

下册

名师讲 高中物理

高二年级用

特级教师
张大同编著

中国青年出版社



38.7353

ZDT

02

名师讲

高中物理

(下册)

张大同 (特级教师)

中国青年出版社

(京)新登字 083 号

责任编辑:赵惠宗

封面设计:吕敬人 张 朋

图书在版编目(CIP)数据

名师讲高中物理 下册/张大同编。—北京:中国青年出版社,1997.11

ISBN 7-5006-2733-6

I. 名… II. 张… III. 物理课-高中-教学参考资料
IV. G634.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 23436 号

中国青年出版社出版发行

社址:北京东四 12 条 21 号 邮政编码:100708

北京颐航印刷厂印刷 新华书店经销

*

787×1092 1/32 14.5 印张 317 千字

1998 年 6 月北京第 1 版 1998 年 6 月北京第 1 次印刷

印数 1—6,000 册 定价 13.50 元

作者简介

张大同，毕业于华东师范大学。现在直属国家教委领导的重点中学——华东师大第二附中任教物理，兼任上海物理学会理事。1994 年被评为上海市物理特级教师。1993 年获得“李政道奖学金伯乐奖”。

张大同长期从事物理教学工作，积累了丰富的经验，取得了优异的成绩。从 1991 年至今，他辅导的学生总计获得国际中学生物理奥林匹克竞赛金牌 5 块（22 届 2 块，25、26、27 届各 1 块），10 人进入国家集训队；获得全国中学生物理竞赛决赛一、二等奖各 8 人次。他的学生还多次在上海市的高考中成为状元。

张大同的主要著作有：大型工具书《中学物理实验大全》（主编，150 万字），上海教育丛书之一《我是怎样培养尖子学生的》，中学选修课教材《物理定律和研究方法》，《高中物理实验》，物理竞赛辅导书《通向金牌之路》，物理高考指导书《高考指导丛书·高中物理分册》，《三考丛书·高中物理分册》，《名师帮你学物理》等。总计 300 万字左右。

张大同出色的工作得到了社会的公认。自 1991 年以来，《文汇报》、《新民晚报》、《上海教育报》、《青年报》、《中国初中生报》、《中学生知识报》、《上海科技报》、《联合时报》、《少年报》、《大公报》等报纸以及《中国报道》、《中学物理教学参考》、《中学生数理化》等杂志，都报道了他的事迹。

前 言

最近十多年来，我一直致力于培养优秀的学生，并努力探索培养物理优秀学生的一些规律性的东西。1991年以来，我们学校涌现出一批又一批政治思想健康、学习成绩优异的好学生，为国家输送了一大批优秀科技人才的后备力量。特别是王泰然、任宇翔、杨亮、谢小林、陈汇钢等五位同学分别在第22届、25届、26届、27届国际物理奥林匹克竞赛(IPhO)中获得金牌，为我们的祖国争得了荣誉。我校学生在全国物理竞赛决赛中获一、二等奖各8人次，获上海赛区一等奖94人次，10人参加国家集训队。在令人瞩目的成绩后面，一般都有符合科学规律的东西。

有人可能认为培养优秀学生主要靠课外小组和个别辅导，与课堂教学关系不大，这种看法是片面的，实际上课堂教学也是至关重要的。十多年来我们在课堂教学中使用过各种各样的教材，也和国内外许多著名的中学老师交换过不少看法，最后才形成了这样一本教材，并且试用至今。今天有机会把她奉献给全国的同行，感到十分高兴。

我们十多年来的课堂教学经验可以归纳成三句话：追根寻源真一点，实验研究多一点，能力要求高一点。简称“三点”教学法。因此我们称自己的教材为“三点”法教材。

所谓追根寻源真一点，是关于怎样进行物理定律的教学的，在进行某一物理的教学时，我们有意识地补充了一些与

这一定律的建立过程有关的内容，任何一个重要物理定律的建立，都有一个艰辛而漫长的过程。探索定律的工作之所以能成功，这个定律最后之所以能够确立起来，其中一定有很多科学的研究方法和正确的推理思维方式。这些内容毫无疑问是属于物理学科中最重要的东西，是人类一笔宝贵的知识财富，也是我们物理教学的宝贵财富。

