

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

普九义务教育教材通用教案设计精编(中学卷)

中学物理通用教案设计精编之三



中学物理通用教案设计精编之三

“高级弹簧模型”习题教案设计

不少学生虽然做对了某题答案，但对该题所用的概念和规律未必真正掌握。教师若能对症质疑，把问题暴露出来，激发学生进入主动积极状态，引导学生的思维向纵深发展，通过师生讨论辨析，定会有助于学生深入理解所学物理知识并获得相应能力。练传统题的一次习题课竟建立了一个新的高级弹簧模型。

题目：总质量为 500 千克的船上一个人手持绳子的一端，绳子的另一端拴在岸边的树上，从船静止开始，人用 100 牛顿的水平力拉绳，不计水的阻力，求此人在前 4 秒内做的功和在第 4 秒末的功率；如果绳的另一端不是拴在树上而是拴在另一只质量为 400 千克的船上，上述答案应怎样改变？

教师：请先求第一种情况下人在前 4 秒内做的功。（指定一学生）

学生：（顺利地逐步板演）

$$W = F \cdot S \cdot \cos\alpha = F \cdot \frac{1}{2} \frac{F^2}{M} t^2$$
$$= \frac{1}{2} \times \frac{100^2}{500} \times 4^2 \text{ 焦耳} = 160 \text{ 焦耳。}$$

教师：160 焦耳是哪个力对哪个物体做的功？

学生：是人的拉力对船做的功。

教师：从算式上看，F 的大小是用了人的拉力；M 用 500 千克，S 是人和船的位移。当人用力拉绳时，绳和拴绳的树位移为零，人拉绳的力做功应为零。为什么将人拉绳的 100 牛顿的力用于拉人和船？

学生：绳拉人船的力和人拉绳的力是作用与反作用，所以绳拉人船的力也是 100 牛顿。

教师：如此说来是绳的拉力对人和船做了功？手拉绳和绳拉手的两个力分别作用在绳和手上，但手与绳接触点的空间位置坐标是一个，此点位移是零，绳对人拉力的功亦为零。那么，究竟什么力做的功呢？

学生：好像是人对船的静摩擦力做功。

教师：题目所问人做的功是指人对船的静摩擦力的功吗？此力与人拉绳的力有何关系？

学生：可能是。这两个力相等。因为绳拉人的力等于船对人的静摩擦力，所以人对船的静摩擦力也等于绳拉人的力，当然人对船的静摩擦力等于人拉绳的力，都是 100 牛顿。

教师：这三步推理的前提显然是人做匀速直线运动。注意题目条件：不计水的阻力。船和人的运动不是匀速直线运动而是匀变速直线运动。

学生：功的计算式不好用。直接算人和船获得的动能，其数值就是人做功的数值。

学生：还可以用动量定理理解出人和船的速度，也不用列功的计算式。

教师：解题途径遇到障碍，有必要及时转变思路和方法。但求动能、解

速度仍然需要搞清作用在人和船上的力。这个力，使人船产生加速度、发生位移；对人船有冲量，改变人船的动量；对人船做功，改变人船的动能。这三个途径是统一的。感到功的计算式直接不好用，难道这一具体情景与功的算式相悖吗？

学生：（陷入思索）

教师：问题应从受力分析上解决。受力分析是对受力物体进行的。某物体受到两个方向相反的力是矛盾，物体与物体间的作用与反作用也是矛盾。让我们从选择研究对象开始来揭示这一过程中的矛盾。该分析哪几个物体呢？

学生：人、船、绳、树、岸。

教师：从表面上看很容易选这些自然实物。注意选取的对象将按质点模型处理，想一想选取的原则。

学生：不能使探讨的力成为内力，人和绳需要隔离。相对静止而连在一起的不同物体可视为一个整体，例如绳、树和岸就是，人和船也是。

教师：让我们回到实际生活，想象一下站在船上的人拉绳靠岸的细节。假如你正在观察这一过程。

学生：（积极思维、议论，甚至做动作）

教师：从远处看——

学生：人和船逐渐向岸靠近，连接手和树之间的绳长一段一段地缩短。

教师：从近处看——

学生：手的握绳点一次又一次在绳上向树方向转移，人的两只胳膊交替着一下一下有节奏地先伸展后收缩运动。

教师：把我们的特写镜头瞄准胳膊。胳膊是最活跃的因素。胳膊与人体相比，有它自己位移的特殊性。在胳膊每一次伸展收缩运动中，除上臂与肩的连接点与人体位移一致外，自此连接点以下，一直到手的各点位移都不同，手的位移是零，与绳一致。不能因为胳膊长在人身上就非和人船放在一起研究不可。正因为把胳膊混在人体上，掩盖了主要矛盾，才导致受力分析不明确，功的计算说不清。胳膊是关键的研究对象，胳膊的一次伸展收缩运动是应重点分析的物理过程。胳膊显然不能用常规的质点模型来代替，能否建立一个新的模型呢？

学生：（思考）

教师：胳膊，从与人肩相连的上臂到与绳相连的手，能长能短，一伸一缩像个什么？

学生：弹簧。

教师：想想，怎样将胳膊与弹簧模型联系起来呢？

学生：胳膊弯曲到手与肩距离最近时，不能再拉绳，也不受外力，相当于弹簧处于自然状态。只要胳膊在伸展中，都相当于弹簧有形变能对外施拉力。

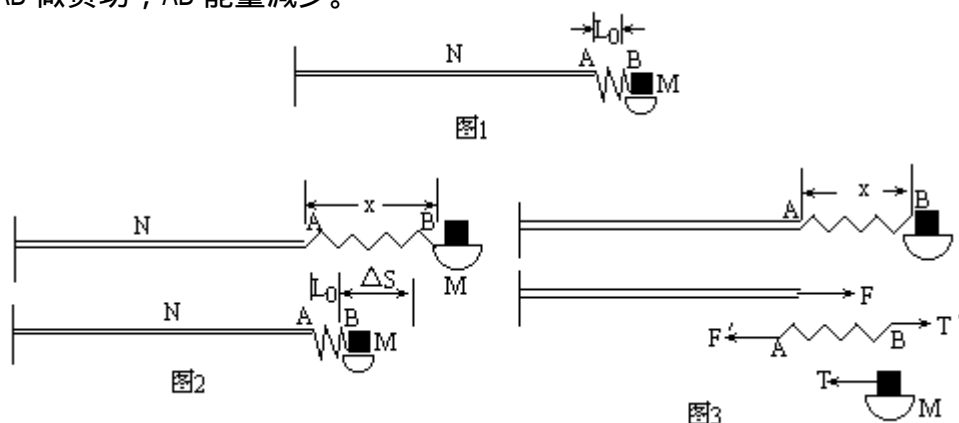
教师：常见弹簧有一倔强系数 k ，弹力与形变成正比。胳膊如何对外施加恒力呢？

学生：胳膊这一弹簧模型是由人脑控制的骨骼肌肉组成的。它可以随时变更倔强系数，形变大时 k 小，形变小时 k 大。它是弹力恒定的高级弹簧。

教师：如何考虑胳膊——弹簧的质量呢？

学生：平常尽说轻弹簧。胳膊的质量与人体和船的总质量相比可以忽略，因此胳膊也是轻弹簧模型。

教师：现在用弹簧模型代替胳膊，试 M 为人和船， AB 为弹簧， N 为绳和树。如图 1。请试一试模型在分析力和说明功的计算中灵不灵。学生：每一次 AB 从伸展达最大长度 l 起至恢复到原长 L_0 以前的小过程中（图 2）， AB 对 N 的拉力为 F ， N 对 AB 的拉力为 F' ， M 对 AB 的拉力为 T' ， AB 对 M 的拉力为 T （图 3）由牛顿第三定律及轻弹簧两端受力相等可知， F 、 F' 、 T' 、 T 四个力的大小均相等。若人拉绳的力 $F=100$ 牛顿，则人体和船受的拉力 T 也是 100 牛顿。 M 在拉力 T 作用下发生与力 T 方向一致的位移 $S=L-L_0$ ，在全过程中 $S=\Delta S$ 。力 T 对 M 做正功， M 动能增。而 F 对 N 的功和 F' 对 AB 的功，皆因作用点 A 位移为零而为零。力 T' 的作用点 B 的位移与 M 的位移相同，每一个小过程中为 S ，全过程中为 S 。但因此位移与 T' 力反向，故 T' 对 AB 做负功， AB 能量减少。



教师：弹簧一次次减少能量对外做功，实质是人体的生物能通过胳膊施力、做功不断输出，转化为人体和船的动能。功是能量转化的量度在这里得到了生动又贴切的体现。这样，力的分析和功的计算都显得融洽与和谐。有此弹簧模型，题目中拉另一船的计算也将顺理成章，更为方便的是，还可以利用——

学生：系统动量守恒。

教师：请看以下情景：一人穿旱冰鞋面对墙，站在光滑水平面上，当他用力推墙后即以某一速度离开墙。这与拉船的过程有何相似之处？

学生：仍可用弹簧模型代替胳膊进行分析。

教师：两个弹簧完全一样吗？

学生：拉船的弹簧先伸后缩，伸展后在收缩中对外施拉力。推墙的弹簧

先弯曲后伸展，弯曲后在伸展中对外施推力。

教师：到底是高级弹簧，还可以根据需要对外施加拉力或压力。这一模型还能迁移到其他情景吗？

学生：船上的人用竹竿推岸，还有，把人的腿看成弹簧可帮助分析人离地时的弹跳，……

教师：请练习自编一些题目。……

习题课在紧张又活泼的气氛中结束了。

深入搞清一个题目比胡里胡涂做几个题目的收获要大。学生是学的主体，要尽量多地给他们想和说的机会，让他们通过积极地思维去理解物理知识并培养相应的能力。这当然离不开教师的主导作用——针对学生实际，优选练习，斟酌问题，精心设计教学过程。

（蒋士鲁）

“机械效率”归类复习设计

有用功占总功的百分比叫做机械效率，其公式为 $\frac{W_{有用}}{W_{总}}$ 。这个基本概念在初中物理教材中已经给出，但没有进行较深入的讨论。因此，学生对简单机械的效率往往有许多模糊的认识，采用归类复习对于消除学生模糊感，增强对知识的理解大有益处。

一、简单机械的种类、定义及性质

简单机械在我们已学过的中学内容里归纳起来有以下四种常见形式：

1. 杠杆

定义：一根硬棒，在力的作用下如果能绕着固定点转动，这根硬棒就叫做杠杆。

实际生活中的杠杆有省力的，也有费力的，还有既不省力、也不费力的。例如独轮车、钳子、起子、剪刀、天平等。

2. 滑轮

滑轮可分为定滑轮、动滑轮、滑轮组三种。

（1）定滑轮

定义：轴固定不动的滑轮叫做定滑轮。

定滑轮实质是一个等臂杠杆，使用它不省力，但可改变力的方向。例如在旗杆上装一个定滑轮，人站在地上就能把旗子升到高处。

（2）动滑轮

定义：滑轮和重物一起移动，这样的滑轮叫动滑轮。动滑轮的实质是动力臂力阻力臂二倍的杠杆，使用动滑轮能省一半力，但是不能改变力的方向，在很多情况下使用不方便，因此动滑轮很少单独使用。

（3）滑轮组

定义：动滑轮和定滑轮组合在一起叫滑轮组。

这种机械使用起来既方便，又省力。例如汽车起重机、塔式起重机等。

3. 轮轴

定义：由轮和轴组成，能绕共同轴线旋转的简单机械，叫做轮轴。

轮轴的实质是可以连续旋转的杠杆。例如汽车驾驶盘，手摇卷扬机，辘轳等。

4. 斜面

定义：与水平方向有一个倾角的面叫斜面。

使用斜面可以省力，但不能省功。例如，为了省力，人们在把重的物体搬到车上时，常常搭上一块木板。

二、简单机械的有用功、总功及效率

为了清楚有效地搞好机械效率复习，把简单机械的有用功、总功及效率总结列表如下（表中“ L_1 ”表示动力臂，“ L_2 ”表示阻力臂，“ L ”表示斜面长，“ R ”表示轮半径，“ r ”表示轴半径，“ h ”表示重物所升高度或斜面高，“ s ”表示绳子自由端的伸长量，“ F_1 ”表示动力，“ F_2 ”表示阻力，“ G ”表示物重，“ n ”表示轮轴转的周数或表示承担动滑轮的绳子段数）。

项目 公式 名称	有用功 $W_{有用}$	总功 $W_{总}$	机械效率
杠杆	$F_2 \times L_2$	$F_1 \times L_1$	$\frac{F_2 \times L_2}{F_1 \times L_1} \times 100\%$
轮轴	$n \cdot 2r \times G$ 或： $G \times h$	$n \cdot 2R \times F_1$ 或： $\frac{h}{2pr} \cdot 2pr \times F_1$	$\frac{n \cdot 2prG}{n \cdot 2pRF_1} \times 100\%$ 或 $\frac{G \times h}{\frac{h}{2pr} \cdot 2pr \times RF_1} \times 100\%$
滑 轮	竖直状 态 $G \times h$ (G 也可 含滑轮重)	$F_1 \times nh$	$\frac{G \times h}{F_1 \times nh} \times 100\%$
轮	水平状 态 $F_2 \times \frac{s}{n}$	$F_1 \times s$	$\frac{F_2 \times \frac{s}{n}}{F_1 \times s} \times 100\%$
斜面	$G \times h$	$F \times L$	$\frac{G \times h}{F \times L} \times 100\%$

说明，表中有些栏目的公式没有化成最简式，目的在于让公式仍能继续充分反映各机械的本质特征，便于学生准确选择公式解答题目。

三、习题示范（略）

（何承义）

“单摆周期公式”的应用“实验——讨论”教案设计

【教学目的】在学生已经掌握单摆周期公式的基础上，通过讨论和对比实验，激发学生的学习热情，将单摆周期公式灵活应用到各种情况，改进与完善学生的知识结构，培养学生的发散思维与收敛思维的能力。

【教学过程】

师：如图 1 所示，A、B、C、D 四个装置中，哪一个装置可看成单摆？

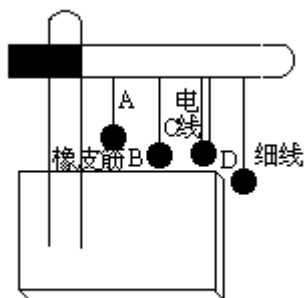


图1

生：对于 A 装置，摆长没有远大于小球半径；对于 B 装置，橡皮筋在摆动过程中要伸长；对于 C 装置，作为摆线的电线质量不能忽略；D 装置满足单摆的条件，是单摆。

（通过实物对比的方法，使学生对单摆的理想化条件有较深的印象。）

师：单摆作简谐振动的条件是什么？

生：摆角 5° 。

师：单摆周期公式是什么？周期与什么量无关？

生： $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ ；T 与质量 m 、振幅 A 无关。

（简单复习基本知识，引入正课）

一、单摆周期公式的应用（ ）

师：如图 2 所示是一双线摆，双线摆较之单摆有一个明显的优点，它不像单摆那样，稍不小心就会在水平面上做圆锥摆运动。它是在一水平杆上用两根等长的细线悬挂一小球构成的，绳的质量可以忽略不计。设图中的 l 和 α 为已知量。当小球垂直于纸面做简谐振动时，周期为多大？

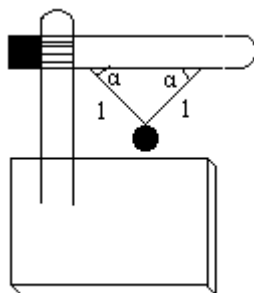


图2

（实验演示，让学生观察后讨论）

甲生： $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ 。

师：为什么是这个式子？

生：因为摆线长为 l 。

师：怎样判断这个想法是否正确？

生：与摆长为 l 的单摆进行对比。

（教师把摆长为 l 的单摆挂在同一根铁杆上，进行对比实验）

师：两个摆的周期是否相同？哪一个周期大？

生：不一样，单摆周期比双线摆更大。

师：进行新的设想。

乙生： $T = 2\pi\sqrt{l\sin\alpha/g}$ 。

师：为什么这样想？

生：因为对比实验中 $T_{\text{双线}} < T_{\text{单}}$ ，即 $l_{\text{双线}} < l_{\text{单}}$ ；

小球是绕两悬点的中点作简谐振动。

师：大家认为这个同学的分析是否有理？

众生：有理。

（教师调整单摆摆长，使其摆长为 $l\sin\alpha$ ，实验发现 $T_{\text{双线}} = T_{\text{单}}$ ）

师：前面同学的分析之所以能够成功，一是因为他仔细地观察了实验，并进行了对比；二是大胆地想象了一个等效摆长。我现在把双线摆打一个结，如图 3 所示。若 l_1 、 l_2 均已知，当小球垂直于纸面做简谐振动时，周期为多大？

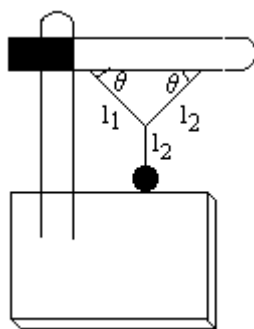


图3

众生： $T = 2\pi\sqrt{(l_2 + l_1 \sin q)/g}$

（几乎所有的学生都回答正确，每一个学生都受到成功的激励。）

师：我们用对比实验进行验证。（当看到对比实验与自己的猜想相符时，个个显得兴奋和激动。）

师：如果我让小球在纸面内做微小振动，则周期 $T = ?$

甲生： $T = \sqrt{(l_2 + l_1 \sin q)/g}$ 。

师：为什么这样想？

生：因为摆长没有变。

师：请大家注意观察，小球振动后，周期的变化？周期应如何表示。

生：因为 T 变小，说明摆长 l 也变小。通过实验观察， l_2 上端不动，小球振动的有效摆长为 l_2 ，因此周期 $T = 2\sqrt{l_2/g}$ 。

师：大家认为该同学的分析是否有理？

生：有理。

师：从对此实验验证中看出：小球不同方向的振动，细绳起的作用是不同的，所以正确的分析必须与小球的实际运动情况相结合。

师：如图 4 所示，光滑的圆弧上面有一半径为 r 的小球，圆弧对应的圆半径为 R ，圆心角 $\theta < 10^\circ$ ，求：小球从 A 到 B 所用的时间？

甲生：可能是 $\sqrt{R/g}$ 。

乙生：应该是 $\sqrt{(R-r)/g}$ 。

师：你是怎样考虑的？

生： $A \rightleftharpoons B$ 的运动与摆球的运动相类似； $\theta < 10^\circ$ 即 $\theta/2 < 5^\circ$ ，与单摆条件相同；今天讲课的内容是单摆周期公式的应用。

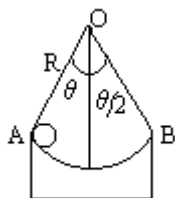


图4

（让学生回答思考过程，既可以提高学生的表达能力，又可以启发其他学生纠正自己思考时存在的问题。）

师：你的回答很有道理，这是一个有一定难度的问题，被你答对了。我们能不能从另外一个角度对此问题进行更有说服力的论证。

丙生：从受力分析的角度，与单摆对比，都受重力、弹力的作用，且弹力都指向圆心。

（回答问题的思维过程，也需要严密的逻辑分析，这样就把发散思维与收敛思维的培养很好地统一起来。）

师：物体运动状况由受力情况及初始状态决定。若初态相同，受力情况也相同，则运动情况也应相同，尽管单摆与圆弧上的小球在外形上不相同，但实质相同，所以小球从 A 到 B 的运动时间 $t_{AB} = T/2\sqrt{(R-r)/g}$ 。

师：对前面这个问题，为什么大多数同学思维受阻？主要是受“单摆模型”建立时的定势影响，有些同学认为单摆一定是一根细线下挂一个小球；单摆的运动必须具有往复性。

（破除单摆模型建立时的定势，有利于学生拓宽，灵活应用单摆模型。）

二、单摆周期公式的应用（ ）

师：如图 5 所示，升降机内挂一摆长为 l 的单摆，当它以加速度 a 向下运动时，小球的振动周期 $T = ?$

甲生： $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ 。

师：还有什么想法？

乙生： $T = 2p\sqrt{l(g-a)}$ 。

丙生： $T = 2p\sqrt{l/(g+a)}$ 。

(由于学生缺乏生活经验，回答有较大的盲目性)

师：上面回答哪一个正确？

生：大家议论纷纷。

生：老师，最好能做实验。

师：好！做一个特殊实验，如图 6 所示，将木框上方的夹子松开，观察小球的摆动情况。

(小球开始振动，当小球到达最大位移处时，教师松开夹子，实际操作时需有一提前量。)

生：小球不摆动。

师生共同分析推理：

小球不摆动 $T = T = 2$

$\sqrt{l/O} = 2p\sqrt{l/(g-a)}$ 正确。正确。

师：在这种情况下，单摆的周期公式已不再是 $T = 2p\sqrt{l/g}$ ，但我们仍然

$T = 2p\sqrt{l/g}$ 。 g' 叫做等效重力加速度。 g' 如何求解呢？

在振动平衡位置时，悬线的拉力为 f ，可建立方程 $mg - f = ma$ ，故 $f = m(g - a) = mg'$ ，即 $g' = g - a$ 。

师：请同学们独立求出下面三种情况下小球振动的周期（见图 7）。

生： $T_a = 2p\sqrt{l/\sqrt{g^2 + a^2}}$ ；

$T_b = 2p\sqrt{l/g\sin\alpha}$ ；

$T_c = 2p\sqrt{l/[g(r_{水}/r_{球} - 1)]}$ ；

(在 C 图求解时有些学生感到困难，其中一个原因是受定势影响，他们认为单摆的悬点应在上方，摆球应在下方，需要教师加以启发。)

三、周期公式的应用 ()

师：如图 8 所示，在摆线悬点 O 的下方 O' 处钉了一个钉子。已知 $OO' = l_1$, $O'A = l_2$ ，当摆球 A 摆动时，周期 $T = ?$

甲生： $T = 2p\sqrt{l_2 + l_1/2/g}$ 。

师：如何考虑？

生：因为整个运动过程中，摆长在变化，所以用平均摆长。 $(l = [(l_1 + l_2) + l_2] / 2 = l_1 + l_2 / 2)$

师：大家认为是否合理？

生：有理。

师：请看实验，对比观察图 8 的振动周期与摆长为 $l_2 + l_1 / 2$ 的振动周期。

(学生发现两摆 T 不同，大家议论纷纷)。

师：如何解释？

乙生：因为单摆周期公式中的 T 不是与 l 成正比，而是与 l 的平方根成正比，所以不能作算术平均的方法求平均摆长。

师：正确，我们如何求这个摆的周期？

丙生：仔细观察整个摆动过程有一段时间是以 O 为悬点进行摆动，另一段时间是以 O' 为悬点进行摆动，我把整个过程分为两个简单过程的组合，则：

$$T = T_0 / 2 + T_{0'} / 2 = p\sqrt{(l_1 + l_2) / g} + p\sqrt{l_2 / g}。$$

师：这个同学的想法很正确。他把一个复杂问题看成两个简单问题的组合，是一种有效的方法，按此设想能否求出这个摆的等效摆长？

$$\begin{aligned} \text{生：由 } T = p\sqrt{(l_1 + l_2) / g} + p\sqrt{l_2 / g} = 2p\sqrt{l / g} \text{ 得} \\ = [(\sqrt{l_1 + l_2} + \sqrt{l_2}) / 2]^2 [l_1 + l_2 / 2 + \sqrt{l_2(l_1 + l_2)}] / 2 \end{aligned}$$

师：推论正确，同学们可以自己求出图 8 装置的振动周期 T 。

〔教学说明：

本节课的传统讲授方法是以“等效”为主线，虽然注重了知识的归类与完整，但学生处于被动地位，忽略了知识获取过程中的思维方法训练，没有把传授知识与培养能力结合起来。

本课按照“教师为主导，学生为主体”的教学设想，引入了课堂讨论和多个对比实验，激发了学生的思维热情，使学生不断体验“成功”与“失败”。学生经过讨论和验证，不仅把新的知识与旧知识联系起来，也使知识结构更加完整。在整个教学过程中，既有学生的积极参与，拾级攀登，又有教师的及时点拨引导，及时调控，使学生在获取新知，同化知识的同时，亲身体会到科学研究的思想方法，同时注重了直觉思维能力与逻辑思维能力的培养。〕

