



第二章 电荷

电气文明的源头“电荷”是如何被发现的？

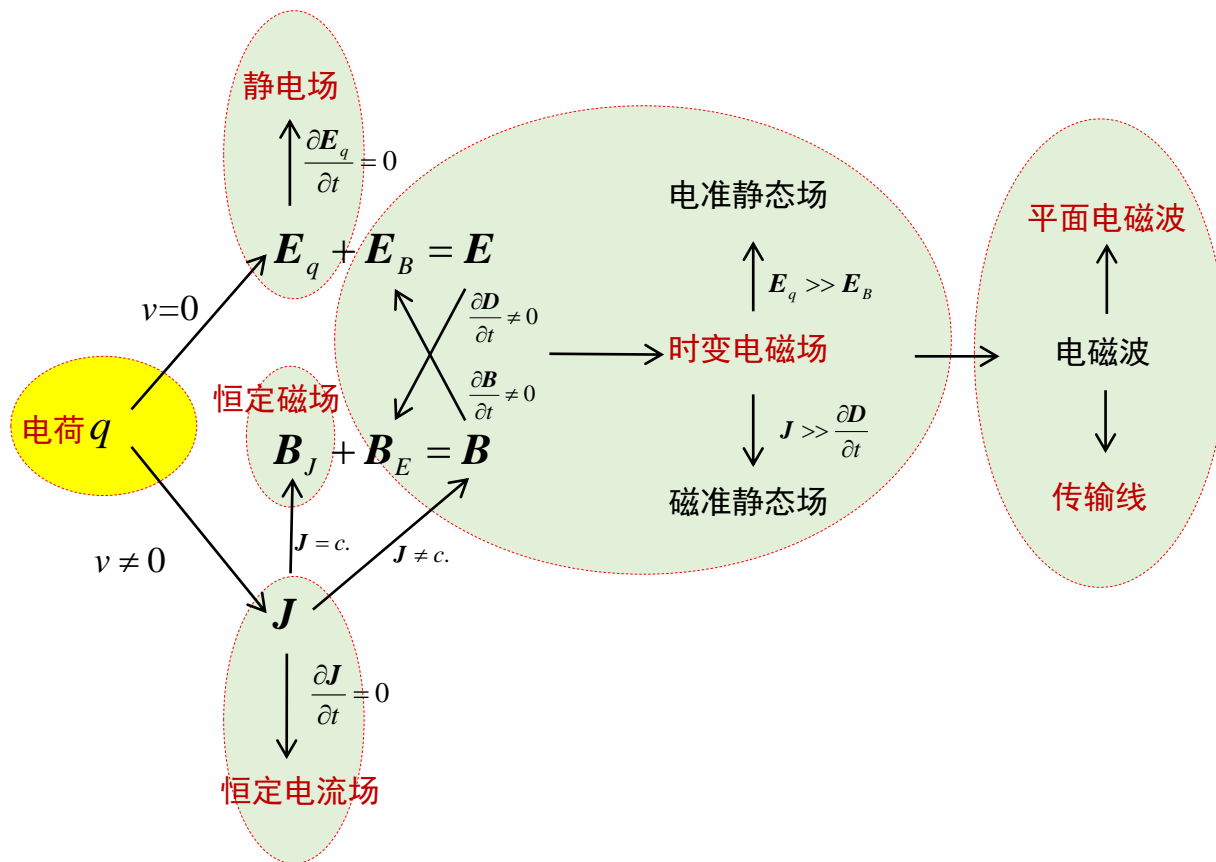
电子是由英国物理学家约瑟夫·约翰·汤姆生于1897年在研究阴极射线时发现的，是最早发现的基本粒子。电子带负电，质量为 9.10953×10^{-28} 克，电量为 1.602189×10^{-19} 库仑，是电量的最小单元，用符号e表示。一切原子都由一个带正电的原子核和围绕它运动的若干电子组成。电子的定向运动形成电流。

然而早在汤姆生发现电子前的200年，英国科学家吉尔伯特提出了电荷的概念。如此看来，电荷不是通过观察发现的粒子，而是通过电荷之间相互作用的现象提出的概念。

- 电磁场理论是电气工程学科的基础
- 电力系统运行是电磁场能量的生产、传输和分配过程
- 电磁学是基于实验定律的理论体系

一切电磁现象源自什么？

“电磁场千变万化的
存在形态，归根到底，
是电荷的运动”





目 录

Contents

- 1 “电荷” 是被发现的吗
- 2 对“雷” “电” 现象的观察
- 3 关于“电” 的实验
- 4 “库仑定律” 是如何提出的

1.1 “观察”是科学技术的起点



“没有观察就没有科学，科学发现诞生于仔细的观察之中。”——法拉第

- ✓ 自然界遵循各种自然规律而存在及变化，各种物质运动在一定的客观条件下都具有固有的、本质的、稳定的联系，并时刻呈现在我们身边。
- ✓ 好奇是人类的天性。作为自然界最具灵性的人类，一直希望对自然界有更多的了解，也一直希望能成为自然界的主宰，从而获得生存的最大保障。
 - 鲁班观察野草叶子发明了锯子；
 - 瓦特观察壶盖跳动发明了蒸汽机；
 - 牛顿观察苹果落地发现了万有引力；
 -
- 电荷是被观察发现的吗？
- 电和磁是自然界中普遍存在却不易被发现和理解的自然现象，如地球磁场、雷电等。然而从有文字记载的史料中发现，人类从远古开始一直有对雷电、摩擦起电、地球磁场、磁石等方面的描述

