

物理必修二全册教案

第五章 曲线运动

5.1 曲线运动

三维教学目标

1、知识与技能

- (1) 知道曲线运动中速度的方向，理解曲线运动是一种变速运动；
- (2) 知道物体做曲线运动的条件是所受的合外力与它的速度方向不在一条直线上。

2、过程与方法

- (1) 体验曲线运动与直线运动的区别；
- (2) 体验曲线运动是变速运动及它的速度方向的变化。

3、情感、态度与价值观

- (1) 能领略曲线运动的奇妙与和谐，发展对科学的好奇心与求知欲；
- (2) 有参与科技活动的热情，将物理知识应用于生活和生产实践中。

教学重点： 什么是曲线运动；物体做曲线运动的方向的确定；物体做曲线运动的条件。

教学难点： 物体做曲线运动的条件。

教学方法： 探究、讲授、讨论、练习

教具准备： 投影仪、投影片、斜面、小钢球、小木球、条形磁铁。

教学过程：

第一节 曲线运动

(一) 新课导入

前面我们学习过了各种直线运动，包括匀速直线运动、匀变速直线运动、自由落体运动等。下面来看这个小实验，判断该物体的运动状态。

实验： (1) 演示自由落体运动，该运动的特征是什么？（轨迹是直线）

- (2) 演示平抛运动，该运动的特征是什么？（轨迹是曲线）

这里我们看到一种我们前面没有学过的运动形式，它与我们前面学过的运动形式有本质的区别。前面我们学过的运动的轨迹都是直线，而我们现在看到的这种运动的轨迹是曲线，我们把这种运动称为曲线运动。

概念： 轨迹是曲线的运动叫曲线运动。其实曲线运动是比直线运动普遍的运动情形，现在请大家举出一些生活中的曲线运动的例子？（微观世界里如电子绕原子核旋转；宏观世界里如天体运行；生活中如投标枪、掷铁饼、跳高、铅球等均为曲线运动）

(二) 新课教学

1、曲线运动速度的方向

在前面学习直线运动的时候我们已经知道了任何确定的直线运动都有确定的速度方向，这个方向与物体的运动方向相同，现在我们又学习了曲线运动，大家想一想我们该如何确定曲线运动的速度方向？在解决这个问题之前我们先来看几张图片(如图 6.1-1、6.1-2)。

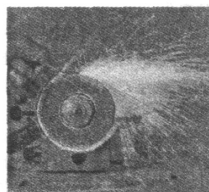


图 6.1-1



图 6.1-2

观察图中所描述的现象，你能不能说清楚，砂轮打磨下来的炽热的微粒。飞出去的链球，它们沿着什么方向运动？

射出的火星是砂乾与刀具磨擦出的微粒，由于惯性，以脱离砂轮时的速度沿切线方向飞出，切线方向即为火星飞出时的速度方向。对于链球也是同样的道理，它们也会沿着脱离点的切线方向飞出。

刚才的几个物体的运动轨迹都是圈，我们总结曲线运动的方向沿着切线方向，但对于一般的曲线运动是不是也是这样呢？下面我们来做个实验看一看，一般的曲线运动是什么情况。

(演示实验)

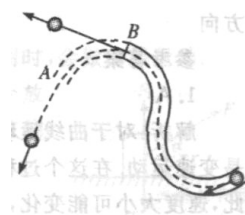


图 6.1-3

如图 6.1D 3 所示：水平桌面上摆一条曲线轨道，它是由几段稍短的轨道组合而成的。钢球由轨道的一端滚入(通过压缩弹簧射入或通过一个斜面滚入)，在轨道的束缚下钢球做曲线运动。在轨道的下面放一张白纸，蘸有墨水的钢球从出口 A 离开轨道后在白纸上留下一条运动的轨迹，它记录了钢球在 A 点的运动方向。拿去一段轨道，钢球的轨道出口改在田中且同样的方法可以记录钢球在轨道 B 点的运动方向。观察一下，白纸上的墨迹与轨道(曲线)有什么关系？

墨迹与轨道只有一个交点，说明了墨迹所在的直线为轨道所在曲线在该点的切线，也就是说质点在某一点（或某一时刻）的速度的方向是在曲线的这一点的切线方向。

很好。通过这个实验我们总结出了确定做曲线运动的物体在任意一点的速度方向，下面我们再从理论上对这个结论证明一下，以加深大家的理解。

把我们前面学过的瞬时速度的求解方法应用到这里，我们就可以求出任意一点的速度了。下面我们来看这个过程是怎样的。

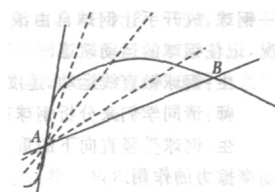


图 6.1-4

(1) 如图 6.1D 4，要求直线上的某处 A 点的瞬时速度，可在离 A 不远处取一 B 点，求 AB 的平均速度来近似表示 A 点的瞬时速度，如果时间取得更短，这种近似更精确，如时间趋近于零，那么 AB 间的平均速度即为 A 点的瞬时速度。

(2) 在曲线运动中如何求某点的瞬时速度？

分析：用与直线运动相同的思维方法来解决。

先求 AB 的平均速度，据式： $V_{AB} = X_{AB}/t$ 可知： V_{AB} 的方向与 X_{AB} 的方向一致，t 越小， V_{AB} 越接近 A 点的瞬时速度，当 $t \rightarrow 0$ 时，AB 曲线即为切线，A 点的瞬时速度为该点的切线方向。

由此我们就可以肯定我们刚才所得出的结论是正确的。

明确了曲线运动的方向之后，我们来考虑这样一个问题：在运动过程中，曲线运动的速度和直线运动的速度最大的区别是什么？

在运动的过程中，直线运动的速度方向不发生变化，而曲线运动速度方向时刻在变。

很好。那我们由速度的性质知，速度是矢量，既有大小又有方向。在匀变速运动中，速度大小发生变化，我们说这是变速运动，而在曲线运动中，速度方向时刻在改变，我们也说它是变速运动。

实际上这个过程我们可以这样来理解：速度是矢量+速度方向变化，速度矢量就发生了变化→具有加速度→曲线运动是变速运动。

下面我们来看几个题目：

(1) 关于曲线运动，下列说法正确的是……………()

A. 曲线运动一定是变速运动

B. 曲线运动速度的方向不断地变化。但速度的大小可以不变

C.曲线运动的速度方向可能不变 D.曲线运动的速度大小和方向一定同时改变

(2) 对曲线运动中的速度的方向, 下列说法正确的是……………()

A.在曲线运动中, 质点在任一位置的速度方向总是与这点的切线方向相同

B.在曲线运动中, 质点的速度方向有时也不一定是沿着轨迹的切线方向

C.旋转雨伞时, 伞面上的水滴由内向外做螺旋运动, 故水滴速度方向不是沿其切线方向的

D.旋转雨伞时, 伞面上的水滴由内向外做螺旋运动, 水滴速度方向总是沿其轨道的切线方向

参考答案

(1) A 解析: 对于曲线运动来说, 在运动的过程中, 物体速度方向始终在变化, 所以曲线运动一定是变速运动. 在这个过程中, 物体速度的大小是否发生变化, 并不影响曲线运动是变速运动. 因此, 速度大小可能变化, 也可能不变. 所以本题应该选择 A

(2) AD 解析: 本题主要考查物体做曲线运动时的速度方向, 解此题只要把握一点: 不论在任何情况下, 曲线运动速度方向总是与其轨道的切线方向一致的, 所以本题应该选择 AD

(2) 物体做曲线运动的条件

为什么有些物体做直线运动, 有些物体做曲线运动呢? 下面我们通过几个实验来研究以下这个问题。

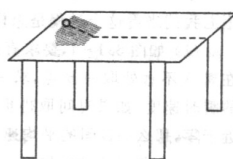


图 6.1-5

如图 6.1-5 所示的装置放在水平桌面上, 在斜面顶端放置一钢球, 放开手让钢球自由滚下, 观察钢球在桌面上的运动情况, 记住钢球的运动轨迹。(钢球做直线运动, 速度逐渐减小。)

请同学们来分析钢球在桌面上的受力情况?(钢球受竖直向下的重力, 竖直向上的支持力, 还受到滑动摩擦力的作用。)

摩擦力的方向如何?(摩擦力的方向与运动方向在同一直线上, 但与运动方向相反)

演示实验: 在刚才实验中, 钢球的运动路径旁边放一块磁铁, 重复刚才的实验操作, 观察钢球在桌面上的运动情况?