（许国云）

“简谐振动”的物理图像教案设计（一）

【教学目的】理解振动图像的物理意义，从图像上得出振动的振幅、周期以及质点在任意时刻偏离平衡点的位移。

【教学过程】

一、引入新课

（出示小黑板，分别指定学习成绩一般和较好的学生回答问题。）

图 1 为单摆做简谐振动的示意图，摆球沿着以平衡位置 O 为中点的圆弧 BC 往复运动。

振幅为 A ，周期为 T ，小球从 B 点释放，规定小球位于 O 点右侧的位移为正方向。

（1）求摆球在下列时刻的位移：

时间 t 0 $T/4$ $T/2$ $3T/4$ T 生：位移 x A 0 $-A$ 0 A

（2）当 $t=T/8$ 时刻，小球的位移是等于 $A/2$ 、小于 $A/2$ 还是大于 A

$A/2$ ，为什么？

生：大于 $A/2$ ，因为小球从 B 向 O 做加速运动，前 $T/8$ 时间内通过的路程小于后 $T/8$ 时间内的路程。

师：能否求出此刻位移的大小呢？（众生迟疑，静静地思考着。教师给予启发。）匀变速运动的规律能不能确定做简谐振动的小球在任意时刻的位移。

生：不能，因为简谐振动是变加速运动。

师：对！这一节课要通过实验来探索当一个质点作简谐振动时，它的位移随时间而变化的规律。

[以旧引新，通过设疑，使学生迅速处于“愤”、“悱”状态，进入教学“角色”，激励起学生的学习兴趣 and 强烈的求知欲。]

师：我们曾采用哪些实验方法来确定物体的运动规律？

生甲：采用“打点计时器”方法研究匀变速直线运动。

生乙：采用“闪光照相”法研究自由落体、平抛运动。

师：这些实验方法是否适用于研究单摆的简谐振动呢？图 2 是摆球在最大偏角约为 15° 情况下做机械振动的闪光照片。（用投影仪放映幻灯片）照片上相邻的像是相隔 $1/30$ 秒的时间拍摄的。照片上出现了小球的像重叠的现象，较难找到球心的位置，因此，无法准确地测出每隔 $1/30$ 秒，小球相对平衡位置的位移。况且，摆球做简谐振动时最大偏角小于 5° ，振幅比图 2 上小得多，小球像的重叠现象势必更加突出。所以此法不能确定小球做简谐振动时它的位移与时间的真实关系。但是，这两种实验方法的原理却给我们带来启发，请同学们考虑一下，打在纸带上的点和闪光照相底片上的小球的像同运动物体有什么关系。

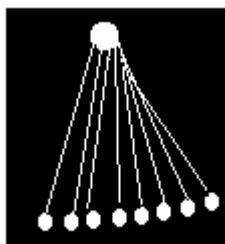


图2

（学生议论，举手发言。）

生：它们相应地表示运动物体在不同时刻的位置。

师：这两种实验的实质都是记录了运动物体每隔一定时间所在位置，只是采用手段不同而已。由此想到设计一个实验，它能记录摆球在不同时刻的位置。从而了解摆球在不同时间里发生的位移及其变化，探讨简谐振动的运动规律。

[强调物理实验是探索物体运动规律的重要途径，引导学生进行实验知识的正向迁移。在学生明确了实验目的，了解实验方案后，再介绍砂摆实验，将会水到渠成]

二、讲述新课

1. [砂摆实验] (板书) 演示分两步做：第一步，下面的平板不动，让摆球振动，结果在板上呈现一条直线，这是由于各个不同时刻的位移在板上留下的痕迹相互重叠而形成的，这同摆球的闪光相片相似。(让学生思考一下) 如何将不同时刻的位移分别显示出来？第二步，匀速拉动平板、从振动漏斗中漏出的砂流在板上形成一条曲线，显示了各个时刻漏斗的位移。

师：你们仔细观察这是一条什么曲线？

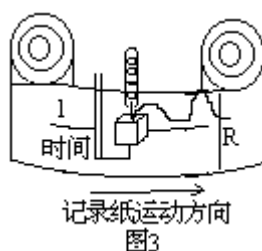
生：(惊奇、兴奋地观察，异口同声回答) 这是一条正弦曲线；这是一条余弦曲线。[让学生观察实验并得出正确实验结论，这将加深所获得的物理现象的印象，提高观察能力。]

师：这条曲线就是漏斗的简谐振动图像。简谐振动图像是一条余弦(或正弦)曲线(板书)，它揭示了物体的位移随时间变化的规律。

师：你们对这个演示实验有哪些新的设想？

(课堂气氛活跃，学生争先恐后发言)

生：用彩色水代替砂；用胶水代替砂；用麦芽糖代替砂；在摆上装一支蘸有墨水的毛笔等等。



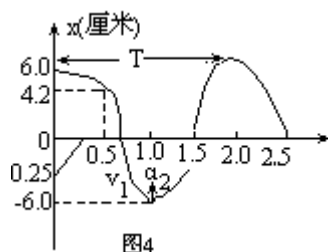
师：介绍图3演示弹簧振子做简谐运动的实验装置(用投影仪放映)。实验表明弹簧振子的振动图像也是一条余弦(或正弦)曲线，进一步推广，可证明所有简谐振动图像都是余弦(或正弦)曲线。

[激起学生创造性的发散思维，让学生充分表现自己的聪明才干，教师对学生提出的各种设想给予充分肯定和热情指导]

2. 分析简谐振动的图像(板书)

(用小黑板出示问题)

图4表示一个简谐振动的图像。请学生从图像上求出：



(1) 振幅 A 生：6 厘米。

(2) 周期 T

生：2 秒。

(3) 当 $t' = T/8 = 0.25$ 秒时刻它的位移 x' 。(教师给予启发) 生: 4.2 厘米

(4) 试分析 $t_1 = 0.5$ 秒和 $t_2 = 1.0$ 秒时速度 v_1 和 v_2 , 以及加速度 a_1 和 a_2 的大小, 标出它们的方向。

生: v_1 为最大, v_2 为零; a_1 为零, a_2 为最大。其方向如图 4 所示。

师: 振动曲线不是振动质点的运动轨迹, 速度方向不是沿曲线的切线方向, 加速度方向总是指向平衡位置。

三、巩固新课

3. 画简谐振动的图像(板书)

(用小黑板出示课堂练习)

一个单摆做简谐振动, 摆长 1 米(从悬挂点到漏斗质心的距离), 最大偏角 $= 5^\circ$, $\sin 5^\circ = 0.087$, 设当地重力加速度 $g = 9.80$ 米/秒²。

(1) 画出 3 秒内的振动图像。

启发学生先求出单摆的振幅和周期:

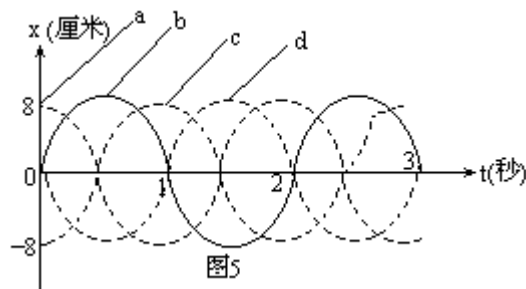
$$A = l \sin \theta = 1 \times \sin 5^\circ = 0.087 \text{ (米)};$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2 \times 3.14 \times \sqrt{\frac{1}{9.8}} \approx 2 \text{ (秒)}$$

建立位移 (x) —— 时间 (t) 平面直角坐标系, 选择特殊时刻 (例如: 0 、 $T/4$ 、 $T/2$ 、 $3T/4$ 、 T) 及相应的位移, 在平面上确定它们对应的点, 将这些点用平滑的曲线连接起来, 就可以画出单摆的简谐振动图像。(学生在数学课上已经学会画正弦(或余弦)图像)

[培养学生逆向思维能力, 能够绘制振动图像。培养学生将所学数学知识应用于解答物理问题的能力。]

(教师边巡视, 边指点, 接受学生的信息反馈, 先后请四位画法不同的学生上台, 用彩色粉笔画在黑板上同一个坐标系内。)



师: 同学们所画的振动图像可以归纳为四种形状, 如图 5 所示。(统计四种画法的学生人数, 发现 a 种画法的学生几乎占一半, 其次是 c 种, 这反映大多数学生是在模仿课本或课堂黑板上的样画。) 让学生们相互讨论、分析四种图形相同和不同之处以及形成的原因。揭示学生注意: 当你开始计时时, 即 $t=0$ 时刻, 摆球位于何处; 取什么方向为位移 x 的正方向。

(学生各抒己见, 共同探讨真知)

[发挥学生“平行影响”效应, 让学生自己去研究问题, 有助于提高学生

独立自主地分析实际问题的能力。使学生对“相”概念有些感性认识，为学习振动合成打下基础。]

(2) 画出再经过 3 秒的振动图像。

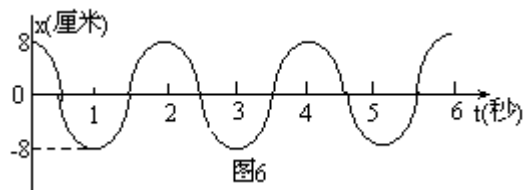
(教师边巡视、边辅导)

师：试比较前、后 3 秒的振动图像。

生：原图形不变。

师：随时间延续，图形向 t 轴方向延伸，反映出图像在空间上的往复性，时间上的周期性。

师：图 6 上实线为学生画的一种形状的简谐振动图像(用投影仪放映)；虚线为从振动漏斗中漏出的砂流在木板上痕迹形成的振动图像。试比较理论上画的图像与实际的振动图像有何不同。



生：周期增大，振幅减小。

师：为什么会发生这些变化？

生甲：因为振幅减小了，所以周期增大。

生乙：不对！简谐振动的周期与振幅无关。

师：简谐振动的周期与振幅无关，只可能与摆长有关。想一想，摆长有变化吗)

(让学生思考一会)

生：(举手发言)随着漏斗中砂的流出，砂摆的重心降低，摆长增加，周期增大。

生：振幅减小这可能是由于受到空气阻力的影响。

师：对！这是我们下一节课要讨论的课题。

[培养学生理论联系实际的好学风，正视实验中出现的“反常”现象，并给予科学解释。教师点拨思维，使学生茅塞顿开，思维活跃。引导学生对学习的内容进行更深入的思考，为下一节课的学习留下悬念。]

四、小结

本节课通过做简谐振动的单摆(砂漏)在木板上留下的砂迹直接显示摆的振动图像。图像的物理意义：表示一个作简谐振动质点的位移随时间变化的规律，它是一条余弦(或正弦)曲线，它不是质点的运动轨迹。从振动图像上可以看出周期、振幅和任意时刻的位移，还可以利用图像分析速度、加速度和回复力方向和大小。

五、作业

(1) 课本习题：(略)

(2) 实验题：自制演示简谐振动图像的简易实验装置。

【教学说明】

(1) 学生第一次学习位移和时间这两个物理量成正弦(或余弦)函数关系。学生能很好地理解简谐振动图像的物理意义,就不难了解形状上相似的振动图像与波形图像的联系和区别,并且助于今后学习正弦交流电的电动势和感生电流随时间变化的正弦函数关系,以及示波器演示正弦交流电的原理。故简谐振动图像在中学物理教学中有不可忽视的作用和地位。

(2) 本节课的教学内容,课本上只有一页多。必须考虑如何掌握好课堂教学的节奏,提高45分钟的效率。我们在吃透教材,充分把握教材的特点的基础上,在教学大纲范围内,从学生的实际情况出发,设法使教学内容加以充实、展开和提高。提出恰当问题,促使学生的思维不断地从恢复旧知识的联系转化为探索新知识的联系。要求学生应用已学的有关简谐振动的知识来理解简谐振动的图像,进而分析图像、绘制图像。

教学中有意识地将新知识的学习和研究方向渗透到教学过程中,使知识的传授和能力的培养有机地结合在一起。引导学生善于进行基础知识、实验知识的正向迁移,培养逆向思维力,独立地分析实际问题的能力和创造性思维能力。

(3) 本节课体现了教师的主导作用,按照感知——理解——巩固——灵活运用知识的过程进行教学,而教学过程的重心是设法充分发挥学生主观能动性。首先让学生观察砂摆实验,亲自得出正确的结论,这是一条余弦(或正弦)曲线,对简谐振动的图像产生深刻的印象。师生一起分析图像,理解简谐振动图像的物理意义。学生通过课堂练习,使所学的知识得以巩固,掌握简谐振动的运动规律。再要求学生绘制做简谐振动的单摆的图像,用图像来表示它的运动情况。并且在教学过程的各个环节,创立问题情景,设置悬念,例如求 $t=T/8$ 时刻摆球的位移;学生中出现画法不同的图像;根据理论绘出的图像与实际图像存在差异等。激励学生积极思维,自己去“发现”规律,去“研究”问题,使学生学习知识的过程变成“模拟”地探索知识的过程。

(4) 实验教学贯穿于整个课堂教学之中。简谐振动是变加速运动,其内容要比前面已学过的运动形式复杂。通过实验可以确定它的位移随时间而变化的规律,如同以前采用实验方法研究匀变速直线运动、自由落体运动和平抛运动一样。

(刘海生)

“ 简谐振动 ” 的物理图像教案设计 (二)

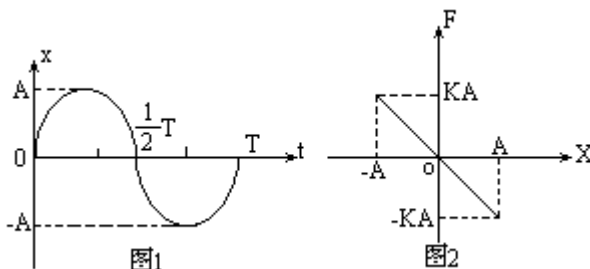
中学物理中水平弹簧振子的振动是简谐振动,简谐振动是周期性的非匀变速运动。为加深对它的理解和掌握,在教学中我们分别讨论它的力、加速度、速度、动量、能量随位移、时间变化的物理图像。

说明：轻质弹簧的倔强系数为 k ，振子质量是 m ，振幅是 A ，周期为 T ，图像转折点对应于物理量的极值，周期性对应于图像的重复出现。因此，我们只讨论了一个周期的图像，其后的情况就是图像的重复出现罢了，取坐标原点位于振子的平衡位置，横坐标向右为正，纵坐标向上为正，对下面的讨论，振子运动都从平衡位置算起，这样便于画图。

一、位移时间图像

振子图略去。水平弹簧振子振动凡历时为 $T/4$ 的奇数倍，加速度的大小都由 0 增加到 kA/m ；速度的大小都由 $\sqrt{k/m}A$ 减小到 0 的减速运动。位移由 0 变为 $\pm A$ ；凡历时是 $T/4$ 的偶数倍，加速度大小都由 kA/m 减小到 0 ；速度的大小由 0 变为 $\sqrt{k/m}A$ 的加速运动。位移由 $\pm A$ 变为 0 。

可见，位移随时间变化的图像就是教材中的振动图像，它是按正弦规律变化的光滑曲线，如图 1。



二、力的图像

1. $F-x$ 图像

振子所受杆的支持力与重力相平衡，振动所受的回弹力就是弹簧的弹力，即 $F = -kx$ 。 x 在 A 与 $-A$ 之间作周期性变化， $F-x$ 图像是通过坐标原点的一条倾斜直线段，如图 2。

当 x 由 $0 \rightarrow A$ ，根据动能定理由图可得， $W = -FA = -KA^2/2 = -mv_m^2/2$
 $v_m = \sqrt{k/m}A$ 。 v_m 是振子过平衡位置时速度的最大值。 $F = kA/2$ ，是回复力位移为 A 时空间积累效应的平均力。

2. $F-t$ 图像

由 $F = -kx$ 可知， F 与 x 反向，二者的变化规律相同。 $F-t$ 图像如图 3。

振子振动 $T/4$ 时，根据动量定理

$$-\bar{F} \cdot T/4 = -mv_m$$

$$\bar{F} = 4mv_m / T = 4 / T \sqrt{mk} A$$

\bar{F} 表示在 $T/4$ 内，回复力对时间积累效应的平均力。

通过上面对变力（弹力） F 的讨论可知，变力空间效应的平均力跟时间效应的平均力是不相同的，其原因在于 $F-x$ 间是直线性变化， $F-t$ 间是曲线变化。

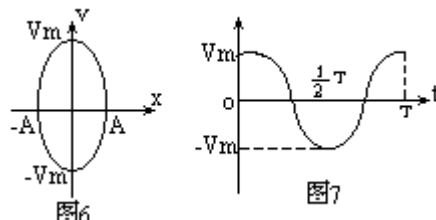
三、加速度图像

1. $a-x$ 图像

根据牛顿第二定律, $F=-kx=ma$, $a=-kx/m$, a 与 x 反向且成正比。 x 在 A 与 $-A$ 间周期性变化时, $a-x$ 图像是通过原点的一条倾斜直线段, 如图 4。

2. $a-t$ 图像

由 $a=-kx/m$ 可知, a 与 x 反向且成正比, a 与 x 随 t 周期性变化的规律相同, 于是 $a-t$ 图像与 $F-t$ 图像的形状相似, 如图 5。



四、速度图像

1. $v-x$ 图像

振子在最大位移处, $E_p=kA^2/2$, $E_k=0$, 由于弹力对振子做功, 系统的机械能守恒, 振子在任意位置时, 有 $kA^2/2=mv^2/2+kx^2/2$ 化简后得:

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{v^2}{A^2} = 1 \text{ 或 } \frac{x^2}{A^2} + \frac{v^2}{V_m^2} = 1$$

$$(v_m = \sqrt{\frac{k}{m}}A)$$

$v-x$ 图像是中心在原点的一个椭圆, 因此, 图像表示了定性分析的结论, 如图 6。

2. $v-t$ 图像

根据对振动过程的定性分析, 振子振动在平衡位置时 ($x=0$) 的速度最大, 过 $T/4$, ($x=A$) 速度为零, 故 v 比 x 超前 $T/4$ 达到最大或最小值。所以 $v-t$ 图像是按余弦规律变化的光滑曲线。如图 7。

五、动量图像

振子的质量恒定不变, 动量的变化主要取决于速度的变化。

1. $p-x$ 图像

由 $v-x$ 图像的变化规律可知 $p-x$ 图像的变化规律, 二者的变化规律一样, 图像形状也相似。所以 $p-x$ 图像也是中心在原点的一个椭圆, 如图 8。

2. $p-t$ 图像

按上面分析知, p 与 v 的变化规律相同, 于是 $p-t$ 图像与 $v-t$ 图像的变化规律一样, 所以 $p-t$ 图像也是一条余弦曲线, 如图 9。

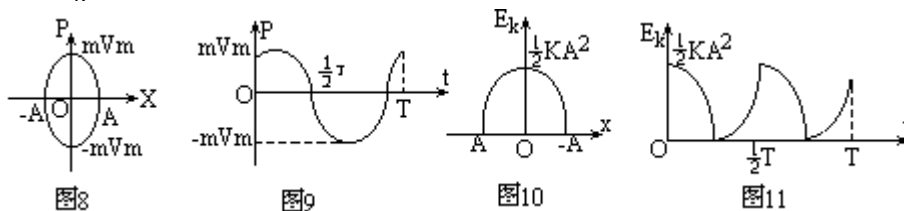
六能量图像

1. E_k 图像

1) E_k-x 图像

根据系统机械能守恒, 得 $E_k=mv^2/2=k(A^2-x^2)/2$, E_k-x 图像是顶点

在纵轴 (E_k 轴) 上 $kA^2/2$ 处开口向下的抛物线。如图 10。



2) $E_k - t$ 图像

动能是恒为正的标量，由于质量不变， E_k 的变化主要由 v^2 的变化所决定，于是 $E_k - t$ 图像的变化规律与 $v - t$ 图像的变化规律相类似，只是图像位于横坐标以上才符合 E_k 为正。振子振动在每过 $T/4$ 的奇数倍时， E_k 都由 $kA^2/2$ 变到 0，而每过 $T/4$ 的偶数倍时， E_k 都由 0 变到 $kA^2/2$ ， $E_k - t$ 像为一锯齿形。如图 11。

2. E_p 图像

1) $E_p - x$ 图像

取原点处 $E_p=0$ ，因 $E_p=kx^2/2$ ，所以 $E_p - x$ 图像是顶点在原点开口向上的一条抛物线，如图 12。

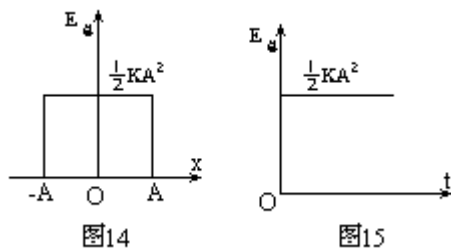
2) $E_p - t$ 图像

根据系统机械能守恒定律， E_p 与 E_k 相互转换， E_k 增加与 E_p 减少的数量相等，反之也一样。参照 $E_k - t$ 图像便可得到 $E_p - t$ 图像也为一锯齿形。 E_p 的正、负分别表示伸长、压缩形变时的弹性势能。如图 13。

3. $E_{总}$ 图像

1) $E_{总} - x - X$ 图像

根据系统的机械能守恒， $E_{总} - x$ 图像是一条平行于横坐标 x 的直线段，如图 14。



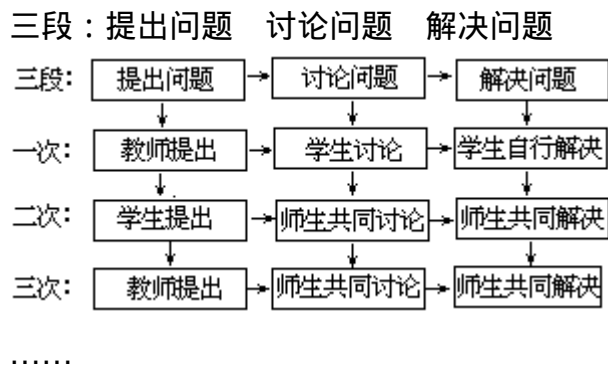
2) $E_{总} - t$ 图像

根据系统的机械能守恒， $E_{总} - t$ 图像是一条平行于纵坐标 y 的直线段，如图 15。

以上图像形象直观，它反映了简谐振动过程各物理量间的关系和变化规律，从而可对简谐振动获得更为全面、深刻的认识。对于加深理解，掌握简谐运动的规律，开发学生的智力和培养能力都很有益处。

(李崇文)

目前，培养学生的能力已经引起教育界的高度关注，已进入具体的操作阶段，为了培养学生的综合分析能力和创造性思维能力，下面是笔者在教学实践中行之有效的三段往复“问题讨论式”教学模式的结构图：



“问题讨论式”教学模式是根据教师和学生两方面对难点和疑点的分析提出问题。在师生的共同参与下，积极、主动地讨论，必要时辅以实验等其它方法，使学生在加深理解、综合应用概念和规律的同时，提高综合分析实际问题能力，发展创造性思维的一种教学模式。

第一次提出的问题比较简单，由学生自行讨论解决，以后各次的问题均由师生共同讨论完成，对于往复的次数作开放性处理，并不加以限定。

以往“问题讨论式”教学法只注重教师单方面对教材重、难、疑点的理解，问题由教师提出，让学生讨论解决。这是一种单向操作方式，这种做法无论是“问题”产生的广度，还是“问题”的针对性，以及对学生的积极性的调动都是有限的。在教学中培养学生的提高能力十分重要。为了提出合适的问题，学生课后要对教师规定的专题内容作适当的准备，增强了学生学习的主动性。

从激励机制分析，这种模式由教师提问激励和学生提问激励两种交替变化着的激励机制构成。

这种教学模式强化了问题意识。学生在学习活动中始终意识到一些难以解决的感到疑惑的实际或理论问题，这种意识驱使不断地提出问题并解决问题。对学习内容有高度的敏感性，问题意识既是创造性学习的起点，又是创造性学习的重要动力。

这种教学模式不是一切教材内容都能适用，凡是学生已有一定的基础知识，而新知识又是在原有知识的基础上加以分析、归纳就能总结出来的内容，就能用此方法进行。由于这种教学模式费时较多，所选内容要有典型性。

这种教学模式要求学生具有必需的知识能力和能力基础，主要的是应具有相对独立地进行讨论的思维基础和语言表达能力。要求学生在课后对专题中的问题进行发掘、归类，做好充分准备。

这种教学模式对教师也有较高要求，教师须有现代教育思维和民主的作风，有丰富的教学经验，还要有一定的教学机智。

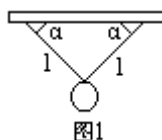
下面以单摆的周期公式为例，对这一教学模式的实际进行作一具体介

绍。

简单复习单摆周期公式后引入：

一次（提出问题）

师：如图 1 所示是一双线摆，设图中的 l 和 a 为已知量。当小球垂直于纸面做简谐振动时，周期为多大？



（讨论问题）甲生： $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 。

师：为什么是这个式子？

生：因为摆线长为 l 。

师：怎样判断这个想法是否正确？

生：与摆长为 l 的单摆进行对比。

（教师把摆长为 l 的单摆挂在同一根铁杆上，进行对比实验）

师：两个摆的周期是否相同？哪一个周期大？

乙生： $T = 2\pi\sqrt{\frac{l\sin a}{g}}$ 。

师：为什么这样想？

生：因为对比实验中 $T_{\text{双线}} < T_{\text{单}}$ ，即 $l_{\text{双}} < l_{\text{单}}$ ，小球是绕两悬点的中点作简谐振动。