1.2 关于“电荷”概念的提出



电子是电荷的基本单位。

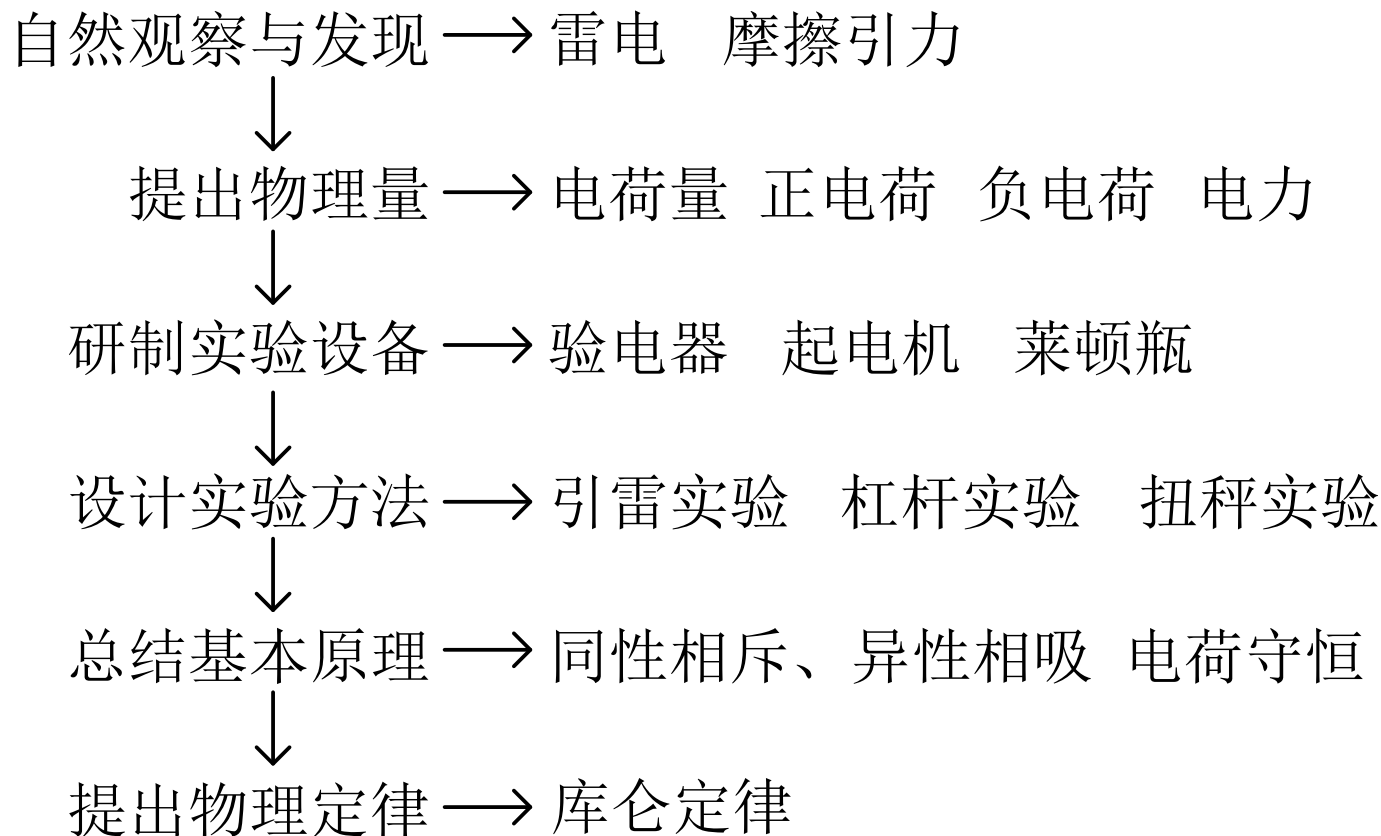
电子的发现：英国物理学家约瑟夫·约翰·汤姆生于1897年在研究阴极射线时发现。是最早发现的基本粒子。

电子带负电，电量为 1.602189×10^{-19} 库仑，是电量的最小单元。质量为 9.10953×10^{-28} 克。常用符号e表示。

然而早在汤姆生发现电子前的200年，英国科学家吉尔伯特提出了电荷的概念。

如此看来，电荷不是通过观察发现的，而是通过引力现象推测的。

1.3 电荷理论的建立过程



目 录

Contents

- 1 “电荷” 是被发现的吗
- 2 对“雷” “电” 现象的观察
- 3 关于“电” 的实验
- 4 “库仑定律” 是如何提出的

2.1 雷电的观察

■ 中国古代对雷电的认识

- ✓ **殷商时代（公元前1600~1046年）**：甲骨文中出现“雷”字，形象地表达了雷的威力。
- ✓ **西周时代（公元前1064~771年）**：金文中出现了“雷”和“电”字，形象地表达了雷电发生时的现象和规律（下雨天）。
- ✓ **《尚书》（前1000-前500）**中出现“雷电”这个词汇。
- ✓ **历史文献**中对雷电的形状及其声、光、火的表现都有仔细的观察与描述，对雷电的形成、雷电引起的金属物体尖端放电、雷电对金属和木器的不同烧损表现都有涉及，甚至在古建筑中已出现了避雷装置。



甲骨文“雷”



金文“雷”



金文“电” 電

2.1 雷电的观察

■ 中国古典中对雷电的论述

历史文献	时期	作者	描述内容	解释
《尚书》	前1000~ 前500	先秦诸子	“秋，大熟。未获， 天大雷电 以风，禾尽偃……王出郊，天乃雨，反风，禾则尽起”	雷电代表上天动了威怒，是一种惩罚
《淮南子》	西汉	刘安 公元前 179-122	“ 阴阳相薄为雷，激扬为电 ，上者就下，流水就通”	阴气和阳气相互挤压生成雷鸣，激烈撞击生成闪电
《论衡》	东汉	王充 27-97	“ 云雨至则雷电击 ”，“雷者，太阳之激气也”，“天地为炉大矣，阳气为火猛矣”	云雨与雷电的关系 雷如火一样
《汉书》	东汉	班固 32-92	“ 矛盾生火 ，此兵气也，利于用兵”	雷电引起的尖端放电
《搜神记》	东晋	干宝 283-351	“ 戟锋皆有火光 ，遥望如悬烛”	雷电引起的尖端放电