(钢球做曲线运动)

分析钢球在桌面上的受力情况?(钢球受竖直向下的重力, 竖直向上的支持力, 还受到方向与运动方向相反的滑动摩擦力的作用, 此外还受到磁铁的吸引力。)

引力的方向如何?(引力的方向随着钢球的运动不断改变, 但总是不与运动方向在同一直线上。)

演示实验: 把上次实验用的钢球改为同等大小的木球重复上次实验, 观察木球运动情况?(木球做直线运动, 速度不断减小。)

分析木球在桌面上的受力情况?(木球受竖直向下的重力、竖直向上的支持力, 还受到方向与运动方向相反的滑动摩擦力的作用, 木球并不受到磁铁给它的吸引力。)

演示实验: 随手抛出一个粉笔头, 观察粉笔头的运动状态?(粉笔头做曲线运动)

分析粉笔头的受力情况?(受竖直向下的重力的作用。)

在以上几个实验中, 第一个钢球只受到与运动方向在同一条直线上与运动方向垂直的力的作用, 做的是直线运动, 木球同样也受到这样的力的作用, 也是做直线运动, 而第二个钢球受到一个与运动方向成一定夹角的力的作用, 做的是曲线运动; 粉笔头受的重力与它的运动方向也不在同一条直线上, 粉笔头做曲线运动. 由此我们可以得出什么样的情况下物体会做曲线运动?

结论: 当物体受到与运动方向不垂直也不在同一条直线上的力的作用时, 会做曲线运动。

现在大家来看这样一道题, 如图 6.1-6 所示, 光滑水平桌面上放置质量为 m 的物体, 受到与水平方向成 α 角斜向上的力的作用, 分析该物体的运动情况?(物体做匀加速直线运动。)

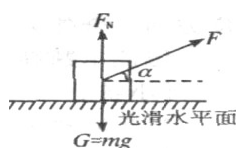


图 6.1-6

物体的受力情况是怎样的?(受竖直向下的重力、竖直向上的支持力以及拉力。)

拉力与运动方向有什么关系？（与运动方向有一定角度）

刚才我们总结说：当物体受到与运动方向成一定角度的力的作用时，物体会做曲线运动，而在这个实验中，物体受的力与运动方向成一定角，但物体并没有做曲线运动，这是什么原因呢？

对于钢球来说，它不仅受到与运动方向成一定角度的力的作用，而且它所受到的合外力的方向也与运动方向成一定角度，钢球做曲线运动；对于粉笔头来说，它所受到的重力就是它受到的合外力，与运动方向成一定角度，粉笔头做曲线运动；对于刚才实验中的物体来说，虽然它所受到的拉力与运动方向成一定角度，但物体所受的合外力仍然与运动方向在同一直线上，所以该物体并没有做曲线运动。那我们该如何总结物体做曲线运动的条件呢？

结论：当物体所受的合力方向跟它的速度方向不在同一直线上时，物体将做曲线运动。

3、交流与讨论

- (1) 飞机扔炸弹，分析为什么炸弹做曲线运动？
- (2) 我们骑摩托车或自行车通过弯道时，我们侧身骑，为什么？
- (3) 盘山公路路面有何特点？火车铁轨在弯道有何特点？

参考解答

- (1) 炸弹离开飞机后由于惯性，具有与飞机同样的水平初速度，且受重力，初速度与重力方向有一定角度，所以做曲线运动。
- (2) 骑摩托车或自行车通过弯道时，我们和车一起做曲线运动，这个时候人和车这个整体需要一个与运动方向成一定夹角的力来完成这个曲线运动，我们侧身正是为了提供这个力。
- (3) 盘山公路的路面并不是水平的，而是一边高一边低；火车铁轨在弯道的时候两根铁轨并不是一般高的，而是一个高一个低。之所以这样设计，正是因为各种车辆爬盘山公路的时候做的都是曲线运动，火车拐弯时也是曲线运动，这些曲线运动都需要一个与运动方向成一定夹角的力来完成。盘山公路和火车铁轨的这种设计就是为提供这个力服务的。

4、小结：

- (1) 运动轨迹是曲线的运动叫曲线运动。
- (2) 曲线运动中速度的方向是时刻改变的，质点在某一点的瞬时速度的方向在曲线的这一点的切线上。
- (3) 当合外力 F 的方向与它的速度方向有一夹角时，物体做曲线运动。

板书设计：

5.1 曲线运动

1、曲线运动

定义：运动轨迹是曲线的运动叫做曲线运动。

2、物体做曲线运动的条件

当物体所受的合力方向跟它的速度方向不在同一直线上时，物体将做曲线运动。

3、曲线运动速度的方向

质点在某一点的速度，沿曲线在这一点切线方向。

4、曲线运动的性质

曲线运动过程中速度方向始终在变化，因此曲线运动是变速运动。

5.2 运动的合成和分解

三维教学目标

1、知识与技能

- (1) 在具体情景中，知道合运动、分运动分别是什么，知道其同时性和独立性；
- (2) 知道运动的合成与分解，理解运动的合成与分解遵循平行四边形定则；
- (3) 会用作图和计算的方法，求解位移和速度的合成与分解问题。

2、过程与方法

- (1) 通过对抛体运动的观察和思考，了解一个运动可以与几个不同的运动效果相同，体会等效替代的方法；
- (2) 通过观察和思考演示实验，知道运动独立性。学习化繁为简的研究方法；
- (3) 掌握用平行四边形定则处理简单的矢量运算问题。

3、情感、态度与价值观

- (1) 通过观察，培养观察能力；
- (2) 通过讨论与交流，培养勇于表达的习惯和用科学语言严谨表达的能力。

教学重点

- (1) 明确一个复杂的运动可以等效为两个简单的运动的合成或等效分解为两个简单的运动；
- (2) 理解运动合成、分解的意义和方法。

教学难点：分运动和合运动的等时性和独立性；应用运动的合成和分解方法分析解决实际问题。

教学方法：探究、讲授、讨论、练习

教学用具：演示红蜡块运动的有关装置。

教学过程：

第二节 运动的合成和分解

（一）新课导入

上节课我们学习了曲线运动的定义，性质及物体做曲线运动的条件，先来回顾一下这几个问题：什么是曲线运动？（运动轨迹是曲线的运动是曲线运动。）

怎样确定做曲线运动的物体在某一时刻的速度方向？（质点在某一点的速度方向沿曲线在这一点切线方向。）

物体在什么情况下做曲线运动？（当物体所受合力的方向跟它的速度方向不在同一直线上时，物体做曲线运动。）

通过上节课的学习，我们对曲线运动有了一个大致认识，但我们还没有对曲线运动进行深入研究，要研究曲线运动需要什么样的方法呢？这节课我们就来研究这个问题。

（二）新课教学

我们先来回想一下我们是怎样研究直线运动的，同学们可以从如何确定质点运动的位移来考虑。

可以沿着物体或质点运动的轨迹建立直线坐标系，通过物体或质点坐标的变化可以确定其位移，从而达到研究物体运动过程的目的。现在我们先看一个匀加速直线运动的例子。

一个物体以初速度 v_0 、加速度 a_0 做匀加速直线运动，经过时间 t ，物体的位移 $x = v_0 t + \frac{1}{2} a_0 t^2$ ，物体的速度为 $v = v_0 + a_0 t$ 。这是同学们熟知的规律。