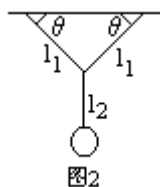
（问题解决）

教师调整单摆摆长，使其摆长为 $l\sin a$ ，实验发现 $T_{\text{双线}} = T_{\text{单线}}$ 。

师：前面同学们的分析之所以能够成功，一是因为他仔细地观察了实验，并进行了对比，二是大胆地想象了一个等效摆长。

二次（提出问题）

生：如果把双线摆打一个结，如图 2 所示，若 l_1 、 l_2 、 θ 均已知，当小球垂直于纸面做简谐振动时，周期为多大？



（讨论问题）

师：该摆相当于是绕两悬点的中点作简谐振动，有效摆长为 $l_2 + l_1\sin\theta$ ，

所以周期为 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l_2 + l_1\sin\theta}{g}}$ 。下面我们用对比实验进行验证。

师：如果让小球在纸面内做微小振动， $T = ?$

甲生： $T = 2\pi \sqrt{\frac{l_2 + l_1 \sin \theta}{g}}$ 。

师：为什么这样想？

生：因为摆长没有变。

师：请大家注意观察，小球振动后周期的变化。

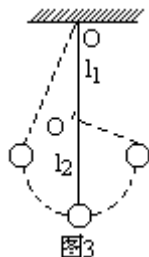
(问题解决)

生： l_2 上端不动，小球振动的有效摆长为 l_2 ，因此周期 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l_2}{g}}$ 。

师：大家寻找等效摆长的思路是正确的，但不同方向的振动等效摆长不同。

三次(提出问题)

师：如图 3 所示，在摆线悬点 O 的下方 O' 处钉一钉子。已知 $OO' = l_1$ ， $O'A = l_2$ ，当摆球 A 摆动时，周期 $T = ?$



(讨论问题)

甲生： $T = 2\pi \sqrt{\frac{l_2 + \frac{l_1}{2}}{g}}$ 。

师：如何考虑？

生：因为整个运动过程中，摆长在变化，等效摆长为平均摆长。

师：大家认为是否有理？

众生：有理。

师：请看对比实验，图3所示摆与摆长为 $l_1 + \frac{l_1}{2}$ 的单摆进行对比。(学

生发现两摆 T 不同，大家议论纷纷)

师：如何解释？

乙生：因为单摆周期公式中的 T 不是与 l 成正比，而是与 l 的平方成正比，所以不能用算术平均的方法求平均摆长。

师：正确，我们如何求这个摆的周期？

丙生：仔细观察整个摆过程有一段时间是以 O 为悬点进行摆，另一段时间以 O' 为悬点进行摆，把整个过程分为两个简单过程的组合。

(问题解决)

师：这个同学的想法很正确。他把一个复杂问题看成两个简单问题的组

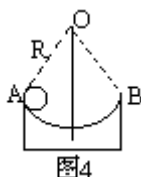
合，这是一种有效的方法，按此设想能否求出这个摆的等效摆长？

生：由 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l_1+l_2}{g}} + \pi\sqrt{\frac{l_2}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 得：

$$l = \left[\frac{\sqrt{l_1+l_2} + \sqrt{l_2}}{2} \right]^2 \\ = \frac{l_2 + \frac{l_1}{2} + \sqrt{l_2(l_1+l_2)}}{2}。$$

四次（提出问题）

生：如图 4 所示，光滑的圆弧上面有一个半径为 r 的小球，圆弧对应的圆半径为 R ，圆心角 $< 10^\circ$ ，求小球从 A 到 B 所用的时间？



（问题讨论）

师：小球的运动轨道为圆弧，小球的受力情况为重力与弹力，小球的受力情况及运动情况完全与单摆相似，所以完全可以用单摆模型。

（问题解决）

师：有效摆长是多少？ $T = ?$

生： $R - r$ 。 $T = 2\pi\sqrt{\frac{R-r}{g}}$ ， $t_{AB} = \frac{T}{2} = \pi\sqrt{\frac{R-r}{g}}$ 。

师：这个问题大多数同学思维受阻，主要是受“单摆模型”建立时的定势影响，有些同学认为，单摆一定是一根细线下挂一个小球，单摆的运动必须具有往复性。其实从受力及运动状态的分析才能把握问题的本质。

（以上讨论了单摆周期公式中等效摆长的问题，我们可以继续讨论等效重力加速度的问题，限于篇幅，此处不再赘述。）

（梁旭）

高一新教材中的“附加内容”教案设计

现行高一物理新教材（93年12月人教版，16开本）中，在有关章节后面用点波线方框附加了26段文字，这些在以往的高中物理教材中是没有的。如何处理这些“附加内容”，是一个值得研究的新问题。有人认为既然是“附加内容”，就让学生课后消化吧！也有人把“附加内容”当作教材正文在课堂上原原本本地讲解。笔者认为：对于“附加内容”，就根据其特点，采取适当方法，使其发挥应有的作用。“附加内容”按其特点，大致可分为以下

几类：

1. 介绍物理模型

附加内容介绍了光线、质点、分子球、理想气体等四个理想模型，并详细地叙述了这些物理模型的本质，对学生加深对这四个概念的理解有很大帮助。

2. 对教材的基本内容进一步阐述和深化

在“匀速圆周运动”一节之后的补充内容进一步阐述“匀速”的含义是速率不变。在“速度改变快慢的描述加速度”一节之后阐述了速度和加速度的关系。这样有助于学生加深对加速度概念的理解。

3. 对物理知识的补充和拓展

教材在“牛顿第二定律”和“平抛物体的运动”之后，补充了“力的独立作用原理”和“运动的独立性”原理。在气体的等容变化查理定律”一节之后的附加内容，对查理定律进行了拓展。

4. 对物理学研究方法的指导

在“附加内容”中介绍了许多物理学研究方法。例在介绍质点模型时指出：研究物理问题要撇开次要因素，抓住主要因素。在“牛顿第一定律”一节之后，指出伽利略理想实验是把可靠的事实和深刻的理论思维结合起来的理想实验。这是物理学研究的一种重要方法。

另外，还在部分附加内容中介绍了用图像法描述物理规律；要善于运用学过的数学知识处理问题以及控制变量法等多种物理学研究方法。

5. 明确指出解决物理问题的方法

“附加内容”中有近十处系统地介绍运用牛顿定律、动量定理、动能定理、动量及机械能守恒定律解决力学问题的思路和方法。这些方法是我们解决物理问题的钥匙。

6. 学习物理方法漫谈

在第八章小结的附加内容指出：“学习物理要在理解……，自己独立地进行小结，可以加深对知识的理解。”第十一章小结指出：对物理知识经过自己独立思考，进行比较分类、归纳总结，以求融会贯通，才能切实掌握知识，提高运用知识解决问题的能力。

由上观知，“附加内容”实质是教材的精华内容。那么在教学中如何正确处理它呢？我认为应根据这些内容的不同特点，采用不同的方法处理：

(1) 课内讲解，当堂消化。对于介绍物理模型的内容、补充拓展及进一步阐述和深化的内容，可在讲解到相关内容时穿插讲解，以求使学生对物理知识全面、透彻的理解和掌握。如在学习光线、质点等物理模型时，可引出附加内容中相关内容。以帮助学生对这些概念的理解。

(2) 循序渐进、重点掌握。常言道：“授人以鱼，莫若授人以渔”。掌握解决物理问题的方法比解决问题显得尤为重要。牛顿运动定律、动能定理和动量守恒定律是贯穿力学的三条主线。因此对于运用这种规律解决问题的

方法，应作为重点掌握的内容。但这些方法不是一天两天就能掌握的。因此必须指导学生在不断的练习中逐步领悟和掌握。

(3) 以身试法，检验效果。对于学法指导的内容，可让学生自己试着对知识进行比较、归纳和总结，对每一章，每一部分内容进行独立地小结。坚持一段时间以后，看看是否收到效果。

(4) 专题讲解，拓宽视野。对于物理学研究方法问题，可举办专题讲座。例如可以以“如何运用数学方法解决物理问题。”“伽利略的理想实验给我们的启示。”“巧用图像法解题”等为专题。这样既丰富了学生的知识，又拓宽了学生的视野。

(王成泽)

“气体的性质”教案设计

【课型】复习课

【教材】高一物理（必修本）P212~231。

【教具】注射器一只，小黑板一块。

【教学目的】

1. 复习基本理论知识，主要是气体压强的产生与描述。
2. 引导学生进一步掌握规律，培养整理、概括能力；通过练习，深化概念，提高运用规律解决问题的能力。
3. 归纳基本科学方法，渗透创造意识。

【教学重点与难点】重点：目的之二；难点：涉及两个对象且质量变化的习题处理。

【教学方法】谈话，练习。

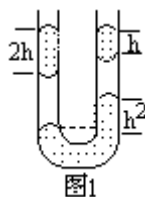
【教学过程】宣布本课任务，明确目的，开始复习。

(一) 压强的产生与描述

问1 从分子运动论的观点看，气体的压强是怎样产生的？

答：(略)

问2 如图1所示，两端开口、横截面积相同的U形管，左右两边直管中的水银柱分别被空气柱A、B隔开，则空气柱A与B下端水银面高度差 h' =？
(题不板书，只作图)



引导学生观察：两边气柱上部经水银柱与大气连接；下部经“J”型水银柱连接，因此一定存在相关条件。两侧气柱“头”上的压强，根据平衡条件得：

左侧 $P_A = P_0 + 2h$

右侧 $P_B = P_0 + h$

而气柱 A “脚” 下的压强与气柱 B 及 “J” 形水银柱高度差 h' 压强之和的关系为：

$$P_A = P_B + h' = (P_0 + h) + h'$$

让学生与式比较作答（只板书式、与结果）。

教者口述：由于气体 B 压强处处均匀，上、下表面都等于 $P_0 + h$ ，因此，用大气压与右侧水银柱描述气体 A 的压强时，可将右侧上下两段水银看成相接在一起。

引申：（口述）设管足够长，水银不溢出（板书）左边开口加 2 厘米水银柱时，高度差 h' 是否变化？（口述）气体 A、B 温度相同时，哪一部分气体单位体积内分子密度大？

答：（略，以下亦然）

（二）掌握规律

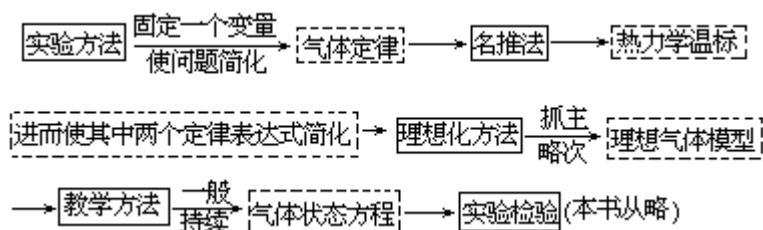
1. 让同桌学生讨论：本章共有哪几个规律？它们的条件、结果、获得方法与图像分别怎样？若用表格形式列出这些规律，可分哪几个栏目？

2. 教者边集中学生意见、边设计板书：先将三个定律作为一块，依次按栏目顺序讨论、填写、适当穿插练习：一是启发学生由 $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$ 与 $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$ 的相似类比出盖·吕萨克定律的摄氏温标表达式；二是指定学生在黑板上作出三种图线，并要求说明 $p-T$ 图， $V-T$ 图下部分虚线的意义；三是让某组按自己的实验数据描出的等温线下段明显向上偏移（在黑板上的 $p-V$ 图低压段以虚线偏上画出），什么原因？（结合注射器点拨）

最后，状态方程作为一块：什么是理想气体？什么是理想气体状态方程？条件、结果、科学方法，边问边板书。

（三）师生共同归纳本章科学方法

让学生参与得出（板书）：



教者口述：科学需要不断创新，创新需要良方。

我们应重视探索认识规律，潜心学习科学方法，激发创造意识。

（四）练习

例 1 图 2 为一定质量的某种气体的等温线（将课本 P219 图上的坐标分度画到黑板的图像上）。设 B 点温度为 300K，求 E 点温度。（板书并在图上标出 E 点坐标（4，1））

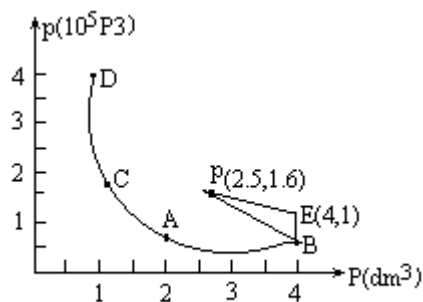


图2

引导学生观察图线特点，运用查理定律得到 $T_E=600K$ 。

(简要板书解题过程)

引申：若由 B 点沿直线 BF 变化到 F 点呢？[在图上标出 F 点的坐标：(2.5, 1.6) 那么 F 点的温度多高？(板书)]

启发学生在分析的基础上，逐一排除实验定律，最后运用状态方程得到 $T_F=600K$ 。(板书计算过程)

思考：能否根据 $T_F=T_E$ ，认为沿 E F 直线的变化过程是等温过程？(在图 2 上画 EF 有向线段)从而进一步明确什么是等温过程。

例 2 (出示小黑板) 一端封闭的均匀玻璃管长 100cm，管内有 $h=15cm$ 长的水银柱 (如图 3a)，将管水平放置，封闭的空气柱长 $l_1=40cm$ ，将管缓慢倒转至开口向下，然后竖直插入水银槽中 (如图 3b)，直至上端空气柱长 $L_2=37.5cm$ ，已知大气压强为 75cm 水银柱产生的压强，求槽中水银进入管中的长度。

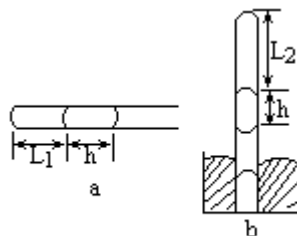


图3

引导学生审题，画示意图，着重过程分析，提醒学生：口朝下，进槽前，水银柱下移，引起下方气柱质量变化，并翻阅课本 P220 例题，为解此题和作业铺路。(答：19.9cm)

(五) 布置作业

1. 课本 (必修) P231 第 4 题，增加一问：求出氧气的质量。 2. 若将前面图 1 所示整个装置由 27 的空气中移入冰水内，使两部分气体 A、B 都全部浸入 (管口不进水)，问 h' 是否改变？

3. 一根一端封闭的粗细均匀的细玻璃管，长 60.0cm，用一段 $h=19.0cm$ 的水银柱将一部分空气封闭在管内，当玻璃管开口向上竖直放置时，管内空气柱长 $L_1=15.0cm$ ，当时的大气压强为 $P_0=1.00 \times 10^5 Pa$ 。那么，当玻璃管缓慢倒转至开口向下，然后竖直插入水银槽中，直至上端空气柱压强变为 $1.00 \times 10^5 Pa$ 时，求槽中水银进入管中的长度及其与管外水银面的高度差。

附作业参考答案：1. 2700 克；2. h' 不变；3. 9.5cm, 19cm。

板书设计从略。

(黄学根)

“ 电场 · 电场强度 ” 教案设计

【 教学目的 】

1. 知道电荷周围存在电场；
2. 理解电场强度的概念；
3. 理解场强的定义式和点电荷在真空中产生的电场中场强计算式的区别和联系；
4. 知道电场可以叠加。

【 教学过程 】

1. 创设情景

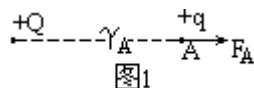
教师引导启发：我们知道，在地球上同一地点，物体受到的重力大小是和物体质量成正比的。如果在高山上物体受到的重力就要比它在地面时受到的重力小些，这是因为重力实际上就是由于万有引力的存在而产生的，离地心距离远了，引力将减小。如果某物体能离开地球表面到达离地面高 $h=R_{地}$ 的地点，由万有引力定律可知，它受到的引力将减小为原来的多少呢？

学生可能回答：1/2；1/4。（后一答案是正确的）

教师又问：在离地心距离 $r=R_{地}$ 的地点放有质量不同的物体，它们受到的引力大小是否也和质量成正比呢？

启发学生回答：是肯定的。因 $F = \frac{GMm}{r^2}$ ，式中 G 、 M 均是不变的量，对

这一确定的地点， r 也是不变的，即 $F \propto m$ 。比值 $\frac{F}{m} = G \frac{M}{r^2}$ 对这一地点来说是不变的。这表明物体在地球周围的某一确定地点受到地球引力的大小是跟它自身的质量有关的。



教师接着启发：库仑定律和万有引力定律很相似，真空中一个电量为 q 的点电荷在另一个电量为 Q 的点电荷周围的某一确定地点 A ，受到的库仑力的大小跟什么因素有关呢？

让学生回答： $F = \frac{kQq}{r^2}$ 。

启发学生认识：式中 k 、 Q 均为不变的量，对于给定的 A 点，距离 r_A 也是不变的，即 $F \propto q$ ，比值 $\frac{F_A}{q} = \frac{kQ}{r_A^2}$ 对 A 点来说是不变的。也就是说，在 A 点放入不同电量的电荷，它受到的库仑力的大小是跟它自身的电量成正比

的。

2. 教师讲述

(1) 引入电场的初步概念

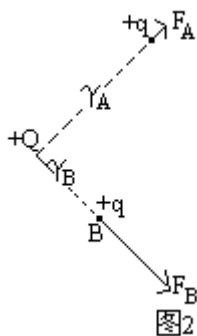
将上述两个不同例子进行类比，一个是地球和物体间的引力，一个是电荷间的库仑力，可以发现它们不仅在力的计算公式上有相似的形式，更是反映了这两种力具有相似的共同特点。

理论研究指出，由分子、原子组成的物质是物质存在的一种形式，场是物质存在的另一种形式。在地球周围存在着地球的引力场，地球和物体之间的相互作用是通过引力场发生的；同样，在电荷的周围存在着电场，电荷之间的相互作用是通过电场发生的。（关于电场的初步概念用投影薄膜显示）

(2) 电场强度 E 矢量

电场是客观存在的一种物质，它的基本特性之一，就是能对放入其中的电荷发生力的作用。有了电场的初步概念，我们对库仑力的理解和表述可以深入一步，即电荷间的相互作用并不是像两个物体由于直接接触而产生的弹力那样，而是由于处在电场中而受到电场的作用。

我们现在只研究静止的点电荷 Q 产生的电场的性质。这样的电场叫做静电场。



在点电荷 Q 产生的电场中有 A、B 两点（图 2），电荷 q 在 A 点受到的电场力 F_A 正比于它所带的电量 q，即 $F_A \propto q$ 。电荷 q 在 B 点受到的电场

力 F_B 的大小同样也正比于它所带的电量 q，即 $F_B \propto q$ 。其中比值 $\frac{F_A}{q} = \frac{kQ}{r_A^2}$ ，

比值 $\frac{F_B}{q} = \frac{kQ}{r_B^2}$ 。因 $r_A > r_B$ ，比值 $\frac{F_A}{q} < \frac{F_B}{q}$ ，由于这一比值在数值上等于单位

电荷在这些地点受到的电场力，所以比值 $\frac{F}{q}$ 可以表示电场中不同地点的电场

的强弱。

放入电场中某一点的电荷受到的电场力和它的电量的比值，叫做这一点的电场强度。用公式表示可以写成 $E = F / q$ （图 2，电场强度定义及其公式用投影薄膜显示）

指出：

电场强度简称场强。在国际单位制中，场强的单位是牛 / 库。

电场强度是矢量，电场中某点的场强方向跟放在这一点的正电荷受到的电场力方向相同。

电场强度是描述电场具有的能对电荷施加力的作用的这一特性。电场中某点场强的大小和方向跟放在这一点的电荷的电量和所带电荷的性质无关，跟在这一点是否放有电荷也无关。（打个譬喻：电影院里有许多座位，有楼下的也有楼上的，有比较正对银幕的也有比较靠近旁侧的。在这些不同座位上看电影，听到的声音响度和清晰程度和看到的画面视角并不完全相同，也就是说声波反射叠加的强度和散射光的强度只决定于这些座位所在的空间位置，而跟在这些座位上是否有观众是无关的）。

(3)点电荷在真空中产生的电场中场强的计算式在电量为 Q 的点电荷产生的电场中的某点放入一个电荷 q ，将库仑定律代入电场强度的定义式

$$E = \frac{F}{q} = \frac{kQq}{r^2q} = \frac{kQ}{r^2} \quad (\text{用投影薄膜显示})$$

上式表明场强决定于产生电场的电荷 Q (场源电荷) 以及这一点离电荷 Q 的距离 r ，而与放在这一点的电荷 q 无关。

(4) 电荷 q 在电场中受到的电场力的计算 $F=qE$ (用投影薄膜显示)

上式表明电荷在电场中某点受到的电场力，决定于该点场强和电荷的电量。

讨论：如果已知电场中某点的场强 $E=3 \times 10^2$ 牛 / 库，则电量 $q=4 \times 10^{-4}$ 库的电荷放在这一点时所受到的电场力的大小和方向如何？若换成电量相等的负电荷，则又如何？（讨论题用投影薄膜显示）答案： $F=qE=0.12$ 牛，方向与 E 相同。若换成负电荷， $F=0.12$ 牛，方向与 E 相反。

(5) 电场的叠加

指导学生阅读课本第 9 页有关内容。

指出若在真空中有两个固定的点电荷 Q_1 和 Q_2 ，则在电场中某点的场强应等于这两个点电荷单独存在时在这一点产生的场强 E_1 和 E_2 的矢量和(符合平行四边形法则)。

指出这就是场和实物的不同之处，在空间的同一点两个由分子原子组成的物体不可能同时占据它，但电场在空间的同一点可以叠加。

3. 应用分析

讨论(1)上一课在学习库仑定律所做的演示实验中，为什么带电小球在离带电玻璃棒远近不同的地点，所受到的电场力大小不同？

学生可能回答：因距离不同；因为带电玻璃棒产生的电场中离玻璃棒远近不同的地点的电场强度不同。

教师肯定第二种回答更好，应该学会应用场强这一概念来解释。

(袁哲诚)

“带电粒子的圆周运动”教案设计

【教学目的】理解带电粒子的圆周运动；掌握带电粒子作圆周运动的半径及周期，并能作简单运用。

通过带电粒子圆周运动的学习，培养学生的思维能力。

【课型】新授课。

【教学重点】带电粒子的匀速圆周运动，运动的周期和半径。

【教学难点】画带电粒子圆周运动径迹，洛仑兹力不做功。

【教具】洛仑兹力演示仪、幻灯机（两台）、灯片等。

【教学过程】

一、复习（约 5 分钟）

复习洛仑兹力，分析带电粒子在磁场中的运动情况，引入新课。

提出：

- (1) 当 $B \perp v$ 时，洛仑兹力的大小怎么计算？
- (2) 如何判断洛仑兹力的方向？
- (3) 判断下列情况的洛仑兹力方向。

在学生正确回答后，进而引导学生共同分析带电粒子在磁场中运动的径迹。

(a) 根据左手定则， B 垂直于 v 和 f 确定的平面，没有力使粒子离开这个平面。所以粒子只能在垂直于磁场 B 的平面内运动。

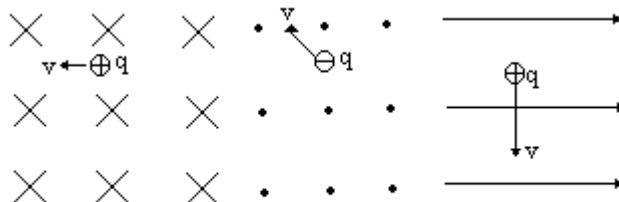


图1

学生找出如图 (1)、(2)、(3) 三种情况粒子的运动平面。

(b) 从洛仑兹力方向和带电粒子运动速度方向，粒子不可能做直线运动，粒子将偏离原来的方向而作曲线运动。

(c) 粒子在只受洛仑兹力作用时， $f_{洛}$ 与 v 永远垂直。可能做圆周运动。

二、讲授新课（约 25 分钟）

1. 粒子的径迹

引导学生共同分析：

对带电粒子重力可以忽略不计，则粒子只受洛仑兹力作用。始终有 $f \perp v$ ，则任何一段很短时间间隔内洛仑兹力都与带电粒子的位移方向垂直。

提出：洛仑兹力做不做功？为什么不做功？

根据动能定理，粒子动能不变， v 大小不变。

$f = qvB$ $f_{洛}$ 大小不变。

粒子受到的是一个大小不变，方向总是与速度方向垂直的力。

启发学生得出粒子将作匀速圆周运动的结论。
幻灯演示带电粒子的运动轨迹和 $f_{洛}$ 与 v 的方向。

提出：洛仑兹力在这里起什么作用呢？
 $f_{洛}$ 方向时刻指向圆心。洛仑兹力提供粒子作圆周运动的向心力。

分析得出的结论是否符合实际呢？

实验验证：

介绍洛仑兹力演示仪的构造及简单原理。演示带电粒子在洛仑兹力作用下作圆周运动。

提出：带电粒子的轨迹半径与哪些因素有关呢？

2. 推导轨迹半径

引导学生从洛仑兹力提供向心力推出半径公式 $r = \frac{mv}{qB}$

再实验验证：半径与速率和磁感应强度大小的关系。

提出：粒子运动周期由哪些因素决定。

3. 运动周期

让学生猜想，讨论带电粒子运动的周期会与哪些因素有关。

教师用在运动场上跑步作比喻，将学生带出周期与速率将成反比的误区。

师生共同推导周期公式， $T = \frac{2\pi m}{qB}$ 。

再引导学生讨论，周期为什么与速率无关。

教师总结：周期只与 m 、 q 、 B 有关，与 v 及 r 无关。讲述：

利用周期与 v 、 r 无关以及轨迹是圆周这一特点，科学家们研制出了回旋加速器，简要说明回旋加速器的作用。

三、课堂练习（约 13 分钟）

1. 由学生画黑板上（1）、（2）两种情况的粒子轨迹。

2. 指导学生完成课本第 234 页例题。

审题； 幻灯片演示； 列式求解。

3. 机动练习：课本第 236 页（5）

四、小结、布置作业（约 2 分钟）

（板书）第五节带电粒子的圆周运动

$B \perp v, f = qvB$

1. 粒子的径迹：

分析 a、在垂直于磁场的平面内运动。

b、洛仑兹力永不做功， v 大小不变。

c、洛仑兹力提供向心力。

结论：匀速圆周运动。

实验验证：

2. 轨道半径：

$$f_{\text{向}} = f_{\text{洛}}, \text{ 又 } f_{\text{向}} = m \frac{v^2}{r}$$

$$\text{有 } qvB = m \frac{v^2}{r}, r = \frac{mv}{qB}$$

m 、 q 、 B 一定, $r \propto v$,

m 、 q 、 B 一定, $r \propto \frac{1}{B}$ 。

3. 运动周期:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{v} \cdot \frac{mv}{qB} = \frac{2\pi m}{qB}$$