2.1 雷电的观察



历史文献	时期	作者	描述内容	解释
《南齐书》	梁朝	萧子显 489-537	“十月庚戌， 电光 ，有顷 雷鸣 ，久而止”	先看到了电光，然后听到了声音
			“雷震公稽山阴恒山保林寺，刹上四破， 电火烧塔下佛面 ，而 窗户不异 也”	佛面的金粉被融化了，而木头做的窗户完好无损
《梦溪笔谈》	北宋	沈括 1031-1095	“内侍李舜举家曾为暴雷所震，其堂之西室，雷火自窗间出，赫然出檐，人以为堂屋已焚，皆出避之。及雷止，其舍宛然，墙壁窗纸皆黔。有一木格，其中杂储诸器。其 漆器银扣者 ， 银悉熔流在地 ， 漆器不曾焦灼 。有一宝刀，极坚刚，就刀石中熔为汁，而室亦俨然。人必谓，火当先焚草木，然后流金石，今乃 金石铄而草木无一毁 者，非人情所测也”	雷与火不一样，金银诸器都被融化了，而木盆反倒没受损坏

2.1 雷电的观察

历史文献	时期	作者	描述内容	解释
《张文忠公全集》	明	张居正 1525-1582	“天微雨，忽有 流火如球 ，其色绿，后有小火点随之，从雨中冉冉腾过予宅，坠于厨房水缸之中， 其光如月 ，厨中人惊视之，遂不见”	是较为罕见的球状闪电，描述了火球的颜色、大小、形状、速度等
《物理小识》	明	方以智 1611-1671	“ 雷火所及，金石销熔，而漆器不坏 ”	雷火与火不一样，金器都被熔化了，而木器不会损坏
《小国新事》	—	卡·戴马比兰 1688	中国屋脊两头，都有一个仰起的龙头，龙口吐出曲折的 金属舌头 ，伸向天空，舌根连结一根 细的铁丝 ，直通地下	中国古代建筑中的避雷装置

- ✓ 中国古代人们对雷和电的联系和区别观察的非常仔细，“阴阳相薄为雷，激扬为电”、“电光，有顷雷鸣”**将雷电描述为类似火和光的东西。**

2.2 摩擦引力的观察

■ 中国古代对摩擦引力的认识

- ✓ 随着人类文明的进步，人们开始用**玳瑁**（一种海生物的背甲）、**琥珀**（一种松脂化石）做首饰，用**动物毛皮**和**丝绸**做衣服。
- ✓ **发现**玳瑁、琥珀、动物羽毛都可以**吸引轻小的物体**，但当轻小物体受潮后，这种吸引力消失，由此用来**判断琥珀的真假**，发明了用动物羽毛做**掸子**灰尘就不会扬起来。还发现摩擦毛皮、梳头发、脱衣服时会有火星。

历史文献	时期	作者	描述内容	解释
《春秋纬》	西汉	公元5年	“瑇瑁吸僂”	瑇瑁即玳瑁，僂为轻小物体
《论衡》	东汉	王充 27-97	“ 顿牟掇芥，磁石引针 ，皆以其真是，不假它类。他类削似，不能掇取者，何也：气性殊异，不能相感动也”	认为摩擦引力和磁石引力是完全不同的引力
《三国志》	西晋	陈寿 233-297	“ 虎魄不取腐芥 ，磁石不受曲针”	琥珀不吸引受潮变质的轻小物体

2.2 摩擦引力的观察

历史文献	时期	作者	描述内容	解释
《博物志》	西晋	张华 232-300	“今人梳头、脱衣着时，有 随梳、解结有光 者，也有 咤声 ”	梳子与头发、脱衣服时引起的发光发声现象
《名医别录》	南朝	陶弘景 456-536	“琥珀，惟 以手心摩热拾芥为真 ”	摩擦引力现象作为识别真假琥珀的判据
《酉阳杂俎》	唐	段成式 803-863	“暗中逆循其毛，即著 火星 ”	摩擦毛皮引起火星
《墨庄漫录》	宋	张邦基 1131	“皇宫中每幸诸阁，掷龙脑以辟秽。过则 以翠羽扫之 ，皆聚，无有遗者”	孔雀毛吸引龙脑 宋代人发现孔雀毛作掸子，尘灰不飞扬。
《三余赘笔》	明	都邛	“吴绫为裳，暗室中力持曳，以手摩之良久， 火星 直出”	摩擦产生火星
《张文忠公全集》	明	张居正 1525-1582	“凡貂裘及绮丽之服皆有光。余每于冬月盛寒时，衣上常有 火光 ，振之迸炸 有声 ，如花火之状”	皮毛与丝绸的衣服，摩擦会产生火星

2.3 为什么？什么为什么？



心学大师

中国古代拥有领先世界的科技成就。。。

但在电磁理论的殿堂中，中国人除了沈括，还有谁？
中国古代的科学技术停留在“**整理典籍和总结经验**”的形态上，缺少欧洲自文艺复兴后建立起的科学严密的实验理论体系



实验科学的前驱

王阳明（1472-1529）将朱熹的“格物致知”变成了“心既理”，**看了**7天7夜的竹子，而没有拿尺子**量一下**

罗吉尔·培根（1214—1293）：实践是检验真理的标准：实验是建立科学的基础。不进行实验，便不能由表及里，发现事物内部的运动规律。



科学归纳法

弗朗西斯·培根(1561-1626)：知识就是力量：知识是一种建立因果关系的推理，而经验只是一种结果

目 录

Contents

- 1 “电荷” 是被发现的吗
- 2 对“雷” “电” 现象的观察
- 3 关于“电” 的实验
- 4 “库仑定律” 是如何提出的

3.1 摩擦引力的实验



■ “一切推理都必须从观察与实验得来。科学的真理不应该在古代圣人的蒙着灰尘的书上去找，而应该在实验中和以实验为基础的理论中去找。” ——伽利略

✓ 泰勒斯（公元前624-547）：最早用实验的方法证实摩擦引力

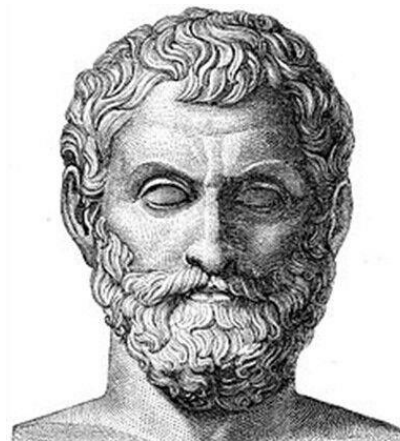
● 观察：妇女们喜欢佩戴的琥珀首饰无论擦拭的多么干净，但很快又会沾上灰尘的原因是琥珀和丝绸衣服总在摩擦。