这里我们可以把物体的位移 x 看成 $x = x_1 + x_2$ 的形式，其中

$$x_1 = v_0 t$$

$$x_2 = \frac{1}{2} a_0 t^2$$

可以把物体的速度 v 看成 $v = v_1 + v_2$ 的形式，其中 $v_1 = v_0$ $v_2 = a_0 t$

可以将物体的加速度 a 看成 $a = a_1 + a_2$ 的形式，其中 $a_1 = 0$ $a_2 = a_0$

现在大家来分析一下这个过程，对于 x_1 、 v_1 、 a_1 所代表的运动属于哪种运动形式？

生：物体的运动轨迹是直线，位移均匀增大，速度不变，加速度为零，故这种运动为匀速直线运动。

师：对于 x_2 、 v_2 、 a_2 所代表的运动属于哪种运动形式？

物体运动轨迹是直线，位移增大的越来越快，初速度为零，速度均匀增大，加速度保持不变，所以这种运动为初速度为零的匀加速直线运动。

现在我们可以看到，我们已经把这个物体的运动分解成了两个运动：其一是速度为 v_0 的匀速直线运动；其二是同方向的初速度为 0，加速度为 a 的匀加速直线运动。可以说这种方法可以将比较复杂的一个运动运动转化成两个或几个比较简单的运动，这种方法我们称为运动的分解。实际上运动的分解不仅能够应用在直线运动中，对于曲线运动它同样适用。下面我们就来探究一下怎样应用运动的合成与分解来研究曲线运动。

演示实验：如图 6. 2D 1 所示，在一端封闭、长约 1m 的玻璃管内注满清水，水中放一红蜡做的小圆柱体 R，将玻璃管的开口端用胶塞塞紧。(图甲)

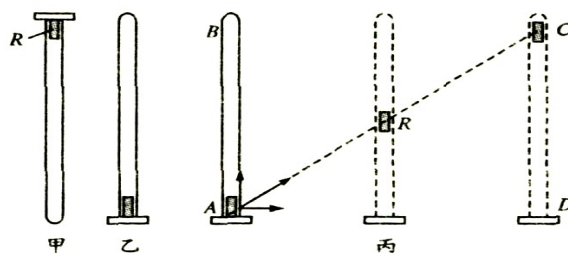


图 6.2-1

将这个玻璃管倒置(图乙)，蜡块 R 就沿玻璃管上，如果旁边放一个米尺，可以看到蜡块上升的速度大致不变，即蜡块做匀连直线运动。

再次将玻璃管上下颠倒，在蜡块上升的同时将玻璃管水平向右匀速移动，观察蜡块的运动。(图丙)

在黑板的背景前观察由甲到乙的过程，可以发现蜡块做的是匀速直线运动，而过程丙中蜡块做的是什么运动呢？有可能是直线运动，速度大小变不变化不能判断，有可能是曲线运动。也就是说，仅仅通过用眼睛观察我们并不能得到物体运动的准确信息，要精确地了解物体的运动过程，还需要我们进行理论上的分析。下面我们就通过运动的分解对该物体的运动过程进行分析。

对于直线运动，很明显，其运动轨迹就是直线，直接建立直线坐标系就可以解决问题，但如果是一个运动轨迹不确定的运动还能这样处理吗？很显然是不能的，这时候我们可以选择平面内的坐标系了。比如选择我们最熟悉的平面直角坐标系。下面我们来看一看怎样在平面直角坐标系中研究物体的运动。

1、蜡块的位置

建立如图 6.2D 2 所示的平面直角坐标系：选蜡块开始运动的位置为原点，水平向右的方向和竖直向上的方向分别为 x 轴和 y 轴的正方向。

在观察中我们已经发现蜡块在玻璃管中是匀速上升的，所以我们设蜡块匀速上升的速度为 v_y ，玻璃管向右匀速运动的速度为 v_x ，从蜡块开始运动的时刻开始计时，我们就可以得到蜡块在 t 时刻的位置 P(x, y)，我们该如何得到点 p 的两个坐标呢？

蜡块在两个方向上做的都是匀速直线运动，所以 x、y 可以通过匀速直线运动的位移公式 $x=vt$ 获得，即：

$$x=v_x t \quad y=v_y t$$

这样我们就确定了蜡块运动过程中任意时刻的位置，然而要知道蜡块做的究竟是什么运动这还不够，我们还要知道蜡块的运动轨迹是什么样的。下面我们就来探究这个问题。

2、蜡块的运动轨迹

我们在数学课上就已经学过了怎样在坐标中表示一条直线或曲线。在数学上，关于 x、y 两个变量的方程就可以代表一条直线或曲线，现在我们要找的蜡块运动的轨迹，实际上我们只要找到表示蜡块运动轨迹的方程就可以了。观察我们刚才得到的关于蜡块位置的两个方程，发现在这两个关系式中，除了 x、y 之外还有一个变量“那我们应该如何来得到蜡块的轨迹方程呢？

根据数学上的消元法，我们可以从这两个关系式中消去变量 t，就可以得到关于 x、y 两个变量的方程了。实际上我们前面得到的两个关系式就相当于我们在数学上学到的参数方程，消 t 的过程实际上就是消参数的过程。

那消参数的过程和结果应该是怎样的呢？

我们可以先从公式(1)中解出 t

$$t=x/v_x \quad y=v_y x/v_x$$

现在我们对公式④进行数学分析，看看它究竟代表的是一条什么样的曲线呢？

由于蜡块在 x、y 两个方向上做的都是匀速直线运动，所以 v_y 、 v_x 都是常量。所以 v_y/v_x 也是常量，可见公式④表示的是一条过原点的倾斜直线。

在物理上这代表什么意思呢？

这也就是说，蜡块相对于黑板的运动轨迹是直线，即蜡块做的是直线运动。

既然这个方程所表示的直线就是蜡块的运动轨迹，那如果我们要找蜡块在任意时刻的位移，是不是就可以通过这条直线来实现呢？下面我们来看今天的第三个问题。

3、蜡块的位移

在直线运动中我们要确定物体运动的位移，我们只要知道物体的初末位置就可以了对于曲线运动也是一样的。在前面建立坐标系的时候我们已经说过了，物体开始运动的位置为坐标原点，现在我们要找任意时刻的位移，只要再找出任意时刻 t 物体所在的位置就可以了。

实际上这个问题我们已经解决了，前面我们已经找出物体在任意时刻的位置 $P(x, y)$ ，请同学们想一下在坐标中物体位移应该是怎么表示的呢？

在坐标系中，线段 OP 的长度就代表了物体位移的大小。现在我找一位同学来计算一下这个长度。

$$OP = \sqrt{x^2 + y^2} = t\sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

我们在前面的学习中已经知道位移是矢量，所以我们要计算物体的位移仅仅知道位移的大小是不够的，我们还要再计算位移的方向。这应该怎样来求呢？

因为坐标系中的曲线就代表了物体运动的轨迹，所以我们只要求出该直线与 x 轴的夹角 θ 就可以了。要求“我们只要求出它的正切就可以了。

$$\tan \theta = v_y / v_x$$

这样就可以求出 θ ，从而得知位移的方向。

现在我们已经知道了蜡块做的是直线运动，并且求出了蜡块在任意时刻的位移，但我们还不知道蜡块做的是什么样的直线运动，要解决这个问题，我们还要求出蜡块的速度。

4、交流与探究

现在我们探讨了蜡块在玻璃管中的运动，请大家考虑实际生活中我们遇到的哪些物体的运动过程与蜡块相似？**典型事例：**小船过河，对小船在水里的运动加以讨论。

参考解答：小船过河时的运动情况和蜡块在玻璃管中的运动基本是相同的。首先小船过河时它会有一个自己的运动速度，当它开始行走的时候，同时由于水流的作用，它要顺着水流获得一个与水的运动速度相同的速度。小船自己的速度一般是与河岸成一定角度的，而水流给小船的速度却是沿着河岸的。所以小船实际的运动路径是这两个运动合成的结果。而合速度的大小取决于这两个建度的大小和方向，而小船渡河的时间仅与小船自身的速度有关，与水流的速度是没有关系的。

