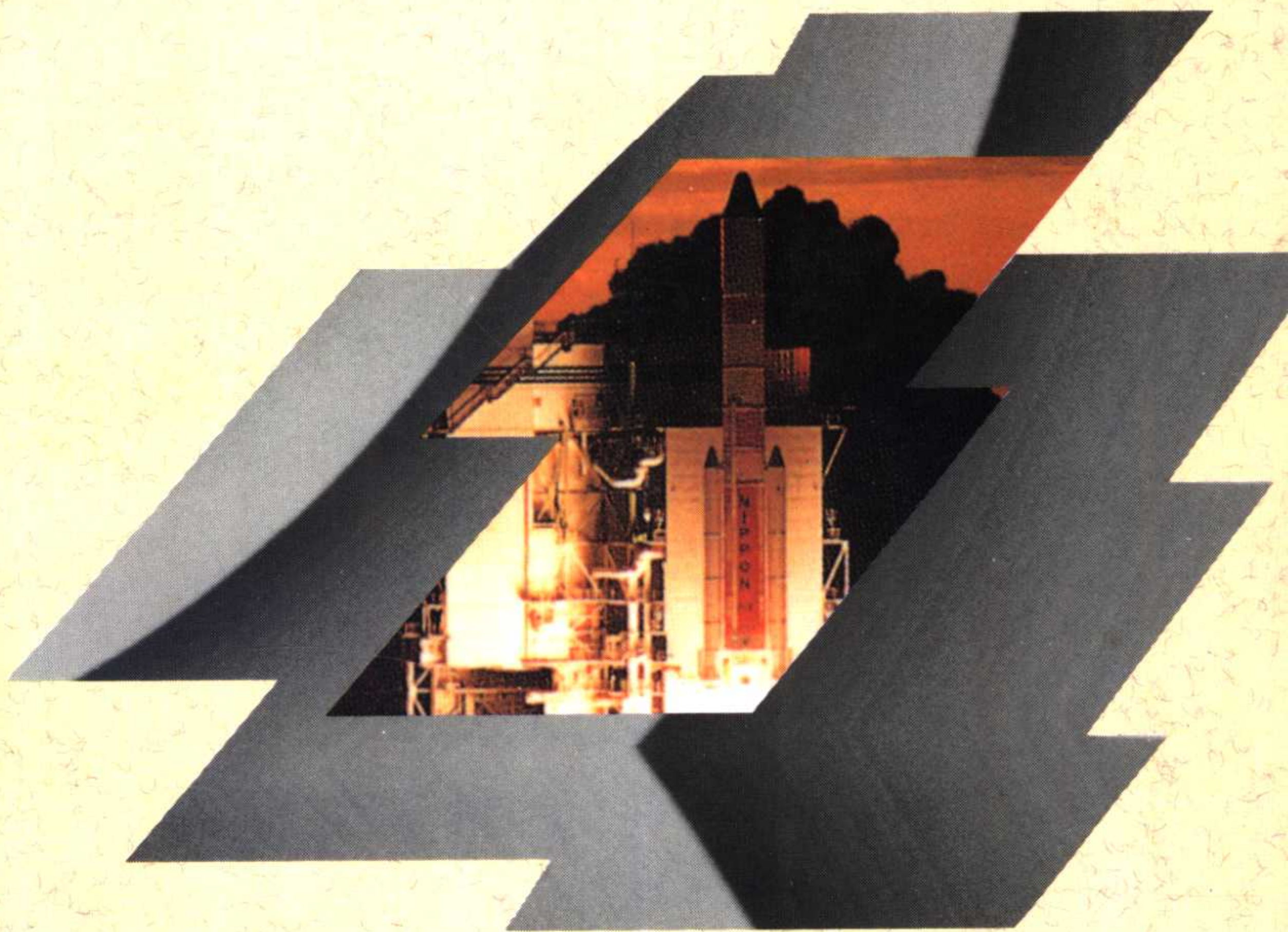


北京市华罗庚学校奥林匹克系列丛书

# 华罗庚学校 高中物理课本②

北京市华罗庚学校 编



中国大百科全书出版社

北京市华罗庚学校奥林匹克系列丛书

# 华罗庚学校 高中物理课本②

---

北京市华罗庚学校编  
主编：刘彭芝

中国大百科全书出版社  
北京·1998

编 者：北京市华罗庚学校

责任编辑：简菊玲

责任校对：李 静 王王琴

封面设计：郭 健

版式设计：中 文

---

出版发行：中国大百科全书出版社

(北京阜成门北大街17号 100037)

