

教材

《电 磁 学》

交叉学科基础物理教程
叶邦角 编著，科大出版社

1

主讲：孙 霞 sunx@ustc.edu.cn

助教：

章博文 wura@mail.ustc.edu.cn

陈子骅 2126322800@qq.com

答疑及课件下载：

QQ: 651286979

2

主要参考书

1. 《电磁学与电动力学》（上册） 胡友秋，程福臻，叶邦角 编著，2014年，第二版，科学出版社
2. 《电磁学》 张玉民，戚伯云编，2007年，科学出版社
3. 《电磁学》 赵凯华、陈熙谋，2003年4月，高等教育出版社
4. 《电磁学专题研究》，陈秉乾、舒幼生、胡望雨，2001年12月，高等教育出版社
5. 《电磁学》《伯克利物理学教程》第二卷，（美）E.M. 珀塞尔著，南开大学物理系 译，1979年6月，科学出版社
6. 《物理学》第二卷第一册，[美]D. 哈里德，R. 瑞斯尼克著，李仲卿等译，1979年6月，科学出版社
7. 《普通物理学》第二卷，C. 3. 福里斯，A.B. 季莫列娃著，梁宝洪译，1958年11月，高等教育出版社
8. 《电磁学》第二版，贾起民，郑永令，陈登耀，2001年1月，高等教育出版社
9. 《电磁学》陈秉乾、王毅军编著，2003年5月，北京大学出版社
10. 《电磁学千题解》张之翔编著，2018年5月，第二版，科学出版社

3

期终总评分数

- ◆ 期中考试(前3章): 30%
- ◆ 期末考试(后5章): 40%
- ◆ 平时作业: 20%
- ◆ 课堂测验: 10%
- ◆ 小论文: 0-10分
- ◆ 优秀原创习题及答案、教学建议、图片等: 0-5分

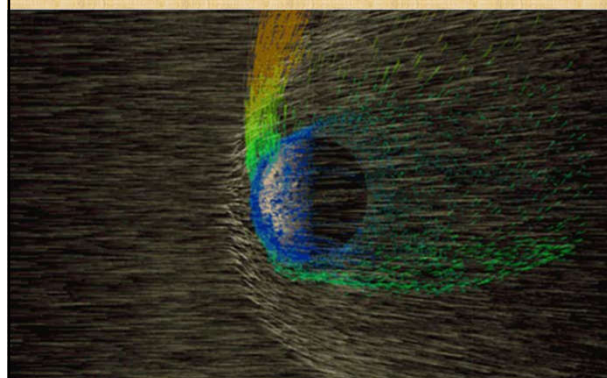
4

绪 论

电磁科学的发展及其在
近代科学技术中的应用

5

0.1 电磁科学体系的建立与“场”理论的诞生



一、早期的电磁研究

文字

- 公元前16-11世纪:
甲骨文中出现“雷”字
- 公元前11世纪:
西周的青铜器上出现“電”字



7

雷电现象

- 康熙字典：“陰陽激耀，從雨從申”
- 字汇：“雷从回，电从申，阴阳以回薄而成雷，以申泄而为电”
- 公元前120年，《淮南子》“阴阳相搏为雷，激扬为电”

注：古文的电字与申字是同一个字“申”

8

琥珀的性质

- 《三国志·吴志·虞翻传》：“仆闻虎魄不取腐芥，磁石不受曲针，过而不存，不亦宜乎！”。
- 南北朝·陶弘景《名医别录》：“琥珀，惟以手心摩热拾芥为真”。
- 早期希腊文字“ηλεκτρον”，发音为“elector”，用以描述琥珀(amber)在阳光下的闪闪发光。
- 古希腊哲学家、科学家Thales(泰勒斯)发现：“Friction makes amber become magnetic change”

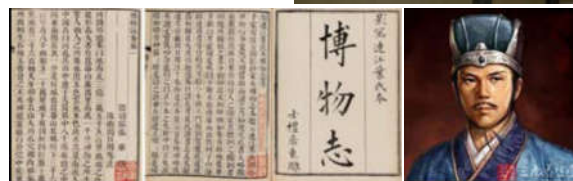
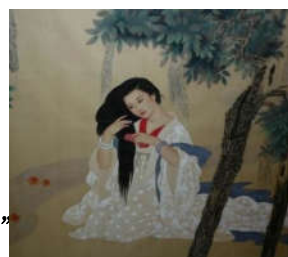
注：芥指芥菜子，统喻干草、纸等的微小屑末