5、蜡块的速度

根据我们前面学过的速度的定义，物体在某过程中的速度等于该过程的位移除以发生这段位移所需要的时间，即前面我们已经求出了蜡块在任意时刻的位移的大小 $OP = \sqrt{x^2 + y^2} = t\sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ 所以我们可以直接计算蜡块的位移，直接套入速度公式我们可以得到什么样的速度表达式？带人公式可得：

$$v = \frac{OP}{t} = \frac{t \sqrt{v_x^2 + v_y^2}}{t} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}.$$

分析这个公式我们可以得到什么样的结论？

$$v_y / v_x \text{ 都是常量, } v = \frac{OP}{t} = \frac{t \sqrt{v_x^2 + v_y^2}}{t} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}. \text{ 也是常量. 也就是说蜡块的速度是不发生变化的, 即蜡块做}$$

的是匀速运动。

结合我们前面得出的结论，我们可以概括起来总结蜡块的运动，它做的应该是个什么运动？（蜡块做的是匀速直线运动。）

在这个实验中，我们看到的蜡块实际的运动是相对于黑板向右上方运动的，而这个运动并不是直接发生的，它是由向上和向右的两个运动来构成的，在这种情况下，我们把蜡块沿玻璃管向上的运动和它随着玻璃管向右的运动，都叫做分运动；而蜡块相对于黑板向右上方的运动叫做合运动。明确了合运动和分运动的概念之后，我们就可以得出运动合成与分解的概念了：

由分运动求合运动的过程叫做运动的合成；

由合运动求分运动的过程叫做运动的分解。

思考与讨论

如果物体在一个方向上的分运动是匀速直线运动，在与它垂直方向的分运动是匀加速直线运动。合运动的轨迹是什么样的？

(参考提示: 匀速运动的速度 V_1 和匀速运动的初速度的合速度应如图 6. 2D 3 所示, 而加速度 a 与 v_2 同向, 则 a 与 v 合必有夹角, 因此轨迹为曲线。)

第二课时:

1、实验探究运动的独立性

在如图 6. 2D 4 所示的装置中, 两个相同的弧形轨道 M、N, 分别用于发射小铁球 P、Q; 两轨道上端分别装有电磁铁 C、D; 调节电磁铁 C、D 的高度, 使 $AC=BD$, 从而保证小铁球 P、Q 在轨道出口处的水平初速度 v_0 相等。

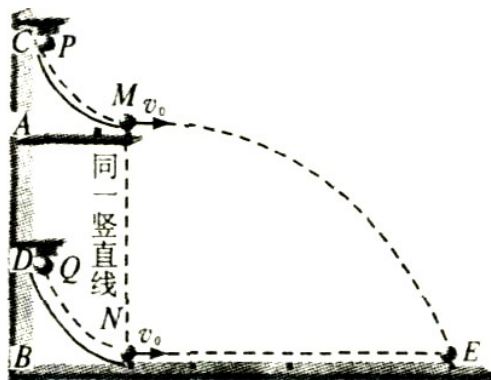


图 6. 2 - 4

现将小铁球 p、Q 分别吸在电磁铁 C、D 上, 然后切断电源, 使两小铁球能以相同的初速度 V_0 同时分别从轨道 M、N 的下端射出。实验结果是两小球同时到达 E 处, 发生碰撞, 增大或者减小轨道 M 的高度, 只改变小铁球 P 到达桌面时速度的竖直方向分量的大小, 再进行实验, 结果两小铁球总是发生碰撞。

实验结果显示, 改变小球 P 的高度, 两个小球仍然会发生碰撞, 说明沿竖直方向距离的变化, 虽然改变了两球相遇时小球 P 沿竖直方向速度分量的大小, 但并不改变小球 P 沿水平方向的速度分量大小, 因此, 两个小球一旦处于同一水平面, 就会发生碰撞。这说明小球在竖直方向上的运动并不影响它在水平方向上运动。

下面我们来看一个通过运动的合成与分解解决实际问题的例子。

书上例题剖析

我们现在来总结一下运动的合成与分解。先来回想一下, 对蜡块运动的分解有几个方面的内容? (包括对运动速度的合成与分解, 对位移的合成与分解。)

对。实际上关于运动的合成与分解。不仅包含这两方面的内容, 还包括对加速度的合成与分解, 我们这节课中有牵扯到这个问题, 在以后的学习中我们会遇到这样的情况。

现在请大家再来想一下, 在运动的合成与分解的过程中, 合运动和各个分运动之间有什么关系? (合运动和分运动总是同时开始同时结束, 没有合运动也就没有分运动, 反之也成立, 即没有分运动也就没有合运动。)

很好, 对于运动的合成与分解过程的这个特点, 我们把它称为运动的合成与分解的等时性原理。也就是说, 在物体的运动过程中, 合运动持续的时间和各分运动所持续的时间是致的。这是合运动与分运动之间的关系。现在大家再来考虑各个分运动之间有什么关系? (就蜡块的运动来说, 当玻璃管上下颠倒后静止时, 在竖直方向上蜡块做的是匀速直线运动, 当玻璃管上下颠倒后增加了一个向右的匀速直线运动后, 蜡块竖直方向的运动仍然为匀速直线运动, 也就是说, 蜡块在竖直方向上的分运动并不会受到其他分运动的影响。)

实际上不仅仅蜡块竖直方向上的分运动不受其他分运动的影响, 在运动的过程中, 虽然体现出来的是合运动的运动效果, 但各个分运动仍然保持各自的独立性, 并不会因为参与了运动合成而改变自己的状态, 在运动的合成的过程中, 各个分运动是互不影响的。我们把这个特点称为运动的合成与分解的独立性原理。

现在再来考虑我们在对蜡块的速度、位移进行分解与合成的时候是采用的是什么方法? 或者说是在合成与分解的过程中合速度与分速度、合位移与分位移之间存在着什么样的联系? (合速度是两个分速度通过平行四边形定则求出来的, 也就是它们之间是进行的矢量加减, 合位移与分位移之间也存在这种关系。)

也就是说在运动的合成与分解的过程中, 统一的遵守着平行四边形定则。之所以会出现这种规律, 其根本在于我们在运动的合成与分解中所合成与分解的各个物理量都是矢量, 而矢量的加减是遵循平行四边形定则的。

在这节课的学习中, 我们遇到的都是相互垂直的两个方向上的运动的合成与分解。实际上, 对于互成任意角度的两个方向

上的运动同样可以根据平行四边形定则进行合成与分解。

2、实验与探究

(1) 让玻璃管倾斜一个适当的角度，沿水平方向匀速运动，同时让红色的蜡块沿玻璃管匀速运动，如图 6.2-6 所示，请大家思考如何确定红蜡块的位置、运动轨迹以及红蜡块的速度。

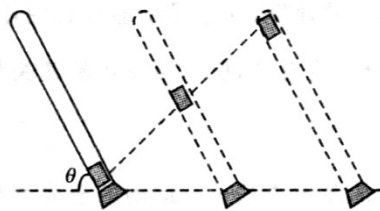


图 6.2-6

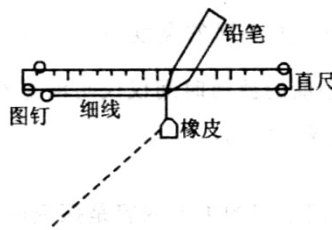


图 6.2-7

(2) 在你的铅笔盒里取一块橡皮，用一根细线拴住，把线的另一端用图钉固定在竖直放置的图板上。按 6.2-7 所示的方法，用铅笔靠着线的左侧，沿直尺向右匀速移动，再向左移动，来回做几次。仔细观察橡皮的运动轨迹。