T 与 v 、 r 无关

4. 应用: 回旋加速器 (略)

“带电粒子在周期性变化的电场中的直线运动”习题课设计

1. 设计思想

关于带电粒子在电场中的运动, 新教材选修本第 201 页这样写道: “带电粒子在电场中要受到电场力的作用, 因此要产生加速度, 速度的大小和方向都可以发生变化”。此处, 教材意指带电粒子在电场中的直线运动隶属力学模型类, 运动状态的变化受电场力和运动的起始条件约束。

教材的提法注意到了不同知识的相互联系、渗透和学生的认知规律, 是科学的。不足之处在于, 教材仅仅例举带电粒子在恒定电场中的匀变速直线运动, 而没有涉及电场力、加速度变化 (主要指方向变化) 的变速直线运动, 使人感觉到在训练学生运用力学方法解决有关电学问题, 从整体上把握教材方面, 言犹未尽。尤其联想到考生面对 1993 年和 1994 年高考试卷两个第 19 题所表现出的为难窘态, 一种对教材没有深层次处理的遗憾油然而起。鉴于此, 笔者在教学中增设了电场周期性变化 (主要是方向变化) 的习题课, 旨在教会学生处理此类问题的方法, 提高融汇贯通知识的能力。

2. 课堂教学设计

【教学目的】学会处理带电粒子在周期性变化的电场中做直线运动问题的方法。

【教学重点】建立带电粒子在电场中做直线运动的力学模型。

【教学难点】带电粒子受的电场力和运动状态的关系。

【教学过程】

一、复习牛顿第二定律和匀变速直线运动的规律

二、正课讲解例题

[例 1] 如图 1(a), 一质量 m 带电量 $+q$ 的粒子静置于电容器 A 板附近 (粒子重力不计), A、B 两板间距为 d , 现给电容器加上图 1(b) 所示的交变电压, 且设 $t=0$ 时, A 板的电势高于 B 板电势。为使粒子打到 B 板上动能最大或

最小，图 1 (c) 中电压的周期应满足什么条件？

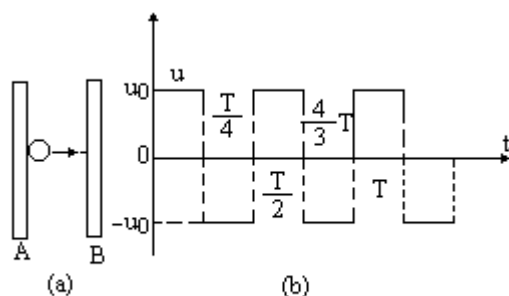


图1

析与解：

(1) 带电粒子的受力特征

由图1 (b) 知，在所有 $\frac{T}{4}$ 的奇数倍时间内，粒子受的电场力均为 $F = \frac{qU_0}{d}$ ；所有 $\frac{T}{4}$ 偶数倍时间内，粒子受的电场力大小变为 $F = \frac{qU_0}{d}$ ，方向则相反。仅在相邻的两个 $\frac{T}{4}$ 内，电场力做量值相等、方向相反的变化)

(2) 带电粒子受的电场力与运动状态的关系

第一个 $\frac{T}{4}$ 内，粒子做初速度为零，加速度 $a = \frac{qU_0}{md}$ 的匀加速直线运动，位移 $s_0 = \frac{1}{2}a(\frac{T}{4})^2$ ，末速度 $a \cdot \frac{T}{4}$ ；第二个 $\frac{T}{4}$ 内，电场力等值反向，加速度亦同，粒子改做初速度为 $a \cdot \frac{T}{4}$ 的匀减速直线运动，位移 $s = (a \cdot \frac{T}{4}) \cdot \frac{T}{4} - \frac{1}{2}a(\frac{T}{4})^2 = s_0$ ，末速度为零；第三个 $\frac{T}{4}$ 内，粒子重复第一个 $\frac{T}{4}$ 内的运动；第四个 $\frac{T}{4}$ 内，粒子重复第二个 $\frac{T}{4}$ 的运动。整个一个周期内，粒子终沿板AB方向做变速直线运动，后一个周期重复前一个周期的运动，直至粒子打到 B 板上，其 $v - t$ 图像如图 1 (c) 所示。

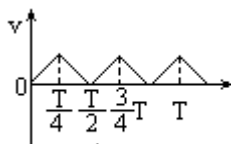


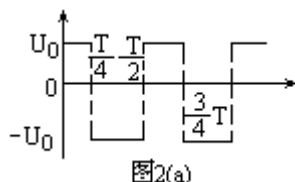
图1(c)

欲使粒子打到B板上动能最大，粒子在板AB间运动的时间应当为 $\frac{T}{4}$ 的奇数倍，相应的空间应当满足 $\frac{d}{s_0} = 2n+1$ ($n=0, 1, 2, \dots$)。即

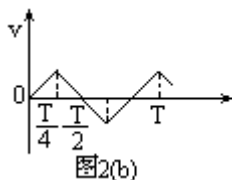
$$T = \sqrt{\frac{32md^2}{qU_0(2n+1)}} \quad (n=0, 1, 2, \dots)$$

同理，粒子打到B板动能最小的时间条件为 $\frac{T}{4}$ 的偶数倍，相应的空间条件为 $\frac{d}{s_0} = 2n$ ，（ $n = 1, 2, \dots$ ），即 $T = 4\sqrt{\frac{md^2}{qU_0n}}$ （ $n = 1, 2, \dots$ ）。

[例 2] 在例 1 中，将加在 A、B 两板间的电压改为如图 2 (a)，设电压变化的周期为已知，两板间距 d 为未知，其它条件不变，欲使粒子打到 B 板动能最大和最小，则 d 应满足什么条件？



析与解：粒子在第一、二个 $\frac{T}{4}$ 时间内的受力和运动状态的情况与例 1 相应的时间内情况相同；不同的是第三个 $\frac{T}{4}$ 内，粒子受的力和加速度与第二个 $\frac{T}{4}$ 内相同，因而粒子向原出发点（A 板）做初速度为零的匀加速直线运动，位移 $s = \frac{1}{2}a(\frac{T}{4})^2$ 。第四个 $\frac{T}{4}$ 内，粒子受的电场力大小不变，方向相反，加速度亦同，粒子向 A 板做匀减速运动，位移 $s = (a\frac{T}{4})\frac{T}{4} - \frac{1}{2}a(\frac{T}{4})^2 = s_0$ ，直至回到原出发点且末速度为零。如图 2 (b)，后一个周期重复前一个周期的运动，可见，只要 A、B 两板间距 $d > 2s_0$ 。粒子在 A、B 间做往复运动。



欲使粒子打在 B 板动能最大，则粒子只能运动 $\frac{T}{4}$ 时间，相应的 AB 两板间距 $d_1 = s_0 = \frac{1}{2}a(\frac{T}{4})^2 = \sqrt{\frac{qUT^2}{32m}}$ 。同理，粒子打到 B 板动能最小的运动时间为两个 $\frac{T}{4}$ ，即 $d_2 = 2 \times \frac{1}{2}a(\frac{T}{4})^2 = \sqrt{\frac{qUT^2}{16m}}$ （ $a = \frac{F}{m} = \frac{qU}{md^2}$ ）。

三、总结

形式上，带电粒子在周期性变化（指方向变化）的电场中的直线运动可以分为两类：

第一类，一个周期内，带电粒子受的电场力在第一、第三个 $\frac{T}{4}$ 时间内相同，在第二、第四个 $\frac{T}{4}$ 时间内相同，在相邻两个 $\frac{T}{4}$ 内做等值反向的变化。则

带电粒子做 $\frac{T}{4}$ 变速直线运动。

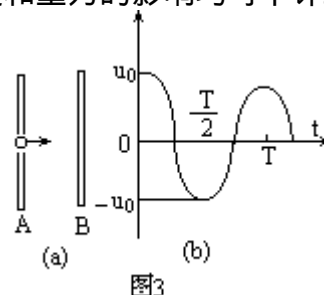
第二类，若电场力在第一、第四个 $\frac{T}{4}$ 时间内相同，在第二、三个 $\frac{T}{4}$ 时间内相同，从第一到第二和从第三到第四个 $\frac{T}{4}$ 时间内，电场力做等值反向的变化，则带电粒子做往复运动，速度大小和方向均发生变化（电容器两极板间距须大于一定的值，如小于该值，粒子只能做直线运动）。

四、拓宽

其它条件类似的问题，诸如粒子进入电场的初速度不为零或电场大小、方向均呈现周期性变化等，都可以参照以上两类情况分析、处理。

（1）带电粒子在大小、方向均呈现周期性变化的电场中的直线运动。

[例 3]（1993 年高考题）图 3（a）中 A、B 是一对中间开有小孔的平行金属板，两小孔的连线与金属板面相垂直，两极板的距离为 l ，两极板间加上低频交流电压，A 板电势为零，B 板电势 $u=U_0\cos t$ ，参见图 3（b）。现有一电子在 $t=0$ 时穿过 A 板的小孔射入电场，设初速度和重力的影响均可不计。



则电子在两极板可能（图 3（b）是笔者加的）。

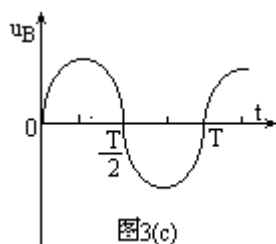
- （A）以 AB 间的某一点为平衡位置来回振动。
- （B）时而向 B 板反动，时而向 A 板运动，但最后穿出 B 板。
- （C）一直向 B 板运动，最后穿出 B 板，如果 l 小于某个值 l_0 ， l 小于某个值 l_0 。
- （D）一直向 B 板运动，最后穿出 B 板，而不论 l 、 l 为何值。

析与解：由图 3（b）可见，电场的变化具有对称性，因而电子受的电场力变化亦有对称性。在第一、第四个 $\frac{T}{4}$ 时间内，电场力方向相同、大小对称相等；在第二、第三个 $\frac{T}{4}$ 时间内，电场力方向相同、大小对称相等；从第一到第二和从第三到第四个 $\frac{T}{4}$ ，电场力方向相反，大小对称相等，故可以借用以上“第二类”情况的结论，即两板 A、B 间距只要大于某一值 l_0

$(l_0 = \sqrt{\frac{2qU_0}{m\omega^2}})$ ，电子在两板之间做往复运动，若两板间距小于 l_0 ，则电子只能做变速直线运动，所以选项 A、C 符合题意。

若把此例图 3（b）换为图 3（c）所示，其它不变。则可从参照以上“第

一类”情况分析，故只有选项 D 正确。



(2) 带电粒子进入电场的初速度不为零。

从运动的合成和分解的角度看，此情况可以当作带电粒子从静止开始进入电场的直线运动和一个匀速直线运动的叠加。因篇幅所限，此讨论略去。

教学实践表明，透彻分析带电粒子在电场中的受力特征，以及力和运动状态变化的关系，努力建立带电粒子在周期性变化的电场中做直线运动的力学模型，是帮助学生顺利解决有关电学问题的有效手段，也是巩固力学知识的良好方法。对促使学生融汇贯通掌握高中物理相关知识，提高其分析、解决问题的能力是大有裨益的。

“理想气体的状态方程”教案设计

【教学目的】

1. 理解理想气体状态方程的推导过程。
2. 掌握理想气体状态方程的物理意义。
3. 培养学生逻辑推理能力；用图像描述物理过程的能力。

【教学过程】

(一) 课题引入

我们在前面讲过了一定质量气体的两个实验定律和理想气体。在讲玻—马定律时，曾用 p — V 图描述一定质量气体的等温变化过程；在讲查理定律时，曾用 p — T 图描述一定质量气体的等容变化过程。也可以用图像的方法研究理想气体状态的变化过程，从而得到状态参量之间的关系。

(二) 教学程序

〔板画〕1. 在黑板上画出一个带活塞的气缸。

[讲解]这是一个理想的气缸，它的容积不会因为温度的变化而变化，活塞与气缸壁之间没有摩擦。这时气缸中封闭了一定质量的理想气体，理想气体的压强为 p_1 ，体积为 V_1 ，温度为 T_1 。

师：我们能不能用图像把理想气体的这个状态表示出来？

生：能。

〔板画〕在黑板上作出 V — T 直角坐标图，并点出 A 点。

[讲解]这个直角坐标系中，横坐标是热力学温度轴，纵坐标是体积轴。A 点的横坐标是 T_1 ，纵坐标是 V_1 对一定质量的理想气体而言，体积和温度一定了，那么它的压强也是一个确定的量，所以 A 点就表示了这时气缸中一定质

量理想气体的状态，我们叫它为状态 A。

师：现在我提一个问题，在图上 B 点表示这个气缸中的理想气体，经过变化后所处的另一个状态，它的压强是 p_2 ，体积是 V_2 ，温度是 T_2 ，大家通过图比较一下，状态 A 和状态 B，它们的体积、温度有什么不同。

生：体积减小了，温度升高了。

[设问]师：讨论一下，怎样才能使气缸中的理想气体体积减小，温度升高变化到 B 状态。

（让学生讨论 2 分钟左右）

[提问]师：我请几个同学谈谈，有几种办法能使气缸中气体由 A 状态变到 B 状态。

（在学生回答时要有启发和引导。）

[归纳]根据大家的讨论，归纳出以下几种办法。

（1）先保持气体的温度不变，增加压强使体积减小到 V_2 ，然后再保持体积不变，加热使温度增加到 T_2 。就是说经一个等温变化，再经一个等容变化。（在图上指出变化过程）

（2）也可以先保持体积不变，加热使温度增加到 T_2 ，再保持温度不变，加压使体积减小到 V_2 。就是先经一个等容变化，再经一个等温变化。（在图上指出变化过程）

（3）还可以使气体的体积、温度、压强同时变化，直接从 A 状态变化到 B 状态。（在图上指出变化过程）

（4）还可以通过其他过程使气体从状态 A 变化到状态 B。（在图上指出其他 3 种以上变化途径。）

就是说，一定质量的理想气体从一个状态变化到另一个状态，是可以经过不同途径的。那么各个状态参量之间是否有某种联系？我们不妨按第一种办法，先经等温过程，再经等容过程使气体从状态 A 变化到状态 B，来研究一下一定质量的理想气体在不同状态下，它的三个参量之间的关系。

[板画]2. 在 $V-T$ 图上作出 AC 线段，并标出 C 点，打上箭头表示变化过程。

[讲述]线段 AC 表示气缸中一定质量的理想气体，在温度不变的情况下由状态 A 变化到状态 C，使它的体积变为 V_2 。

师：大家思考一下，我们怎样才能使它的体积在温度不变的情况下减小到 V_2 。

生：从上面往下压——增加压强。

[讲评]师：这是正确的，但是要注意缓慢下压。为什么？

[板画]作出图 (c)。

[讲述]（1）我们用砝码表示增加压强，当压强增加到一定值时，气缸中气体的体积就由 V_1 变到 V_2 ，可见这时气缸中气体的压强增至 p_c 。（对基础差的班级可分析一下如何计算气缸中气体的压强。）

(2)在 C 状态时, 气体的压强为 P_c , 体积为 V_2 , 温度为 T_1 。[写在图(c) 气缸中]

(3) 由 A 状态变化到 C 状态是等温变化, 它应遵从玻—马定律。

[板书] $p_1V_1=p_2V_2\cdots\cdots(1)$

[讲述]这时气体的体积已经变化到 V_2 , 必须经过一个等容变化, 使气体的温度由 T_1 升高到 T_2 。才能完成由状态 A 变化到状态 B。

[板画]3. 在 $V-T$ 图上作出 CB 线段, 并打上箭头。

[讲述、对话]师: CB 线段表示经等容变化, 气体由 C 状态变到 B 状态。那么面对实际的气缸我们怎样才能完成这个变化过程呢?

生: 加热。

师: 想一想, 当你加热时气体的体积是否膨胀, 若膨胀了, 体积就变化了, 那又怎样才能保持体积不变呢?

生: 一面加热, 一面加压。

师归纳: 对, 我们必须通过加热使气体的温度升高到 T_2 , 同时加压使它的体积保持不变。

[板画]在黑板上作出图(d)。

[讲述]图中画有两个砝码表示我们通过加热加压, 使理想气体的温度达到 T_2 , 体积为 V_2 , 它的压强也变到 p_2 。(在基础较差的班要加以说明, 一定质量的理想气体, 两个参量确定了, 第三个量也一定是确定的值。)这样气缸中的理想气体就完成了从状态 A 变化到状态 B。

从状态 C 变化到状态 B 是等容变化, 它应该遵从查理定律。

[板书] $\frac{P_c}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \cdots\cdots(2)$

由(1)式可得: $P_c = \frac{p_1V_1}{V_2}$,

将 P_c 代入(2)中整理(略)

得到: $\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$

[讲述]从等式中可以看出, 状态 A 的压强和体积的乘积与热力学温度的比值等于状态 B 的压强和体积的乘积与热力学温度的比值。就是说这个比值一定等于一个确定的数。

[板书] $\frac{pV}{T} = \text{恒量}$

[讲述]我们要注意的是对于某一定质量的理想气体这个恒量是一个确定的值, 对于不同的理想气体这个恒量也不同。我们把这个式子叫做理想气体状态方程。

[板书]“理想气体的状态方程”(写在黑板左上角课题的位置上)

[讲解]这个方程是以一定质量的理想气体为前提的, 所以它只适用于一定质量的理想气体。

(徐廷俊)

“ 电场 ” 复习教案设计

【学生情况分析】在学习电场一章时，学生感到对电场力、电场强度、电势、电势能概念理解不深，运用这些知识判断电场力的性质、判断场强的大小和方向、判断电势高低、判断电势能的大小有一定的困难。

【教学目标】

1. 进一步理解电场力、场强、电势、电势能概念。
2. 能掌握判断电场力性质、场强的大小和方向、电势高低、电势能大小的规律，并运用其规律解决一些物理问题。
3. 培养学生的思辨能力。

【教学重点和难点】掌握上述判断规律。

【教学方法】主要采用师生谈话及讲练结合的方法。体现以学生为主体、以教师为主导、以训练为主线的精神。

【教学时间】一课时。

【教学内容、过程和方法】师（引入）：我们从力的观点研究电场，得到了库仑定律和电场强度的概念。从能的观点研究电场，得到了电势、电势能的概念。在应用这些知识解决物理问题时，同学们暴露出对这些知识理解尚不深刻，因而往往出错。为此，我们安排这一堂复习课，专门复习、巩固这些知识。

电场复习课（板书）

（师生谈话讨论）：

1. 判断电场力的性质（板书）：

方法一，从电荷的性质分析，若同种电荷，则为斥力；若异种电荷，则为引力。

方法二，将 q_1 、 q_2 带符号代入 $F = \frac{q_1 q_2}{r^2}$ 计算，若 $F > 0$ ，则为斥力，若 $F < 0$ ，则为引力。

（课堂练习）（用小黑板或幻灯片出示，出示方法下同。师生讨论。）

[题 1] 两点电荷 A、B 所带电量分别为 q_A 、 q_B ， $m_A < m_B$ ，用 F_A 、 F_B 分别表示 A、B 所受的静电力的大小，则：

(A) 因为 $q_A < q_B$ ，所以 $F_A > F_B$ ；(B) 因为 $q_A > q_B$ ，则 $m_A < m_B$ ，所以 F_A 与 F_B 的大小不能确定。(C) 若选 F_A 的方向为坐标正方向，则 F_B 为负值，所以 $F_A > F_B$ 。(D) 不管两点电荷的各自属性如何， F_A 与 F_B 大小总是相等的。

答：[D]

师归纳：注意 —— 不论电场力的性质如何，同样遵守牛顿第三定律。

[题 2] 在 x 轴上有三个电量分别为 +10 微库、-20 微库、-10 微库的电荷 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 ，它们的坐标分别为 $x_1=0$ ， $x_2=5$ 米， $x_3=15$ 米，则 Q_2 所受的静

电力大小为__牛顿，方向__。

分析与解：由 $F = \frac{q_1 q_2}{r^2}$ 算得， Q_2 受 Q_1 电场力 $F_1 = 7.2 \times 10^{-2}$ 牛，方向为沿 x 轴负方向(引力)。 Q_2 受 Q_3 电场力 $F_2 = 1.8 \times 10^{-2}$ 牛，方向为沿 x 轴负方向(斥力)。 $F = F_1 + F_2 = 9.0 \times 10^{-2}$ 米，方向为沿 x 轴负方向。

师归纳：注意 —— 当一电荷受到几个电荷作用时，其所受电场力为几个电荷对该电荷所施电场力的合力，遵循矢量求和法则。

(师生谈话讨论)。2. 判断电场强度的大小和方向(板书)：

(1) 判断电场强度大小：

方法一，由定义式 $E = \frac{E}{q}$ 决定。

方法二，在匀强电场中，场强处处相等。还满足 $E = \frac{U}{d}$ 。

方法三：在点电荷电场中， $E = \frac{kQ}{r^2}$ 。

方法四：电力线密处场强大，电力线疏处场强小。

(2) 判断电场强度方向：

方法一：规定正电荷受力的方向即是该点的场强方向。

方法二：电力线上每一点的切线方向即是该点的场强方向。

方法三：场强的方向是指向电势降低最快的方向。

注意：

电场强度与检验电荷存在与否无关。

计算合场强遵循矢量求和法则。

[课堂练习](师生讨论)

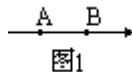
[题3]是非题：

若处在某点的检验电荷不受任何力的作用，则该点的电场强度必为零。(×)

在点电荷 - Q 的电场中，场强的方向总是跟负电荷所受电场力的方向相反。()

沿电力线方向，场强一定越来越小。(×)

[题4] 图1为某一电场中的一条电力线，在这条直线上有两点(A、B)，用 E_A 、 E_B 表示 A、B 两处场强的大小，则：



(A) A、B 两点的电场强度方向相同。(B) 电力线从 A 指向 B，所以 $E_A > E_B$ 。(C) A、B 在一条电力线上，且电力线是直线，所以 $E_A = E_B$ 。(D) 不知 A、B 附近电力线分布情况， E_A 和 E_B 大小不能确定。答：[A、D]

(师生谈话讨论)：3. 判断电势高低：(板书)

规定：无限远处的电势为零。电势的正负和大小是相对的，电势差的值是绝对的。实例：在 +Q 的电场中， $U > 0$ ；在 - Q 的电场中， $U < 0$ 。

方法一：根据场强方向判断：电势降低最快的方向即为场强的方向。

方法二：根据电力线方向判断：顺着电力线的方向电势越来越低。

方法三：根据电势差判断：若 $U_{AB} > 0$ ，则 $U_A > U_B$ ；若 $U_{AB} < 0$ ，则 $U_A < U_B$ ；若 $U_{AB} = 0$ ，则 $U_A = U_B$ 。

方法四：将 ϕ 、 q 带符号代入 $U = \frac{\phi}{q}$ 计算判断。

注意：

电势与检验电荷存在与否无关。

计算合电势遵循代数和法则。

(课堂练习)(师生讨论)

[题5]是非题：

沿电力线方向，电势一定越来越低。()

在电场中的导体上各点的电势相等。()

在电场力作用下，负电荷一定从电势高的地方向电势低的地方移动。

(×)