● 实验结论：用丝绸摩擦过的琥珀都具有吸引灰尘、绒毛、麦秆等轻小物体的能力。

➤ 古希腊时期的思想家、自然科学家、哲学家，希腊七贤之一，被誉为“科学和哲学之祖”。

➤ 天文学方面：尝试对太阳的直径进行了测量和计算，宣布太阳的直径约为日道的七百二十分之一；确定了三百六十五天为一年，并正确解释了日食的原因。

➤ 数学方面：引入了命题证明的思想，标志着人们对客观事物的认识从经验上升到理论，使数学构成一个严密的体系，为数学的进一步发展打下基础。

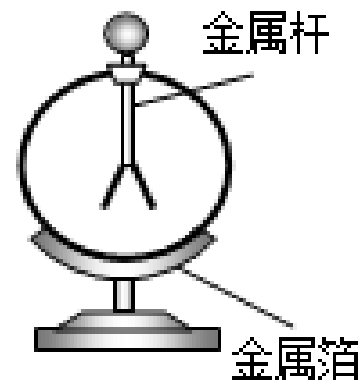


我国祖先从“瑋瑁吸偆”到“凡貂裘及绮丽之服皆有光”跨越1500余年，对摩擦引力的观察比泰勒斯早600余年，可没有一份资料记载有关实验方面的内容。

3.2 摩擦起电的实验



- ✓ 吉尔伯特（1544～1603）：对摩擦引力进行了一系列的实验研究。
- 根据琥珀的拉丁语elektron，创造了新名词“电荷”，意思就是“像琥珀那样的”。最先使用了“电力”、“电吸引”等专用术语，被成为电学研究之父。伽利略称其为“经验主义的奠基人”
- 发明了第一只验电器：用一根极细的金属丝固定在一个可自由转动的支座上，当带电物体靠近时，细金属丝就会被吸引而转向带电体。
- 实验结论：离带电体越近，吸引力越大；带电体被加热或放在潮湿的空气中后，其吸引能力会消失。



【思考】摩擦起电可以产生电荷，但靠玻璃棒摩擦毛皮的方式产生的电荷量极为有限，不能满足研究电荷之间相互作用力的定量实验所的电荷。在蒸汽机时代，人们自然想到用机器的方式摩擦起电。

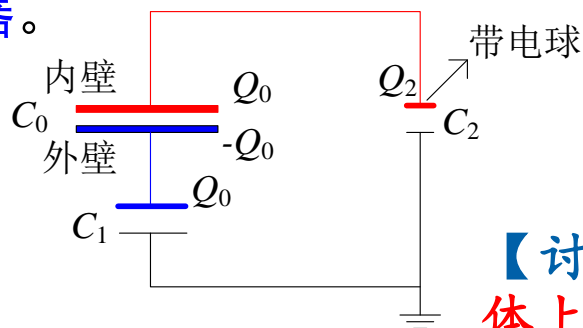
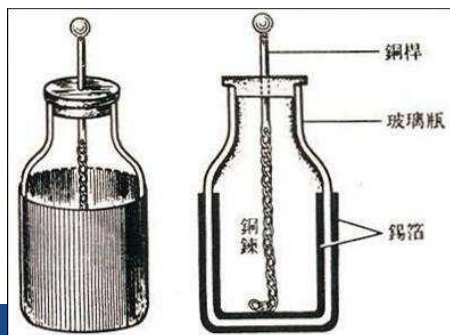
3.3 电荷产生方法—起电机

- ✓ 1663年，德国物理学家、马德堡市市长**格里克**制成了**硫磺球起电机**（人类第一台起电机），用手摩擦硫磺球即可使它带电。
- ✓ 1705年，英国科学家**霍克斯比**、**牛顿**分别制成了**玻璃球手摇起电机**。
- **起电机可以产生足够多的电荷，促进了新的电荷现象的发现。**
- ✓ 1729年，英国电工实验师**格雷**发现导体的电荷仅分布在导体外表面，还发现了**电传导现象**，他根据材料的电性能，把材料分为能传送电荷的物体和不能传送电荷的物体。
- ✓ 1733年，法国人**杜费**和英国人**西默**发表重要论文《论电》，将电荷分为两类：一种是**丝绸摩擦玻璃棒而产生的电荷**，取名为**玻璃电（+）**；另一种是**毛皮摩擦树脂或琥珀而产生的电荷**，取名为**树脂电（-）**。并总结出静电学的第一个基本原理：**带同样性质电荷的物体互相排斥，带不同性质电荷的物体互相吸引**。总结出物体带电的3种方式—**摩擦带电、传导带电、感应带电**。