印 刷：北京人民文学印刷厂

经 销：新华书店总店北京发行所

---

版 次：1998年6月第1版

印 次：1998年6月第1次印刷

印 张：9.625

开 本：787×1092 1/32

字 数：209千

印 数：1—10000

ISBN 7—5000—6039—4/G·268

定 价：11.80元

## 前 言

北京市华罗庚学校是由中国科学院华罗庚实验室、中国科技大学和中国人民大学附中联合创办的，是中国人民大学附中超常教育体系的重要组成部分。其办学目标是为国家大面积早期发现与培养现代杰出科技人才开辟一条切实可行的途径，为我国教育事业面向现代化、面向世界、面向未来的战略方针探索一项行之有效的举措。在这里，集中了一大批高级教师、大学教师和研究员精心执教，一批批数理超常少年在这里茁壮成长。华校全体师生缅怀我国著名数学家华罗庚教授，崇尚他为国为民鞠躬尽瘁的高贵品质，决心沿着他的足迹继续前进。

超常教育与早期教育为当前各国教育家和心理学家所重视，这一方面的研究工作得到了各国政府以及有远见的社会各界人士的支持和赞助。在前苏联，国家开办有各类人才学校，用于培养科技文体方面的超常少年。在美国，控制论的创立者、“神童”维纳就是家庭和学校共同精心培育成功的典范。

近年来，我国众多有识之士在改革开放、建设有中国特色社会主义的宏图大业感召鼓舞下，投身超常教育事业，辛勤耕耘，刻苦研究，已经取得可喜的成果。超常教育是人类教育史上的一大进步，然而它又是一个异常复杂的教育新课题。不论是历史上还是现实生活中，少年出众，而成果寻常的人比比皆是。究其原因，往往在于成长环境不佳，而主要则是未能在超常教育理论指导下施以特殊教育的结果。因此，

我们必须更新教育观念，采取新的教育理论和方法，把大批聪慧少年培养成为高科技时代的栋梁之才。创办华罗庚学校的主旨，就在于探索一条使那些天资优异的孩子们，既不脱离群体，以免身心畸形发展，又使他们的才华得以充分开发的可行之路。

七百多年前，英国思想家、现代实验科学先驱罗吉尔·培根曾说：“数学是科学的大门和钥匙”。时至今日，人们更加清楚地看到了数学在现代教育中所占据的重要地位。当今世界，自然科学、社会科学和数学已发展成为三足鼎立之势，而数学更是各门科学发展的基础。科学和技术迅猛、巨大的进步，主要就是得益于数学的现代发展，特别是数学在物理学、生物学以及社会科学中的纵深渗透。因此，华校在以数学为带头学科的施教前提下，同时又鼓励学生们在自己感兴趣的其他课程，如物理、化学、生物、外语、计算机等学科中开拓进取、施展才华。这样，近而言之，希望他们在运用中体验数学的思维模式和神奇魔力；远而图之，则是为他们日后发展的多价值取向打下全面的科学文化素质的坚实基础。

华校采取科学的教学方法，进行开放式教学，努力开发学生的潜在能力，对学生实行超前教育。除由人大附中选派经验丰富的优秀教师任教外，还聘请中国科学院、中国科技大学、北京大学、清华大学、中国人民大学及北京师范大学等高校专家、教授来校办讲座，用最新的科技知识丰富学生的头脑，开阔他们的视野。

实践证明，华罗庚学校对超常儿童的培养方略是可取的。十余年来，华校为高一级学校输送了大量学业优异的人才。以

第一、二、三届华校试验班为例，三届毕业生总数为 136 人。其中，直接保送到国家第一流重点大学 35 人，占 25.7%。参加高考的 101 人，考入清华大学 42 人，占 30.8%；北京大学 41 人，占 30.1%；中国科技大学 10 人，占 7%。总计考入上述三校为 93 人，加保送 35 人，总计为 128 人。第四届华校试验班又进了一步：全班 44 人，保送 9 人，参加高考 35 人，高考平均分数为 610.83 分，数学平均分数为 137 分，总分数超过 600 分的有 25 人。不仅如此，还有数以千计的学生参加各类数理学科竞赛，在区、市、国家乃至世界级学科竞赛中获奖夺魁者的人数位居北京市重点中学之首。上述大量事实证明，一种新的教育理论和实践，使得一批又一批青少年英才脱颖而出，足以显示华罗庚学校的办学方向是正确的，教学是成功的。

更可喜的是在探索办学的过程中，以华校为核心，造就并团结了校内外一大批具有新思想、新观念、肯吃苦、敢拼搏的优秀教师和教育专家。在这个来自平凡的教学科研岗位的不平凡的群体中，有多年工作在教学第一线的中小学高级教师，有近年来执教于数学、物理、化学、生物、计算机等学科奥林匹克活动的高级教练员，有中国科学院和各高等学校中教学科研上成果卓著的专家教授。他们就像当年的华罗庚那样，作为人师，作为长者，着眼于祖国的未来，甘愿给下一代当人梯。狭义地说，他们是华校藉以成长、引以自豪的中流砥柱；广而言之，他们是推动中小学教育事业改革的一支特别劲旅。