9

摩擦起电

公元三世纪,晋朝张华的《博物志》中也有记载:

“今人梳头，解着衣，有随梳解结，有光者，亦有咤声”



磁性(magnetism)

- 磁：慈石，《管子》（前725-645年）
- 春秋战国时期（公元前770-221年）
“山上有慈石者，其下有铜金”
- 东汉王充《论衡》：
“顿牟掇芥，磁石引针”
- 古希腊哲学家泰勒斯、苏格拉底都曾提到磁石
- 法文，西班牙文和匈牙利文称磁石为：
“Love stone”



注：顿牟即琥珀

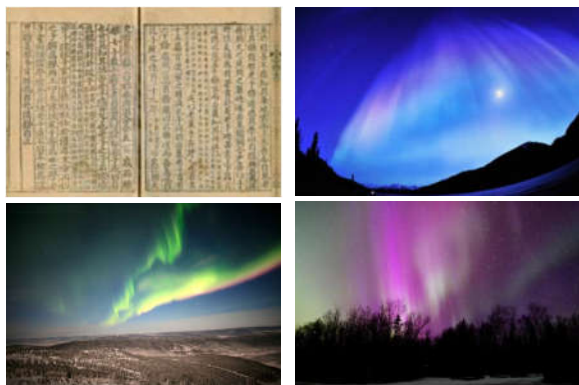
11

太阳风

太阳风：太阳发射出的带电粒子，到达地球上空时，受到地球磁场的作用，沿地磁场(形状如“漏斗”)沉降，进入地球的两极地区。

12

极光



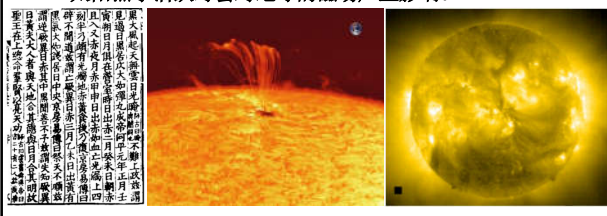
极光

- 地球两极的高空层大气受到太阳风(含大量运动的带电粒子)的轰击后发出光芒, 形成极光。
- 极光是太阳风在地球磁场的作用下与大气相互作用的结果。
- 司马迁《史记》多处记录极光。
- 从公元前27世纪到16世纪, 有350多次极光的记录。



太阳黑子

- 太阳黑子: 太阳表面出现的一些暗的区域, 是磁场聚集的地方。
- 人类关于太阳黑子的最早记录是在《汉书·五行志》中: “三月乙未, 日出黄, 有黑气, 大如钱, 居日中央。”
- 西汉《周易》: “日中有骏鸟”。
- 太阳黑子活跃时会对地球的磁场产生影响。



T~6000 K
H~2 Gs



T~4500 K
H~0.3 T

古代电磁的应用

● 指南针: 中国古代四种发明之一

- 《鬼谷子》公元前4世纪 “郑人之取玉也, 必载司南之车, 为其不惑也”
- 《韩非子·有度篇》公元前3世纪, “故先王立司南, 以端朝夕。”
- 东汉王充的《论衡·是应篇》说: “司南之勺, 投之于地, 其柢指南”
- 《梦溪笔谈》沈括(1031-1095): “方家以磁石磨针锋, 则能指南, 然常偏东, 不全南也。”这是世界上关于地磁偏角的最早记载。
- 西方最早记载指南针用于航海的是1207年。



盘17.8×17.4cm, 勺长11.5cm, 口径4.2cm

司南由青铜地盘与磁勺组成

- 地盘内圆外方, 中心圆面下凹, 圆外盘面分层次铸有10天干, 十二地支、四卦, 标示24个方位。
- 磁勺是用天然磁体磨成, 置于地盘中心圆内, 勺头为N, 勺尾为S, 静止时, 因地磁作用, 勺尾指向南方。

- 《史记》记载，磁石用于治疗疫病
- 李时珍在《本草纲目》中详细总结了磁石治疗的十种应用。
- 古希腊医生加伦用磁石治疗腹痛。
- 磁石在建筑、军事、幻术、选矿等均有记载。



19

阿房宫的大门之谜

秦始皇在建造阿房宫的时候，命令工匠采取秘密的防范措施，以防不测。聪明的工匠运用科学道理，用磁石修建了大门，在科技史上无疑是一大创举。

- 在一本叫做《三辅黄图》的秦汉宫廷轶事里写道：阿房宫“以磁石为门”，“朝者有隐甲怀刃，入门而胁止”。
- 唐朝《元和郡县志》：“秦磁石门，在咸阳东南十五里。东南有阁道，即阿房宫之北门也，累磁石为之。著铁甲入者，磁石吸之不得过，羌胡以为神”。



