

课程基本信息							
课例编号	2020QJ11WLRJ013	学科	物理	年级	高二	学期	上学期
课题	带电粒子在电场中的运动（第一课时）						
教科书	书名： 物理必修（第三册） 出版社： 人民教育出版社 出版日期： 2019 年 6 月						
教学人员							
	姓名		单位				
授课教师	杨文清		北京师范大学附属中学				
指导教师	王晶 王莉萍 彭梦华		北京师范大学附属中学 北京师范大学附属中学 北京师范大学附属第二中学				
教学目标							
<p>教学目标：</p> <p>1.会从运动和力的关系的角度、从功和能量变化的关系角度分析带电粒子在匀强电场中的加速问题。</p> <p>2.通过对多级加速器的原理分析，加强带电粒子加速过程在实际应用的认识。</p> <p>3.学会定性解决电场中的带电粒子运动的一般方法。</p> <p>4.进一步加深运动与相互作用观念、能量观念，并应用其解决问题。</p> <p>5.通过理论知识在实践中的应用过程，培养学生热爱科学的精神。</p> <p>教学重点：</p> <p>1.带电粒子在匀强电场中的加速问题。</p> <p>2.恰当选择运用不同物理观念，解决带电粒子在电场中的运动问题。</p> <p>教学难点：</p> <p>分析理解多级加速器的加速原理，深入体验理论与实际相结合。</p>							
教学过程							
时间	教学环节	主要师生活动					

2 分 钟	环节一	<p>环节一</p> <p>【师】</p> <p>我们知道，运动速度越快，物体具有的动能越大。高速运动的粒子也会具有很大的能量。</p> <p>同学们，你听说过吗？在医疗领域经常会使用到高速运动的粒子。</p> <p>将带正电的质子加速到较高能量，并且让它去轰击癌细胞，这就是“质子疗法”；将带负电的电子加速后，去轰击重金属的原子核，利用产生的放射线进行医学治疗，这就是“放射治疗”（也就是常常提到的放疗），这幅图显示的就是一台电子直线加速器。</p> <p>还有，科学家们在研究原子核内部情况的时候，必须把原子核“打开”进行“观察”。只有用极高能量的粒子作为“炮弹”去轰击，才能把它“打开”。而产生这些高能“炮弹”的“工厂”就是各种各样的粒子加速器。</p> <p>今天，我们就一起来研究带电粒子在电场中的运动规律，看看它们是如何被加速的。</p>
2 分 钟	环节二	<p>环节二</p> <p>【师】</p> <p>我们如何研究带电粒子在电场中的运动呢？</p> <p>回忆一下，在研究物体运动的时候，你是怎么做的？</p> <p>想一想，研究物体运动的一般思路是什么？决定物体运动的条件又是什么？</p> <p>【生】</p> <p>思考 自述</p> <p>【师】</p> <p>聪明的你一定想到了，我们在高一学习时就掌握了研究运动的基本思想。</p> <p>一个是从运动和力的关系角度，另一个是从功和能量的变化关系角度</p> <p>第一种思路，抓住物体的初速度和加速度，加速度由物体受力来决定。正是这两个因素决定着物体如何运动。</p> <p>当物体所受合力为恒力时，加速度恒定，它将做匀变速运动；</p> <p>而力与速度的方向共线，将做直线运动，不共线将做曲线运动；</p> <p>力与速度的夹角小于 90° 时，做加速运动，大于 90° 时，将做减速运动。</p> <p>第二种思路，从做功与能量的关系出发，往往利用动能定理或者能量守恒定律来解决问题。</p>
	环节三	<p>环节三</p> <p>【师】</p> <p>前面提到了在医疗领域经常会用到加速后的高能粒子，接下来我们就讨论一下带电粒子在电场中的加速问题。</p> <p>我们一般利用电场使带电粒子加速的过程可以根据运动和力的观念来进行，称为思路 1，一般要用到牛顿运动定律和匀变速直线运动规律，面对的问题是在匀强电场中，涉及运动时间等描述运动过程的物理量的讨论。</p> <p>我们还可以从功和能的观念出发来考虑，称为思路 2，一般要用到静电力做功和动能定理，面对的问题一般涉及位移、速率等动能定理公式中的物理量，另外就是在非匀强电场中，静电力在不同位置会发生改变，带电粒子不能做匀</p>
	研究	