所谓实验研究多一点，是关于怎样进行物理实验的教学的。我们分析了教材中实验教学的不足，采取了相应的措施。一是明显增加了实验的数量。不论是在课堂演示实验，还是在学生实验或小实验方面，平均增加了60%以上的实验。二是提高了实验的要求，增加了不少研究性的实验，让学生自己来探索物理规律。其中有一部分新的实验，学校里没有现成的仪器，安排学生自己制作，对学生有较高的要求。

所谓能力要求高一点，是关于怎样进行物理习题的教学的。物理习题教学是物理教学的重要组成部分之一，不论是教师还是学生，都在解习题上化了大量的时间。怎样提高习题教和学的效率，我们在教学中曾做了一些尝试，力图通过习题教学尽量多地培养学生的能力。

我们的这本“三点”法教材完全是根据国家教委颁布的高中物理教学大纲编写的，我们使用它确确实实明显地提高了学生的素质和能力。本书比较适合重点中学和普通中学的提高班使用，也很适合一般高中学生作为物理课外参考读物。

作者 1997. 7.

目 录

第三篇 电 磁 学 (1)

第十一章 静电场 (2)

一、库仑定律 (2)

二、电场强度 (16)

三、电势 (31)

四、静电感应 (44)

五、带电粒子在匀强电场中的运动 (51)

六、电容 (66)

第十二章 恒定电流 (83)

一、欧姆定律 (83)

二、欧姆定律的应用 (99)

三、闭合回路的欧姆定律 (114)

第十三章 磁场 (141)

一、磁场 (141)

二、磁场对电流的作用 (154)

三、磁场对运动电荷的作用 (171)

第十四章 电磁感应 (190)

一、法拉第电磁感应定律 (190)

二、楞次定律 (206)

三、自感	(221)
第十五章 交变电流	(233)
一、正弦交流电	(233)
二、交流电路中的电感和电容	(251)
三、三相交流电	(270)
 第四篇 波和原子物理	 (276)
第十六章 机械波	(277)
一、波的性质	(277)
二、波的传播	(288)
三、声波	(298)
第十七章 电磁波	(310)
一、电磁振荡	(310)
二、电磁波	(318)
第十八章 光 学	(328)
一、光的反射和折射	(328)
二、透镜成像	(348)
三、光的波动性	(369)
四、光的粒子性	(388)
第十九章 原子物理	(399)
一、原子模型的建立	(399)
二、原子核的组成	(421)
三、核能	(438)

第三篇 电 磁 学

力学研究的是宏观世界中的物体，热学研究的是分子的运动，在这一篇中，我们将研究比分子更小的电子的运动规律，以及与电子运动密切相关的磁现象。

由于电子的数量十分庞大，因此我们也不可能去研究每一个电子的运动。我们感兴趣的只是大量电子的宏观表现，比如大量电子聚集形成的静电场，大量电子定向流动形成的电流，电子运动所形成的磁场，磁场与电流之间的相互作用，电磁振荡形成的电磁波等等。从第十一章到十五章，我们称之为电磁学。

第十一章 静电场

一、库仑定律

知识学习

[跟我学]

正像万有引力定律是力学的基础一样，库仑定律是电学的基础，因此我们学习电学的第一个任务就是学习库仑定律。

法国的物理学家库仑 (Charles - Augustinde Coulomb 1736 ~ 1806) 用实验研究了电荷之间的相互作用力，于 1785 年发现了后来用他的名字命名的定律。

(一) 库仑定律的实验研究

库仑早年从事于摩擦及金属丝扭转的研究。从中发现金属丝的扭力定律，得出了扭力与扭转角度成正比的规律。他能利用金属丝的扭转测极小的力，其精度可达 10^{-8} N。1784 年，库仑制作了一架非常灵敏的扭力电秤，其结构如图 11-1 所示，在一个直径和高都是 12 英寸的玻璃圆筒 CD 上，盖上一块直径为 13 英寸的玻璃板。板上钻两个孔，中间一个孔 f 上装一根 24 英寸长的玻璃管 AB，管的上端有一个扭转测微计，io 是指针，边上的圆环分成 360°。端部中间有一只夹子，夹持一根极细的银丝。银丝下端挂一根麦杆，麦杆的一端为一个软木球 a，另一端贴