20

二、电磁学的诞生

- 英 *Maricourt* 做了不少磁学实验，并于1269年写了一本小册子，描述他的发现。他发现磁极有两极，并命名为 *N* 极和 *S* 极，异极相吸，同极相斥。
- 十三世纪古罗马 *Peregrines* 1269年在《论磁体的信》中谈到了磁体的色、均匀性、重量、吸引力、极等概念，并描述了“同性相斥，异性相吸”的性质。
- 欧洲文艺复兴(14-16世纪)是科学与艺术的复兴，通过实验自然研究规律已蔚然成风，培根“应当靠实验来弄懂自然科学”。

21

William Gilbert (1540-1603)

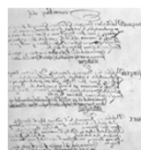
- 是英女王伊丽莎白一世的御医；
- 1600年，在他的“*De magnete*” (论磁性)一文中，他发现了磁学；
- Gilbert是最早真正理解地球本身是一个巨大的磁体的科学家。
- 他首次将 *electricity* 引入到科学演讲中，提出了 *electric force*, *magnetic pole*, and *electric attraction* 概念；
- 他首次将电和磁区分开来。



22

René Descartes(1596-1650)

- 笛卡尔 1644年在《哲学原理》最早暗示磁物质是一闭合的涡旋运动形成；
- 他认为：宇宙是由涡旋构成的，太阳系是一个以太阳为中心的大涡旋，这种涡旋带动其它星体绕太阳运动。
- 他认为：电是一种流体；电象热一样，是一种运动状态。



23

17世纪的摩擦起电研究

- 盖里克(Guericke, 1602-1686)发现电的排斥现象，发明摩擦起电机。制造了第一个可以产生电火花的机器——静电产生器。



早期(17世纪)的静电产生器

24

18世紀的摩擦起電研究

- 1729年，英國人**格雷**在《關於一些新電學實驗的說明》中：
 - ✓ 提出了**摩擦帶電**和**感應帶電**；
 - ✓ 指出**有些物質可以傳導電**，有些則不能；
 - ✓ 主張**帶電體不能導電**，而非電體卻可以；
 - ✓ 實心木球和空心木球具有相同的電效應；
 - ✓ 使人們認為**電是一種流體**。

25

- 法國物理學家**迪非**(1698—1739)

在《論電》說：經過實驗表明，帶電體與非電體之間並無本質的區別，**所有物體都可以帶電**。

- 1734年，迪非發現**兩類不同的電荷**，一種稱為**玻璃電**，一類稱為**樹脂電**，並提出**二元電液理論**。實際上他發現了正負電荷，但命名不確切。

Severely, Chance has thrown in my Way another Principle, more universal and remarkable than the preceding one, and which casts a new Light on the Subject of Electricity. This Principle is, that there are two distinct Electricities, very different from one another; one of which I call vitreous Electricity, and the other resinous Electricity. The first is that of Glass, Rock-Crystal, Precious Stones, Hair of Animals, Wool, and many other Bodies: The second is that of Amber, Copal, Gum-Lack, Silk, Thread, Paper, and a vast Number of other Substances.

迪非的信
存在着兩種判然不同的電。一種我稱之為玻璃電；另一種為樹脂電。

第一種是玻璃、水晶、寶石、動物毛發、羊毛和其他許多物體的電。第二種是琥珀、樹脂、絲、線繩、紙和無數其它物質的電。

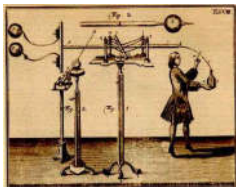
這兩種電的特徵是，一個帶玻璃電的物體排斥一切帶同類電的物體，相反卻吸引一切帶樹脂電的物體。

26

- 1745年，荷蘭萊頓大學的物理學教授**馬森布羅克**(1692—1761)發現玻璃瓶可以**儲存大量電荷**，此瓶被稱為**萊頓瓶**。



- 整個歐洲全都在演示萊頓瓶的放電功能。法國人**諾萊特**在巴黎修道院門前調集**700**修道士，演出一場放電喜劇。路易十五親自出場。



27



“巴黎聖母院”廣場
法國國王路易十五觀看
700名修道士圍成直徑約270米的半圓圈

萊頓瓶

摩擦起電機



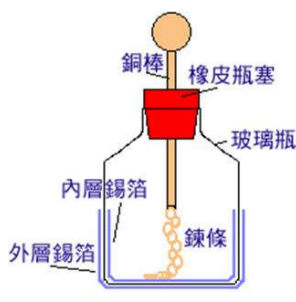
集體觸電

讓排頭的修道士手捧玻璃瓶，再令排尾的修道士用手去握住萊頓瓶中央金屬棒引出的導線，就在修道士握住這導線的瞬間，轟然一聲“噼啪”響，700多名修道士同時跳了起來，一個個吓得面如土色。