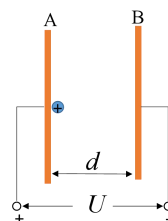
18
分
钟

多级 加速 器

变速运动，此时我们就从功和能的观念出发来分析。

下面，我们以及来解决具体问题。请看例题 1

例题 1：如图所示，真空中平行金属板 A、B 之间的距离为 d ，有一个质量为 m 电荷量为 q 的正粒子位于 A 板旁，给两金属板直流电压 U ，把两板间的电场看做匀强电场。求：该粒子从 A 板由静止开始运动到达 B 板时的速度 v_B 。



【生】

读题 思考

【师】

首先，我们从运动和力的观念分析，两极板之间视为匀强电场，带电粒子受到恒定的静电力，具有恒定的加速度，向右做匀变速直线运动。我们根据匀变速运动规律 $v_B^2 = 2ad$ 和牛顿第二定律 $F = ma$ 来解决，其中带电粒子所受的静电力由题目所给的条件来确定；

如果我们从功和能的观念出发来分析呢？在电场中，静电力做功等于带电粒子动能的变化量，粒子在该过程初末位置的电压为 U ，可以算出静电力做功

$W = qU$ ，便可以计算出动能变化量 $\frac{1}{2}mv_B^2$ ，进而可以求出粒子到达 B 板时的速度

v_B

我们看一下计算结果。

$$\text{甲：} v^2 = 2ad \quad q \frac{U}{d} = ma \quad \text{乙：} qU = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{结果：} v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

甲所展现的是思路 1，乙所展现的是思路 2。

我们看到，计算结果是一样的。在解决这个问题上两种方法都能胜任。

同时，我们发现要使带电粒子达到很大的速度，必须具有高电压。

而实际上电压不能无限提高，那怎么办呢？

我们一起来看一下，这个粒子是怎样被加速的……

【生】

倾听 思考

【师】

和刚才情景一样，粒子先向右加速，如果还是这块金属板 B，那粒子就会撞到板上，无法再向右加速了。

我们把板换成一个中空金属圆筒，不让它发生碰撞。接下来，我们思考如何让它继续被加速。

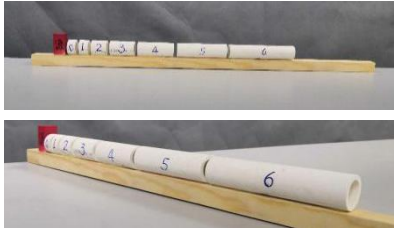
【师】

要想继续被向右加速，就必须受到向右的静电力，受到向右的静电力，就必须有一个方向向右的匀强电场。

我们来一起设计这样一个电场，在右侧加上一个金属圆筒，这样可以使带电粒子有机会继续被加速。

我们还要想办法在这两个圆筒之间产生向右的电场，我想你一定想到了。没错，我们将左边圆筒的低电势改为高电势，而让右边圆筒具有低电势。这样，带电粒子就可以在向右的静电力作用下继续加速了。

通过这个电场之后，我们希望粒子再次被加速，如何做呢？有了刚才的经验，我想你一定很快就找到办法了。

	<p>是的，我们同样在右侧再加上一个金属圆筒，并且将它的电势设为低电势，而它左边圆筒的低电势改为高电势。带电粒子就可以再次被加速了。……接下来，我不问你，你也能想到我们怎样做，可以让带电粒子不停地加速持续下去……</p> <p>在持续加速的过程中，你有没有注意到这一个个圆筒的电势变化特点呢？每个圆筒都是先低后高，这样的变化正好和交变电压的周期性有相似之处。</p> <p>我们将这些圆筒每隔一个连在一起，让这些圆筒具有相同的电势，而另一部分圆筒具有相同的电势。</p> <p>这就是我们要介绍的多级加速器的基本原理。</p> <p>多级加速器是什么样子的呢？我们来看一下它的模型。</p> <p>【生】</p> <p>观察 思考</p>  <p>【师】</p> <p>红色部分表示粒子源，在这里可以产生被加速的带电粒子；标着序号的白色部分表示一系列金属圆筒。如果给这些金属圆筒加上电压就能够使带电粒子不断加速。</p> <p>带电粒子是如何被加速的呢？</p> <p>借助前面的分析来思考，同时关注一下这些问题。</p> <p>【生】</p> <p>根据教师引导思考</p> <p>【师】</p> <p>思考的怎样了？</p> <p>【生】</p> <p>在教师启发下，对问题不断深入认识</p> <p>【师】</p> <p>1.带电粒子会在金属圆筒里被加速吗？</p> <p>你一定很快就否定了，因为我们在上一章学过静电屏蔽，处于静电平衡的带空腔的导体，空腔里的电场强度处处为零。也就是说，带电粒子在金属圆筒里不受静电力，在这里粒子不可能被加速。</p> <p>2.带电粒子在哪里被加速？</p> <p>看来只有在金属圆筒之间的间隙里被加速了。</p> <p>3.加上什么样的电压，可以使带电粒子在通过每个间隙时都加速呢？</p> <p>【生】</p> <p>自己叙述过程</p> <p>【师】</p> <p>你可能会这样说，让 0 号比 1 号电势高、让 1 号比 2 号电势高、让 2 号比 3 号电势高、让 3 号比 4 号电势高、……这样就能使带正电的粒子每次通过间隙时被加速了。</p>
--	---