结合实验现象，讨论以下问题：橡皮的运动是由哪两个运动合成的？合运动的位移与分运动的位移之间有什么关系？合运动的速度 V 与分运动的速度 V_1 、 V_2 ，有什么关系？

课堂训练

(1) 关于运动的合成，下列说法中正确的是……………()

- A. 合运动的速度一定比每一个分运动的速度大
- B. 两个匀速直线运动的合运动，一定是匀速直线运动
- C. 两个分运动是直线运动的合运动，一定是直线运动
- D. 两个分运动的时间，一定与它们的合运动的时间相等

(2) 如果两个分运动的速度大小相等，且为定值，则以下说法中正确的是……()

- A. 两个分运动夹角为零，合速度最大
- B. 两个分运动夹角为 90° ，合速度大小与分速度大小相等
- C. 合速度大小随分运动的夹角的增大而减小
- D. 两个分运动夹角大于 120° ，合速度的大小等于分速度

(3) 小船在静水中的速度是 v ，今小船要渡过一河流，渡河时小船朝对岸垂直划行，若航行至中心时，水流速度突然增大，则渡河时间将……………()

- A. 增大
- B. 减小
- C. 不变
- D. 无法确定

小结：这节课我们学习的主要内容是探究曲线运动的基本方法——运动的合成与分解。这种方法在应用过程中遵循平行四边形定则，在实际的解题过程中，通常选择实际看到的运动为合运动，其他的运动为分运动。

运动的合成与分解包括以下几方面的内容：速度的合成与分解；位移的合成与分解；加速度的合成与分解。

合运动与分运动之间还存在如下的特点：独立性原理：各个分运动之间相互独立，互不影响。等时性原理，合运动与分运动总是同时开始，同时结束，它们所经历的时间是相等的。

板书设计：

2. 运动的合成与分解

一、匀加速直线运动的合成与分解

匀加速直线运动: $x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ $v = v_0 + a t$

分解后运动 1: $x_1 = v_0 t$ $v_1 = v_0$ $a_1 = 0$

该运动为匀速直线运动

运动 2: $x_2 = \frac{1}{2} a t^2$ $v_2 = a_0 t$ $a_2 = a_0$

该运动为匀加速直线运动

二、对蜡块运动的研究

1. 蜡块的位置 $P(x, y)$

$$x = v_x t \quad y = v_y t$$

2. 蜡块的运动轨迹

$$y = \frac{v_y}{v_x} x \quad \text{运动轨迹是直线}$$

3. 蜡块的位移

$$\text{大小: } OP = \sqrt{x^2 + y^2} = t \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$\text{方向: } \tan \theta = \frac{v_y}{v_x}$$

4. 蜡块的速度

$$\text{大小: } v = \frac{OP}{t} = \frac{t \sqrt{v_x^2 + v_y^2}}{t} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

方向: 与位移方向相同

速度大小、方向都不变说明是匀速直线运动

5. 结论: 蜡块做的是匀速直线运动

三、运动的合成与分解的内容

1. 速度的合成与分解

2. 位移的合成与分解

3. 加速度的合成与分解

四、运动的合成与分解的特点

1. 独立性原理: 各个分运动之间相互独立, 互不影响.

2. 等时性原理: 合运动与分运动总是同时开始, 同时结束, 它们所经历的时间是相等的.

5.3 探究平抛运动的规律

三维教学目标

1、知识与技能

- (1) 知道平抛运动的特点是初速度方向水平，只有竖直方向受重力作用，运动轨迹是抛物线；
- (2) 知道平抛运动形成的条件；
- (3) 理解平抛运动是匀变速运动，其加速度为 g ；
- (4) 会用平抛运动规律解答有关问题。

2、过程与方法

(1) 在知识教学中应同时进行科学研究过程教育，本节课以研究平抛物体运动规律为中心所展开的课堂教学，应突出一条研究物理学的一般思想方法的主线：

观察现象→初步分析→猜测实验研究→得出规律→重复实验→鉴别结论→追求统一。

(2) 利用已知的直线运动的规律来研究复杂的曲线运动，渗透物理学“化曲为直”“化繁为简”的方法及“等效代换”正交分解”的思想方法；

(3) 在实验教学中，进行控制的思想方法的教育：从实验的设计、装置、操作到数据处理，所有环节都应进行多方面实验思想的教育，“实验的精髓在于控制”的思想，在乎抛物体实验中非常突出。如装置中斜槽末端应保持水平的控制；木板要竖直放置的控制；操作上强调小球每次都从斜槽同一高度处由静止开始释放的控制；在测量小球位置时对实验误差的控制等。

3、情感、态度与价值观

(1) 通过重复多次实验，进行共性分析、归纳分类，达到鉴别结论的教育目的，同时还能进行理论联系实际的教育。

(2) 在理解平抛物体运动规律是受恒力的匀变速曲线运动时应注意到“力与物体运动的关系”。这方面的问题，我国东汉的王充(公元 27~97 年)历尽心血三十年写成《论衡》一书，全书三十卷八十五篇约三十万字，已有精辟论述，以此渗透爱国主义教育 and 刻苦学习、勤奋工作精神的美德教育。

教学重点：平抛运动的特点和规律；学习和借鉴本节课的研究方法。

教学难点：平抛运动的规律。

教学方法：探究、讲授、讨论、练习

教具准备：平抛运动演示仪、平抛竖落仪

教学过程：

第三节 探究平抛运动的规律

(一) 新课导入

前面我们学习了曲线运动的相关知识以及研究曲线运动基本方法——运动的合成与分解，在学习新课之前我们先来回顾一下。做曲线运动的物体其速度方向是怎样的？（质点在某一点的速度方向，沿曲线在这一点切线方向。）

在什么情况下物体会做曲线运动？（当物体所受的合力的方向跟它的速度方向不在同一条直线上时，物体做曲线运动。）运动的合成与分解包含哪几个方面的内容？（包括速度的合成与分解、位移的合成与分解、加速度的合成与分解。）在合成与分解的过程中遵循什么样的规律？（必须遵循平行四边形定则。）合运动和分运动之间以及各个分运动之间存在什么关系呢？（合运动和分运动所经历的时间一定是相同的，这是等时性原理；各个分运动之间是相互独立、互不影响的，这是独立性原理。）

说了这么多，我们也仅仅是从理论上了解了通过运动的合成与分解能够研究曲线运动的规律，但我们还没有把这一理论应用到实际的曲线运动中来检验一番，所以这节课我们就来完成这一项任务，通过运动的合成与分解来研究一种生活中常见的运动——平抛运动。

(二) 新课教学

1、抛体运动

演示实验：以任意角度向空中抛出一个粉笔头。请同学们观察粉笔头的运动轨迹，判断它的运动性质？（粉笔头的运动轨迹是曲线，它做的是曲线运动。）分析它的受力情况？（受到竖直向下的重力和与运动方向相反的空气阻力的作用。）

实际上在这种情况下，空气阻力非常小，一般情况下我们不考虑，这里我们就认为粉笔头只受到重力的作用(如图 6. 3D 1 所示)。现在请大家考虑一下，生活中有哪些物体的运动与我们刚才实验中的粉笔头情况相似？

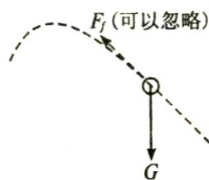


图 6.3-1

足球比赛中被球员踢起来在空中飞行的足球；乒乓球比赛中被球拍打出去的乒乓球；被运动员扔出去的铁饼、标枪、铅球等。

可以看出，生活中有许多这种运动的例子。从这些例子中我们可以看出，所有这些物体都是以一定的初速度被抛出，忽略空气阻力，在只受重力的情况下做曲线运动，我们把这种运动称为抛体运动。