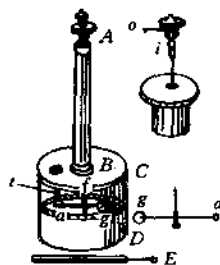


图 11-1

一个纸片 g ，用来平衡并防止杆的振动。在玻璃圆筒上与麦杆等高的地方有一圈 $0^\circ \sim 360^\circ$ 的分度，从盖板的侧孔中放入另一只软木球 t 。用蜡杆上的小球 E 使 a 球和 t 球带上同种电荷，即可进行实验。

库仑的实验是要研究电荷间的相互作用力跟它们间距离和电量的关系。作用力与距离的关系比较好办，保持两球电量不变，改变两球的距离并测出作用力，就可以找出作用力跟距离的关系。困难在于作用力与电量的关系，因为当时还不知道怎样测量电量，甚至连电量的单位也没有确定。库仑找到了一个简单办法巧妙地解决了这个问题。他把一个带电的金属球跟同样的但不带电的金属球相碰，两球带的电量一定相等，都是原有电量的 $1/2$ 。同样可以得到原有电量的 $1/4$ 、 $1/8$ 等等的电量，这样就可以用扭秤来研究电荷间的作用力与电量的关系了。

库仑用扭秤研究了两个带同种电荷物体之间的斥力。使 a 、 t 两物体带一定量的同种电荷，它们之间的斥力将使麦杆扭转一个角度。然后向相反方向旋转扭转测微计，使麦杆回到原来的位置并保持静止，这时金属丝的扭力产生的力矩跟电荷间斥力产生的力矩相抵消，从扭转测微计转过的角度可以测出电荷间作用力的大小。

在研究两个带异种电荷物体之间的作用力时，库仑用了一种全新的思路。库仑早就猜测到电荷之间的作用力跟它们之间的距离的平方成反比，如果真是这样的话，那么库仑力和万有引力导出的某些结果就应该是相同的。库仑想到将库仑力和万有引力进行比较。

地面上的物体都受万有引力的作用，万有引力的大小与

物体到地心的距离的平方成反比。用一根轻绳将一个小球悬挂起来，若摆长为 l ，其振动周期为

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

因为

$$mg = G \frac{m \cdot M}{r^2}$$

$$g = G \frac{M}{r^2}$$

所以

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{G \frac{M}{r^2}}} = 2\pi \cdot r \sqrt{\frac{l}{G \cdot M}}$$

即摆动周期 T 与 r 成正比。

库仑设想，如果异号电荷之间的引力也服从平方反比关系，那么电摆的摆动周期也应该与距离成正比。他设计了一个单摆，如图 11-2 所示。用一个直径为一英尺的铜球 G 模拟地球，固定在一个绝缘支架

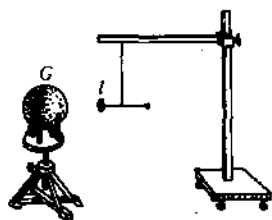


图 11-2

上，用一根长 7~8 英寸的单根蚕丝悬挂一根细杆，在其一端 l 处贴一张极轻的圆形金箔纸。 G 球带电后，可经过静电感应的方法使金箔纸带上异种电荷，使细杆摆动。因蚕丝极细，扭力极小，横杆的摆动可认为完全是因为 G 球对金箔纸的引力所致。改变 l 与 G 的距离，结果发现其周期与距离很接近正比关系。

通过上述实验，库仑确定不论是同号电荷相斥还是异号电荷相吸，均符合与距离平方成反比的规律。库仑实验的结果是：在真空中两个点电荷间的作用力跟它们的电量的乘积

成正比，跟它们间的距离的平方成反比，作用力的方向在它们的连线上，这就是库仑定律。电荷间的这种作用力叫作静电力，又叫作库仑力。

我们用 Q_1 、 Q_2 表示两点电荷的电量，用 r 表示它们之间的距离，用 F 表示它们之间的作用力，库仑定律可写成：

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

式中的 k 叫做静电力恒量。如果用国际单位制，即电量单位用库，距离单位用米，力的单位用牛，在真空中用库仑定律时的 $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ 。