[题6]将一正电荷从无穷远处移入电场中M点，电场力做功为 8×10^{-9} 焦耳，若将另一等量的负电荷从无穷远处移入电场中N点，电场力做功为 -9.0×10^{-9} 焦耳，则下列判断正确的是

(A) $U_M < U_N < 0$ 。(B) $U_N > U_M > 0$ 。

(C) $U_N < U_M < 0$ 。(D) $U_M > U_N > 0$ 。

答：[C]

分析与解：先根据移至M点判知电场的性质为负电荷Q的电场。再由 $U = \frac{W}{q}$ ， $|U_N| > |U_M|$ ，且 $U < 0$ ，故 $U_N < U_M < 0$ 。正确答案为[C]

(师生谈话讨论)：4. 判断电势能的大小：(板书)

规定：无限远处的电势能为零。电势能的正负和大小是相对的，电势能的差值是绝对的。

方法一：根据电场力做功的正负判断。若电场力对移动电荷做正功，则电势能减少；若电场力对移动电荷做负功，则电势能增加。

方法二：将 q 、 U 带等号代入 $E_p = qU$ 计算判断。

注意：电势能是电荷和电场所组成的系统所共有的。

计算电势能遵循代数和法则。

(课堂练习)(师生讨论)

[题7]是非题：

电荷在电场中只能向着电势能低的地方跑。(×)

一个初速度为零的电荷放在电场中，不论是正电荷还是负电荷，都向着电势能低的地方跑。()

无论正电荷还是负电荷，当它在电场中移动时，若电场力做正功，它一定是从电势高的地方移动电势低的地方，并且它的电势能一定减少。(×)

(课堂练习) (小综合练习。师生讨论)

[题 8] 画出图 2 中 A、B 两点场强的方向，并比较 A、B 两点场强的大小和电势的高低。

分析与解：电场强度方向(略)。(a) 由 $E=kQ/r^2$ 知， $E_A=E_B$ 。由 $U=\frac{W}{q}$ 知， $U_A=U_B$ 。(b) 由电力线疏密程度知 $E_A < E_B$ 。由电力线方向知 $U_A > U_B$ 。(c) 在匀强电场中， $E_A=E_B$ 。由电力线方向知 $U_A > U_B$ 。(d) 由求合场强知 $E_A < E_B$ 。由求电势代数和知 $U_A=U_B$ 。

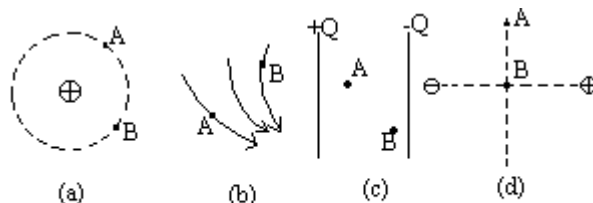


图2

[题 9] 一正电荷在电场中沿某一线方向从 A 点移动到 B 点，在此过程中有可能的是 (A) 电场力大小保持不变。(B) 电荷克服电场力做功。(C) 电荷的电势能不断减小。(D) $U_A < U_B$ 。答：[A、C]

[题 10] 下列陈述中正确的是

(A) 根据 $W=qU$ ，在电场中的任意两点间移动单位电荷，电场力做功的大小与这两点间电势差成正比。(B) 根据 $U=Ed$ ，在匀强电场中，任意两点间的电势差与这两点间的距离成正比。(C) 根据 $E=\frac{F}{q}$ ，电场强度的大小与电荷所受的电场力成正比，和电荷所带电量成反比。(D) 根据 $W=qU$ ，电荷所在处的电势越高，它具有电势能越多。答：[A]

【布置作业】

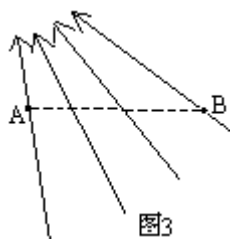
1. 整理电场知识体系。

2. 思考题：

[题 1] 设 A、B 是电场中的两点，有关 A、B 两点的电场强度和电势的关系，下列说法中正确的是

(A) 若 $E_A=E_B$ ，则 $U_A=U_B$ 。(B) 若 $U_A=U_B$ ，则 $E_A=E_B$ 。(C) 若 $E_A > E_B$ ，则 $U_A > U_B$ 。(D) 若 $U_A > U_B$ ，则 $E_A > E_B$ 。(E) 上述关系都不一定正确。答：[E]

[题 2] 某带电粒子只受电场力作用下从 A 向 B 运动。其轨迹如图 3 所示，由此可以断定



(A) 该粒子一定带正电。(B) 粒子在 A 的功能一定大于在 B 的功能。

(C) A 点的电势比 B 点电势低。(D) 粒子在 A 的加速度大于在 B 的加速度。

答：[C、D]

“电势”三环节教案设计

1. 运用类比法，化抽象为具体

类比是沟通新旧知识的桥梁，是培养学生科学思维能力的有效手段之一，在教学中适时而恰当地运用类比，常可化抽象为具体，在复习旧知识中教学新内容，使新知识既有“似曾相识”的亲切感，又觉得新鲜，不是重复，课堂教学生动活泼。

复习地面附近的重力场中重力势能、重力势 (gh) 的概念，重力做功与重力势能变化的关系；运用类比法，明确电场中电势能、电势的概念，电场力做功与电势能变化的关系。

重力场	电场
物体在重力场中某位置具有重力势能 ($E_p=mgh$)。	电荷在电场中某位置具有电势能 ($=qU$)。
物体在重力场中某位置的重力势能在数值上等于物体从这一位置移到重力势能为零处重力所做的 (正或负) 功。	电荷在电场中某位置的电势能在数值上等于电荷从这一位置移到电势能为零处电场力所做的 (正或负) 功。
重力对物体所做的功跟物体运动的始末位置有关，跟物体运动的路径无关。	电场力对电荷所做的功跟电荷移动的始末位置有关，跟电荷移动的路径无关。
重力对物体做正功时，物体的重力势能减少；重力对物体做负功时，物体的重力势能增加。	电场力对电荷做正功时，电荷的电势能减少；电场力对电荷做负功时，电荷的电势能增加。
物体在重力场中某位置，其重力势能与质量的比值为定值 (称为重力势)，即 $E_p / m=gh$ ，跟物体的质量无关，只跟物体在重力场中的位置有关。	电荷在电场中某位置，其电势能与电量的比值为定值 (称为电势)，即 $/ q=U$ ，跟电荷的电量无关，只跟电荷在电场中的位置有关。
一般规定，无穷远处或地面的重力势能为零，则重力势也为零。	一般规定，无穷远处或地面的电势能为零，则电势也为零。

2. 采用对照法，推陈出新

电场强度和电势是描述电场性质的两个重要的基本概念，在电势教学中，从复习电场强度的概念、性质出发，进行对照，引出电势的概念、性质，

这样，通过概念、性质的相似性比较，相反性对照，不仅可以使学生掌握知识的网络，弄清概念之间、性质之间的细微差异，使繁复的知识系统化，把看似独立的概念、性质以某种内在形式联系起来，在更深层次上认识它们的本质所在；而且还能为学生进行创造性思维提供有利的条件。

电场强度	电势
把检验电荷放入电场中某位置，电荷受到电场力的作用。	把检验电荷放入电场中某位置，电荷具有电势能。
检验电荷在电场中某位置，所受的电场力与电荷电量的比值为定值（称为电场强度），即 $F/q=E$ 。	检验电荷在电场中某位置，所具有的电势能与电量的比值为定值（称为电势），即 $W/q=U$ 。
电场强度由场源电荷和电场中位置所决定，跟检验电荷的电量和检验电荷所受到的电场力无关。	电势由场源电荷和电场中位置所决定，跟检验电荷的电量和检验电荷所具有的电势能无关。
电场强度是矢量，是反映电场的力的性质的物理量。	电势是标量，是反映电场的能的性质的物理量。
在正的点电荷所产生的电场中，离开正电荷越远，电场强度越小，电势越低；无穷远处的电场强度为零，电势（理论上）也为零。	
在负的点电荷所产生的电场中，离开负电荷越远，电场强度越小，电势越高；无穷远处的电场强度为零，电势（理论上）也为零。	
在匀强电场中，跟电场方向垂直的平面都是等势面，由 $U=Ed$ 可知，两个等势面间的距离越大，则它们的电势相差也越大，而各点的电场强度都相同。	
在静电平衡条件下，导体中各点的电势都相同，导体表面为一等势面，整个导体为一个等势体。等势体的内部电场强度处处为零，但它的外表面（等势面）上的电场强度总是跟该等势面垂直。	
在任何情况下，电场强度的方向就是电势降落的方向。	

3 明确规律，理顺关系

电势能的变化、电势的高低、电势的正负、电势能的正负等都有一定的规律可循，而电势的高低跟电场强度的方向之间、电势的正负跟电荷电势能的正负之间、电荷电势能的变化跟电场力对电荷做功之间也都存在联系。因此，在电势教学中，掌握几条基本而实用的规律，以及它们之间的关系，并能灵活应用，这对于正确分析、理解静电学中有关知识无疑会带来很大帮助。

（1）电势能变化规律

电场力对电荷（不管是正电荷还是负电荷）做正功，电荷的电势能减少；

电场力对电荷做负功，电荷的电势能增加。

(2) 电势高低规律

顺电场强度方向电势降低，逆电场强度方向电势升高，跟有否检验电荷或检验电荷的正负无关。例：

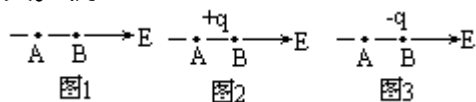


图 1 所示，电场中有 A、B 两点，根据电势高低规律，即可知 B 点的电势比 A 点的电势低 ($U_B < U_A$)。

图 2 所示，正检验电荷在电场中由 A 点运动到 B 点电场力做正功，电势能减少，即 $e_B < e_A$ 。两边同除以 $+q$ ，得 $\frac{e_B}{+q} < \frac{e_A}{+q}$ ，即 $U_B < U_A$ 。

图 3 所示，负检验电荷在电场中由 A 点运动到 B 点，电场力做负功，电势能增加，即 $e_B > e_A$ 。两边同除以 $-q$ ，得 $\frac{e_B}{-q} < \frac{e_A}{-q}$ ，即 $U_B < U_A$ 。

(3) 电势正负规律

一般规定，无穷远处或大地的电势为零。

孤立电荷形成的电场，规定无穷远处的电势为零。因此，孤立正电荷形成的电场中，各点的电势均为正值；孤立负电荷形成的电场中，各点电势均为负值。

带电平行板电容器形成的电场，规定大地为零电势。所以，负极板接地时，板间电场中各点电势均为正值；正极板接地时，板间各点电势均为负值。

(4) 电势能正负规律

根据电势能与电势的关系 $e = qU$ 可判断：

电势为正 (U^+)：检验电荷为正 (q^+) 时，电势能为正 (e^+)；检验电荷为负 (q^-) 时，电势能为负 (e^-)。

电势为负 (U^-)：检验电荷为负 (q^-) 时，电势能为负 (e^-)；检验电荷为正 (q^+) 时，电势能为正 (e^+)。

也可根据电势能变化规律进行判断。

“静电平衡”难点突破教案设计

“静电平衡”是静电场中一个比较难教和难学的知识点，一些学生在学习这部分知识时，只知道死记硬背几个性质和规律。即“处于静电平衡时的导体。其内部场强处处为零，且导体是一等势体，它的表面是一个等势面；处于静电平衡时的带电导体，电荷只能分布在导体表面上等。”尽管性质、规律记得熟悉，但一遇实际问题就觉得束手无策。其根本原因是对于处于静电平衡时的导体其性质和规律理解不深刻。对其实质分析不透彻。所以考试遇

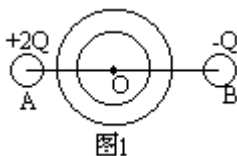
到这类试题就无从下手，失分率很高，形成了静电场部分的一大难点。笔者也常见杂志上有关于此类习题的分析和解疑。很受启发，本文就如何从根本上帮助学生解决学习静电平衡时的困难，提出自己的一些见解，以给他们一点启迪。

要突破静电平衡教学中的难点，应该从电场叠加原理和电势叠加原理着手，阐明它在静电平衡中的作用以及它们在实际问题中的运用，来增强学生分析和解决问题的能力及应变能力。下面就从这两方面来加以阐述。

一、电场叠加原理在静电平衡中的作用和运用

导体处于静电平衡状态时，其内部场强为零，应指导学生理解是外部电荷产生的场强与感应电荷产生的场强叠加的结果，其合场强为零，它反映了电荷的独立作用原理。因场强为矢量，所以场强叠加应为矢量和，但应该注意为相互作用稳定后场的叠加。学生往往对此认识不深刻，只记住导体处于静电平衡时内部场强为零，未弄清是外加场和感应场的叠加的结果，如 1986 年高考试卷中有一道填空题，求处于静电平衡时导体上感应电荷在导体中点的场强，绝大部分考生的答案都填零，导致此结果的原因就在于此。下面具体通过两例来加以分析和说明。

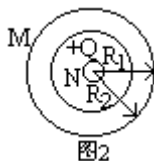
[例 1] 在真空中有两个点电荷 A 和 B，电量分别为 $-Q$ 和 $+2Q$ ，它们相距为 L 。现在两电荷连线中点 O 处放一半径为 r ($2r < L$) 的空心金属球，且球心位于 O 处，如图 1 所示，则金属球上感应电荷在 O 处的场强大小为____，方向为_____。



[分析] 将导体壳放在 $+2Q$ 与 $-Q$ 的场中，由于静电感应，在导体壳左侧面将感应负电荷，导体球壳的右侧面将感应正电荷，根据导体静电平衡的性质可知 $E_{外} + E_{感} = 0$ 。而本例求的是 $E_{感}$ ，所以只要把 $+2Q$ 与 $-Q$ 的合场强 $E_{外}$ 求出，即可知 $E_{感}$ 的大小，其方向与 $E_{外}$ 方向相反。

[例 2] 如图 2 所示，在原来不带电的有一定厚度的金属球壳 M 内，放一带 $+Q$ 的导体球 N，当 N 居空腔中移动时（与 M 不接触），下列说法正确的是

- A. 因球壳内场强为零，N 在壳内移动时，对壳内空腔处场强无影响；
- B. 因金属球壳层场强为零，N 在壳内移动时，对壳层的场强无影响；
- C. N 在壳内移动时，对壳内空腔处场强有影响；
- D. N 在壳内移动时，对壳外空间的场强无影响。



[分析] 球壳内的 $+Q$ 将使导体壳发生静电感应，使其内表面感应 $-Q$ ，外

表面感应+Q。当 N 在壳内移动时，内表面感应的 - Q 分布也随之改变，而壳外表面感应的+Q 分布情况不变，稳定后，金属球壳内、外场强分布也一定，它们应是场电荷 Q 与壳内、外表面感应的 - Q 与+Q 分别产生场强而叠加的结果。根据高斯定理可知，导体壳内场强仅由壳内场电荷+Q 决定，当 N 移动时，壳内场强 $E = k \frac{Q}{R^2}$ ($R < R_1$) 也随之而改变；导体壳层内的场强应由壳内+Q 和壳内表面感应的 - Q 共同确定。由于在导体壳内内+Q 的场强与感应的 - Q 的场强大小相等、方向相反，叠加的结果，其合场强为零，故壳层内场强不受 N 在壳内移动而改变；壳外场强在导体壳处于静电平衡时应由场电荷 Q 和导体壳内、外表面感应的 - Q 和+Q 共同决定。由于+Q 和壳内表面感应的 - Q 在 $R > R_1$ 的区域合场强为零，所以在 $R > R_2$ 的空间场强叠加的结果仅由壳外表面感应的+Q 决定，由外表面感应的+Q 均匀分布，故 N 在空腔内移动对壳外场强无影响。所以本例答案应为 B、C、D。

二、电势叠加原理在静电平衡中的作用和运用

导体处于静电平衡时，其导体是一等势体，对这一性质，教者应指导学生理解其实质，即外加电荷产生的电势与感应电荷产生的电势在导体内部(包括空腔)及表面相叠加，使得整个导体成为一等势体。由于电势是标量，通常取无穷远处电荷的电势为零，或取大地电势为零，则在正电荷周围产生的电势为正值，负电荷周围产生的电势为负值，所以电势叠加应为它们的代数和。下面也通过两例来加以说明。

[例 3]如图 3 所示，把带正电的金属球 A 放在绝缘支座上，其附近另一绝缘支座上放一不带电的导体 B，导体 B 上的自由电子将重新分布，平衡时，它的左端聚集负电荷，右端聚集正电荷，设地球电势为零，则下列说法正确的是

- A. 导体 B 各点电势均等于零；
- B. 导体 B 各点电势均高于零；
- C. 导体 B 各点电势均低于零；
- D. 导体 B 左端电势低于零，右端电势高于零；
- E. 用导线把 B 的左端与地球相连，将有负电荷沿导线迁移到 B。

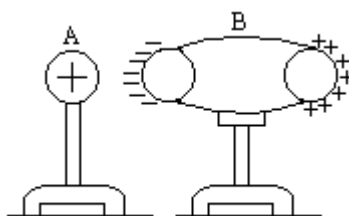


图3

[分析]导体 B 处在导体 A 的电场中，当静电平衡时，导体 A 所带正电荷和导体 B 上感应的正、负电荷产生的电势在导体 B 上相叠加，由于导体 A 带正电荷，导体 B 上感应的正电荷在导体 B 处电势为正值，导体 B 上感应的负电荷在导体 B 处产生的电势为负值，所以它们叠加的结果使导体 B 为一等势

体,且 $U_B > 0$ 。所以,上述 A、C、D 项均不正确。当导体 B 的左端接地,因为大地电势为零,地球与导体 B 连成一片,所以 U_B 亦等于零。从电势叠加角度分析,由于接地前 $U_B > 0$,接通时,大地与导体 B 之间产生了电势差,负电荷从电势低处移到高电势处与 B 上的正电荷中和,这样导体 B 上只剩下左端的感应负电荷。因此,A 上所带正电荷在导体 B 处产生的电势为正值,而 B 左端感应的负电荷在导体 B 处产生的电势为负值,它们在导体 B 处相叠加,使得导体 B 大地等势,即 $U_B=0$ 。这样分析,就可使学生对导体 B 为一等势体且接地后与大地等势这一问题理解较为透彻,对于用导线接导体 B 的中部和右端对结果有无影响的问题,就会根据上述分析很快得到结论而不会有什么疑问了。

[例 4]如图 4 所示,一个带正电的绝缘导体球壳 A,顶部开一小孔,有两个带正电的小球 B 和 C,用导线相连接,让 B 球置于球壳中,并与内表面接触一下后又提起到如图所示位置,C 离 A 球较远,则正确的说法是

- A. B、C 球都带电;
- B. B 球不带电;
- C. 若 C 球接地后,则 B 带负电;
- D. 若 C 球接地后,则空腔内场强为零。

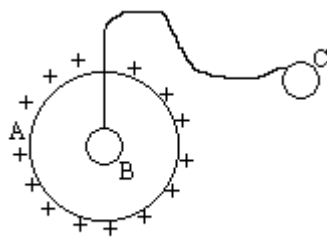


图4

[分析]当 B 与 A 接触后,A、B、C 连为一体,由导体静电平衡性质可知,A、B、C 为一等势体,且 B 不带电。从电势角度分析,C 离 A 较远,A 外表面所带正电荷在 C 处产生的电势比 U_A 小,所以,只有 C 带正电,才能使得 A 外表面上所带正电荷与 C 上所带正电荷在 C 处产生的电势代数和等于导体 A 的电势,构成等势体,因此,答案 A 不正确,B 正确。当 C 接地后,B、C 与大地连成一体,使得 $U_B=U_C=U_{地}=0$ 。在接地的瞬间由于存在电势差,大地上的负电荷沿导线与 C 所带的正电荷中和,使得 C 球不带电。因 A 壳外表面所带正电荷在 B 处产生的电势为正值,故只有导体球 B 带负电,才能使得 A 和 B 上所带的正、负电荷在 B 处产生的电势代数和为零。同理,它们在 C 球处产生的电势的代数和也为零。根据上述分析,在 C 球接地的过程中,有部分负电荷通过导线移到了导体 B 上,使得 B 球带上了负电,故球壳内场强不为零。所以,答案 C 正确而 D 不正确。

综上所述,在进行静电平衡教学时,强调和突出两个叠加原理在处理静电平衡时的作用及应用,是解决这一难点的关键。它可以使学生对导体处在静电平衡时的性质理解更加透彻,遇到静电平衡中的问题,首先从两个叠加

原理着手分析，可使许多问题迎刃而解。当然，在处理静电平衡问题时，还要结合其它一些分析方法，如电力线分析法；电荷排斥吸引法；电势差分析法等多种方法结合使用，可使学生对这部分知识理解更加深刻，掌握更加牢固，在分析和处理问题时能做到举一反三，触类旁通。

(刘灿荣)

“电动势”教案设计

【教学目的】使学生确认电动势是表征电源特性的物理量；知道电动势的大小等于外电路断开时电源两极间的电压，也等于外电路接通时内外电压之和；初步从能量转化的角度理解电动势的物理意义。

【教具准备】不同型号的干电池若干；手摇发电机一台；太阳能电池一只；可调高内阻蓄电池一只；示教电压表(0~2.5V)两只；滑线变阻器(0~50)一只；电容器(440 μ F/25V)一只；2.5V，小电珠两只；电键、导线等。

【教学过程】

一、电源的特性

1. 提问

(1) 在导体中产生电流的条件是什么？

(2) 将小电珠接在充过电的电容器两端，会有电流产生吗？为什么小电珠只闪亮一下就熄灭了？

(3) 使导体中形成持续电流的条件是什么？持续的电压可由什么装置来提供？

通过以上复习提问，明确电源的特性：在电源两极间保持一定的电压。

(板书)

2. 演示

(1) 小电珠跨接在蓄电池两端而发光；

(2) 转动手摇发电机，使小电珠发光；

(3) 用100W白炽灯光照射太阳能电池，带动玩具电动机运转。

引导学生分析上述电源中的能量转化关系。蓄电池：化学能 电能；发电机：机械能 电能；光电池：光能 电能。从而指出，从能量转化观点来看，电源实际上就是一个“能量转换器”，由此揭示电源的特性；把其他形式的能转化为电能。(板书)

二、电源的电动势

1. 提出问题

电源具有保持电压和转化能量的特性。那么，如何来描述电源的特性呢？

2. 联想类比

前面学过，电场具有力和能的特性，那时是用什么方法描述电场特性的？

教师指出， E 和 U 都是物理量，用物理量去描述客观事物的特性，是研究物理的主要方法。例如，对于电场中某一确定点来说，它的场强与电势均是相应的定值，按照类似的思路，我们是否也可以找到这样一个只由电源本身性质所决定的物理量，从而利用它来描述电源的特性呢？

3. 观察思考

要求学生仔细观察干电池上的字样，并问：关于它们的特性，你能得出些什么线索来吗？让学生报告观察结果。又问：在这些结果中，你认为最能反映电池特性的是什么？肯定学生的回答，因为各种干电池尽管型号不同，但都标有“1.5V”字样，共同性往往体现了规律性。接着再问：你能说明这“1.5V”表示什么含义吗？

学生回答后，用示教电压表测量各种不同型号的干电池两极间的电压值，果然都是 1.5V。可见：同种电源两极间的电压相同。再分别测量蓄电池、手摇发电机和太阳能电源的两极间电压，结果表明：不同电源两极间的电压不相同。

4. 引出概念

由此看来，电源在两极能保持多大的电压，是完全由电源本身的性质（材料结构、工作方式等）决定的。对于确定的电源来说，它两端的电压是个定值；对于不同的电源来说，它们两端的电压也分别有相应的定值。

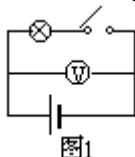
既然电源两极间的电压与它的特性有着如此密切的关系，可否就通过这个电压来反映电源的特性呢？回答应是肯定的。据此，我们引出一个新的物理量——电动势，它的数值就等于电源未接入电路时两极间的电压。（板书）

说明电动势常用符号 \mathcal{E} 表示，它的单位是伏。

三、电动势与内、外电压的关系

1. 激疑

将电流接入电路后再测两极间的电压，结果会如何呢？



演示：如图 1，闭合 K ，可见电压表示数减少；若在小电珠 L 两端再并接一只小电珠，则电压表示数又会进一步减少。这说明，随着电源外部电路的改变，其两极间的电压也随之变化。