威力並不是來自瓶子，而是萊頓瓶里儲藏的電。電將是未來世界的主宰。

28

萊頓瓶



29

Benjamin Franklin (1706-1790)

- 美國科學家、發明家、政治家、社會慈善家
- 首先定義正電、負電
- 單流體說
- 電荷守恒原理
- 費城風箏實驗
- 連接天電和地電
- 發明避雷針



“他從天空抓到雷電，從專制統治者手中奪回權力。”——A·R·J·杜爾哥

30

费城电风筝实验



尖铁丝

金属
钥匙

富兰克林因这项成就，在1753年11月荣获了伦敦皇家学会颁发的**科普勒金质奖章**

31

平方反比律



➤ 1759年，德国的**Aepinus**在《电磁理论初探》中提出：发现了**两电荷之间的相互作用力随距离的减少而增大**的现象。但是他没有继续深入研究下去。

➤ 1766年，**普里斯特利**根据带电金属内表面没有电荷，对内部不产生电力，猜测**电力与万有引力有相似的规律**，即电荷间存在平方反比律。但仅仅停留在猜测阶段。



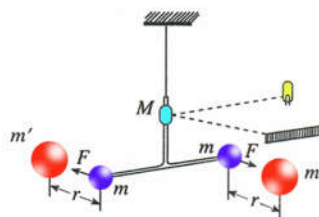
32

- 1769年，**罗宾逊**（Robinson 1739-1805）做了一个小球上电力与重力平衡实验。
- **第一次直接测定了两个电荷相互作用的平方反比律。**
- 但到1801年才发表(而1788年库伦用其他实验建立了库伦定律)。



33

- **卡文迪许**（1731—1810），英国贵族，终生未婚献身于科学事业。
- 他发明了**扭秤**，在实验室中**测定万有引力常数G**。



Henry Cavendish

34

- 1772年，**卡文迪许**按普里斯特利的思想设计了一个**双层同心球实验**，第一次**精确测量出电作用力与距离的关系**。
- 发现带电导体球壳的内表面不存在电荷，**电荷全部分布在外表面**，且球壳空腔中任何点都没有电的作用。
- 他还用数学方法设电荷相互作用力 F 与距离 r 的关系为 $F \propto 1/r^{2+\delta}$ (δ 的上限为0.02)。1777年，**提出电荷作用的平方反比律**：“电的吸引力和排斥力很可能反比于电荷间距离的平方。”
- 但一百年后，**Maxwell**整理他手稿时才发现。



35

法国物理学家库仑(1736—1806)

- 1785年，**库仑**设计了精巧的**扭秤实验**；
- 直接测定了两个静止点电荷的相互作用力：**与它们之间的距离二次方成反比，与它们的电量乘积成正比。**
- 从1785-1791年，库仑发表了7篇论文。
- 库仑的实验得到了世界的公认；
- 从此电学的研究开始进入科学行列。



Charles-Augustin de Coulomb

36

- 二百多年来，许多科学家一直不懈地进行平方反比律的验证，其精度不断提高；

库仑定律已成为物理学最精确的实验规律。

1772	Cavendish	2×10^{-2}
1874	Maxwell	5×10^{-5}
1936	Dlimpton, Lawton	2×10^{-9}
1968	Cochran, Franken	9.2×10^{-12}
1970	Bartlett	1.3×10^{-13}
1971	Willian	$(2.7 \pm 3.1) \times 10^{-13}$

$$f \propto 1/r^{2+\delta}$$

 δ

37

- 1811年，泊松把早先力学中拉普拉斯在万有引力定律基础上发展起来的势论用于静电，发展了静电学的解析理论。



Simeon-Denis Poisson
1781-1842法国
数学家、物理学家

38

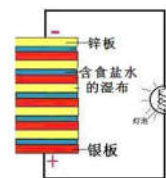
电流的发现与伏打电堆

- 1780年，意大利的解剖学家伽伐尼偶然观察到与金属相接触的蛙腿发生抽动。
- 伏打发现蛙腿的抽动是一种对电流的灵敏反应。
- 电流是两种不同金属插在一定的溶液内、并构成回路时产生的，而肌肉提供了这种溶液。
- 1799年，他制造了第一个能产生持续电流的化学电池，其装置为一系列按同样顺序叠起来的银片、锌片和用盐水浸泡过的硬纸板组成的柱体，叫做伏打电堆。