【思考】电荷如何储存？

3.4 电荷的储存--莱顿瓶

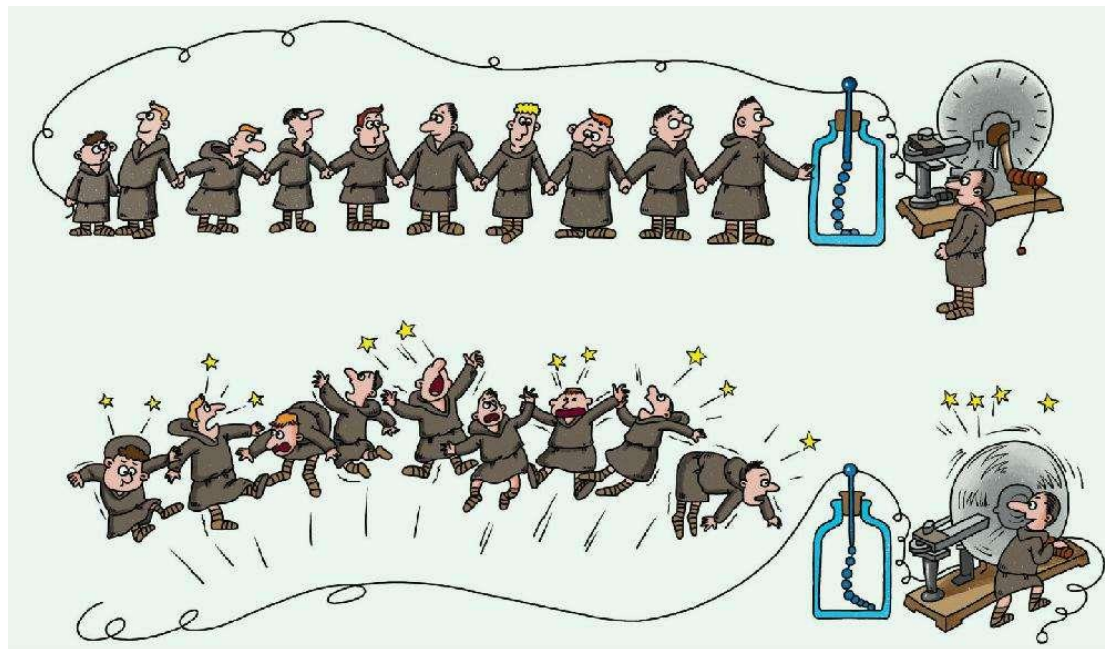
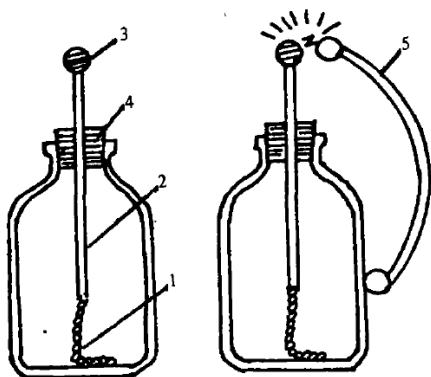
- 摩擦起电可以产生电荷，但很难保持，释放也很快，无法开展电荷相互作用力的定量实验。所以自吉尔伯特之后的100余年，电学进展非常缓慢。
- ✓ 1746年，荷兰莱顿大学物理学教授马森布罗克（1692-1761）敏锐抓住了他做电学实验时的偶然发现，经反复实验和改进，发明了莱顿瓶。
- ✓ 莱顿瓶：在一个玻璃瓶的内外壁分别贴上锡箔，一条金属链将内壁的锡箔与一根金属棒连接，金属棒的上端是一个金属球。储电的时候将带有电荷的金属体和莱顿瓶上的金属球接触，电荷就会转移到瓶内的锡箔上，重复这个过程可以是莱顿瓶内的电荷不断增加。莱顿瓶事实上就是人类发明的最早的电容器。



✓ 现在我们知道，只要两个金属板中间隔一层绝缘体就是一个电容器，就可以储存电荷。

【讨论】为什么和铜球接触的带电体上的电荷会转移到莱顿瓶中？

3.5 莱顿瓶放电



- **莱顿瓶的示范表演**：法国人**诺莱特**在一座巴黎大教堂前邀请了**路易十五**的皇室成员临场观看，七百名修道士手拉手排成一行，排头的修道士用手握住莱顿瓶，当莱顿瓶充电后，让排尾的修道士触摸莱顿瓶的引线。顿时，**七百名修道士几乎同时跳了起来**，在场的人目瞪口呆。从而展示了**电的巨大威力**。

3.6 给富兰克林的启发

- 莱顿瓶的发明使物理学第一次有办法得到很多电荷，从而可以开始定量的电学实验研究。

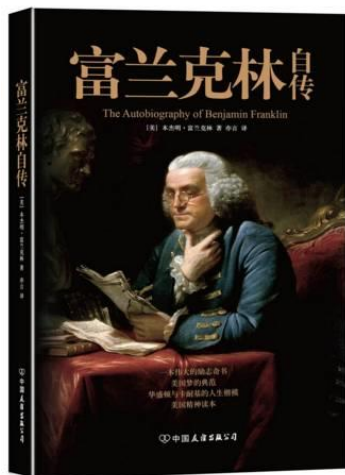
✓ 1746年，英国伦敦一名叫柯林森的物理学家，通过邮寄向美国费城的本杰明·富兰克林赠送了一只莱顿瓶，并在信中向他介绍了使用方法，这直导致了1752年富兰克林著名的费城引雷实验，他通过风筝将天上的电荷引下来并收集到莱顿瓶中。

➡ 【富兰克林的联想】莱顿瓶放电与雷电现象相似，推理雷电应该是电荷放电，并进行引雷实验证实雷电的本质也是电荷，雷电放电的巨大威力引发了更多科学家对电学的研究兴趣。