对此现象，学生普遍感到意外，并急于了解其中原因。针对学生心态，可设问：你认为电源的电动势是变量还是恒量？

2. 猜想

(1) 先让学生围绕“减少的电压哪儿去了？”展开讨论，并鼓励他们进行合理的猜想。

会有学生提出，减少的这部分电压可能分布在电源的内部。因为他们感到，电源内部也许会有电阻存在，当电流通过时，将会受到阻碍作用，从而

在电源内部产生一定的电压。这种猜想是否合理？关键在于确认电源内部有电阻，对此，可通过演示来检验：将小电珠跨接在可调内阻蓄电池的两极，提高或降低可动挡板的位置（从而改变了电池内部溶液的截面积），可见电珠发光亮度随之变化，这就间接地说明了电源内部确实存在着电阻的作用。

（2）再启发学生进一步猜想：电流通过闭合电路时，在内、外电路都会有电压，那么，外电压 U 、内电压 U' 与电动势 这三者之间又有怎样的关系呢？

学生会根据闭合电路中内、外电路的串联关系，凭直觉就得出 $\mathcal{E} = U + U'$ 的猜测。对此，教师既要肯定学生猜想的合理性，更需指出，这一猜想的依据是过去所学的并联电路分压规律，它是否适用于今天这种包括电源在内的闭合电路，还有待于实验的检验。

3. 验证（1）介绍装置。重点说明内电压的测量，尤其是探针 a、b 的作用以及电压表 V' 的连接等。（关于 V' 表的极性，学生常常接反，如发现这种错误，可先不予更正，当实验中 V' 表的指针反偏时，再作强调，以加深印象。）

（2）说明方法。移动滑线变阻器的滑动触头，或者改变蓄电池挡板的位置，都可看到 V 和 V' 表的示数随之而变。这说明，无论改变外电阻 R 或内电阻 r ，都会引起电路中内、外电压的变化。对于这种含有多个变量的问题，我们可采用“控制变量”的方法，即在 R 与 r 中，先保持其中一个量不变，而只改变另一个量的大小，以便于实验。

（3）记录数据。将蓄电池的挡板固定在某一合适位置（即保持 r 不变），逐渐移动变阻器触头（改变 R ），由学生读出并画表格记录每次电压表 V 和 V' 的示数。

（4）分析结果，引导学生分析表列的实验数据，寻求其中规律。

4. 结论

通过上面的实验，证实了我们的猜想，正是由于内电压 U' 的存在，才使得电源两极间的电压 U 小于电动势 \mathcal{E} ，电动势是一个不受电源外部条件影响的恒量，用它可描述电源的特征。

我们根据实验结果，还可得出电动势的另一层含义，即：电动势的数值等于电路接通时内、外电压之和。（板书）

四、从能量转化角度理解电动势的物理意义

先对公式 $\mathcal{E} = U + U'$ 作些数字变换，将其两边同乘以电量 q ，得： $q\mathcal{E} = qU + qU'$ 。这个式子有什么新的物理含义呢？虽然，右端两项都是电场力做功的形式，它们的数值等于 q 库电量通过外电路与内电路时所消耗的总电能，根据能量守恒，式子左端 $q\mathcal{E}$ 就应该是电源所提供的电能了。如果我们考虑 $q=1$ 库的最简情况，则这时电源提供的电能就为 \mathcal{E} 焦，其数值正好等于电动势。由此看来，电动势的大小，也可以反映出电源把其他形式的能转化为电能的本领。

板书：电动势的数值等于电路中通过 1 库电量时电源提供的电能。

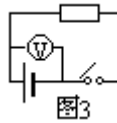
五、小结

这节课讨论了电源具有保持电压和转化能量的特性，而电动势是用来表征电源特性的重要物理量。我们通过特殊、一般和本质这样三个不同的层次，剖析了电动势的物理意义，

即：电动势等于 $\begin{cases} 1. \text{ 电源不接入电路时两极即：间的电压} & \text{(特殊)} \\ 2. \text{ 电源接入电路时内外电动势 等于电压之和} & \text{(一般)} \\ 3. \text{ 电路中通过1库仑电量时电源提供的电能} & \text{(本质)} \end{cases}$

六、作业（补充）

1. 一节干电池的电动势 $\epsilon = 1.5\text{V}$ ，你能说明它表示什么物理意义吗？
2. 如图 3 电路，当 K 断开时，V 表读数是 6V。



(1) 若 K 接通后，V 表读数变为 5V，则电源电动势 $\epsilon = ?$ 外电压 $U = ?$ 内电压 $U' = ?$ (2) 若 K 接通后，电路中的电流 $I = 0.5\text{A}$ ，则在 1 分钟内，电源提供了多少电能？

(吴加树)

“ 闭合电路欧姆定律 ” 教案设计

【 教学目的 】

1. 掌握闭合电路欧姆定律，提高分析问题的能力。
2. 掌握路端电压的变化规律，理解断路与短路两种特殊情况。

【 教学过程 】

一、 复习旧课

提问：电动势的物理意义是什么？它在数值上等于什么？

答：电动势是表征电源把其他形式的能转化为电能本领的物理量。电动势在数值上等于电路中通过 1 库仑电量时，电源提供多少焦耳电能。也可以说，电源电动势等于电源没有接入电路时两极间的电压。接入电路时，电源电动势等于闭合电路内、外电压之和。即

$$\epsilon = U + U'$$

二、 引入新课

[演示实验] 实验电路如图 1 所示。电源用干电池组，电键断开时，伏特表的示数等于电源电动势。电键闭合后，伏特表的示数小于电源电动势。再把变阻器的滑片自左向右移动，这时可以观察到：安培表的示数变大、伏特表的示数变小。反之，把变阻器滑片自右向左移动时，可以看到：安培表的示数变小、伏特表的示数变大。

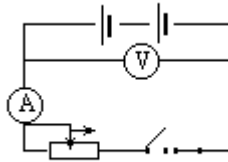


图1

(实验完毕, 提出问题) 怎样解释实验过程中观察到的现象? 闭合电路中的电流强度与路端电压究竟是怎样随着外电阻变化而变化的? 它们之间有什么样的定量关系? 这就是今天我们要学习的课题——闭合电路欧姆定律。

三、新课教学

1. 推导闭合电路欧姆定律的数学表达式(在教师的启发下, 引导学生完成)。

师: 上节课, 我们通过实验得到这个结论: 在闭合电路里, 电源电动势等于内、外电压之和, 即 $\mathcal{E} = U + U'$ 。现在设通过电路的电流强度为 I , 外电路的电阻为 R , 内电路的电阻为 r 。根据欧姆定律, 可以把公式 $\mathcal{E} = U + U'$ 进一步写成怎样的形式?

生: 根据欧姆定律, 外电压 $U = IR$, 内电压 $U' = ir$, 代入 $\mathcal{E} = U + U'$, 可以得出:

$$\mathcal{E} = IR + Ir$$

师: 我们要探讨电路里的电流强度 I 跟哪些因素有关? 有什么关系? 还需要把公式改变成怎样的形式?

生: 可以改写成
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

师: 好。这就是闭合电路欧姆定律的数学表达式。它表示: 闭合电路的电流, 跟电源的电动势成正比, 跟整个电路的电阻成反比。

师: 运用闭合电路的欧姆定律, 可以解释刚才实验中观察到的现象。当变阻器滑片自左向右移动时, 为什么安培表示数变大而伏特表示数变小?

生: 电源电动势 \mathcal{E} 和内电阻 r 是一定的。现在变阻器滑片自左向右移动, 外电阻 R 由大变小, 根据公式 $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$, 所以电流 I 变大。由于 $U = \mathcal{E} - Ir$, I 变大, Ir 变大, 所以外电压(路端电压) U 变小。

师: 解释正确。反之, 当外电阻 R 变大时, 电路里的电流 I 与路端电压 U 的变化情况, 同学们可以自己思考。闭合电路欧姆定律反映了电路里电流强度 I 与路端电压 U 随外电阻 R 变化的一般规律。

2. 讨论闭合电路的两种特殊情况。

师: 我们已经讨论了电路里电流强度与路端电压变化的一般情况, 现在讨论其中两种特殊情况: 断路与短路。先讨论断路, 当外电路断开时, 外电阻 R 变成无限大, 这时, 电流 I 与路端电压 U 变为多少?

生: 外电阻 R 变成无限大, I 变为零, Ir 也变为零, U 等于 \mathcal{E} 。

师：外电路断开时，路端电压等于电源电动势。我们用伏特表来测定电源电动势就是利用这个道理。虽然这时伏特表本身构成了外电路，但由于伏特表的电阻很大， I 很小， Ir 也很小，因此 U 和 \mathcal{E} 相差很小，只要不要求特别准确，用这个办法来测电动势很方便。

师：再讨论短路。用一根导线把电源两极直接连接起来，即发生短路。发生短路时，外电阻 R 趋近于零，这时，电流 I 与路端电压 U 变为多少？

生：外电阻 R 趋近于零，电流 I 变为无限大。

师：是无限大吗？好好想一想，要有根据。

生：哦。根据公式 $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$ ， R 趋近于零，电流 I 趋近于 $\frac{\mathcal{E}}{r}$ 。由于 $U = \mathcal{E} - Ir$ 所以路端电压 U 趋近于零。

师：对。发生短路时，电流不但取决于电动势，还取决于电源的内电阻。电源的内电阻一般都很小，所以短路时电流很大。电流太大不但会烧坏电源，还可能引起火灾。因此电路里要加保险丝预防短路。下面做个短路演示实验，以增强同学们的感性认识。

[演示实验]短路实验电路如图 2 所示。电源用蓄电池组（6V、2A），小灯泡的规格为“6V、0.3A”，两个并联。电路中加细保险丝以保护蓄电池，为增强演示效果，可将保险丝裸露着。图中虚线表示用一根导线将电源外电路短路。原先小灯泡正常发光。短路时，只见火花一闪，听见“啪”的一声，又见一股青烟冉冉升起，保险丝烧断了，灯也灭了。同学们饶有兴趣、全神贯注地观察着。教师排除短路故障后，接好保险丝，灯复明，同学们微笑了。

3. 分析路端电压 U 跟电流强度 I 的关系。

根据 $U = \mathcal{E} - Ir$ ，当 I 增大时， Ir 增大， U 就减小。当 I 减小时， Ir 减小， U 就增大。路端电压 U 变化的根本原因在于电源有内电阻 r 。可以设想，如果电源没有内阻（ $r=0$ ），不论电流怎样变化，路端电压可以不变，总是等于电源电动势。因此，对理想电源的要求是内阻要很小，使内电压很小，从而保证供电电压的稳定。路端电压跟电流强度的关系可以用 $U-I$ 图线直观地表示出来。在平面直角坐标系中，用纵轴表示路端电压 U ，横轴表示电流强度 I 。请同学们把 $U = \mathcal{E} - Ir$ 的图像画在笔记本上。（教师将此图画在黑板上，如图 3 所示。） $U = \mathcal{E} - Ir$ 是一次函数，其图像是一条直线。

师：请说明 $U-I$ 图线与两轴交点的物理意义。

生： $U-I$ 图线与纵轴交点表示：当 $I=0$ 时， $U = \mathcal{E}$ 。这是断路情况。图线与横轴的交点表示：当 $U = 0$ 时， $I = \frac{\mathcal{E}}{r}$ 。这是短路情况。

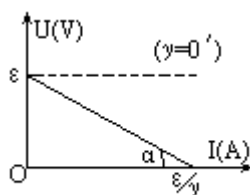


图3

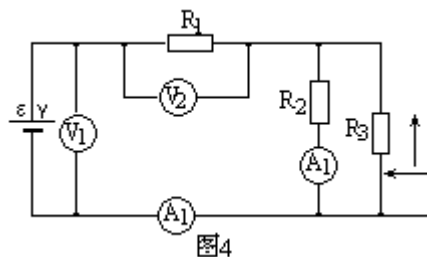
师：好。图线向下倾斜说明， U 随 I 的增大而减小。图线的倾斜程度反映什么物理意义？

生：设图线与横轴的夹角为 θ 。 $\tan \theta = \frac{\Delta U}{\Delta I} = -r$ 。因此直线的倾斜程度反映电源内电阻的大小。

师：回答很好。可以设想，如果电源内阻为零，则直线平行于横轴，这时路端电压不随电流变化。

4. 例题

电路如图 4 所示。试分析当变阻器滑片自下向上移动时，电路中四个电表示数的变化。



师：这道题谁想好了，请站起来回答。

生：当变阻器滑片自下向上移动时， R_3 的阻值变小，使外电阻 R 变小，根据闭合电路欧姆定律，电流强度变大，路端电压变小。所以，安培表 A_1 的示数变大，伏特表 V_1 的示数变小。根据欧姆定律，电阻 R_1 不变，通过它的电流变大，则 R_1 两端的电压变大，所以伏特表 V_2 的示数变大。而 R_2 两端的电压变小，通过它的电流变小，所以安培表 A_2 的示数变小。

师：分析得很好。再想一想，假定 $R_1=0$ ，当滑片移到最上端时，四个电表的示数又分别是多少？

生：当变阻器滑片移到最上端时，这时 $R_3=0$ ，外电路短路。四个电表的示数分别为：

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{r}, U_1 = 0, I_2 = 0, U_2 = \frac{\varepsilon}{r} \cdot R_2$$

师：回答正确。刚才两位同学进行了科学的推理，使问题得到正确的解答。从这道题可以看出，部分电路的电阻发生变化，引起闭合电路的电流与路端电压的变化；而闭合电路电流与电压的变化，又制约着部分电路电流与电压的变化。我们要学会运用闭合电路欧姆定律，结合部分电路欧姆定律来分析电路问题。

四、新课小结

1. 闭合电路欧姆定律是高中电学中重要规律之一。

要求同学们掌握其内容并会运用定律，分析电流强度、路端电压随外电阻的变化关系，以及路端电压跟电流强度的变化关系。根据： $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ 。其中

ε 、 r 是一定的， R 的变化，引起 I 、 U' 、 U 的变化：

$$R \quad I \quad U' \quad U$$

$$R \quad I=0, U'=0, U= \quad (\text{断路})$$

$$R \quad I \quad U' \quad U$$

$$R \quad 0, I = \frac{E}{r}, U' = \quad , U = 0 (\text{短路})$$

2. 初中物理讨论电路问题，不考虑电源内阻。

高中物理讨论电路问题，要考虑电源内阻。路端电压随外电阻变化而变化，其根本原因是由于电源有内阻。如果外电阻远大于内电阻，电源内阻忽略不计时，则路端电压不变，等于电源电动势。我们关心路端电压的变化情况，则关系到用电器能否正常工作的问题，这在实际应用中有现实意义。

五、布置作业

1. 完成课本 79 页习题：练习八（1）至（5）。

2. 预习学生实验：测量电源的电动势和内电阻。

3. 思考题：课本 77 页的例题介绍了一种测量电源电动势和内电阻的实验方法，练习八第 4 题又提供了一种用伏特表和安培表来测量的方法，你还能想出一种方法吗？

（课本为人民教育出版社，1987 年版高中《物理》下册）

【教学说明】

1. 这节课在电学课中占有重要地位。从知识的系统性来看，这是一节承上启下的课。上一节课讲电动势，得到公式 $E = U + U'$ ，为这节课的讲解打下基础；而这节课的学习又为下一节电池组、或安排学生实验（测量电源电动势和内电阻），作了准备。教案的设计，从复习旧课到引入新课，体现了知识的科学性与系统性。

2. 这节课的教学过程，教师试图从三个方面指导学生进行从一般到特殊的演绎推理，一是先掌握闭合电路电流变化的一般规律，再分析断路与短路两种特殊情况；二是先掌握一般电源路端电压的变化规律，再分析理想电源路端电压等于电动势的特殊情况；三是例题解答时，先分析外电阻由大变小引起电流变化的一般情况，再分析外电阻等于零（短路）时的特殊情况。希望学生对演绎推理有所领悟。

3. 我一贯主张中学物理教学应该以演示实验作为讲课的基础。从感性到理性，以符合学生的认识规律。这节课用演示实验、观察现象、提出问题来引入新课，教学效果较好。在教学过程中，“短路”演示实验是精彩的一笔。实验时，学生屏住声息、全神贯注。实验后，学生心领神会、脸露微笑。我用拟人化的手法，赞美保险丝“牺牲自己，保护全局”的精神，在黑板上写了这样两句诗：“化作青烟随风去，愿把安全留人间”。演示实验使物理教学的科学性与艺术性得到统一，而且渗透了德育教育。

4. 为了检查这节课的教学效果，我编了一道例题让学生讨论。通过讨论，让学生弄清楚在电路中各个物理量哪些量是不变的；哪个量是自变量（通常是外电阻）；哪些量是因变量。在分析各个量变化的因果关系过程中，要注

意推理的科学性。课本上例题可布置给学生自学。

(柴锡民)

“楞次定律”的比较法教案设计

【教学目的】用比较的方法得出“楞次定律”。

【课前准备】在每个学生的课桌上摆好仪器：灵敏电流计一个，螺线管一个，旧干电池一只，条形磁铁一根，导线若干。并准备小黑板一块，在上面画出四个示意图。如图1中(a)，(b)，(c)，(d)所示。

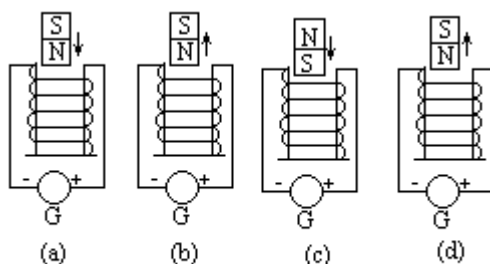


图1

【教学过程】

1. 引入课题

上节课我们已通过几个实验得出了产生感生电流的条件，而且观察到在不同情况下感生电流的方向是不同的。那么感生电流的方向与哪些因素有关呢？请同学们做下面的实验。

2. 学生实验

教师出示小黑板，交待实验目的和注意事项；

让同学们用旧干电池查明电流计指针的偏向与电流流向的关系（只能碰触）；察清螺线管导线的绕制方向；

按小黑板电路连接，

动手实验，将四种情况下电流计的偏向记入预先制好的表格中。（教师巡视指导，并掌握实验进程）

3. 师生共同比较、讨论，将结果画在小黑板上（见下面表）

教师问	学生答
你实验得出的电流计指针的偏向各是怎样的	(a) 向右；(b) 向左；(c) 向左；(d) 向右。
线图上的电流（感生电流）方向如何？	从正面看：(a) 向右；(b) 向左；(c) 向左；(d) 向右。
感生电流的磁场方向如何？	在线圈内部：(a) 向上；(b) 向下；(c) 向下；(d) 向上。
原来磁场的方向各是怎样的呢？	在线圈内部：(a) 向下；(b) 向下；(c) 向上；(d) 向上。

4. 抓住感生电流磁场和原磁场的方向再进行比较

问：比较 (a) 和 (b)，原磁场的方向都是向下，(c) 与 (d) 原磁场方向都是向上，但感生电流的方向为什么却相反呢？

答：因为 (a)、(c) 是原磁通量增加的过程，(b)、(d) 是原磁通量减少的过程。

问：比较 (a) 与 (c)，原磁通量都是增加，但感生电流方向相反，(b) 与 (d) 原磁通量都是减少，但感生电流的方向也相反，这又为什么呢？

答：因为 (a) 与 (c) 原磁场方向相反，(b) 与 (d) 原磁场方向也是相反。

小结：可见感生电流的方向与原磁场的方向及原磁通量的变化情况有关，它们之间有什么关系呢？

问：再比较 (a) 与 (c)，原磁通量都是增加的，感生电流的磁场方向与原磁场方向有什么关系？

答：相反。

问：又比较 (b) 与 (c)，原磁通量都减少，感生电流的磁场与原磁场的方向关系怎样？

答：相同。

至此，学生通过探索与比较，非常自然地找到了感生电流的方向与原磁场的方向及原磁场的变化情况所存在着的相互联系和相互制约的关系：感生电流的磁场总是阻碍引起感生电流磁场的变化的，从而也就找到了感生电流的方向，得出了楞次定律。

5. 让学生改变接线再实验，看上述结论是否正确。

6. 最后用楞次定律判断导线切割磁力线所生感生电流的方向，并与 §3 中用右手定则判断的相比较，为下一节《楞次定律的应用》打下基础。

这样做，学生学习兴趣浓，情绪高，课堂容量虽大，教与学颇感轻松愉快。

上好这节课还必须注意：实验线路要简单、清晰，较复杂的实验（如原副线圈）可留到实验课去做，这样才不会使学生忙乱不堪而抓不住主要的东西。课前要逐个检查仪器。检查中，我们除发现一些常规故障外，还发现不少螺线管标识线与实际绕向不符，个别磁铁极性标记不正确等。

“ 磁场对运动电荷的作用 ” 教案设计

【 教学目的 】

1. 理解安培力是洛仑兹力的宏观表现，知道什么是洛仑兹力，洛仑兹力产生的条件，洛仑兹力方向的特点，会用左手定则解答电粒子在磁场中运动的有关问题。

2. 知道公式 $f=qvB\sin\theta$ 的推导。当 v 跟 B 垂直时，运动电荷受到的洛

洛伦兹力最大为 $f=qvB$ 。当 v 和 B 平行时，洛伦兹力最小，等于零。会对 v 跟 B 垂直的情况应用 $f=qvB$ 解答有关问题。

【教学重点】洛伦兹力的方向、大小和产生条件。

【教学难点】公式 $f=qvB\sin$ 的推导。

【教学方法】讨论、实验、讲授法。

【教具】阴极射线管，蹄形磁铁，感应线圈，洛伦兹力演示仪。

【教学过程】

一、复习引入

1. 电流的形成

2. 磁场对电流的作用力——安培力。

二、讲授新课

1. 设问

磁场是否对运动电荷有作用呢？

2. 演示

(介绍阴极射线管)

电子束在没有外加磁场时沿直线前进。

加上磁场后，电子束发生偏转。

3. 结论

磁场对运动电荷的作用力通常叫做洛伦兹力 (f)。

4. 设想

通过前面的分析和实验，我们可以设想安培力是作用在运动电荷上的力的宏观表现。下面就从这个设想出发来研究洛伦兹力的大小、方向和产生条件。

(一) 洛伦兹力的方向

1. 推理：联系电流的形成和安培力的方向推理确定洛伦兹力的方向。

洛伦兹力的方向可用左手定则判定（四指指向正电荷运动的方向，负电荷运动的反方向）。特点：洛伦兹力垂直于 v 和 B 所在的平面。

2. 实验验证：演示电子束在磁场中的偏转并用右手定则判定。

(二) 洛伦兹力的大小

投影片（介绍电流的简单模型）

1. 思考：

如何用 N 、 q 、 v 、 l 来表示电流强度 I ？

如何从合力的观点出发，用洛伦兹力 f 来表示安培力 F 的值？

2. 推理：（学生自推，教师点拨）

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{Nqv}{l}, F = Il\sin = Nf.$$

$$f = qvB\sin.$$

3. 讨论：

式中 \sin 对运动电荷而言是指哪个角？

当 v 跟 B 垂直时, f 最大为 qvB ; v 平行于 B 时, $f=0$ 。

各物理量的单位。

$f=qvB$ 的即时性。

当电荷在垂直于磁场的方向上运动时, 磁场对运动电荷的作用力等于电荷的电量、速率及磁感应强度的乘积。

4. 释疑和验证 (在释疑中应用知识)

(1) 疑问 : 从设想推出的结果是否一定正确?

例 1 电子以速度 v 垂直进入磁感应强度为 B 的匀强磁场中, 若只考虑洛伦兹力, 试分析电子的运动轨迹。

(2) 验证: (介绍洛伦兹力演示仪)

演示:

不加磁场时, 电子束是直进的。

加上匀强磁场 (由两个平行的通电环形线圈产生), 电子束在洛伦兹力的作用下弯成圆形。

若 v 与 B 平行, 电子束是直进的。

(3) 疑问 : 在前面的实验中, 为什么没考虑运动电荷所受重力而产生的影响?