在抛体运动中有一种特殊情况，即物体被抛出时的初速度方向沿水平方向，我们把这样的抛体运动称为平抛运动。根据抛体运动初速度的方向我们还可以对抛体运动进行如下分类：

- (1) 初速度竖直向上，竖直上抛运动
- (2) 初速度竖直向下：竖直下抛运动
- (3) 初速度与水平面成正角：斜上抛运动
- (4) 初速度与水平面成负角：斜下抛运动

我们这节课的任务就是探究平抛运动的规律。

2、平抛运动竖直方向的运动规律

演示实验：用平抛运动演示仪演示平抛运动。

请大家注意观察平抛运动的轨迹，发现它是一条曲线。由此我们可以得出这样一个结论：平抛运动在竖直方向上的分速度是越来越快的，但这个分速度到底是如何变化的我们还不清楚，现在请大家来分析做平抛运动的物体在竖直方向上的受力情况？（在竖直方向上只受到重力的作用）想一下我们前面学过的运动形式有没有只在重力作用下实现的？（做自由落体运动的物体只受重力的作用）既然竖直方向上只受重力的作用，与物体做自由落体运动的条件相同，根据我们上节课学的分运动的独立性原理知道，分运动在各自的方向上遵循各自的规律，我们能得出什么样的结论呢？（平抛运动竖直方向上的分运动有可能是自由落体运动）既然我们有了这样的猜想，为了验证它的正确性，我们来做下面这个实验。

演示实验：

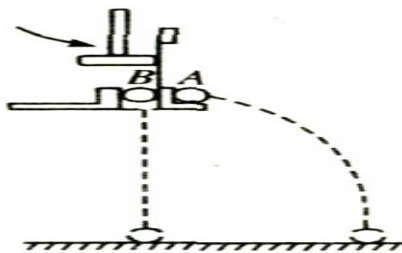


图 6.3-2

如图 6.3D 2 所示，用小锤打击弹簧金属片，金属片把 A 球沿水平方向抛出，同时 B 球被松开，自由下落，A、B 两球同时开始运动。先来分析两个小球做的分别是什么运动？

（A 球在金属片的打击下获得水平初速度后只在重力作用下运动，所以做的是平抛运动。B 球被松开后没有任何初速度，且只受到重力的作用，因此做的是自由落体运动。）

现在观察两球的运动情况，看两球是否同时落地？

这个地方教大家一个判断两球是否同时落地的小技巧。那就是不要用眼睛看，而是用耳朵听。两个小球落地后会不止蹦一下，我们只听它们落地的第一声响，如果我们只听到一声响，说明两个小球同时落地，如果听到两个落地声，说明两个小球先后落地。在做实验之前我们先来听一下一个小球落地的声音。（拿一个和实验用的小球一样的球让其做自由落体运动，让学生仔细听其落地的声音，以便判断实验中的落地声）

A、B 两个小球从同一高度同时开始运动，又同时落地，这说明了什么问题啊？（这说明了 A 球在竖直方向上的分运动的性质和 B 球的运动性质是一样的。B 球做的是自由落体运动。）

由这一次实验我们就能下这样的结论吗？有没有可能我们设置的这个高度是一个特殊的高度，它正好满足自由落体下落的

时间和平抛运动时间相等呢?或者说因为我们打击力度的原因,使 A 球获得的初速度刚好满足这一条件呢?那我们应该如何来解决呢?(多次改变小球下落的高度与打击的力度,重复这个实验。)

现在我们来改变高度和打击力度重新来做这个实验,来听落地的声音。(两个小球仍然同时落地)这说明了什么问题?(平抛运动在竖直方向上的分运动就是自由落体运动。)

结论:平抛运动在竖直方向上的分运动是自由落体运动。

3、平抛运动水平方向的运动规律

研究完竖直方向上的运动,我们再来看水平方向上的分运动。先来分析做平抛运动的物体在水平方向上的受力情况。(做平抛运动的物体只受重力作用,重力的方向是竖直向下的,所以物体在水平方向上不受力)

根据运动的独立性我们知道水平方向上的运动不会受到竖直方向的运动影响,再根据牛顿第一定律我们能得出什么样的结论啊?(根据牛顿第一定律我们知道,如果一个物体处于不受力或受力平衡状态,它将静止或做匀速直线运动。在平抛运动中,物体水平方向上不受力,并且水平方向上有一个初速度,所以物体在水平方向上应该是匀速直线运动。)

那我们应该怎样来验证这个猜想呢?大家可以从匀速直线运动的特点出发来考虑这个问题。(匀速直线运动的特点是速度大小不变,位移均匀地增加,因此我们只要能证明在相等的时间内发生的水平位移相等就可以了。)

要进行这样的验证,我们首先面临的问题就是如何得到平抛运动的轨迹图象,我们可以采用以下方案来获得:

(1) 按照以下步骤准备实验装置

第一,将平抛运动实验器置于桌面,装好平抛轨道,使轨道的抛射端处于水平位置,调节调平螺丝,观察重垂线或气泡水准,使面板处于竖直平面内,卡好定位板,装置如图 6.3-3 所示。

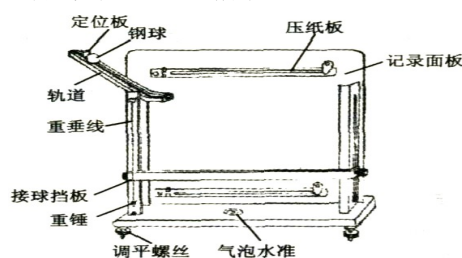


图 6.3-3

第二,将描迹记录纸衬垫一张复写纸或打字蜡纸,紧贴记录面板用压纸板固定在面板上,使横坐标 x 轴在水平方向上,纵坐标 y 轴沿竖直方向向下(若用白纸,可事先用铅笔在纸上画出 x 、 y 坐标轴线),并注意使坐标原点的位置在平抛物体(钢球)的质心(即球心)离开轨道处。

第三,把接球挡板拉到最上方一格的位置。

(2) 将定位板定在某一位置固定好,钢球紧靠定位板释放,球沿轨道向下运动,以一定的初速度由轨道的平直部分水平抛出。

(3) 下落的钢球打在向面板倾斜的接球挡板上,同时在面板上留下一个印迹点。

(4) 再将接球挡板向下拉一格,重复上述操作方法,打出第二个印迹点,如此继续下拉接球挡板,直至最低点,即可得到平抛的钢球下落时的一系列迹点。

(5) 变更定位板的位置,即可改变钢球平抛的初速度,按上述实验操作方法,便可打出另一系列迹点。

(6) 取下记录纸,将各次实验所记录的点分别用平滑曲线连接起来,即可得到以不同的初速度做平抛运动的轨迹图线。如图 6.3-4 所示:

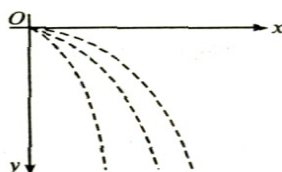


图 6.3-4

注意:

(1) 为了保证实验精度,必须保证记录面板处于竖直平面内,使平抛轨道的平面靠近板面。

(2) 安放记录纸时,要使坐标原点与抛体的抛出点重合,这样才能正确地确定抛体运动轨迹的起始点,从而确定轨迹上任意点的 x 、 y 坐标。

获得了平抛运动的轨迹图象我们就可以从中知道平抛运动的水平位移。现在我们从得到的几条轨迹中选出一条来进行研究。我们现在所面临的问题是如何知道水平分运动所发生的时间。这个问题我们可以通过运动的等时性来考虑。（前面我们已经得出了平抛运动的竖直分运动为自由落体运动，根据等时性原理我们知道水平分运动和竖直分运动是同时发生的，所以可以通过竖直分速度来找相等的时间间隔。）