39

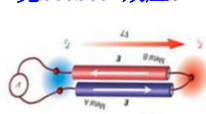
- 1800年春天，伏打(Volta)制成电堆，他在给英国皇家学会报告中说：“用30片、40片、60片、甚至更多的铜片，将它们中每一片与一片锡片相间排列，然后充一层水或盐水……就能产生更多的电荷”——这就是电池的原型。



40

热电效应—Seebeck效应

- 1822年塞贝克进一步发现，将铜线和一根别种金属(铋Bi)线连成回路，并维持两个接头的不同温度，也可获得微弱而持续的电流，这就是热电(温差电)效应，也称塞贝克Seebeck效应。



Seebeck
1770-1831

41

电流的磁效应

- 1640年，已有人观察到闪电使罗盘的磁针旋转；
- 1750年富兰克林观察到莱顿瓶放电可使钢针磁化；
- 但到19世纪初，科学界仍普遍认为电和磁是两种独立的作用。
- 与这种传统观念相反，丹麦的自然哲学家奥斯特接受了德国哲学家康德和谢林关于自然力统一的哲学思想，坚信电与磁之间有着某种联系。



Hans Christian Oersted 1777-1851

42

- 经过多年的研究，**奥斯特**终于在1820年发现**电流的磁效应**：当电流通过导线时，引起导线近旁的磁针偏转。
- 电流磁效应的发现开拓了电学研究的新纪元。



43

1820年7月21日，丹麦**奥斯特**发现**电流的磁效应**。



1820年9月18日，法国**安培**研究了**圆电流对磁针的作用**。9月25日，**两平行导线的相互作用**。



1820年9月25日，**阿拉果**关于**钢片在电流作用下被磁化**的实验。

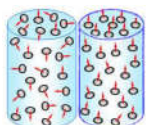


1820年10月，**安培**提出**螺线管与磁铁的等效性**。

1820年10月30日，**比奥和萨伐尔**长直电流对磁极的作用 $\propto 1/r$ 。**比奥-萨伐尔-拉普拉斯定律**。



1821年1月，**安培**提出**分子电流学**。他做了**四个极为精巧的实验**，其构思之新颖，结构之奇巧，堪称物理史上的不朽之作。



1825年，**斯特金**发明**电磁铁**，为电的广泛应用创造了条件。



1833年，**高斯和韦伯**制造了第一台简陋的**单线电报**；

1837年，**惠斯通和莫尔斯**分别独立发明了**电报机**，莫尔斯还发明了一套电码，利用他所制造的电报机可通过在移动的纸条上打上点和划来传递信息。



45

1855年，**汤姆孙(即开尔文)**解决了**水下电缆信号输送速度慢**的问题，1866年按汤姆孙设计的**大西洋电缆**铺设成功。



1854年，法国电报家**布尔瑟**提出**用电来传送声音**的设想，但未变成现实；后来，**赖斯**于1861年实验成功，但未引起重视。

1861年，**贝尔**发明了**电话**，作为收话机，它仍用于现代，而其发话机则被爱迪生发明的碳发话机以及休士发明的传声器所改进。



46

欧姆定律

- 电流磁效应发现不久，几种不同类型的**检流计**设计制成，为欧姆发现电路定律提供了条件。
- 1826年，受到傅里叶关于固体中热传导理论的启发，**欧姆**认为**电的传导和热的传导很相似**，**电源的作用好像热传导中的温差一样**。
- 为了确定电路定律，开始他用**伏打电堆**作**电源**进行实验，由于当时的伏打电堆性能很不稳定，实验没有成功。
- 后来他改用两个接触点温度恒定因而稳定的**热电动势**做实验，得到电路中的电流强度与他所谓的电源的“**验电力**”成正比，比例系数为**电路的电阻**。 $I = U / R$



Georg Simon Ohm
1789-1854

47

电磁感应

- 杰出的英国物理学家**法拉第**对电磁学的发展作出了极重要的贡献，其中最重要的贡献是1831年发现**电磁感应现象**。
- 他做了许多实验，确定电磁感应的规律，发现**当闭合线圈中的磁通量发生变化时，线圈中就产生感应电动势**。
- 感应电动势的大小取决于**磁通量随时间的变化率**。