这里所讲的点电荷和前面力学中学到的质点、单摆等一样，也是一种理想模型。在实际应用中，只要带电体之间的距离比它们本身的大小大得多，以致带电体的形状和大小对相互作用力的影响可以忽略不计，这样的带电体即可以看作是点电荷。

库仑定律不仅在真空中适用，在其它介质中也适用，只是在不同的介质中 k 的数值不同。空气中的 k 值与真空中相差甚微，因此在空气中用库仑定律，可作为真空中处理。

库仑定律只适用于计算两个点电荷之间的作用力，如果要计算两个带电物体之间的作用力，那么可以将每个带电物体分解成许多点电荷，然后用积分方法求得结果。

（二）确认平方反比关系

库仑定律和万有引力定律交相辉映，十分完美。但不难看出，单根据库仑扭秤实验和电摆实验的数据，科学家是不可能确定平方反比关系的。（库仑的实验结果精度并不很高，

距离的指数偏差可达 0.04), 那么库仑为什么不以 $F \propto \frac{1}{r^{2.04}}$

或 $F \propto \frac{1}{r^{1.96}}$ 的形式发表自己的结果呢? 当然, 借鉴万有引力定律肯定是一个原因, 但在实验验证方面, 科学家们也采用了更好的方法。

牛顿早已证明, 在一个均匀球壳内的物体, 球壳对它的万有引力恰好为零。证明方法如下:

设 P 为均匀球壳内任意位置的一个质点。过 P 点作两个顶角很小的对顶圆锥面 PHI 和 PLK , 在球壳上截下两个圆 (如图 11-3)。因为 $\triangle PHI \sim \triangle PKL$, 所以左右两个圆的面积之比等于它们到 P 点距离比的平方; 又因

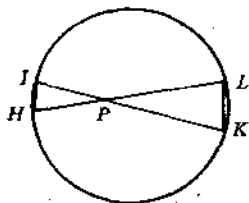


图 11-3

是均匀球壳, 所以两个圆的面积比等于它们的质量比。这样根据万有引力定律便可知道左右两个圆对 P 点的引力是互相抵消的。以此类推, 可知整个球面对 P 点的合力为零。

这个结论被卡文迪许 (Henry Cavendish 1731 ~ 1810 年), 沿用到均匀带电的球壳中, 如图 11-4 所示是一对由导线连通的导体球和导体壳, 球壳带正电。如果电斥力反比于距离高于 2 次方的幂, 导线中的正电荷将被推向球心; 如果电斥力反比于距离低于二次方的幂, 导线中的正电荷将被推向外壳。断开连通的导线后, 前种情况内球将带正电, 后种情况内球将带负电。卡文迪许在 1773 年做了这个实验 (比库仑早十年, 但遗憾的是他一直没有发表自己的这一成果)。实验装置如图 11-5 所示: 在一个绝缘支架上固定一个金属内

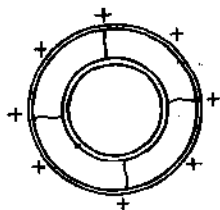


图 11-4

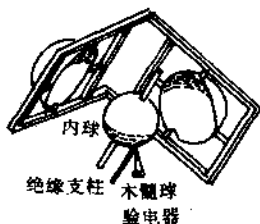


图 11-5

球，用铰链连接两个木质框架，每个框架装一个金属半球壳。在框架合拢时，两个半球便成为一个与内球同心的球壳，内外球壳之间可用一根短导线接通。卡文迪许先用莱顿瓶使两个半球壳带电，然后将内球与半球壳接通，稍待片刻后撤出导线，打开外球壳，用木髓球验电器测量内球的带电情况。木髓球验电器是当时最精密的验电器，但用它来检验内球时，检测不出任何电荷。

然后卡文迪许给内球带上一定数量的电荷，当内球带上原来加在外球壳上电荷的 $1/60$ 时，验电器仍能检验出来，由此他断定前面实验中内球上的电荷至少小于整个装置电荷的 $1/60$ 。