具体如何实现呢？

根据自由落体运动的位移公式 $x = gt^2/2$ 我们可以得出，在相邻相等的时间间隔内物体所发生的位移之比为 $1: 3: 5: \dots: (2n+1)$ ，那么我们就可以从坐标系中的纵轴上选取长度分别为 h 、 $3h$ 、 $5h$ 的相邻的线段，即选取纵坐标分别为 h 、 $4h$ 、 $9h$ 的三个点。例如选择 5、20、45 这几个点。如图 6. 3D 5 所示，在平抛的轨迹上找出纵坐标与之相对应的点，这些点所对应的横坐标即为平抛运动的水平分运动在相邻相等的时间间隔里所达到的位置。

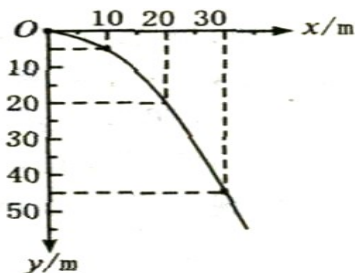


图 6. 3 - 5

这样我们就找出了水平分运动在相邻相等的时间间隔内所发生的位移，观察这些水平分位移，可以得到什么规律？（这些水平分位移都近似相等。）由此我们可以得出什么结论？（平抛运动的水平分运动是匀速直线运动）

结论：平抛运动的水平分运动是匀速直线运动。

这样我们就通过运动的合成与分解探究出了平抛运动在水平和竖直方向上的运动规律，下面我们来看一个例题。

例题 1：一架老式飞机在高出地面 0.81 km 的高度，以 2.5×10^3 km 几的速度水平飞行，为了使飞机上投下的炸弹落在指定的目标，应该在与轰炸目标的水平距离为多远的地方投弹？（不计空气阻力）

分析：对于这道题我们可以从以下几个方面来考虑：

第一，从水平飞行的飞机上投下的炸弹，做什么运动？为什么？（做的是平抛运动，炸弹在没有脱离飞机时与飞机具有相同的水平速度。脱离飞机后这一速度并不消失，这时炸弹只受重力作用且具有水平初速度，所以做平抛运动）

第二，炸弹的这种运动可分解为哪两个什么样的分运动？（可以分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动）

第三，要想使炸弹投到指定的目标处，你认为炸弹落地前在水平方向通过的距离与投弹时飞机离目标的水平距离之间有什么关系？（炸弹落地前在水平方向通过的距离与投弹时飞机离目标的水平距离应该相等）

讨论与交流：飞机在投递货物或实施轰炸的时候，应该在目标的什么位置开始投放货物或炸弹？

小结：本节课我们学习的主要内容是：

（1）什么是平抛运动？（初速度方向为水平方向的抛体运动叫做平抛运动）

（2）平抛运动水平和竖直两个方向上的分运动分别是什么运动？（水平方向是匀速直线运动；竖直方向是自由落体运动）

（3）平抛运动的规律？ （1） $x = v_0 t$, $y = 1/2 at^2$

$$(2) \begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = gt \\ v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \end{cases}$$

板书设计：

第三节 探究平抛运动的规律

1、抛体运动

- （1）条件：具有一定的初速度；忽略空气阻力；只受重力的作用
- （2）初速度为水平方向的抛体运动叫做平抛运动。

2、竖直方向的运动规律

- (1) 受力情况：只受重力作用
- (2) 初速度情况：无
- (3) 结论：平抛运动在竖直方向上的分运动是自由落体运动。

3、水平方向的运动规律

- (1) 受力情况：不受力
- (2) 初速度情况：有
- (3) 结论：平抛运动在水平方向的分运动为匀速直线运动。

5.4 抛体运动的规律

三维教学目标

1、知识与技能

- (1) 理解平抛运动是匀变速运动，其加速度为 g ；
- (2) 掌握抛体运动的位置与速度的关系。

2、过程与方法

- (1) 掌握平抛运动的特点，能够运用平抛规律解决有关问题；
- (2) 通过例题分析再次体会平抛运动的规律。

3、情感、态度与价值观

- (1) 有参与实验总结规律的热情，从而能更方便地解决实际问题；
- (2) 通过实践，巩固自己所学的知识。

教学重点： 分析归纳抛体运动的规律。

教学难点： 应用数学知识分析归纳抛体运动的规律。

教学方法： 探究、讲授、讨论、练习

教具准备： 平抛运动演示仪、自制投影片

教学过程：

第四节 抛体运动的规律

(一) 新课导入

上一节我们已经通过实验探究出平抛运动在竖直方向和水平方向上的运动规律，对平抛运动的特点有了感性认识。这一节我们将从理论上对抛体运动的规律作进一步分析，学习和体会在水平面上应用牛顿定律的方法，并通过应用此方法去分析没有感性认识的抛体运动的规律。

(二) 新课教学

1、抛体的位置

我们以平抛运动为例来研究抛体运动所共同具有的性质。

首先我们来研究初速度为 v 的平抛运动的位置随时间变化的规律。用手把小球水平抛出，小球从离开手的瞬间（此时速度为 v ，方向水平）开始，做平抛运动，我们以小球离开手的位置为坐标原点，以水平抛出的方向为 x 轴的方向，竖直向下的方向为 y 轴的方向，建立坐标系，并从这一瞬间开始计时。

在抛出后的运动过程中，小球受力情况如何？（小球只受重力，重力的方向竖直向下，水平方向不受力。）

那么，小球在水平方向有加速度吗，它将怎样运动？（小球在水平方向没有加速度，水平方向的分速度将保持 v 不变，做匀速直线运动。）

我们用函数表示小球的水平坐标随时间变化的规律将如何表示？（ $x=vt$ ）

在竖直方向小球有加速度吗？若有，是多大？它做什么运动？它在竖直方向有初速度吗？

（在竖直方向，根据牛顿第二定律，小球在重力作用下产生加速度 g 。做自由落体运动，而在竖直方向上的初速度为 0）那根据运动学规律，请大家说出小球在竖直方向的坐标随时间变化的规律？（ $y=gt^2/2$ ）

小球的位置能否用它的坐标 (x, y) 描述？能否确定小球在任意时刻 t 的位置？（可以）

那么，小球的运动就可以看成是水平和竖直两个方向上运动的合成。 t 时间内小球合位移是：

$$s = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{(vt)^2 + \left(\frac{1}{2}gt^2\right)^2}.$$

若设 s 与 $+x$ 方向(即速度方向)的夹角为 θ ，如图 6.4-1，则其正切值如何求？

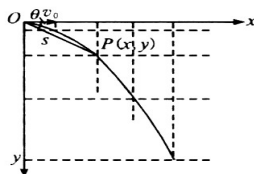


图 6.4-1

$$\tan\theta = \frac{y}{x} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{vt} = \frac{gt}{2v}.$$

例 1: 一架飞机水平匀速飞行。从飞机上每隔 $1s$ 释放一个铁球，先后释放 4 个，若不计空气阻力，从地面上观察 4 个小球()

- A. 在空中任何时刻总是排成抛物线，它们的落地点是等间距的
- B. 在空中任何时刻总是排成抛物线，它们的落地点是不等间距的
- C. 在空中任何时刻总在飞机正下方，排成竖直的直线，它们的落地点是等间距的
- D. 在空中任何时刻总在飞机的正下方，排成竖直的直线，它们的落地点是不等间距的。

解析： 因为铁球从飞机上释放后做平抛运动，在水平方向上有与飞机相同的速度。不论铁球何时从飞机上释放，铁球与飞机在水平方向上都无相对运动。铁球同时还做自由落体运动，它在竖直方向将离飞机越来越远。所以 4 个球在落地前始终处于飞机的正下方，并排成一条直线，又因为从飞机上每隔 $1s$ 释放 1 个球，而每个球在空中运动的时间又是相等的，所以这 4 个球落地的时间也依次相差 $1s$ ，它们的落地点必然是等间距的。若以飞机为参考系观察 4 个铁球都做自由落体运动。此题把曲线运动利用分解的方法“化曲为直”，使其成为我们所熟知的直线运动，则据运动的独立性，可以分别在这两个方向上用各自的运动规律研究其运动过程。