	<p>说的非常好。但是，这怎样实现呢？</p> <p>如果我们让每个金属圆筒的电势恒定，一定是最后一个筒的电势最低，0号筒的电势最高。还是要找到很高的电压，才能实现带电粒子被加速。制造多级加速器就没有意义了，因为按照刚才的说法我们可以用高电压直接一次加速完成。</p> <p>接下来，我们看用这种变化的电压是如何实现多级加速的……</p> <p>【生】</p> <p>思考并跟着教师，按照层层递进的方式，不断深入认识多级加速器原理。</p> <p>【师】</p> <p>假定被加速的粒子带正电。因为在每个间隙里加速时静电力都要向右，间隙左面的筒要比右面的筒电势高。所以，在某个筒左右间隙加速粒子的时候，这个筒的电势先低后高。</p> <p>我们让 0、2、4、6……的电势$\varphi_{上}$总一样，1、3、5……的电势$\varphi_{下}$总一样，当$\varphi_{上}$比$\varphi_{下}$高时，在 0、1 间隙，2、3 间隙，4、5 间隙可以加速带电粒子；</p> <p>反之，$\varphi_{下}$比$\varphi_{上}$高时，在 1、2 间隙，3、4 间隙，5、6 间隙可以加速带电粒子；关键是$\varphi_{上}$与$\varphi_{下}$之间的电压不用很大就可以实现多级加速了。</p> <p>交变电压就解决了这个问题。</p> <p>【生】</p> <p>倾听 思考</p> <p>【师】</p> <p>下面是一个用多级加速器加速带电粒子的模拟实验。</p> <p>上图是我们用到的实验装置，下图是在较暗环境下拍摄的，颜色与眼睛直接观察一致。</p> <p>左边代表粒子源，圆筒的颜色代表电势高低。我们假定加速正粒子，红色代表电势高，绿色代表电势低。</p> <p>通过模拟实验，来体会一下粒子如何在间隙里被加速（放视频）</p> <p>我们注意到，粒子在间隙内加速的时候，左边的筒是红色、而右边的筒是绿色。说明正电粒子每次经过间隙时都受到向右的静电力。</p> <p>如果用多级加速器来加速电子也是可以的，请你来分析一下。</p> <p>【生】</p> <p>观察 思考 尝试深入分析</p> <p>【师】</p> <p>这是加速电子的多级加速器的模型图，在这个装置中，多个横截面积相同的金属圆筒依次排列，其中心轴线在同一直线上。</p> <p>下图表示交变电源两极间电势差的变化规律。</p> <p>相信你一定能够分析出来，自己说一说吧。（停顿）</p> <p>【生】</p> <p>自己先叙述</p> <p>【师】</p> <p>实际上，与加速正粒子的模型道理是一样的，只是由于电子带负电，关于圆筒电势高低的结论刚好与前面相反。</p> <p>同学们，你们注意到了吗？为什么图上画的圆筒越向右越长呢？</p> <p>【生】</p> <p>思考新的问题</p>
--	---