今天，对华校创办十余年的经验进行总结时，我们可以说，在朝着自己的办学目标的不懈奋斗中，华校具有四大办

学特色：

第一，从娃娃抓起的早期智力开发；

第二，必名师启蒙的成功教育传统；

第三，在全面发展时力求业有专精；

第四，处强手如林中敢于迎接挑战。

教材是教学质量的基本保证，也是教学的基础建设。高质量的教材，是建立在高水平的学术研究成果和丰富的教学经验的基础上的。因此，华罗庚学校开创了荟萃专家编书的格局。华校愿将《华罗庚学校奥林匹克系列丛书》奉献给广大教师、中小學生及學生家長同享。这套丛书的编写者都是华校的骨干力量，他们为了共同的目标献出了自己多年的教学经验和最新的教学科研成果，因而使得这套丛书具有实用、新颖、通俗、严谨的特点。

物理部分的教材与相应的试题解析及实验，分为初、高中两部分。初中部分包含课本一册、试题解析一册和实验一册；高中部分包含课本两册、试题解析两册和实验一册。编写者在初、高中物理教学大纲和全国中学生物理竞赛考纲的基础上，顾及当前国际中学物理教学发展、变化的趋势，初中以不下放高中物理主要内容为限，高中以不下放大学普通物理主要内容和不使用微积分等数学工具为限，在内容上做适当的引申和扩展，以开拓学生的知识视野，使其对某些重要的近代物理观念有初步的了解。作为实验性教材，初次尝试对学生进行物理思想、方法和实验设计的教学，有意在知识传授的基础上加强学科能力的培养。

俗云：“一花怒放诚可爱，万紫千红才是春。”华校在努力办学、完善自身的同时，诚望对国内中小学数理教学水平

的提高微尽绵薄，诚望与其他兄弟学校取长补短、携手共进。“合抱之木，生于毫末，九层之台，起于垒土。”遥望未来，我们同呼志士之言：为中国在 21 世纪成为数理大国而奋斗终生。

作为本系列丛书的主编，我谨以一个超常教育的积极参与者与组织者的名义，向各位辛勤的编著者致以衷心的感谢，恳请教育战线的前辈和同仁给予指导和推荐，也恳请广大师生在使用过程中提出宝贵的意见。

刘彭芝

1997. 11. 24



# 目 录

## 电 学 篇

第一讲	真空中的静电场·····	( 1 )
第二讲	电势·····	( 19 )
第三讲	静电场中的导体和电介质·····	( 31 )
第四讲	稳恒磁场·····	( 67 )
第五讲	电磁感应·····	( 87 )
第六讲	稳恒电流·····	(112)
第七讲	交变电流·····	(133)

## 光 学

第一讲	光的反射和折射·····	(155)
第二讲	光学系统成像及应用·····	(177)
第三讲	光的本性·····	(217)

## 近代物理篇

第一讲	相对论与量子论·····	(245)
第二讲	星系世界与微观世界·····	(275)

# 电 学 篇

## 第一讲 真空中的静电场

微观粒子之间的相互作用，除了万有引力相互作用，还有电的相互作用。有趣的是，从这两种相互作用中抽象出来的物理量之间的关系极为相似。见下面的万有引力定律和库仑定律的关系式

$$F_{引} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$F_{电} = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

可见，电荷量与“引力荷量”（即引力质量）位置相当。作用力与“荷量”有关，与距离有关。与距离的关系都符合平方反比规律。然而，比较这两种相互作用力的强度，万有引力远远不如库仑力，可以忽略。

空中两个并不接触的电荷何以施加库仑力？19世纪30年代英国物理学家法拉第提出了电场的概念。他认为电荷周围存在着物质性的电场，电场对置于其中的其他电荷有力的作用。为描述电场这种力的作用，引入电场强度的概念，而电力线是电场强度的形象写照。

要想得到点电荷在电场中的受力情况，需要先得知它所在处的电场强度。以点电荷（场源）的场强及其叠加原理为基础，可以推算出电荷呈离散分布或连续分布的带电体（场源）

的场强分布。倘若带电体具有某种程度的对称性，它的电场强度的分布很容易由高斯定理求出。

本讲只限于场源电荷静止不动的情况，故称这种电场为静电场；而且只限于场源电荷与受力电荷之间无其他导体和电介质的情况，故称之为真空中的静电场。

## 1. 电荷

人类关于微观世界的研究揭示出其结构具有层次性：分子由原子组成，原子由原子核与核外电子组成，原子核由质子与中子组成……质子与电子都带电，但电性相反。将质子所带的电的电性规定为正，则电子所带的电的电性为负。原子内正电荷量与负电荷量大小相等，故显示为电中性。