例 2 一个电子带电量 $q=1.6 \times 10^{-19}$ 库, 质量 $m=9.1 \times 10^{-31}$ 千克, 以速度 $v=1.0 \times 10^5$ 米 / 秒垂直进入磁感应强度 $B=1.0$ 特的匀强磁场中, 求它所受的洛伦兹力与重力之比。

$$\begin{aligned} \text{解: } f &= qvB = 1.6 \times 10^{-19} \times 10^5 \times 1.0 \\ &= 1.6 \times 10^{-14} \end{aligned}$$

$$G = mg$$

$$= 9.1 \times 10^{-31} \times 9.8$$

$$= 8.9 \times 10^{-30} \text{ (N)},$$

$$\frac{f}{G} = \frac{1.6 \times 10^{-14}}{10^{-30}} = 1.8 \times 10^{15}。$$

从计算分析可以看出, f 远远大于 G , 所以当考虑运动电荷所受洛伦兹力时, 若 $f \gg G$, 那么在这种情况下的重力可以忽略掉。

(三) 洛伦兹力的产生条件

$q \neq 0, v \neq 0, B \neq 0$ 三个条件必须同时具备。

三、练习与思考

小结

这节课我们从安培力是磁场作用在运动电荷上的作用力的宏观表现这一设想出发, 进行了类比的推理, 推理的结果又被实验所证实, 而且在后续课程中还会进一步证明它的正确性。

四、作业

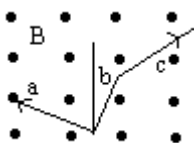
1. 必做: 教材上的课后练习题。

2. 思考题：

在垂直于纸面向外的匀强磁场 B 中，垂直于磁场方向向上射三束粒子 a 、 b 、 c ，偏转轨迹如下图所示。试分析粒子的电性。

若撤掉磁场，而加上由右向左的水平匀强电场 E ，则粒子 a 、 b 、 c 的偏转情况是怎样的？试比较上述两种情况下的粒子运动轨迹有什么不同？

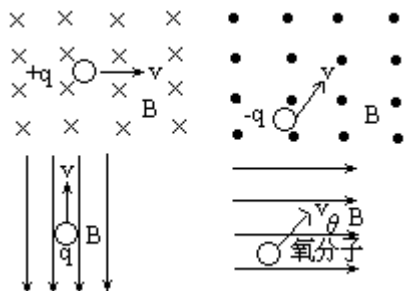
若上述电场和磁场同时存在，有无可能使 a 和 c 不发生偏转？若能，需满足什么条件？



3. 练习题。

下面 4 个图中粒子均以速度 v 在匀强磁场 B 中运动，分别计算该时刻粒子所受的洛伦兹力。

板书略去。



(靳杨)

“楞次定律”实验导引式教案设计

一、提出问题

1. 复习上节课讲的内容。问题：产生感生电流的条件是什么？（两种表述）。

2. 复习初中学过的内容：

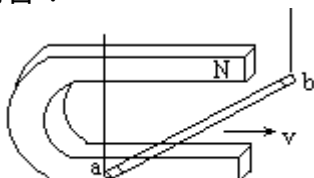


图1

问题：如图 1 所示，导体 ab 是闭合电路中的一部分，当它以速度 v 向右作切割磁力线运动时，感生电流的方向：（1）用什么方法判断？（2）如何判断？（3）方向如何？

3. 提出问题：如图 2 所示。当 K 闭合时，线圈 L 中是否有感生电流？如果有方向那末如何判断？

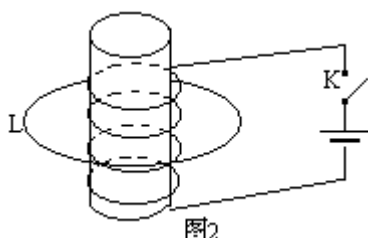


图2

因为穿过 L 的磁通量增加，故有感生电流产生。

但如何判断其方向呢？应用“右手定则”无法判断，即右手定则遇到了困难。

这样的问题，意在从创造物理图景、展现物理现象入手，引导学生从对认识物理现象本身的兴趣及时地转向对内部规律探究的兴趣。

如何寻找一种新的判断感生电流方向的方法，这就是摆在同学面前的一个急待解决的问题。

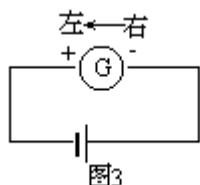


图3

二、探索“判断感生电流方向”的方法

演示一，（辅助性、预备性实验）辨明电流表 G 指针偏转方向与通入电流方向间的关系。电路如图 3 所示。用乏电池、瞬间接触操作。

实验结果如下表：

电流方向	表针偏转方向
由“+”接线柱流入 从“-”接线柱流出	向右偏转
“-”流入；“+”流出	向左偏转

小结： $\left. \begin{array}{l} \text{已知} \\ \text{未知} \end{array} \right\} \text{电流} \begin{array}{l} \xrightarrow{\text{测定}} \\ \xleftarrow{\text{判定}} \end{array} \text{G表指针偏转方向} \left\{ \begin{array}{l} \text{未知} \\ \text{已知} \end{array} \right.$

这里运用了最简单的已知与未知的正反直接推理判断。

演示二：正式探索“判断感生电流方向”新方法的实验如图 4 所示。

做法：1. N 极插入螺线管。

2. N 极从螺线管中拔出。

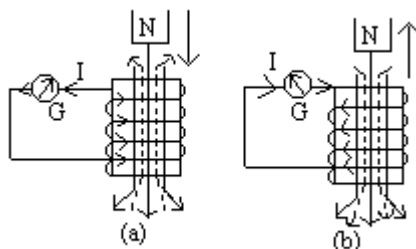


图4

现象：1. G 表指针向右偏转。

2. G 表指针向左偏转。

根据：演示一的结果

判定：1. 螺线管中的感生电流方向如图 4 (a) 中箭头所示。

2. 螺线管中的感生电流方向如图 4 (b) 中箭头所示。

分析：在这里是把产生感生电流的整个物理过程分解成几部分，即把整体的个别特性分解出来。

1. (1) 由做法 1 可知：

当 N 极插入时：

穿过螺线管内部的磁力线方向是向下的。如图 4 (a) 中实线所示。

穿过螺线管内部的磁通量是增加的。

(2) 由判定结果 1 可知感生电流的磁场方向是向上的。如图 4 (a) 中虚线所示。

2. (1) 由做法 2 可知，当 N 拔出时：

穿过螺线管内部的磁力线方向是向下的。如图 4 (b) 所示。

穿过螺线管内部的磁通量是减少的。

(2) 由判定结果又可知、感生电流的磁场方向是向下的。如图 4 (b) 中虚线所示。

综合：使学生头脑中把电磁感应现象特性的各个部分连起来。

1. 当穿过螺线管的磁通量增加时，即当 $\Delta\Phi$ 时：

感生电流的磁场方向与引起感生电流的原磁场方向相反。

2. 当穿过螺线管的磁通量减少时，即当 $\Delta\Phi$ 时：

感生电流的磁场方向与引起感生电流的原磁场方向相同。

抽象：找出电磁感应的一般的、本质的属性。提出问题：在上述电磁感应现象中、感生电流产生的磁场对于发生电磁感应现象的过程起着什么作用呢。

1. 当由于 $\Delta\Phi$ 引起感生电流时，感生电流的磁场就阻碍 $\Delta\Phi$ 。

2. 当由 $\Delta\Phi$ 引起感生电流时，感生电流的磁场就阻碍 $\Delta\Phi$ 。

概括：把抽象出来现象的共同属性综合起来。

在电磁感应现象中，感生电流的磁场总是阻碍引起感生电流的磁通量的变化。

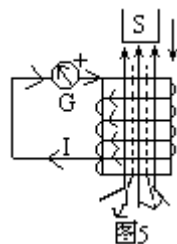
这样通过对实验现象进行分析，做出科学的解释，然后，抽象、概括、从而归纳出一般的结论，完成了科学归纳推理的全过程。然而，这种不完全的科学归纳推理，所得的结论还需要经实践的检验才能成立。于是又做了让 S 极插入拔出的实验。

1. 先根据上述结论分析判断：

当 S 极插入螺线管时。(1) 穿过螺线管的磁场方向 (即原磁场方向是向上的图 5 实线)；(2) 磁通量 $\Delta\Phi$ 是增加的；(3) 根据上述结论，感生电流的磁场要阻碍这一磁通量的增加，可判定感生电流的磁场方向与原磁场方

向相反（图 5 虚线所示）。应当是向下的。

（4）根据感生电流磁场的方向、应用安培定则即可判断出感生电流的方向如图 5 螺线管上箭头所示。这时 G 表指针应当向左偏转。



2. 实验验证：当 S 极插入螺线管时，G 表指针确实向左偏转。

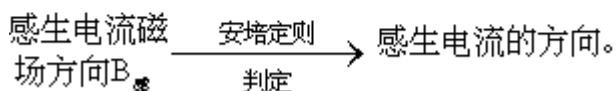
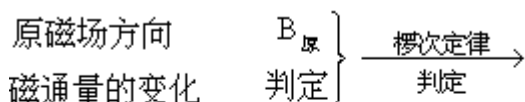
关于 S 极拔出的情况让学生分析、操作验证。图 2 所示的问题也让学生分析、老师总结。

实验证明，前面概括的结论是完全正确的。这就是楞次定律。它给出了判定感生电流方向的一般方法。包括了右手定则。

在楞次定律的教学过程中：

1. 运用不完全的科学归纳推理的逻辑方法，意在培养学生的思维能力。
2. 从楞次定律的得出，应使学生认识到，如何从问题出发、通过实验、经过科学的归纳推理过程，由具体到抽象，由感性认识上升到理性认识（规律的认识），然后再回到实践中检验。从而具体体会辩证唯物主义的认识过程：实践—理论—实践。

3. 教学中充分渗透了楞次定律应用的方法：



从而达到了预定的目的——寻找一种新的判定感生电流方向的方法。

4. 这一节内容，用两课时完成。上述内容在第一课时内完成。第二课时，从能量守恒的角度加深对这一规律的认识，并进行解题应用练习。

（段连升）

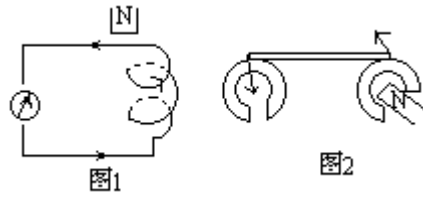
“楞次定律”程序式教案设计

一、学生实验验证“右手定则”

对“产生感生电流的条件”等有关知识进行复习。（由实验入手进行复习，比一般口头的复习提问要活跃得多。）

二、图示（如图 1）并演示

磁铁接近和离开线圈时，线圈中所产生感生电流的方向不同，——可由电流表指针的偏转情况看到。



提出问题：线圈中感生电流的方向怎样判定？使用“右手定则”行不行？——有什么新的方法、“定则”呢？提示：这一课的目的就是要寻求判定感生电流方向的普遍适用的法则。由于线圈中既有电流，线圈就具有了磁性，线圈与磁铁之间就会有相互作用力；——能否从相互作用力的方向（吸引或排斥）与线圈中感生电流的方向来发现两者间的关系（规律）呢？

三、演示实验，引导学生探讨

线圈与磁铁相互作用力的“方向”与相对运动情况之间有什么关系（规律）？（用楞次环，如图2）。

总结出：相互接近，推斥；相互离开，吸引。

再指出：还可进一步探求出“线圈闭合时有相互作用，线圈不闭合时则无相互作用”。（为什么？）

四、引导学生探求

确定线圈中感生电流的方向的法则。

感生电流 i 产生的对磁铁的磁力 F ，阻碍磁铁的运动结论：感生电流产生的磁场总是阻碍引起感生电流的磁铁和线圈的相对运动。

五、学生实验验证上述规律

[实验原理。先用一节废干电池串接一个高值电阻“点试”一下电流方向与电表指针偏转方向的关系；再考察线图的缠绕方向和进出端；然后按原理图接通线路，依（1）~（4）顺序，将磁铁插入或抽出螺线管，根据电流的方向，确定螺线管的磁极，看螺线管的磁场和磁铁相互作用的情况（推斥或吸引），与磁铁和螺线管相对运动的情况，是否与图四符合。或者，根据图所示的磁铁和螺线管相对运动情况，确定螺线管中感生电流的方向，看与电流表所指示的电流方向是否符合。也可让全班分成两大部分，一部分按前种方式验证，另一部分按后面一种方式验证]。（这里着重培养学生直观推理能力）。

六、教师讲解

上面所发现的规律，是可以由能量的转换和守恒定律检验的。——外力使磁铁与线圈作相对运动，线圈中出现感生电流，就是有电能产生，这电能只能是机械能转换而来，又只有外力克服一种阻碍力作了功才能实现这一转换，因此，线圈中由感生电流产生的磁场跟磁铁之间的相互作用，自然地该总是阻碍它们的相对运动的。至此，我们可以确信地总结出我们所要寻找的判定感生电流方向的法则（规律）：“感生电流总是要使它自己的磁场阻碍闭合电路与原（引起感生电流的）磁场的相对运动”。（这里，着重培养学

生的逻辑推理、抽象思维能力)。

七、学生实验

用原副线圈耦合，考察原线圈中电流发生变化(通、断、增强、减弱)时，副线圈中感生电流的方向，并探寻判定感生电流方向的法则。

提示：没有“相对运动”呀！感生电流的方向怎样确定呢？我们刚才只注意到现象的“宏观”方面——相对运动、力和电流的方向，并从中找出电流的方向与相对运动方向、相互作用力方向之间的关系(规律)。可否从现象的“微观”方面考察一下，从新找出规律呢？根据产生感生电流的条件的一说法“穿过闭合导体的磁通量发生变化”，我们试看看线圈中磁通量的变化情况如何。

引导学生认识：磁铁与线圈相向运动时，线圈中原(引起感生电流的)磁通量增加；相互离开时，原磁通量减少。感生电流的方向就是与原磁通量的“增加”或“减少”的情况有关——原磁通量增加时，感生电流在线圈中产生的磁通量的方向与原磁通量的方向相反；原磁通量减少时，感生电流在线圈中产生的磁通量的方向与原磁通量的方向相同。

八、引导学生讨论：怎样用简洁的语言从新总结出判定感生电流方向的法则？引导学生阅读课本中“楞次定律”的表述，并要求学生用楞次定律考察前面程序七中实验看到的现象，看是否符合。

九、学生应用楞次定律完成课本中的练习作业。

[以上教学程序，从培养学生的思维能力出发，对原有教材的讲述作了适当的调整。意在，由直观思维到抽象思维，由已熟悉的(就运动情况分析)到尚不大熟悉的(就磁通量变化情况分析)；由宏观到微观。既注意培养学生的发散思维，又充分利用学生的思维定势与思维迁移。着重于使学生的思维能力由低层次向高层次发挥，不停留在低层次，也不忽视低层次的基础作用。希望能使不同程度的学生都得到提高。]

(肖文谷)

“楞次定律”的结构化教案设计

楞次定律是电学的重点与难点，对楞次定律的教学，有的教师强调通过探索实验得到楞次定律。但由于电磁感应的复杂性，许多学生适应不了；有的是由能量守恒定律出发，经分析推理得出定律，而后用实验验证，该方法推理性强，中、差学生难以适应。现在教材采用一种简化的方式，尽管大部分学生容易接受，但不够充分。某教师在教材简化的基础上，运用结构化教学，效果较好，供同行参考。

【教学目的】掌握楞次定律，会运用楞次定律判定感应电流的方向。

【教学重点】演示实验，结构归纳。

【教学方法】结构化教学。

一、复习引入

我们已经知道，闭合回路内的磁通量的变化是产生感应电流的条件，根据电流的磁效应，感应电流又能在其周围形成磁场（即 $I_{感}$ $B_{感}$ ）。那么，感应电流的磁场与闭合线路磁通量的变化有什么关系？这是本节课要讨论的问题。通过该问题的讨论，可以解决闭合线路中感应电流的方向问题。

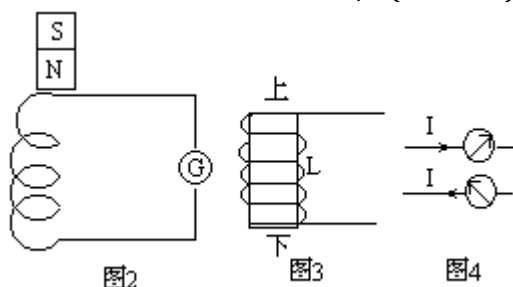
结构化表示（图1）



二、楞次定律（板书）

1. 准备：

- a. 实验装置介绍；
- b. 线圈的绕向；
- c. 电流的流向与电流表指针偏转的关系；（如图4）



d. 复习 ϕ 。

2. 内容（见下表并解释之）

名称 内容	名称					结论
	$B_{原}$	$\Delta\phi$	$B_{感}$	$B_{感}$ 与 $B_{原}$		
S N	N极插入	向下	增大	向上	反向	阻碍变化
	N极提出	向下	减少	向下	同向	
S N	S极插入	向上	增大	向下	反向	
	S极提出	向上	减少	向上	同向	

对于其它电磁感应现象可得同样的结论。

3. 楞次定律：感应电流的磁场（ $B_{感}$ ）总是阻碍引起感应电流的磁通量的变化（ ϕ ）。（板书）

即， $B_{感}$ 与 ϕ 存在阻碍变化关系。

结构化表示（板书）

阻碍关系（把图1中的“？”改为“阻碍”）


阻碍形式——感应电流的磁场 $B_{感}$ 取与原磁场 $B_{原}$ 同或反向来达到阻碍原磁通量变化的目的。

决定形式 判定 ($I_{感}$) 的依据

4. 小结:

通过以上结构化分析, 使学生对楞次定律的结构关系有一个清晰的理解和认识, 同时得出判断闭合线路感应电流的一般步骤为:

①明确研究对象(线圈或闭合回路);

②原磁场 (B) 的方向及磁通量的变化情况 (Φ 

由 $B_{感}$ 与 $B_{原}$ 的同向或反向得出 $B_{感}$ 的方向;

由右手安培定则得出感应电流的方向。

牢固地将信息贮存在长时记忆中。因此, 设计教学结构时应遵从 S 5 的原则。

作者在楞次定律教学中, 为抓住关键, 采用四信息块设计教学结构。

信息块 1 复习右手定则, 提出问题。

(1) 在匀强磁场里放一固定金属框, 磁力线垂直穿过平面, 当金属棒 CD 向右移动时, 判断感生电流方向。

(2) 中若 CD 不动, 磁感应强度 B 变化, 判断 CD 棒中感生电流。(用右手定则遇到困难)

信息块 2 实验观察, 小结规律。

(1) 以条形磁铁 N 极下插、拔出螺线管, 由灵敏电流计偏转方向判断网络中感生电流方向。

(2) 由感生电流方向配合螺线管线圈围绕向知感生电流磁场方向向上。

(3) N 极下插时, 穿过螺线管平面的磁通量增加, 条形磁铁的磁场方向(原场)向下, 所以, 当穿过螺线管平面的磁通增加时, 感生电流磁场方向与原磁场方向相反。

(4) N 极向上拔出时, 重复前述过程分析得出: 穿过螺线管平面磁通量减少时, 感生电流磁场方向与原磁场方向相同。

信息块 3 抽象归纳, 加深理解。

由信息块 2 得出:

Φ 增加, 感生电流磁场阻碍 Φ 增加;

Φ 减少, 感生电流磁场阻碍 Φ 减少。

(1) 楞次定律表述: 感生电流的磁场总是使它所产生的磁场阻碍引起感生电流的磁通量变化。

(2) 加深理解, 紧紧抓住“阻碍、变化、阻止”六个字。

a. “阻碍”:

谁阻碍? 感生电流的磁场阻碍。

阻碍谁? 阻碍原磁场的变化(不是阻碍原磁场)。

如何阻碍? 原磁场增强时, $B_{感}$ 与 $B_{原}$ 反向, 原磁场减弱时, $B_{感}$ 与 $B_{原}$ 同向。

b. “变化”:

谁变化？原磁场的变化，变化是电磁感应的必要条件。

如何变化？磁通量增加，减少。

c. “阻碍”和“阻止”：

只能阻碍原磁场的变化，阻碍的结果产生了感生电流；不能阻止其变化，若阻止的话，就无感生电流了。

信息块4，小结应用楞次定律步骤，指导学生练习。

(1) 从信息块1-3，可得出应用楞次定律步骤：定原磁场方向；看磁通量如何变化？据楞次定律感生电流磁场方向；用右手螺旋法则定感生电流方向。

(2) 学生练习：当条形磁铁S极下插和拔出时，判定螺线管中的感生电流方向。

教学实践表明：按S=4设计楞次定律教学结构，采用实验、讲授、讨论有机结合的方法，调动了学生的视觉、听觉的积极作用。同时，四个信息块互相联系，首尾相应，块块递进，增大了信号的频带宽度，体现了优化原则，使楞次定律的课堂教学达到了高效率的信息转化。

三、发挥反馈作用，及时调控信息

教学中，为了使信息能存贮和长期保持，教师必须及时根据反馈信息进行调控。对教师来说，反馈信息可使教者掌握情况，改善教法，找出差距，做到有的放矢。对学生来说，反馈信息可使学生强化正确，及时纠正错误，改进学法，提高学习效率。

“成功的教学需要的不是强制，而是激发学生的兴趣”。教师特别要注意利用反馈修正信息的编码和发信频度，保证反馈渠道的畅通。作者在楞次定律教学中根据学生的反馈，曾设计出若干似是而非的问题引起学生讨论，激发学生思考，从而正确理解定律。如：

1. 当条形磁铁N极(或S极)插入螺线管时，为什么说磁通量增加？(辨清增加和减少)

2. 感生电流在什么时刻产生，是否线圈中有磁力线时就有感生电流？(强化“变化”概念)

3. 感生电流磁场如何产生？什么时候产生？(强调法拉第电磁感应定律)

4. 感生电流磁场如何阻碍原磁场变化？是不是将原磁场的磁力线阻碍掉一些？(消除“前概念”磁力线的影响)

5. N极下插，有感生电流和线圈产生N极相斥，是何道理？(强调能量守恒)

通过教学，由反馈信息经过调整、输出新的信息组块，多角度变换信息传输方式，使学生对电磁感应规律掌握牢固，思维能力和处理问题的能力得到锻炼和提高。

“变压器原理”程序实验教案设计

变压器的原理在试用本中，是用电磁感应中的互感现象先导出原、副线圈感生电动势之比等于匝数比，再说明原线圈中的电动势是反电动势，副线圈相当于电源，得出电压比等于匝数比。现在（必修）本中没有讲法拉第电磁感应定律和反电动势，没有从理论上导出变压器的电压公式。在这种情况下，如何讲好变压器的原理呢？某教师做了如下尝试：利用一件教具（可拆变压器），遵循“实践—认识—再实践—再认识”的认识发展过程，在课堂上通过四个演示实验贯穿整个教学，取得了较好的效果。

演示实验一

在引出课题之后，为使学生对变压器有一个直观认识，传统的做法是：将可拆变压器的部件逐一介绍，然后组装起来，原线圈接上交流电压，用交流电压表测量原、副线圈中的电压，得电压公式 $V_1 / V_2 = n_1 / n_2$ 。教学实践证明，这样做学生对“匝数比的变化会引起电压比的变化”这一因果关系认识不清。为此，可作如下改进：把示教变压器的副线圈取下，用一根1米多长的多芯绝缘导线与小灯泡组成闭合回路。把它套在闭合铁芯上，发现小灯泡不亮；不断增加绕在铁芯上线圈的匝数，小灯泡逐渐亮起来。随着教师的操作和讲解，学生对变压器产生了浓厚的兴趣，加深了对变压器的实际印象，对匝数比有了感性认识。

演示实验二

在变压器的公式 $V_1 / V_2 = n_1 / n_2$ 导出后，结合教学内容可做如下设计：出示演示变压器之前，先取下水平放置的铁芯。当整个装置重新出现的时候，学生无不感到惊奇：由于铁芯不闭合，本来发光的小灯泡不亮了。这时，可因势利导地提出：“怎样使小灯泡重新亮起来？”，学生纷纷回答：“加上铁芯”，教师小心地放上铁芯，学生看到铁芯被猛地一吸，铁芯闭合，小灯泡重新发光。至此，铁芯的作用也就不言而喻了。

演示实验三

在引出了理想变压器的概念，推出了电流公式 $V_1 / V_2 = n_1 / n_2$ 后，为使学生加深对“输入功率随输出功率的变化而变化”的因果关系的认识，对此，可按图示电路来说明输出功率为零时（变压器空载），串联在原线圈电路中的交流电流表读数接近零这一事实，说明输入功率也为零。当副线圈中的小灯泡个数增加（负载电阻减小）时，电流表读数将增大，说明输入功率随输出功率的增大而增大。

演示实验四

一堂课进入“尾声”了，为使学生更加深入地思维可做如下演示：把变压器与直流电源相连，当演示装置又一次展现以后，学生很注意观察。但闭合电键后，发现小灯泡不亮。这时，有的学生发现：“直流电！”这样学生对变压器是改变交流电的装置有了更深刻的认识。最后提出，变压器真的不

能改变直流电吗？提醒学生注意观察：当电键闭合或断开的瞬间，小灯泡会闪亮一下。这样处理，取得了前后呼应的效果。

“自感”教案设计及评述

【教学目的】

1. 通过逻辑推理和对实验的观察与分析，使学生在电磁感应知识的基础上理解自感现象的产生和它的规律，明确自感系数的意义及决定条件。

2. 通过分析理解在自感现象中能量形式的转化情况，为进一步学习电磁振荡打下基础。

3. 通过对两个自感实验的观察和讨论，培养学生的观察能力和分析推理能力。

【教学过程】

提问 1：如图 1，K 接通瞬间 L_2 中有无感生电流？A、B 两点谁电势高？C、D 两点谁电势高？

总结指出：在 L_2 回路中，线圈 L_2 相当于瞬时电源，线圈 L_2 是电源的内电路，C、D 分别是它的正极和负极，C 的电势比 D 高。

提问 2：图 1 中 K 断开瞬间， L_2 中有无电流？这时 C、D 两点谁电势高？

学生回答后，教师再次指出 L_2 相当于瞬时电源。综上所述可知，当穿过线圈 L_2 的磁通量发生变化时，线圈上就有感生电动势产生，线圈就相当于一个瞬时电源。

引入新课：把图 1 改画成图 2，那么当 K 接通和断开瞬间，有无电磁感应现象发生？是否会产生感生电动势（有，会）？

教师指出 L_1 和 L_2 已成为一个线圈，它们既是引起电磁感应现象的“原线圈”，也是产生感生电动势的“副线圈”，这就是我们要研究的自感现象。板书自感现象的概念：由于导体本身的电流发生变化而产生的电磁感应现象叫自感现象。