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$$



Michael Faraday
1791-1867



48

- 其实，亨利先于法拉第1年左右发现了电磁感应现象，但他等待积累更多的实验数据而没有立刻发表，当他从一本杂志上介绍法拉第的工作时，他感到无比的沮丧和郁闷。

- 楞次于1834年给出感应电流方向的描述；

- 纽曼概括了他们的结果，给出感应电动势的数学公式。

Heinrich Friedrich Emil Lenz
1804-1865



49

- 法拉第在电磁感应的基础上，制出了第一台发电机。
- 他还把电现象和其他现象联系起来广泛进行研究，在1833年成功地证明了摩擦起电和伏打电池产生的电是相同的；
- 1834年发现电解定律；
- 1845年发现磁光效应；
- 解释了物质的顺磁性和抗磁性；
- 详细研究了极化现象和静电感应现象；
- 并首次用实验证明了电荷守恒定律。



50

近距作用(以太论)和超距作用

早在牛顿以前，对物体间的作用就存在两种对立的猜想：

- ① 超距作用：物体之间除了通常的接触作用（拉压、冲击）之外，还存在不需要中间媒质的超距作用；

- ② 近距作用：物体之间的所有作用力都是近距作用，两个远离物体之间的作用力必须通过某种中间媒介物质传递，这种中间媒质被称为以太。

牛顿的万有引力定律似乎支持超距作用观点，但是牛顿本人并不赞成超距作用解释。他在给R. 本特利的一封信中写道：“没有其他东西的媒介，一个物体可超越距离、通过真空对另一物体作用，并凭借和通过它，作用力可从一个物体传递到另一个物体，在我看来，这种思想荒唐之极...”

51

18世纪近距作用(以太论)没落、超距作用盛行，因为：

- ① 法国的笛卡儿主义者在反对超距作用的同时，不恰当地否认了引力的平方反比定律，引起一些年轻的牛顿追随者起来捍卫牛顿的学说，并强烈地反对包括以太在内的全部笛卡儿观念。

- ② Lagrange、Leplace、Posisson等人从引力定律出发，发展出数学上简洁而优美的势论。

- ③ 1845年，Neumann用势得到了电磁感应定律。Neumann and Weber提出超距作用的电磁理论。Weber企图用势统一电磁理论。



Newton Descartes Lagrange Leplace Posisson Neumann Weber

52

- ④ 随着引力的平方反比定律在天体力学方面的成功，以及探寻以太的试验并未获得实际结果，使得超距作用观点得以流行。

- ⑤ 光的波动说被放弃，微粒说得到广泛的承认。

- ⑥ 到18世纪后期，证实了电荷之间(以及磁极之间)的作用力同样是与距离平方成反比。

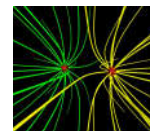
电磁以太的概念亦被抛弃，超距作用的观点在电学中占了主导地位。

53

场的概念的建立—法拉第力线

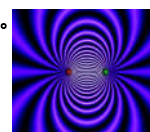
对于电磁现象的广泛研究使法拉第逐渐形成了他特有的“场”的观念，他认为：

- 力线是物质的，它弥漫在全部空间，并把异号电荷和相异磁板分别连结起来；



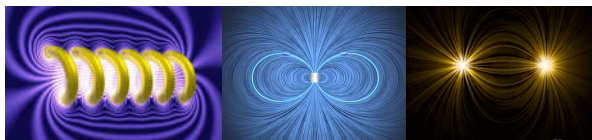
- 电力和磁力不是通过空虚空间的超距作用，而是通过电力线和磁力线来传递的。

- 电力线和磁力线是认识电磁现象必不可少的组成部分，甚至它们比产生或“汇集”力线的“源”更富有研究的价值。



54

- 法拉第的丰硕的实验研究成果以及他的新颖的场的观念，为电磁现象的统一理论准备了条件。
- 诺埃曼、韦伯等物理学家对电磁现象的认识曾有过不少重要贡献，但他们从超距作用观点出发，概括库仑以来已有的全部电学知识，在建立统一理论方面并未取得成功。
- 这一工作在19世纪60年代由卓越的英国物理学家麦克斯韦完成。



汤姆逊的类比



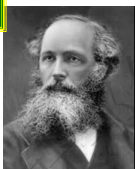
William Thomson (Kelvin, 1824-1907)
1841年提出：