电子带电量的绝对值是电荷的基本单元，称为基本电荷，以  $e$  表示。经实验测定：

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ 库仑}$$

自然界中一切带电物体或微观粒子(不包括夸克粒子)的电荷量都是基本电荷的整数倍。

前面曾提到“点电荷”，这是一个相对的概念。当带电体的几何线度在所研究的问题中小到可以忽略的地步，就抽象为所谓点电荷，如同力学中的质点一样。

前面曾将万有引力中涉及的质量称为“引力荷量”，以便于和库仑定律中的电荷量相提并论。引力荷量与运动速度有关，或者说与运动状态有关，也可以说与参照系的选择有关。然而电荷量与运动速度、运动状态、参照系的选择都无关。相对于这些因素，它是一个不变的量。

电荷可以从一个物体转移到另一物体，也可以从物体的

一个部位转移到另一部位,然而正、负电荷量的代数和保持不变。称此规律为电荷守恒。现代物理的研究表明,在粒子的相互作用中,电荷可以产生和消失,然而电荷守恒并未因此而遭到破坏。目前天体物理中一个热点叫“超新星爆炸”,爆炸后形成致密的中子星。中子星由中子物质构成,而中子物质是怎样形成的呢?在引力坍缩的过程中,原子壳层被压破,电子被挤入原子核内,中和核内的质子,使核内的核子都变成中子——这是中子物质成因的形象描绘。在这个问题中,从表面上看,电荷消失了,但电荷数(微观粒子所带的基本电荷数目叫作它的电荷数)的代数和没变,仍然符合电荷守恒律。

## 2. 库仑定律

1785年法国科学家库仑通过实验总结出库仑定律:真空中两个静止的点电荷互施的作用力(电性相同互施斥力;电性相反互施引力)的方向位于这两个电荷的连线上,作用力的大小与两个电荷电量的乘积成正比,与距离的平方成反比,即

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

式中  $K$  叫静电力恒量,其数值与单位为:

$$K = 9.0 \times 10^9 \text{ 牛} \cdot \text{米}^2 / \text{库}^2$$

通常引入另一常数  $\epsilon_0$  来代替  $K$ ,称  $\epsilon_0$  为真空中的介电常数。 $\epsilon_0$  与  $K$  的关系是:

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

这样,库仑定律就写成为

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

引入  $\epsilon_0$  的好处是使电磁学中多数常用的关系式的形式得到简化，虽然它使库仑定律的形式反而显得麻烦。

当真空中存在三个以上的静止点电荷时，要求得其中一个点电荷所受的库仑力，除了应用库仑定律以外，还需应用力的独立作用及叠加原理。亦即两个以上的点电荷对于另一点电荷施加的作用力等于每个施力电荷单独存在时对受力电荷的作用力的矢量和。

### 3. 电场强度

人们关于电荷之间相互作用的认识是逐步进化的。起初人们认为一个电荷能够隔着一定空间直接对于另一电荷施加库仑力，就像两个质点之间的万有引力一样。后来，法拉第提出另一种观点，他认为一个电荷在它周围的空间会产生电场，另一电荷置于它的电场之中，受到电场施予的作用力。

近代物理的研究证实了场的观点的正确性。电场以及磁场具有区域性，它像实物一样具有质量、能量、动量，并且以有限的速度——光速来传播其变化。

如果知道某一区域内电场的情况，就可以知道任意电荷在该区域内任意位置的受力情况，从而把握该电荷的运动，预知该电荷在任意时刻的位置。

设电荷  $Q$  为场源电荷，为了考察  $Q$  的电场的性质，还需引入另一正电荷  $q$ ，叫作检验电荷。将  $q$  置于电场中任意一点  $p$ ，设  $q$  受到的电场力为  $\vec{F}$ ，显然比值  $\frac{F}{q}$  反映了  $p$  点电场的强弱，以  $E$  表示之，考虑到方向，有