（评述：学生往往对导体本身既是产生磁通量变化的“原线圈”又是产生感生电动势的“副线圈”感到难以理解，设计这样一个过渡性提问，就是为了突破这个难点，为顺利展开课题重点铺平道路。）

提出问题：在自感现象中产生的感生电动势我们叫它自感电动势，那么它的方向是怎样的呢？对原来的电流有怎样的影响呢？请同学们注意观察两个实验。

演示实验 1：出示示教板，并将其电路图画在黑板上。（图 3）观察现象：K 闭合时，灯 A_2 较 A_1 亮得慢，K 断开时，两灯都灭，无特殊现象。

组织学生讨论发生现象的原因。提醒学生对比两个并联支路在 K 闭合时电流变化情况有何不同？

教师总结指出，电路接通时，电流由零开始增加，L支路中感生电动势方向与原来电流方向相反，阻碍电流的增加，即推迟了电流达到正常值的时间（在电路图旁画出电流变化图线如图4）。启发学生说出这时L相当于瞬时电源（将原电流方向及自感电动势方向在图3中标出）。

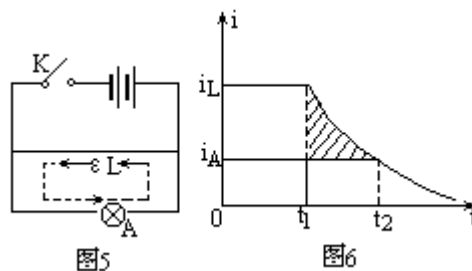
提问，接着演示：不断地用手按动K，发生什么现象？（灯A₂始终达不到正常发光亮度）加快按动频率，又有什么现象？（灯A₂逐渐变得更暗）思考这是什么原因？

边问边演示：若在K处接上手摇替续器，当替续器转动加快时（即K通断频率增大），又会出现什么现象？（灯A₂变暗，以致完全不发光）

（评述：在原有实验的基础上，顺势增加了两个实验，使学生对“延时效应”印象更加深刻，理解更加明确，而替续器的实验也使下一节课讲日光灯镇流器作用时更易接受。）

演示实验2：出示示教板，并将电路图画在黑板上（图5）。观察现象。K接通时，无异常现象，K断开时，灯A突然更亮地一闪。

组织学生讨论，K断开电源切断，但灯A不仅不立刻熄灭，反而产生了更强的延时电流，这是为什么？提醒学生，这时一定又出现了新电源，这个电源在哪里？电动势的方向如何？



教师总结指出：K断开时，线圈L产生自感电动势，方向与原来电流方向相同，阻碍电流的减小。L相当一瞬时电源，此电源与灯A形成回路（在圈5中画出电流方向），故A中还有一段时间的持续电流。灯A比原来更亮地一闪，说明这瞬间电流比原来电流大。显然这是由L产生的，因为电源切断后L中电流开始减小，于是产生自感电动势 $\epsilon_{自} = -L \frac{di}{dt}$ 在很短的时间 t 内， i 要减为0， $\frac{di}{dt}$ 中很大，产生了很大的 $\epsilon_{自}$ ，又由于 $R_L < R_A$ ，原来L支路中电流 i_L 比A支路中电流 i_A 大很多（画出图6中两个稳定电流 $i_L > i_A$ ），K断开时， i_A 立即减为零，而 i_L 由原值逐渐地减为零，推迟了减到零的时间（画出后半部分 i_L 曲线），可见在一段时间内，流过A的电流还大于原来电流 i_A ，故而发出更亮的光。

接着提出：在这个电路中是否只要有自感电动势电灯A的闪亮现象一定发生？强调指出，自感电动势 $\epsilon_{自}$ 的产生是由于线圈L中电流减少而引起的，电流只能在原有大小的基础上减少，不可能大于原来电流，要想使闪亮现象明显，即使 $i_L > i_A$ ，必须使 $R_L < R_A$ ， R_L 比 R_A 越小，现象越明显。

（评述：由于自感电路中“原线圈”与“副线圈”是同一个导体，让学生明确产生自感电动势的线圈相当于一个瞬时电源，且在讲述过程中画出原

来电流方向和自感电动势方向，可以有效地克服分析自感电路的思维障碍。在两个实验的分析过程中，画出电流变化的曲线进行对比，虽然曲线形状未经严格论证，但能帮助学生从对比中形象地理解电阻性和电感性电路的电流变化特点，这就大大地增强了分析思路的“透明度”。)

启发学生小结并板书：自感电动势的方向总是阻碍原来电流的变化的。

教师进一步总结：自感现象既然也是一种电磁感应现象，当然仍然遵守楞次定律，即自感电动势的方向总是阻碍原来电流的变化，而不是阻碍电流本身，因此仍符合“增——反，减——同”的规律（即电流增大时， $E_{自}$ 与 $I_{原}$ 方向相反，电流减小时， $E_{自}$ 与 $I_{原}$ 方向相同）。

（评述：把自感现象纳入一般电磁感应规律中，仍用“增反减同”四字诀记忆，减轻了理解和记忆的困难。）

下面讲述并板书自感电动势的大小：

据 $\Phi = n \frac{j}{t}$ ，而 $\frac{d\Phi}{dt} = n \frac{dj}{dt}$ ，所以有 $E_{自} = L \frac{dI}{dt}$ ，式中 $\frac{dI}{dt}$ 叫电流强度

变化率， $L = \frac{E_{自}}{\frac{dI}{dt}}$ 叫自感系数，L在数值上相当于 $\frac{E_{自}}{\frac{dI}{dt}}$ 为一个单位（1安/秒）

产生的自感电动势的大小。

接着讲述自感系数 L 的物理意义、决定条件及其单位。

在讲自感系数 L 的物理意义时，指出 L 的大小说明线圈对电流变化的阻碍作用的大小，反映了线圈对电流变化的延时作用的强弱，因此自感系数也可叫做“电磁惯量”，可以与力学中反映物体惯性大小的“质量”对比理解。

（评述：多出一个“电磁惯量”的名词，不仅没有增加记忆负担，由于把电磁现象和熟知的力学现象联系起来，反而提高了兴趣，加深的理解，减轻了记忆负担。）

提出问题：在实验 1 中， A_2 比 A_1 亮得慢，那部分电能哪里去了（电能转化为磁场能储存在磁场中）？在实验 2 中，灯 A 更亮地一闪，这部分能量是哪里来的（通电时储存在磁场中的能量又转化成电能释放出来）？所以有（板书）

自感现象中的能量转化：电能 \leftrightarrow 磁场能（评述：给后边讲电磁振荡和电磁波打下基础，在振荡电路中电场能和磁场能反复转化，在弹簧振子振动中动能与弹性势能反复转化，“电磁惯量”与振子的“惯性质量”是对应的。）

在对全课进行总结之后，提出一个问题：在通电自感的两个实验中，实验 1 只观察到通电自感的表现，在 K 断开瞬

间有无自感电动势产生（有）？为什么观察不到？在实验 2 中，K 接通瞬间有无自感电动势产生（有）？为什么观察不到？要求课后在复习的基础上讨论。

【教学说明】

电磁感应规律是学生较难掌握的一种物理现象。因为在发生电磁感应的过程中，“原来磁场”的变化引起了“感生电流磁场”的产生，这两种磁场相互作用导致了“感生电流”与“原来电流”的相互斗争与相互制约，对这种因果关系的相互依存与相互转化的分析，要求有较高水平的逻辑思维与抽象思维能力。而在自感现象中，“原来电流”与“感生电流”，“原来磁场”与“感生电流磁场”又都集中在同一导体上，这就更增加了分析问题的难度。因此，教好自感现象这一课，不仅是对已学过的电磁感应规律的进一步熟练与加深，而且也是培养抽象的逻辑思维能力的好时机。在思维由“经验型”向“理论型”转化的高中阶段，这部分教材有着特殊重要的意义。

为了帮助学生克服理解过程中的思维障碍，在板书设计中增加了形象化的表达方式（如图 1、图 2、图 4 及图 6），使思维进展的梯度不致过大。在教学方法上采取观察与讨论相结合的办法，通过讨论提高对逻辑推理能力的训练。在讨论的基础上总结讲解效果更好。

本课作为自感的第一课时，不宜提出过难过深的问题。在讲解过程中主要思路是围绕以下两点展开的：自感电动势相当于一个瞬时电源的作用，要搞清它与原来电流方向的关系；自感现象表现为对电流变化的延时效应，它只能推迟电流变化的时间而不能改变原电流的方向。

关于演示实验，笔者认为还是采用课本中的传统的演示方法为好。这两个实验的电路简单，现象明显而所含的原理比较含蓄，给学生的印象深刻，容易引起兴趣和激发思维的矛盾。只要引导得法，把它当成“探索型”实验来使用，可以有效地促进逻辑思维能力的发展。当然这两个实验的明显缺点就是把通电自感和断电自感割裂开了，容易造成片面认识，本课最后布置的讨论题，就是为了解决这个问题而设计的。在下节课（自感现象的应用）开始时可进行讨论总结并进行下列演示：把图 3 的示教板上灯 A_2 用一根导线短接，就满足了 $R_L < R_A$ 的条件，可以明显地观察到断电时灯泡的闪亮现象。有些自制教具（例如《物理教学》1991 年第 12 期《变色发光二极管在物理实验中的应用》一文中介绍的）用来做这个实验也很好，但如果在讲新课时就使用它，不如传统演示中产生的“悬念作用”那么强烈，降低了在培养抽象逻辑思维能力方面的作用。

（潘思璋）

“回旋加速器”教学实验设计

【教学目的】使学生知道回旋加速器的基本结构，理解它的工作原理；并通过教学，进一步激发学生的学习兴趣，培养他们运用物理知识分析和解决实际问题的能力。

【教学过程】

师：在现代物理学中，为了研究物质的微观结构，人们往往利用能量很

高的带电粒子作为“炮弹”，去轰击各种原子核，以观察它们的变化规律。为了大量地产生高能粒子，就要用到一种叫做加速器的实验设备。同学们一定听说过北京正负电子对撞机吧，它就是我国于1989年初投入运行的第一台高能粒子加速器，它能使正负电子束流的能量分别达到28亿电子伏。

加速器究竟是怎样产生高能带电粒子的呢？这就是今天要学习的课题。让我们都以探索者的身份，从已有的基础知识出发，一起去寻求问题的答案吧。

[由加速器的重要应用以及我国科技新成就导出课题，可以激发学生的求知欲望；要求学生以探索者的身份进入角色，旨在将他们推上学习的主体地位。]

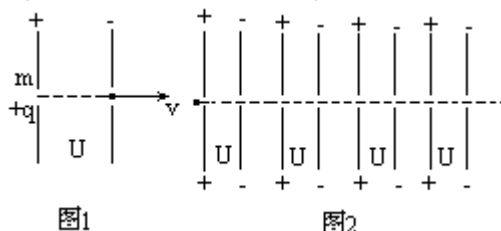
师：先请哪位同学回答：用什么方法可以加速带电粒子？

生：利用电场可使带电粒子加速。

师：（板画图1）根据图示条件，带电粒子加速后可获得多大能量？

生： $E_k = mv^2 / 2 = qU$

师：回答正确。由此看来，要获得高能量的带电粒子，就必须尽量提高加速电压。但我们知道，实际能达到的电压值总是有限的，不可能太高，因而用这种方法加速粒子，获得的能量也不够大，只能达到几十万至几兆电子伏。请同学们想一想，如何突破电压限制，使带电粒子获得更大的能量呢？



[疑问是思维的源头，问题是探索的中心。教学中及时、巧妙地存疑设问，是教师主导作用的重要体现。]

甲生：我想是否可以再加几个电场，让带电粒子逐一通过它们。（教师根据学生回答，在图1上改一画成图2）

师：大家认为这种设想有道理吗？

乙生：我认为有道理。这样一来，每个电场的电压就不必很高。尽管带电粒子每次加速得到的能量不是很大，但最后的总能量却可达到 $E_k = nqU$ ，只要增加电场的数目 n ，就可使粒子获得足够大的能量。

师：说得对。采用多个电场，使带电粒子实现多级加速，这确是突破电压限制的好方法。同学们能提出这样富有创见的设想，十分可贵。但是，我们再仔细推敲一下它的可行性：按图2所示的方案，真能实现多级加速吗？

（学生陷入沉思。顷刻，有部分同学恍然大悟）

丙生：这个方案不可能获得高能量的带电粒子！

师：你发现什么问题了吗？

丙生：从图上可以看出，在相邻两级加速电场的中间，还夹着一个反向

电场，当带电粒子通过它们时，将会受到阻碍作用。

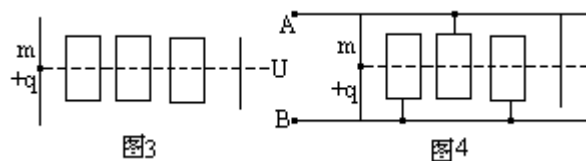
师：丙同学考虑问题很全面，他不但看到了加速电场这有利的一面，同时还注意到了存在减速电场这不利的一面。那么我们能否“兴利除弊”，设法把加速极板外侧的减速电场消除呢？

生：……

师：（进一步启发）请大家联系已学的知识：要防止外界电场的干扰，可采用什么措施？

生：采用静电屏蔽。

师：对。我们可用金属圆筒代替原来的极板。（在图2上改画成图3）这样，既可以在金属圆筒的间隙处形成加速电场，又使得圆筒内部的场强为零，从而消除了减速电场的不良影响。



师：再让我们讨论一下电源。为了简化装置，我们可用一个公用电源来提供各级的加速电压。（在图3上改画成图4）。如果我们要加速一带正电的粒子，若电源的极性保持恒定（始终为A正B负），你认为这个粒子能够“一路顺风”，不断加速吗？

生：不可能。因为，按这样的极性，带电粒子在第一级电场中能得到加速，但到了下一级就会减速。粒子从加速电场得到的能量，将在减速电场中丧失殆尽。

师：说得很对。我们有什么方法可解决这个矛盾吗？

生：如果能及时地改变电源的极性，就可以解决了。

师：好主意！你能对照图4具体说明一下这“及时”的含义吗？

生：设开始时电源极性为A正B负，带正电粒子在第一级电场中加速，当它穿过第一只圆筒即将进入第二级电场时，电源极性应立即变为A负B正，使粒子又能继续加速。同理，当它穿过第二只圆筒刚要进入第三级电场时，电源又及时地改变极性，……以后也是如此。

师：分析正确。可见，为了实现带电粒子的多级加速，应该采用交变电源；并且，电源极性的变化还必须与粒子的运动配合默契，步调一致，即要满足同步条件，这是确保加速器正常工作的关键所在。那么，如何做到这一点呢？如果使交变电源以恒定的频率交替改变极性，能够满足同步条件吗？

甲生：不能满足。因为带电粒子加速之后的速度越来越大，若金属圆筒的长度相等，则它每次穿越的时间就会越来越短。如要保证同步，电源频率应该越来越高才行。

师：谁还有不同的见解吗？

乙生：我认为当电源频率恒定时，也有可能满足同步条件，只要使得金属圆筒的长度随着粒子速度的增大而相应地加长就行了。

师：甲、乙两位同学的意见可谓异曲同工，都有可能满足同步条件。在具体实施时，人们一般采用的是后一种方案。很明显，实施这种方案的关键，在于合理地设计金属圆筒的长度。那么，各圆筒长之间究竟应符合怎样的关系才行呢？这个问题稍许复杂一点，但只要运用我们所学的有关知识，也是不难解决的。有兴趣的同学在课后可以继续讨论，去完成这项设计任务。

[教学内容的安排应有弹性，注意留有余地，以贯彻“因材施教”的原则。]

师：通过以上的探索和研究，我们实际上已经勾画出一台加速器的雏形了。“麻雀虽小，五脏俱全”，它包含着一般加速器应具备的几个基本要素。下面，就请同学们一起来小结。

(根据学生回答，归纳并板书，关键字眼以彩笔突出。)

利用电场加速带电粒子；

通过多级加速获得高能粒子；

将加速电场以外的区域静电屏蔽；

采用交变电源提供加速电压；

电场交替变化与带电粒子运动应满足同步条件。

[此段小结很有必要。它不仅可将前段探究活动的成果及时整理、提炼、充实和完善学生的认知结构，同时，也为接着学习回旋加速器奠定了基础，从而起到了承前启后的作用。]

师：刚才讨论的这类加速器，人们通常称之为直线加速器。例如北京正负电子对撞机的注入器部分，就是一个全长 200 多米的直线加速器。这类加速器固然有其优点，但它的设备一字儿排开，往往显得拖沓冗长。于是，我们自然会想：能否寻找一种既可使带电粒子实现多级加速，又不必增加设备长度的方法呢？”

生：……(思考、议论)

师：(自言自语)如果只用一个电场，带电粒子经过加速后还会再次返回，那就好了。……用什么方法能使粒子自动返回呢？

生：(豁然开朗)外加磁场！利用带电粒子在匀强磁场中作圆周运动的特点，可使它重返电场，再次加速。

师：好，这确是个巧妙的构想，说不定它还会导致一种新型加速器的诞生呢！

(学生情绪亢奋，信信骤增)

[学习上的探究活动，同样需要有情绪力量的投入。为此，教师讲课不妨带些“情感色彩”，以利于渲染教学氛围，激活学习动因。]

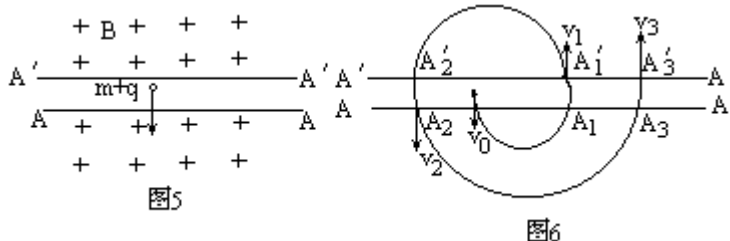
师：下面就让我们按着这条思路，来具体分析一下工作原理。(板画图 5)

设位于加速电场中心的粒子源发出一个带正电粒子，以速率 v_0 垂直进入匀强磁场中。如果它在电场和磁场的协同配合下，不断地得到加速，你能大致画出粒子的运动轨迹来吗？请每位同学都动手试试。要边画图，边思考，

并注意联系前面归纳出的几条结论。

(教师巡视,对有困难的学生予以指导。多数学生完成之后,抽一人在图5上板画,得图6所示轨迹。)

师:同学们都已把带电粒子的运动轨迹画出来了。接下去,请大家思考几个问题。第一,从画出轨迹看,它是条半径越来越大的螺旋线,这是什么缘故?



生:根据带电粒子在匀强磁场中运动的半径公式 $R = mv / Bq$,随着粒子不断加速,它的速度越来越大,因此,半径也相应增大。

师:对。再看第二个问题:为使带电粒子不断得到加速,提供加速电压的电源应符合怎样的要求?

生:要采用交变电源,并且,还必须使电源极性的变化与粒子的运动保持同步。

师:你能对照图6,再具体说明一下吗?

生:带正电粒子以速度 v_0 进入磁场,当它运动半周后到达 A_1 时,电源极性应是“ A 正 A' 负”,粒子被电场加速,速率从 v_0 增加到 v_1 。然后粒子继续在磁场中运动半周,当它到达 A_2 时,电源极性又及时地变为“ A 负 A' 正”,使粒子再次加速,速率从 v_1 增加到 v_2 。……以后的情形就以此类推。

师:回答正确。从刚才的分析可以看出,电场的作用是使粒子加速,磁场的作用则使粒子回旋,两者的分工非常明确,同时,它们又配合得十分默契:电源交替变化一周,粒子被加速两次,并恰好回旋一周,这正是确保加速器正常运行的同步条件。(板书如下)

$$\left. \begin{array}{l} \text{电场(加速)} \\ \text{磁场(回旋)} \end{array} \right\} \left(f_{\text{电源}} = \frac{1}{T_{\text{粒子}}} \right)$$

师:还有第三个问题:随着粒子不断加速,它的速度和半径都在不断增大,为了满足同步条件,电源的频率也要相应变化吗?

生:不需变化,因为带电粒子在匀强磁场中的运动周期 $T = 2\pi m / Bq$,它与速度无关。

师:说得对。对于给定的带电粒子,它在一定的匀强磁场中运动的周期是恒定的。有了这一条,我们就可免却随时调整电源频率以求同步的麻烦了。从而为最终实施我们的上述构想,提供了极大的便利。

早在1932年,美国物理学家劳伦斯正是沿着与我们相仿的巧妙思路,发明了回旋加速器,从而使人类在获得具有较高能量的粒子方面迈进了一大步。为此,劳伦斯荣获了诺贝尔物理学奖。

[学生再次体验到成功的喜悦，似乎他们也分享到了其中的一份。]

师：下面我们来看回旋加速器的基本结构。（出示挂图）从图上可以看出，回旋加速器主要由下列几部分组成（板书）：D形盒、强电磁铁、交变电源、粒子源、引出装置等。其中，两个空心的D形金属盒是它的核心部分。同学们能说明它的作用吗？

（让学生自学课本116页第一段，然后回答）

甲生：这两个D形盒就是两个电极，可在它们的缝间形成加速电场。

师：谁还有补充吗？

乙生：它还起到静电屏蔽的作用。使带电粒子在金属盒内只受磁场力作用，从而做匀速圆周运动。

师：书上还提到一个细节：“两个D形盒之间留一个窄缝，……”想一想，为什么要留窄的缝？宽些就不成吗？

丙生：

丁生：如果缝很宽，粒子穿越电场所用的时间就不容忽略。而这个时间是要随粒子运动速度的增加而变化的，从而使得粒子回旋一周所需的时间也将随之变化，这就会破坏同步条件。如果是窄缝，粒子在电场中运动的时间可以不计，就可避免不同步的麻烦了。

师：说得很对。看来同学们对回旋加速器的原理和结构已有了一定的理解。在此基础上，请大家再讨论一个问题：假如由你来设计一台回旋加速器，要求能使带电粒子获得更高的能量，你打算采用哪些措施？

[提出这种设计性问题的目的，在于深化学生思维。活化物理知识，使学习活动跨上更高的台阶。]

甲生：可以提高电源的电压。由公式 $E_k=qU$ 可知，电压值大了，粒子获得能量也大。

乙生：还可以加大D形盒的半径。使带电粒子有更大的回旋余地，随着加速次数的增多，粒子具有的能量也就大。

丙生：也可以增加磁感应强度。根据公式 $R=mv/Bq$ ，对应于一定的速度，B值越大，粒子的回旋半径R就越小，这样它在D形盒内就可以兜更多的圈，从而获得更大的能量。

师：对于上面几位同学的意见，大家有没有补充或不同的看法？

丁生：我认为甲同学的说法不对。因为提高了电源的电压后，尽管可以使粒子每次加速获得的能量增大，但相应的回旋半径也要增大，这又会使得加速次数减少，最后粒子的总能量不见得就大。

师：同学们能发表不同的见解，这很好。究竟谁是谁非呢？我们还可以进一步分析：在回旋加速器的最大半径和磁场都确定的条件下，带电粒子所达到的最大速率为 $v_m=BRq/m$ ，则相应的最高能量就是 $E_m=mv_m^2/2=B^2R^2q^2/2m$ 。这就告诉我们，对于给定的带电粒子来说，它能获得的最高能量与D形电极半径的平方成正比，与磁感应强度的平方成正比，而与加速电压无直接

的关系。

讲到这里，有的同学可能会想，如果尽量增强回旋加速器的磁场或加大D形盒半径，我们不就可以使带电粒子获得任意高的能量了吗？但实际并非如此。例如：用这种经典的回旋加速器来加速粒子，最高能量只能达到20兆电子伏。这是因为当粒子的速率大到接近光速时，按照相对论原理，粒子的质量将随速率增大而明显地增加，从而使粒子的回旋周期也随之变化，这就破坏了加速器的同步条件。

为了获得更高能量的带电粒子，人们又继续寻找新的途径。例如，设法使交变电源的变化周期始终与粒子的回旋周期保持一致，于是就出现了同步回旋加速器。除此之外，人们还设计制造出多种其它的新型加速器。目前世界上最大的加速器已能使质子达到10000亿电子伏以上的能量。

我国在高能粒子研究方面发展很快，并取得了多项世界瞩目的成就。希望同学们树立志向，奋发学习，将来把祖国的科学技术推向世界的最前沿！