电力线	↔	热流线
等势面	↔	等温面
电荷	↔	热源

56

Maxwell(1831-1879)电磁理论

- Maxwell在16岁进入爱丁堡大学学习物理，他阅读了汤姆生的著作，十分赞同法拉第提出的新观点，并且精心研究法拉第的《电学的实验研究》一书。
- 1856年，25岁的他发表了第一篇电磁学论文 On Faraday's Lines of Force 《论法拉第的力线》。在这篇论文中，他通过类似汤姆逊的类比方法，使法拉第的力线概念获得了精确的数学表述，并且由此导出了库仑定律和高斯定律。
- 这篇文章还只是限于把法拉第的思想翻译成数学语言，还没有引导到新的结果。



57

- 1862年，31岁，他发表了第二篇论文 On Physical Lines of Force 《论物理力线》。
- 该文不但进一步发展了法拉第的思想，扩充到磁场变化产生电场，而且得到了新的结果：电场变化产生磁场，由此预言了电磁波的存在，并证明了这种波的速度等于光速，揭示了光的电磁本质，“光是一种电磁波”。
- 这篇文章包括了麦克斯韦研究电磁理论达到的主要结果。

58

- 1864年，33岁，他的第三篇论文 A dynamical theory of the electromagnetic field 《电磁场的动力学理论》，从几个基本实验事实出发，运用场论的观点，以演绎法建立了系统的电磁理论。



- 1873年，出版了《电磁通论》一书，该书是集电磁学大成的划时代著作，全面地总结了19世纪中叶以前对电磁现象的研究成果，建立了完整的电磁理论体系。

59

科学史上里程碑式的著作

麦克斯韦 James Clerk Maxwell	《电磁通论》
牛顿 Isaac Newton	《自然哲学的数学原理》
达尔文 Charles Robert Darwin	《物种起源》
赖尔 Charles Lyell	《地质学原理》

60

Maxwell方程组

$$\begin{cases} \nabla \cdot \vec{D} = \rho_0 \\ \nabla \cdot \vec{B} = 0 \\ \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \vec{H} = \vec{j}_0 + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \end{cases}$$

牛顿力学
万有引力公式
麦克斯韦方程组
相对论
量子力学方程
..... 科学的诗
形式简洁、精确
内涵广博、深邃!

◆麦克斯韦进而根据他的方程组预言了电磁作用以波的形式传播，电磁波在真空中的传播速度与光在真空中传播的速度相同，由此麦克斯韦预言光也是一种电磁波。

◆1888年，赫兹根据电容器放电的振荡性质，设计制作了电磁波源和电磁波检测器，通过实验检测到电磁波，测定了电磁波的波速，并观察到电磁波与光波一样，具有偏振性质，能够反射、折射和聚焦。



- 1895年，俄国的波波夫和意大利的马可尼分别实现了无线电信号的传送。后来马可尼将赫兹的振子改进为竖直的天线。
- 德国的布劳恩进一步将发射器分为两个振荡电路，为扩大信号传递范围创造了条件。
- 1901年马可尼第一次建立了横跨大西洋的无线电联系。
- 电子管的发明及其在线路中的应用，使得电磁波的发射和接收都成为易事，推动了无线电技术的发展，极大地改变了人类的生活。



马可尼和布劳恩因无线电报的发明获1909年诺贝尔物理学奖

物理学与人类文明

第一次工业革命 第二次工业革命 第三次工业革命

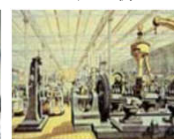
18世纪60年代
~19世纪40年代

19世纪60年代
~20世纪初

20世纪40年代
~20世纪末



热学
蒸汽机时代

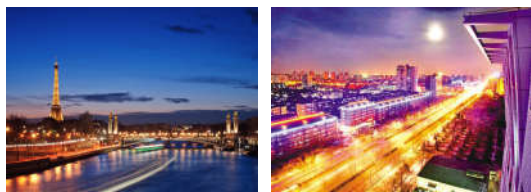


电磁学
电力的时代



相对论与量子论
原子能、计算机

0.2 电磁科学与电气化



莱顿瓶 → 电池 → 发电机 → 发电厂 → 各类电器
电磁科学的发展直接导致了电力革命!

法拉第发现电磁感应现象后，英国皇家研究所举办成果展览，英国财政大臣也来参观，看到助手们表演火花放电以娱伦敦民众，不太高兴，便问法拉第：你花了政府这么多钱，就为了表演？法拉第冷冷地回答了四个字：You will tax it!