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

此即电场强度的定义。它的意义是放在  $p$  点的单位正电荷所受的电场力。在国际单位制中， $E$  的单位是牛/库。

电场中任意一点的电场强度等于置于该点单位电量的正电荷所受的电场力。一般来说，电场中各点的  $\vec{E}$  各不相同，应该说它是空间位置的矢量函数。

#### 4. 电力线

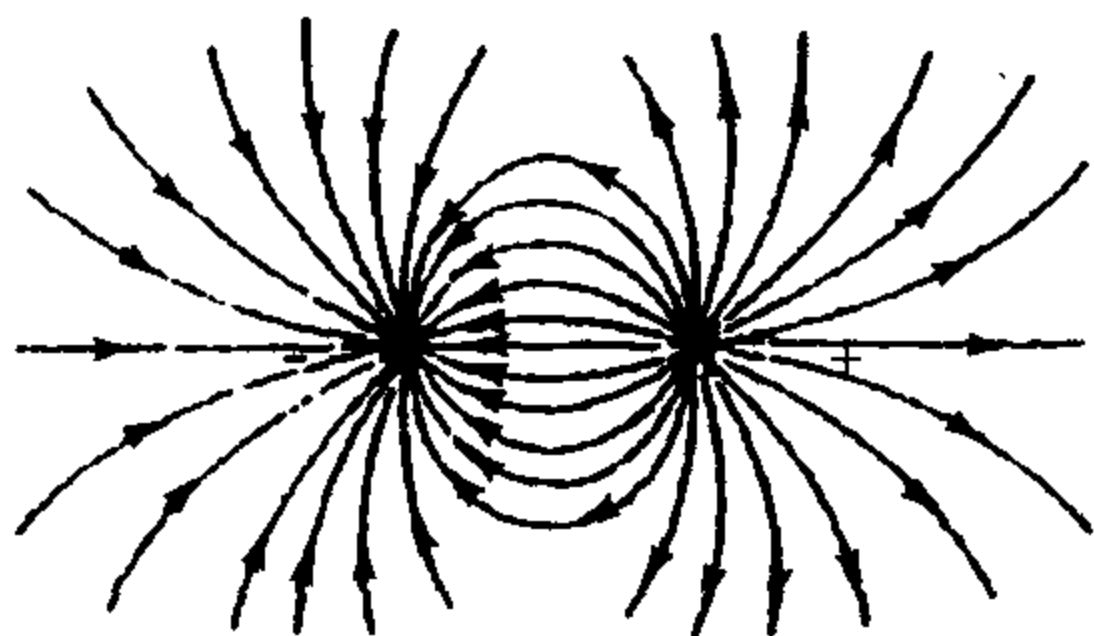
为了形象地描绘电场强度的分布情况，通常引入电力线的概念(这里的电力线及其后的磁力线可以统称为“力线”，力线的图景是由法拉第构想而出。)在电场中作出许多条曲线，使这些曲线上每一点的切线方向与该点的场强方向一致，称这些曲线为电力线，则电力线反映了场强的方向分布。为了使电力线还能反映场强的大小分布，需引入电力线数密度的概念。在电场中任一点取一个小面积元  $\Delta S$ ， $\Delta S$  与该点的场强方向垂直。设通过  $\Delta S$  的电力线为  $\Delta N$  条，则比值  $\frac{\Delta N}{\Delta S}$  就叫作该点的电力线数密度。也就是说，某一点的电力线数密度即为通过该点垂直于场强方向单位面积的电力线条数，它的大小反映了电力线的疏密程度。有了这一概念，在描画电力线时可以规定，电场中任一点的电力线数密度等于该点的场强的大小，即