卡文迪许根据斥力反比于偏离距离平方的假设，计算内球上的电荷与半球壳上的电荷之比。发现如果 r 的指数偏离 2 的 $1/50$ ，内球上将有整个电荷的 $1/57$ ，是能够用验电器检验出来的，因此他的最后结论是 $F \propto \frac{1}{r^n}$ ， $n = 2 \pm \delta$ ， $\delta \leq 0.04$ 。

1871 年，麦克斯韦在整理卡文迪许的手稿时，对他的实验进行了改进，以更高的精度得到指数 n 在

1.99995 ~ 2.00005 之间。1936 年，美国物理学家普林普顿和劳顿利用现代科学仪器，重复了卡文迪许（或者说麦克斯韦）的实验，证明了 n 在 1.999999998 和 2.000000002 之间。1971 年，威廉士等人又把 n 的精度提高到 $2 \pm 3 \times 10^{-16}$ 。这样，经过几代人的努力，终于精确地验证了库仑的平方反比定律。现在库仑定律已成为物理学中最精确的实验定律之一。

[自己学]

（一）类比研究方法

在物理学的研究中，常常用已知的现象同未知现象相比较，找出它们的共同点和联系，然后以此为根据，推测未知的物理现象也可能具有已知现象的某些特性和规律。这就是物理学研究中的类比方法。在建立库仑定律的过程中可看到，将静电力和万有引力进行类比起了很大的作用，甚至实验方法也进行了移植。可见在物理学研究中，类比方法有着极其重要的地位。在物理学史上成功地使用类比方法的例子是很多的。例如：本世纪 30 年代中期，人们已知道原子核是由质子和中子组成的。质子带正电荷，在原子核中距离又那样接近，斥力是很大的。但原子核一般都很稳定，一定有一种力使中子和质子结合在一起，人们称这种力叫核力。那么核力是怎样产生的呢？在原子核结构研究中，这是一个迫切需要解决的问题。1935 年，日本的汤川秀树研究了高能粒子互相转化的机制，将原子核内中子和质子的作用同原子内原子核和电子的作用相类比。既然原子核和电子是通过电磁场的媒介结合在一起，通过一方释放光子，另一方吸收光子而相互作用，那么质子和中子也可能通过一种媒质场——

核力场结合在一起，通过一方放出粒子，另一方吸收粒子而相互作用。基于这种推想，汤川从理论上估算了这种粒子的质量介于电子和质子之间，故称为介子。众多物理学家沿着汤川的方向和思路进行研究，1947年，英国的鲍威尔终于找到了汤川预言的介子，揭示了整个介子体系，打开了基础粒子研究新的一页。60年代后，许多高能物理实验揭示了中子、质子也有自己的结构，是由称为层子的粒子组成的。层子之间是如何实现相互作用的呢？物理学家们还是像汤川那样采用类比的方法，设想出一种称为“胶子”的东西，通过吸收和放出胶子，使层子之间产生强大的作用。1979年，丁肇中领导的实验小组发现了三喷注现象，首次追踪到胶子的径迹，这意味着验证胶子的工作有了进展。如果将来的实验真能验证胶子的存在，那么类比方法将在物理学前沿又一次闪现光芒。

类比方法虽然在物理学中具有重要的意义，但它毕竟是一种推想。它仅仅根据研究对象某些方面相同或相似，就推论对象其它方面相同或相似，因此它在应用逻辑推理规则时是不够严密的，由类比得到的一切结论还有待于实验验证。

科学工作者为了较好地使用类比方法，必须广泛地积累材料，特别是与研究对象有关的材料。材料丰富、知识广博，对于正确巧妙地选择类比对象有重大意义。事实上，类比对象往往都是研究者在研究某一具体问题时，在思考过程中自然地浮现脑际的。浮现的类比现象是否恰当妥贴，与研究者的知识积累有密切关系。确定了研究对象之后，如果知识广博精深，就可以尽可能全面地、透彻地把握研究对象的同一性和差异性，使类比尽可能符合真理。