0.3 电磁科学与通信



呐喊



烽火报警



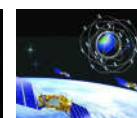
电报



有线电话



移动电话

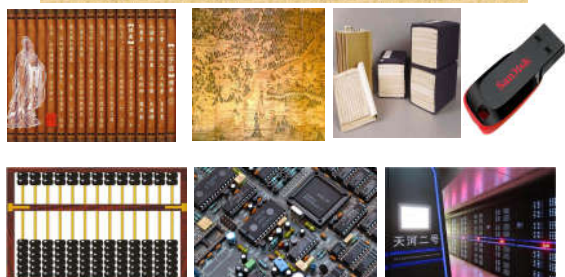


全球导航



量子通信

0.4 电磁科学与现代科学与技术



十进制 → 二进制

浮点运算速度：每秒33.86千万亿次

67

《电磁学》传入中国

1851年 《电器通标》

1855年 《博物新编》

1879年 《电学入门》

1881年 《电学纲目》

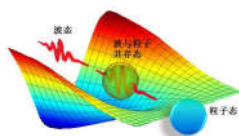
1887年 《电学图说》

直到民国初年，法拉第的电磁学和麦克斯韦理论也没完整的传入中国。

68

20世纪和量子电动力学

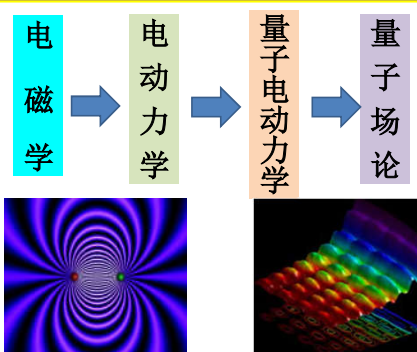
- 20世纪上半叶，物理学经历了量子革命，电磁学也获得更深刻认识。
- 量子电动力学 (Quantum Electrodynamics, QED) 是经典电动力学的量子化版本，它更精确地描绘了微观粒子的电磁运动规律。
- 经典电磁学是QED在宏观体系中的极限近似。



- 光既可以表现出粒子的形式；
- 又可呈现出波动特征；
- 还能同时表现得既像波又像粒子的性质。

69

电磁理论的发展



70

Nobel Prizes in Physics

Particle and Accelerator (46)

Atomic and Quantum physics (28)

Nuclear physics (21)

Plasma physics (1)

Optical physics (14)

Molecular physics (3)

Condensed matter physics (34)

Superconductivity (9)

Superfluidity (8)

Gas physics (2)

Astrophysics and Cosmology (17)

Space physics (1)

Electromagnetism (16)

Quantum mechanics (13)

Quantum electrodynamics (8)

Instrumentation (21)

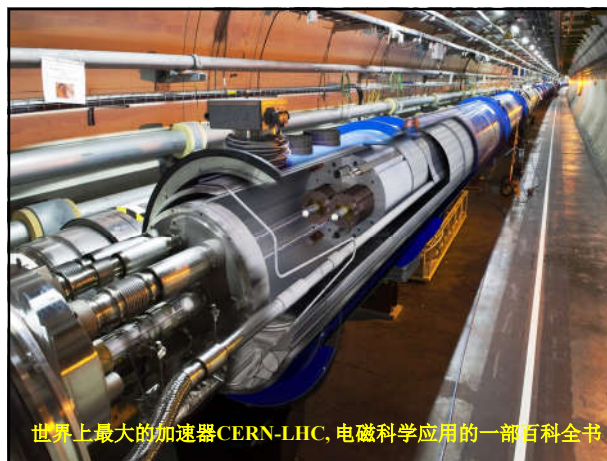
X-Rays and Crystallography (8)

Semiconductor technology (11)

Applied mechanics (2)

Electronics technology (1)

71



世界上最大的加速器CERN-LHC, 电磁科学应用的一部百科全书

质量的起源-Higgs粒子(God Particle)

根据希格斯机制，基本粒子是因为与遍布于宇宙的希格斯场耦合而获得质量。希格斯玻色子是希格斯场的振动，是希格斯场存在的明确证据，就好像从观察海面的波浪可以推论出大海的存在。

2012年7月4日，CERN宣布，LHC的CMS探测到质量为 125.3 ± 0.6 GeV的新玻色子，ATLAS测量到质量为126.5 GeV的新玻色子。



希格斯和恩格勒荣获2013年诺贝尔物理学奖

电磁理论

一门古老而年轻的学科，

一门永远发展的学科。

74

Thank you !