$$E = \frac{\Delta N}{\Delta S}$$

这样，电力线也就反映了场强的大小分布。电力线密集之处场强大；反之，电力线稀疏之处场强小。

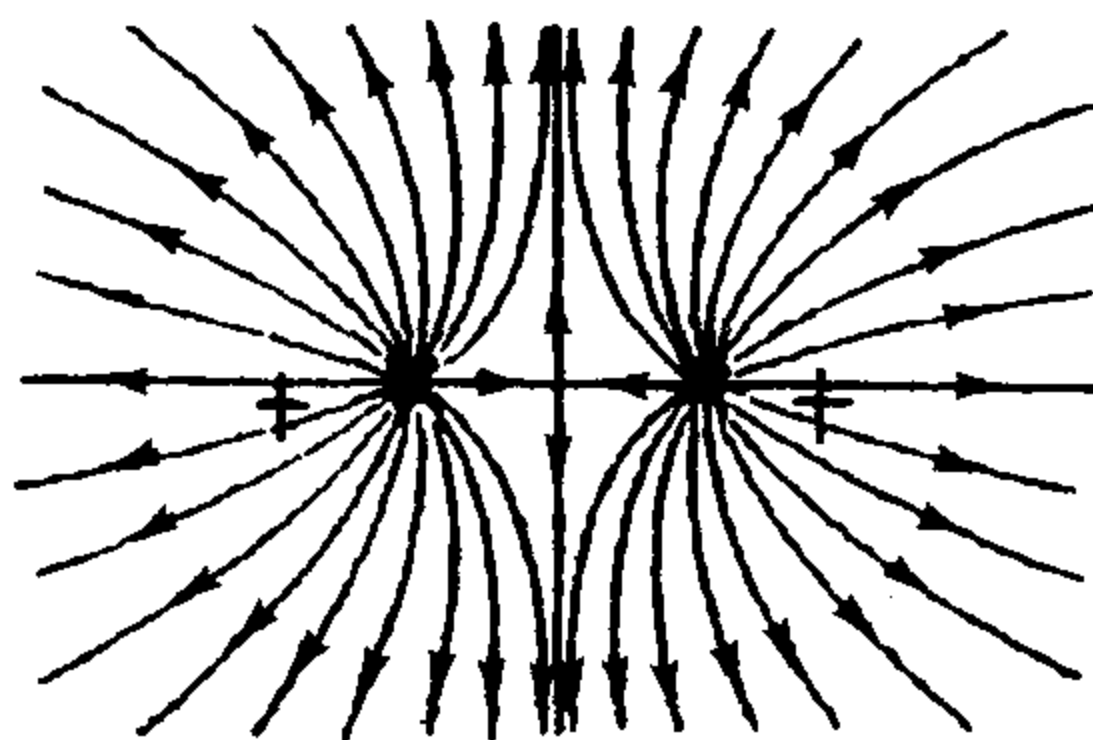
如下的五幅图(图电-5 见下页)为几种不同分布的电荷

所产生的电场的电力线图。



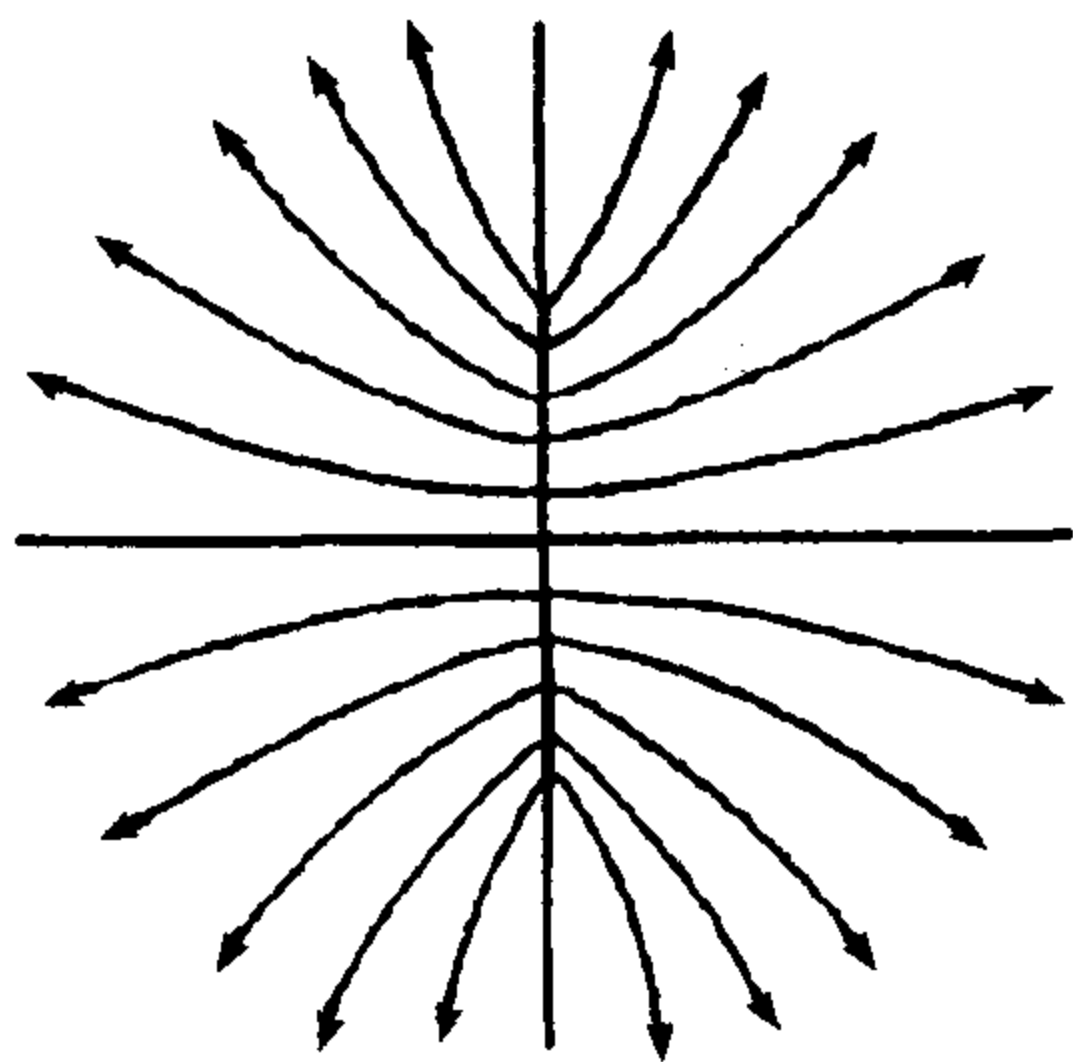
图电—1

一对等量异号电荷的电力线



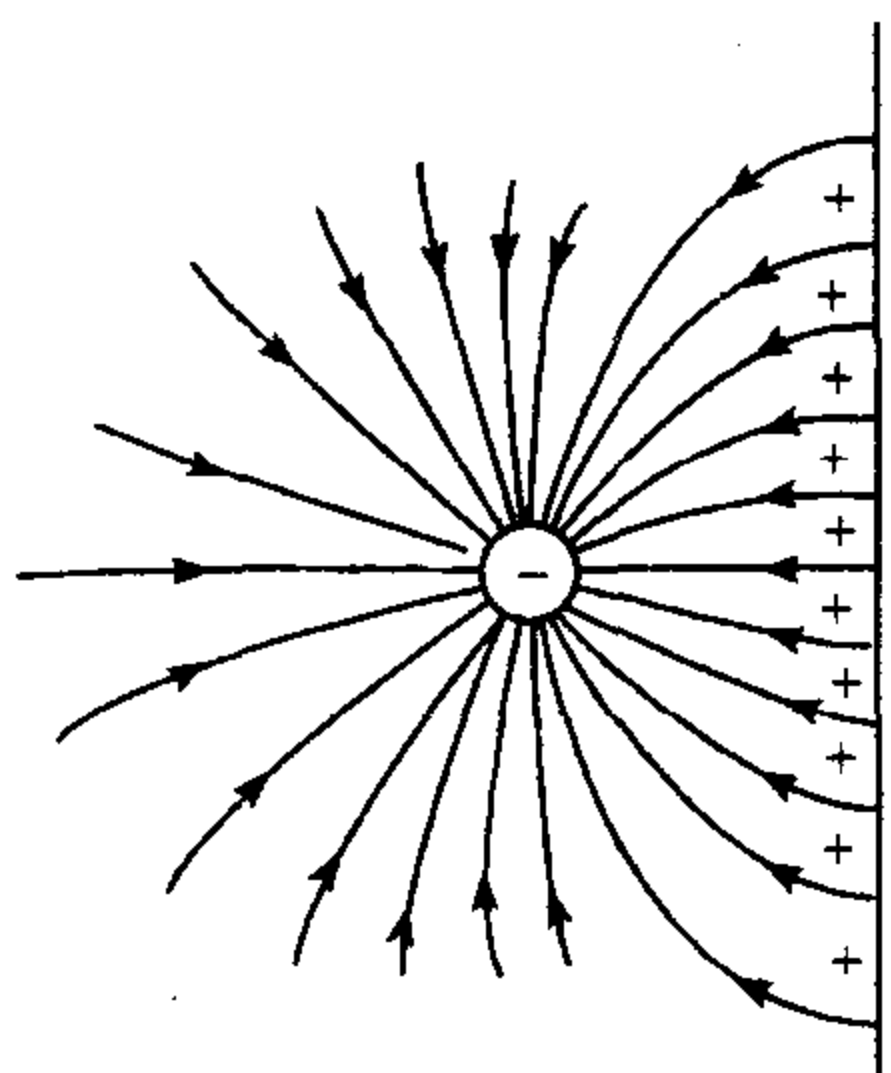
图电—2

一对等量同号电荷的电力线



图电—3

一均匀带正电直线段的电力线



图电—4

一个负电荷与一个带正电的大导体板的电力线

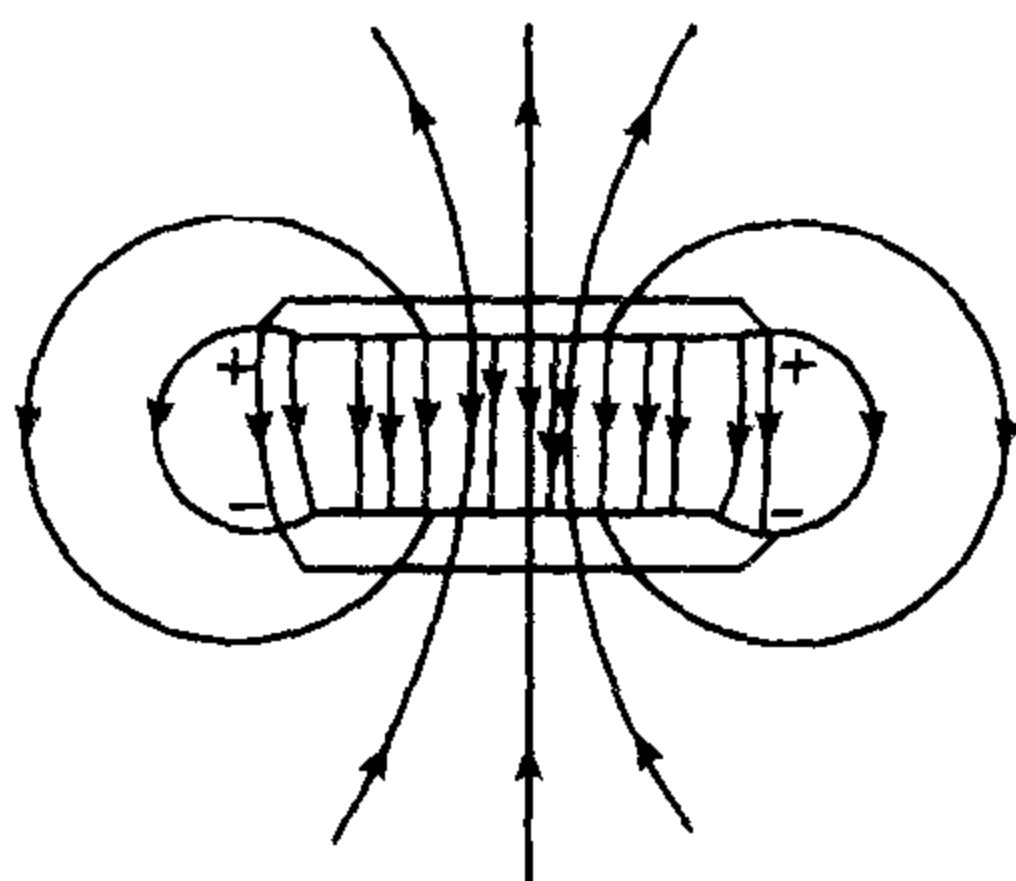
从这些电力线图可以看出，它们具有如下的普遍性质：

①电力线起始于正电荷(或无穷远处),终止于负电荷(或无穷远处);

②两条电力线不会相交;

③ 静电场的电力线不闭合。

电力线可以通过实验显示出来。将人的头发剪成碎屑撒到绝缘油中使之悬浮起来，加上外电场，这些小小的针状物变成一个个电偶极子（一对相隔一定距离，带等量异号电荷的带电体系叫电偶极子）。它们在外电场的作用下就会转到电场方向而顺序排列起来，于是显示出电力线的图形。



