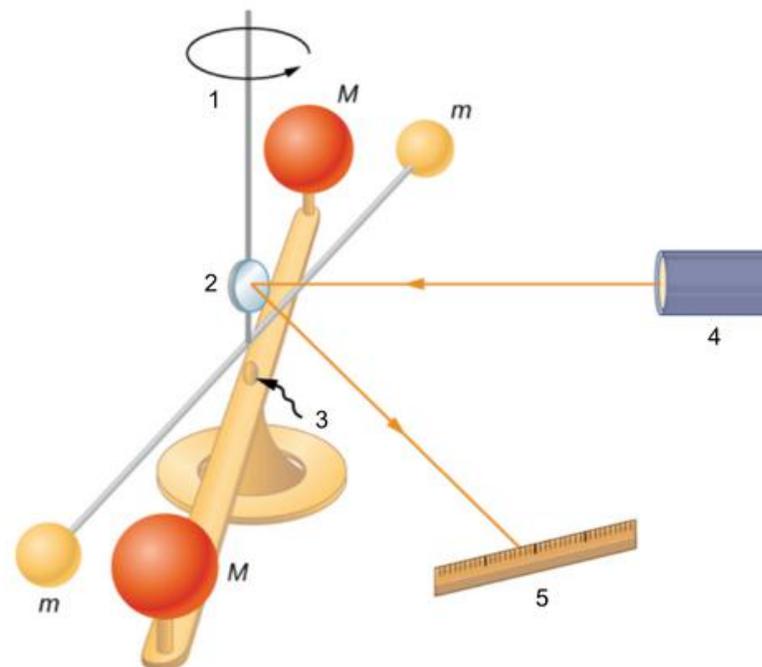
1874 卡文迪许实验室  
麦克斯韦 (J. C. Maxwell)

1879 交付出版  
Cavendish-Maxwell 方法  
 $\delta < 5 \times 10^{-5}$

1971 Williams、Faller & Hill  
 $\delta < 2.7 \times 10^{-16}$



(1731 - 1810)



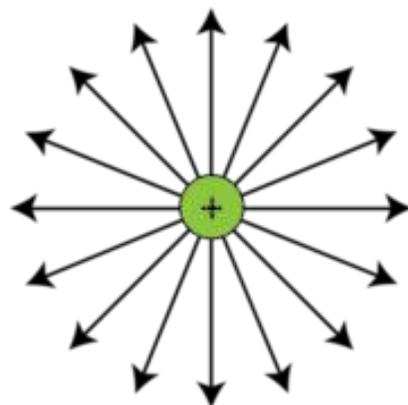
静止的 resting

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

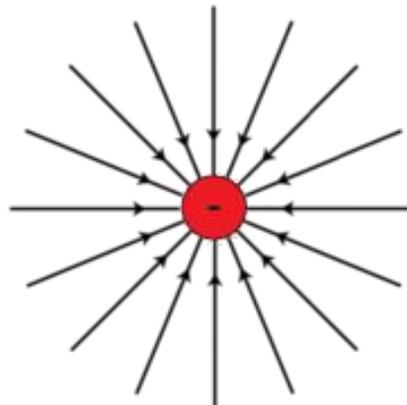
点电荷(point charge)

带电体的大小和带电体之间的距离相比很小时,就可看作点电荷.(忽略其形状和大小, **理想模型**)

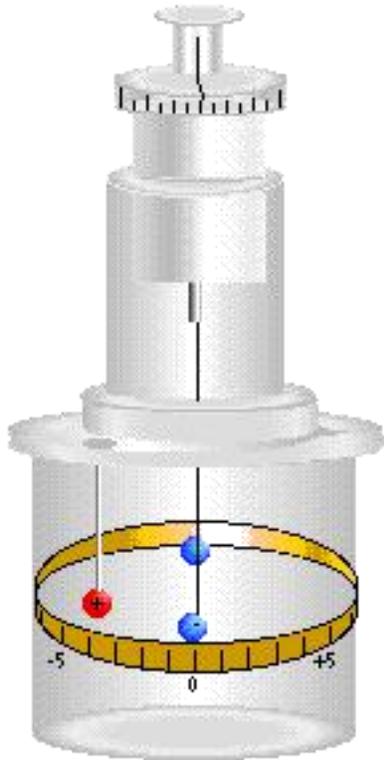
Electric Fields of Individual Charged Particles (Point Charges):



Electric field lines of a positive point charge



Electric field lines of a negative point charge

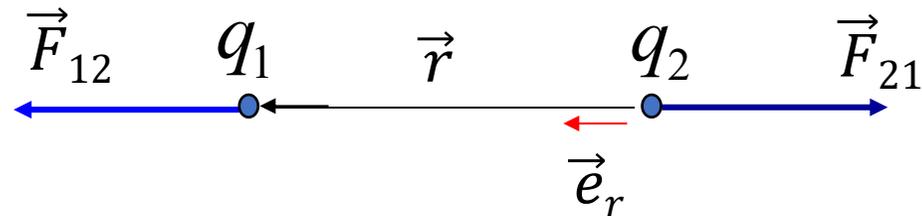


$$F \propto \frac{1}{r^2} \quad \text{电量}$$

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

电量单位: SI 库伦 (C)

数学表达式  $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$



$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{e}_r$$

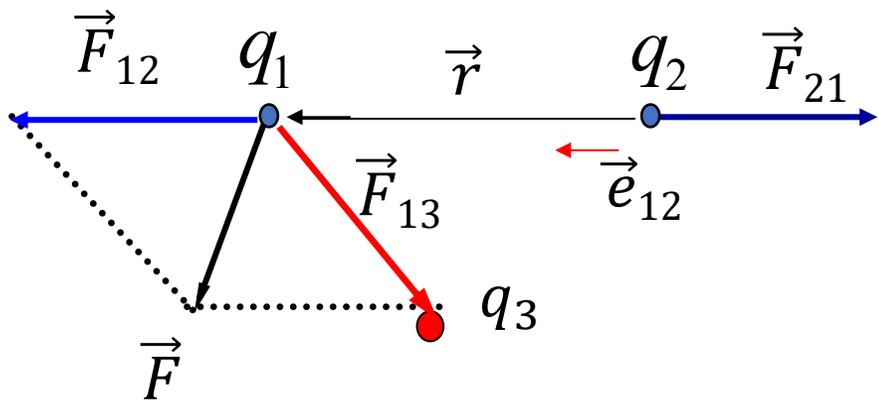
$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$\epsilon_0$ : 真空中介电常数(真空中电容率 **permittivity of vacuum**)

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ (N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{C}^2\text{)}$$

## 二、电力叠加原理

点电荷系对某点电荷的作用等于系内各点电荷单独存在时对该电荷作用的矢量和。



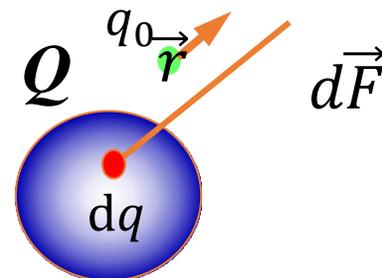
$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$

对连续分布带电体, 选取**电荷元(elementary charge)  $dq$**

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_Q \frac{q_0 dq}{r^2} \vec{e}_r$$

**作用范围:**

目前认为在 $10^{-15}\text{m} \sim 10^7\text{m}$



# 本次课学习重点(Main points of this class)

基本电荷量:  $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

电荷守恒定律 (law of conservation of charge)

库仑定律(Coulomb's law)

$$\vec{F} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{e}_r$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ (N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{C}^2)$$

电力叠加原理