【讨论】错在哪里？

3.7 电荷的基本属性—富兰克林

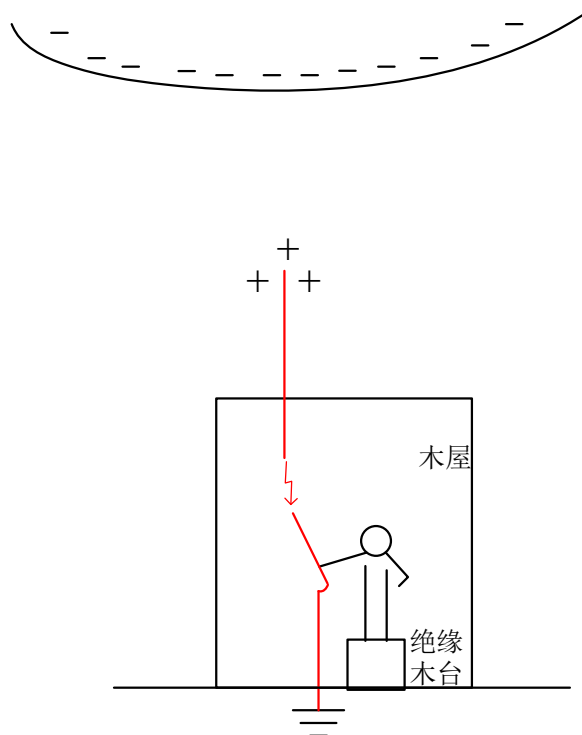
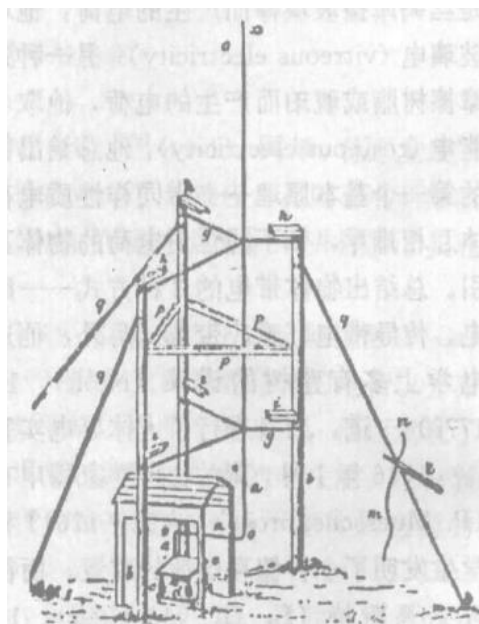


- **本杰明·富兰克林 (Benjamin Franklin, 1706-1790)** ——资本主义精神最完美的代表，十八世纪美国最伟大的科学家和发明家，著名的政治家、外交家、哲学家、文学家和航海家以及美国独立战争的伟大领袖。他一生最真实的写照是他自己所说过的一句话“诚实和勤勉，应该成为你永久的伴侣”。

- ✓ 1744年，开始进行电学实验研究，采用**莱顿瓶**做了大量的电荷实验。提出“电容器”概念。
- ✓ 1747年发现尖端导体放电现象，并提出借用数学上的**正、负 (+、-)** 来表示电荷的性质。创造了一些电学新名词，如**正电、负电、充电、放电**
- ✓ 1747年发现莱顿瓶内、外壁所带电荷的性质相反而数量相等，提出了**电荷守恒原理**。
- ✓ 1752年，引雷实验
- ✓ 1753年，富兰克林发明了**避雷针**。

【启发】富兰克林的风筝实验是电学史上一场思想上和观念上的革命，启发人们把电学当作一门科学进行研究，并由此开始探索产生电的新方法。

3.8 岗亭实验-科学献身



1753年，富兰克林的追随者俄国的里赫曼在做“岗亭”实验时，由于忽略了他所站立的模板已失去绝缘性能，而不幸被雷击中，为科学献身。

富兰克林的风筝引雷实验是真实的故事吗？

英国物理学家普里斯特利（J. Priestley）在1767年对此作过高度评价，他认为富兰克林的电风筝实验把雷电和普通的电统一起来，“是自伊沙克·牛顿以来最伟大的”发现，因为它给人们感觉最神秘、最可怕的自然现象提供了理性的解释，它证明电效应并不仅仅是一种人为的现象，而且是自然界行之有常的运动的一部分。通过这个实验，电学家们学会了如何在实验室里利用小的器械来揭示无穷无尽的自然力最剧烈的现象的根源，从而逐步达到控制和利用自然力的最终目的。



如果定性研究没有发展到定量研究，则只能对事物有一个大致的认识，这种认识既不精确，也不全面，甚至可能是错误的。

目 录

Contents

- 1 “电荷” 是被发现的吗
- 2 对“雷” “电” 现象的观察
- 3 关于“电” 的实验
- 4 “库仑定律” 是如何提出的

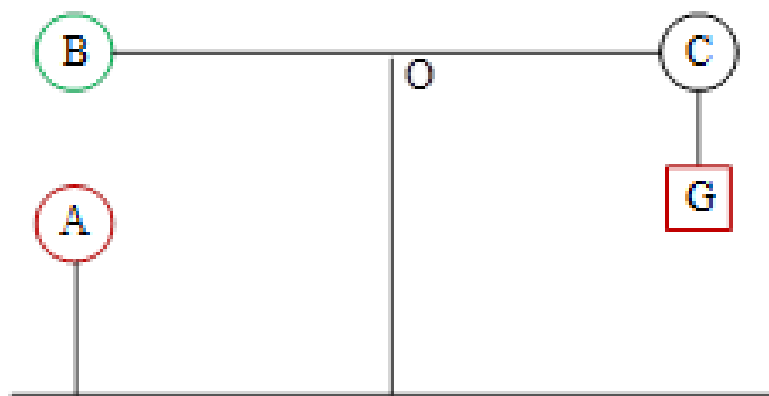
4.1 定性研究→定量研究

1766年，富兰克林的好友普利斯特利受牛顿万有引力启发，经过类比分析，认为：“电力与万有引力有相同的公式，是按距离平方而变化的。”但他没有开展实验予以验证。

1769年，罗宾逊进行了电荷引力实验：

使A带上正电荷，B带上负电荷，调节砝码G的重量使B、C两球处于水平，砝码G的重量即为A、B两球电荷的引力。发现引力大小与A、B两球间的距离成反比。

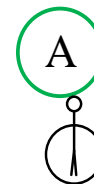
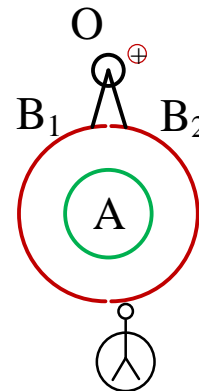
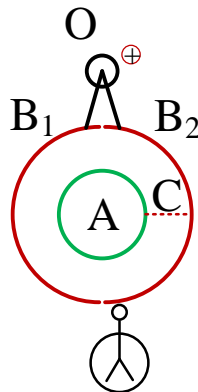
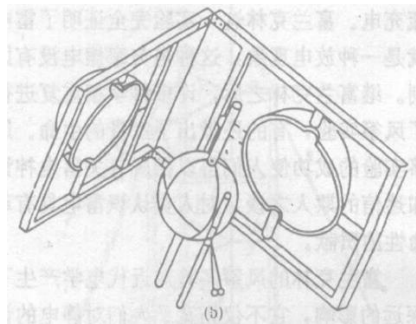
由于当时还没有精确的带电量测试方法，加上引力很小G的重量也难以准确测定，测得的数据不够准确，得出了错误的结论。