图电—5  
一对带等量异号电的  
平行导体板的电力线

## 5. 点电荷的场强及其叠加原理

求解电场强度之分布的前提是先解决一个点电荷电场的场强分布。设  $Q$  为场源电荷，它所在的点为  $O$ ； $q (q > 0)$  为检验电荷，它所在的点为  $p$ 。设  $O$ 、 $p$  之间的距离为  $r$ ， $q$  受到  $Q$  对它的库仑力为  $\vec{F}$ 。根据库仑定律，

$$F = K \frac{Qq}{r^2}$$

设电荷  $Q$  在  $p$  点的电场强度为  $\vec{E}$ ，根据场强的定义，

$$E = \frac{F}{q} = K \frac{Q}{r^2}$$

还可以写成：

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$



这就是点电荷  $Q$  的场强分布公式。若将由  $O$  点到  $p$  点的方向赋予  $r$ ，记作  $\vec{r}$ ，称之为“矢径”，则当  $Q > 0$  时， $\vec{E}$  与  $\vec{r}$  同向；当  $Q < 0$  时， $\vec{E}$  与  $\vec{r}$  反向。

假设空中有若干个场源电荷，它们的合场强如何呢？根据电场力的独立作用及叠加原理，可以推出场强的叠加原理，亦即合场强等于各个场源电荷单独存在时场强的矢量和。

若场源是一个带电物体，且电荷连续分布，要解决这类电场分布的问题，原则上仍然是根据场强叠加原理进行计算，但实际上只有当带电体具有很强的对称性时，在中学范围内，计算才是可行的。

## 6. 电通量 高斯定理

高斯定理能够很好地帮助我们解决具有某种对称性、电荷连续分布的带电体的场强分布的问题，为此，需要先引入电通量的概念。

前面第 4 节关于电力线的讲述之中有通过面元  $\Delta S$  的电力线条数  $\Delta N$  的概念，这就是电通量的意义。将公式：

$$E = \frac{\Delta N}{\Delta S}$$

写成为：

$$\Delta N = E\Delta S$$

这就是电通量的定义。但这里的面元须垂直于场强，作为一般情况，面元与场强并不垂直，此时电通量将如何定义呢？

如图电—6，过  $p$  点的面元  $\Delta S$  的法线方向与场强方向所

---

\* 注：标有“\*”号的内容为提高或加深的内容，下同。