2	<div data-bbox="300 1809 363 2011" data-label="Text"> <p>环节四 研究非匀</p> </div>	<div data-bbox="395 190 1353 1601" data-label="Text"> <p>【师】 要知道相邻两筒的间隙很小，电子通过圆筒间隙的时间忽略不计。所以，它在每个圆筒中运动的时间都是半个周期，而它在圆筒里做匀速运动的速度越向右越大，被不断加速。越向右圆筒自然越长。</p> <p>新的问题出现了，这些筒的长度又有什么规律呢？你先试着算一算吧。</p> <p>【生】 动手实际运算</p> <p>【师】 电子每次通过间隙的时候静电力做功都是 eu，进入 n 号圆筒的时候已经经历了 n 次加速。</p> <p>结合静电力做功加速电子的规律，利用动能定理求出在 n 号圆筒中运动的速度，再根据匀速直线运动的规律求出结果。</p> $l_n = \frac{T}{2} \sqrt{\frac{2eun}{m}}$ <p>我们发现第 n 号圆筒的长度与该圆筒序号的平方根成正比，充分说明越向右圆筒越长。</p> <p>粒子在每个筒内的匀速运动的速度越来越快，我们简单感受一下这个过程吧（插入录像）</p> <p>【生】 观察 体会</p> <p>【师】 我们可以体会到，粒子的速度是不断加快的。 刚才我们是直接运用静电力做功和动能定理来分析的。 下面，换个思路分析。</p> <p>【生】 边聆听 边思考</p> <p>【师】 两个相邻的圆筒之间很近，距离为 d，视为匀强电场，在每次加速的过程中满足匀变速直线运动规律。根据牛顿第二定律和运动学公式，可以列式求解。（内容见 ppt），首先根据牛顿第二定律求加速度，然后根据运动学公式计算每次经过加速后的速度。然后再求金属圆筒的长度和它的序号之间的关系。</p> <p>这样解答，过程显得然麻烦一些，但对于理解 d 很小，导致在间隙内运动时间可以忽略，会更清楚。</p> </div> <div data-bbox="395 1646 481 1680" data-label="Section-Header"> <p>环节四</p> </div> <div data-bbox="422 1686 569 1720" data-label="Text"> <p>请看例题 3，</p> </div> <div data-bbox="432 1727 499 1760" data-label="Text"> <p>【生】</p> </div> <div data-bbox="422 1769 552 1803" data-label="Text"> <p>读题 思考</p> </div> <div data-bbox="395 1809 1008 2011" data-label="Text"> <p>例题 2：如图所示，有一个带正电的点电荷形成的电场。一个电荷量为 $+q$ 质量为 m 的带电粒子沿电场线方向向右进入该电场，该粒子先后通过 A、B 两点，且通过 A 点时的速度为 v_A。已知 A、B 两点的电势分别为 φ_A 和 φ_B，求：粒子通过 B 点的速度</p> </div> <div data-bbox="1037 1825 1300 2004" data-label="Image"> </div>
---	--	---

分钟	强场运动	<p>v_B有多大。</p> <p>【师】</p> <p>由于是非匀强场，带电粒子的加速度在不同位置会发生改变，无法利用匀变速直线运动的规律来解决。</p> <p>在这个过程中，仅有静电力做功，我们可以利用动能定理，注意静电力做功表达式的准确性。（第一种思想）</p> <p>由于只有电场力做功，带电粒子的动能和电势能的总和保持不变，我们也可以根据能量守恒来求解。（第二种思想）</p> <p>这两种思想都利用了能量的观念。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>第一种</p> $W_{AB} = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$ $W_{AB} = q(\varphi_A - \varphi_B)$ </div> <div style="text-align: center;"> <p>第二种</p> $E_{kA} + E_{pA} = E_{kB} + E_{pB}$ $\frac{1}{2}mv_A^2 + q\varphi_A = \frac{1}{2}mv_B^2 + q\varphi_B$ </div> </div> <p>环节五</p> <p style="color: red; text-align: center;">解决带电粒子在电场中的运动的一般方法</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: 45%;"> <p style="color: red; text-align: center;">运动和力</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <p>牛顿第二定律</p> <p>运动学规律</p> </div> <p style="text-align: center;">研究匀强电场，并且涉及有关时间讨论的问题更加适合。</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: 45%;"> <p style="color: red; text-align: center;">功和能</p> <p style="text-align: center;">往往是静电力做功与动能定理相结合</p> <p style="text-align: center;">研究非匀强电场，或者仅讨论能量等问题更具优势。</p> </div> </div>
1分钟	环节五 课堂小结	

备注：本课中的模拟实验由北京师范大学第二附属中学彭梦华老师提供。