【思考】

带电球的大小与距离关系是否存在问题？

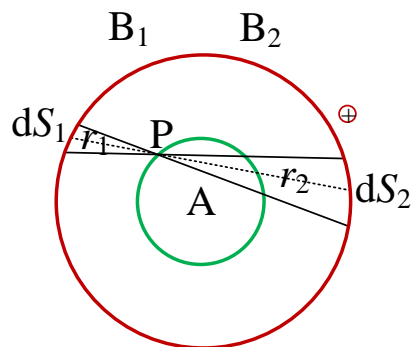
4.2 卡文迪什--静电平衡实验



1772—1773年：卡文迪什静电平衡实验：

- 1) 将A、B1、B2接地，释放所带的全部电荷，净电荷为0；
- 2) 给B1、B2充正电荷，测B1、B2的电位，记录电位值；
- 3) 拆除导线C，用电位计测B1、B2的电位，发现电位值不变，表明B1、B2的电荷量没变
- 4) 进一步拆除B1、B2，用电位计测A的电位，发现电位值几乎为零，表明A上净电荷依然为0（正电荷与负电荷等量），B1、B2上的正电荷没有通过导线C流向A，也没有将A上的负电荷吸引出来。
- 5) 经反复测量，发现里面的金属球均不带电。从而确认了静电力的平方反比定律

4.2 卡文迪什--静电平衡实验的证明



【命题】如果 B_1 、 B_2 的电荷对 A 所带的正电荷或负电荷的作用力均为 0，则电荷之间的作用力与距离成平方反比关系。

【证明】在球面 A 上任取一点 P ，过 P 做对顶的圆锥面，分别在球面 B_1 、 B_2 上截得面元 dS_1 、 dS_2 ，它们到 P 点的距离分别为 r_1 、 r_2 ， dS_1 、 dS_2 对 P 点所张立体角为 $d\Omega_1$ 、 $d\Omega_2$ ， $d\Omega_1=d\Omega_2$ 。

$$d\Omega_1=dS_1/r_1^2, \quad d\Omega_2=dS_2/r_2^2. \quad \text{故: } dS_2/dS_1=r_2^2/r_1^2$$

$$dS_1 \text{ 所带电荷对 } P \text{ 点的单位电荷的作用力: } dF_1=f_1 dS_1$$

$$dS_2 \text{ 所带电荷对 } P \text{ 点的单位电荷的作用力: } dF_2=f_2 dS_2$$

如果 P 点电荷所受合力为零，即 $dF_1=dF_2$ ，则： $f_1/f_2=dS_2/dS_1=r_2^2/r_1^2$ ，即电荷间作用力与距离平方成反比， $f \propto 1/r^2$ 。

【反证法】如果 $f \propto 1/r^{2+d}$ ，设 $r_1 < r_2$ ，则 $dF_1/dF_2=f_1 dS_1/f_2 dS_2=f_1 r_1^2/f_2 r_2^2=(r_2/r_1)^d$

如果 $d > 0$ ，则： $dF_1 > dF_2$ ， P 点的负电荷将被吸引到外球壳， A 上会出现正净电荷，与实验结果不符。如果 $d < 0$ ，则： $dF_1 < dF_2$ ， P 点的正电荷将被吸引到外球壳， A 上会出现负净电荷，与实验结果不符。因此： $d=0$ 。

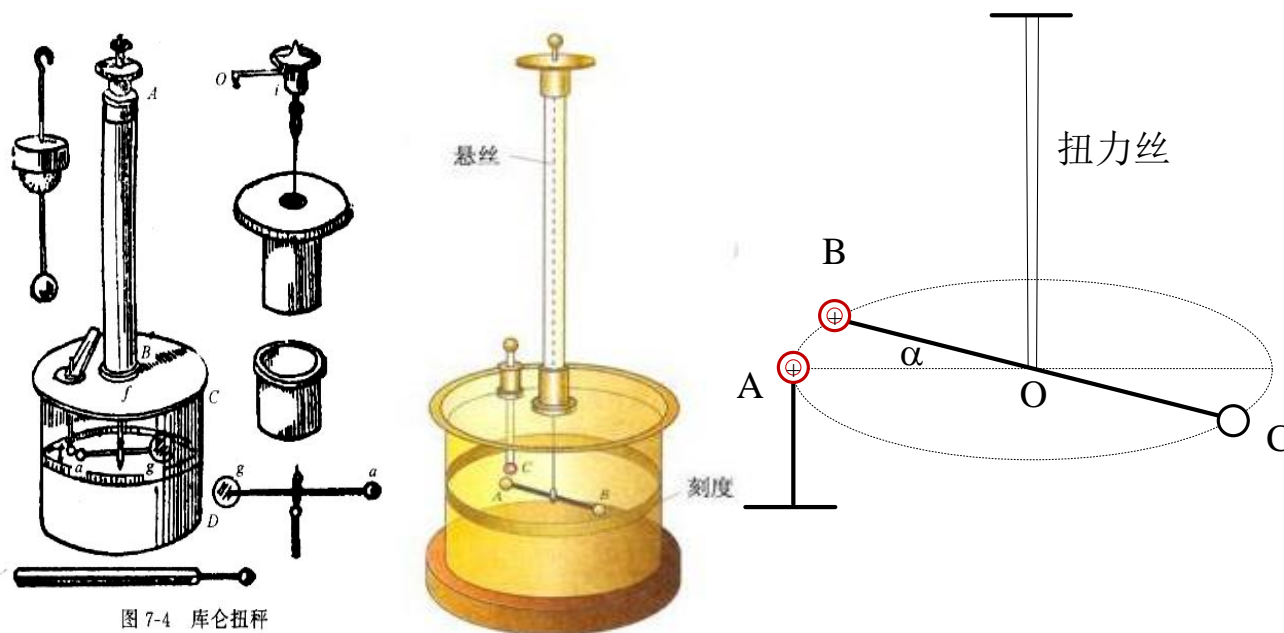
遗憾的是，卡文迪什没有将他的实验公诸于世。直到他逝世60年后，麦克斯韦在整理他的手稿时才发现这个实验。

“卡文迪什也许是有史以来最伟大的实验物理学家，他几乎预料到电学上所有伟大事实，这些事实后来通过库仑和法国哲学家的著作而闻名于世” ---麦克斯韦

4.3 库仑--扭秤实验



- ✓ 法国物理学家**库仑**（1736-1806）从1785年起开始涉足电、磁学研究领域。1777年，发明了**扭秤**。
- ✓ 1785-1789年，库仑设计并进行了著名的**扭秤实验**：金属丝的扭力正比于扭转角，将扭丝悬挂起来，通过扭转角的大小即可测量电荷间作用力的大小，其精度可达万分之一格令（约65mg）。



【思考】对于异种电荷，由于两球相吸，接触后电荷中和，如何测量相互吸引力？

图 7-4 库仑扭秤

4.4 库仑--电摆实验



- ✓ 为测量异种电荷的引力，1787年，库仑采用和牛顿单摆类比的方法，设计了**电摆实验**。
- ✓ **牛顿单摆**：由于地球对物体的作用力反比于两者之间距离的平方，所以存在地面上的单摆的摆动周期正比于摆锤离地心的距离。
- ✓ **库仑电摆**：若电荷间的引力也遵循距离平方的反比关系，则由带电体间引力产生的物体的摆动，其摆动周期必定也正比于两带电体之间的距离。
- ✓ **库仑电摆实验结果的分析与处理**：当纸片与球心距离之比为3:6:8时，实验的电摆周期之比为20:41:60，而理论计算应为20:40:53.3。实验结果与理论计算之间存在差异。
- ✓ 库仑坚信引力的平方反比关系，认为实验误差是因为漏电引起的。经过对漏电原因的修正，实验值与理论值基本符合。

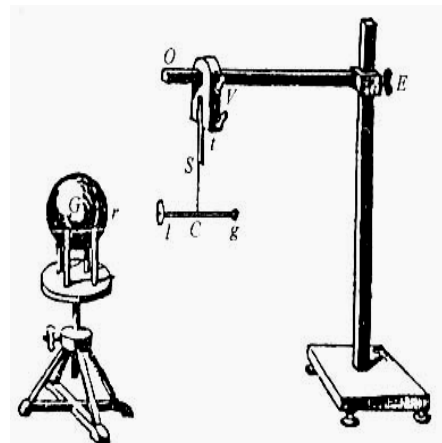
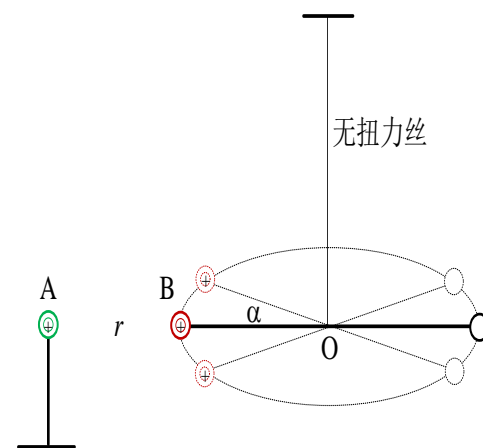
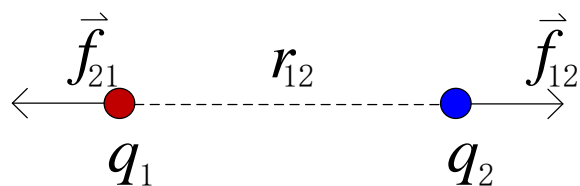


图 7-5 库仑的电摆实验



4.5 库仑定律

- ✓ 1785年，提出了第一个电学的基本实验定律——**库仑定律**
- 库仑定律为实验定律，反映两个电荷之间存在相互作用力，是以库仑为代表的科学家们经过大量实验发现并得到验证，可表述为：**两个点电荷之间存在相互作用力，作用力大小与这两个电荷的电荷量乘积成正比，与它们之间的距离平方成反比，同性相斥，异性相吸。**
- 库仑定律实现了人类对电的认识从定性分析到**定量分析**的跨越
- 库仑定律为静电学奠定了科学基础，从此，电、磁学研究插上了数学的翅膀，步入了一个革命化的时代。**【讨论】：库仑定律的成立条件及适用范围**



$$\mathbf{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{\mathbf{r}}_{12}$$

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

- 电荷 q_1 与 q_2 的体尺度远远小于它们之间的距离，理论上可定义为尺度为零的“点”电荷，即 q_1 与 q_2 为**点电荷**；
- 电荷 q_1 与 q_2 相对观察者（或实验室）都处于静止状态；因此**库仑定律只适用于静电场**。
- 库仑定律的成立条件是真空与静止，是否必要？
- **两个临近的金属球，一个带电荷，另一个不带电荷，它们之间的作用力是否为零？**
- **如果空间中只存在一个电荷，它还有作用力吗？**

- 1、为什么莱顿瓶能储存电荷？
- 2、两个点电荷之间距离一定，所带电量之和为 Q ，问它们各带多少电荷时相互作用力为最大？给出证明。
- 3、设计由3个点电荷构成的受力平衡系统。
- 4、分析两个存在相对运动的点电荷之间的受力
- 5、两个点电荷附近有电介质存在，他们之间的库仑力是否还能用库仑定律计算？



武汉大学
Wuhan University

本章讲授完毕

谢谢！