2、抛体的速度

由于运动的等时性，那么大家能否根据前面的结论得到物体做平抛运动的时间？

由 $y = \frac{1}{2}gt^2$ 得到，运动时间 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$

这说明了什么问题？（这说明了做平抛运动的物体在空中运动的时间仅取决于下落的高度，与初速度无关）

那么落地的水平距离是多大？（落地的水平距离 $x = v\sqrt{\frac{2h}{g}}$ ）

这说明了什么问题？（这说明了平抛运动的水平位移不仅与初速度有关系，还与物体的下落高度有关）利用运动合成的知识，结合图 6.4-2，求物体落地速度是多大？结论如何？

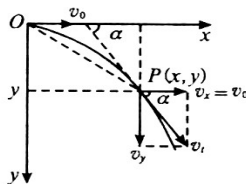


图 6.4-2

落地速度 $v_t = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$ ，即落地速度也只与初速度 v 和下落高度 h 有关。平抛运动的速度与水平方向的夹角为 α ，一

般称为平抛运动的偏角。实际上，

$$\tan\alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{gt}{v} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{\frac{1}{2}vt} = \frac{y}{x}, \tan\alpha = \frac{y}{x}.$$

常称为平抛运动的偏角公式，在一些问答题中可以直接应用此结论分析解答。

例 2：一个物体以 10 m/s 的速度从 10 m 的水平高度抛出，落地时速度与地面的夹角 θ 是多少(不计空气阻力)?

例 3：在 5 m 高的地方以 6 m/s 的初速度水平抛出一个质量是 10 kg 的物体，则物体落地的速度是多大? 从抛出点到落地点发生的位移是多大? (忽略空气阻力，取 $g=10 \text{ m/s}^2$)

交流与讨论

应用运动的合成与分解的方法我们探究了做平抛运动的物体的位移和速度。请大家根据我们探究的结果研究一下平抛运动的物体位移和速度之间存在什么关系?

(参考解答：根据前面的探究结果我们知道，物体的位移 $x = \sqrt{(vt)^2 + \left(\frac{1}{2}gt^2\right)^2}$ ，与 x 轴的夹角的正切值为 $\tan \theta = gt/2v$ 。

物体的速度 $v_t = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$ ，与 x 轴的夹角的正切值为 $\tan \theta = gt/v$ 。可以看到位移和速度的大小没有太直接的关系，但它们的方向与 x 轴夹角的正切是 2 倍关系。利用这个关系我们就可以很方便地计算物体速度或位移的方向了。)

【课堂训练】

一个小球以初速度 v_0 水平抛出，落地时速度为 v_t ，阻力不计。求：(1) 小球在空中飞行的时间；(2) 抛出点离地面的高度；(3) 水平射程；(4) 小球的位移。

解析：(1) 由平抛的知识可以知道， $v_t^2 = v_0^2 + g^2 t^2$ ， $t = \frac{1}{g} \sqrt{v_t^2 - v_0^2}$ 。

(2) 在竖直方向上做自由落体运动， $h = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} g \cdot \frac{1}{g^2} (v_t^2 - v_0^2) = \frac{1}{2g} (v_t^2 - v_0^2)$ 。

(3) 在水平方向上是匀速直线运动， $x = v_0 t = v_0 \frac{\sqrt{v_t^2 - v_0^2}}{g}$ 。

(4) 位移大小 $s = \sqrt{x^2 + h^2} = \frac{1}{2g} \sqrt{2v_0^2 v_t^2 - 3v_0^4 + v_t^4}$

位移与水平方向的夹角的正切值 $\tan \theta = h/x = \frac{\sqrt{v_t^2 - v_0^2}}{2v_0}$ 。

在 (2) 中， $h = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2g}$ ，与匀变速直线运动公式 $v_t^2 = v_0^2 + 2as$ ，形式上一致的，其物理意义相同吗?

物理意义并不相同，在 $h = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2g}$ 中的 h ，并不是平抛运动的位移，而是竖直方向上的位移，在 $v_t^2 = v_0^2 + 2as$

中的 s 就是表示匀速直线运动的位移。对于平抛运动的位移，是由竖直位移和水平位移合成而得的。

平抛运动的轨迹是曲线(抛物线)，某一时刻的速度方向即为曲线上物体所在位置的切线方向。设物体运动的时间为 t ，则这一时刻的速度与竖直方向夹角的正切值 $\tan \beta = v_0/gt$ ，而物体下落的高度为 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 。如图 6.4-3:

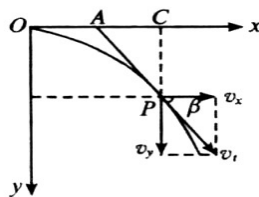


图 6.4-3

图中的 A 点为速度的切线与抛出点的水平线的交点，C 点为物体所在位置的竖直线与水平线的交点，从图中可以看出 A 为

水平线段 OC 的中点。平抛运动的这一重要特征，对我们分析类平抛运动，特别是带电粒子在电场中偏转是很有帮助的。

平抛运动常分解成水平方向和竖直方向的两个分运动来处理，由于竖直分运动是初速度为零的匀加速直线运动，所以初速度为零的匀加速直线运动的公式和特点均可以在此应用。另外，有时候根据具体情况也可以将平抛运动沿其他方向分解。

3、斜抛运动

如果物体抛出时的速度不是沿水平方向，而是斜向上方或斜向下方（这种情况称为斜抛），它的受力情况是什么样的？加速度又如何？（它的受力情况与平抛完全相同，即在水平方向仍不受力，加速度仍是 0；在竖直方向仍只受重力，加速度仍为 g）

实际上物体以初速度 v 沿斜向上或斜向下方抛出，物体只在重力作用下的运动，如何表示？与平抛是否相同？（斜抛运动沿水平方向和竖直方向初速度与平抛不同，分别是 $v_x = v \cos \theta$ 和 $v_y = v \sin \theta$ ）

由于物体运动过程中只受重力，所以水平方向速度 $v_x = v \cos \theta$ 保持不变，做匀速直线运动；而竖直方向上因受重力作用，有竖直向下的重力加速度 J ，同时有竖直向上的初速度 $v_y = v \sin \theta$ ，因此做匀减速运动（是竖直上抛运动，当初速度向斜下方，竖直方向的分运动为竖直下抛运动），当速度减小到 0 时物体上升到最高点，此时物体由于还受到重力，所以仍有一个向下的加速度 g ，将开始做竖直向下的加速运动。因此，斜抛运动可以看成是水平方向速度为 $v_x = v \cos \theta$ 的匀速直线运动和竖直方向初速度为 $v_y = v \sin \theta$ 的竖直上抛或竖直下抛运动的合运动。

斜抛运动分斜上抛和斜下抛（由初速度方向确定）两种，下面以斜上抛运动为例讨论：

斜抛运动的特点是什么？（特点：加速度 $a = g$ ，方向竖直向下，初速度方向与水平方向成一夹角 θ 斜向上， $\theta = 90^\circ$ 时为竖直上抛或竖直下抛运动 $\theta = 0^\circ$ 时为平抛运动）

常见的处理方法：

第一、将斜上抛运动分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的竖直上抛运动，这样有由此可以得到哪些特点？

$$\begin{cases} x = v_0 \cos \theta \cdot t \\ y = v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2} g t^2 \\ \begin{cases} v_x = v_0 \cos \theta \\ v_y = v_0 \sin \theta - g t \end{cases} \end{cases}$$

由此可得如下特点：a. 斜向上运动的时间与斜向下运动的时间相等；b. 从轨道最高点将斜抛运动分为前后两段具有对称性，如同一高度上的两点，速度大小相等，速度方向与水平线的夹角相同。

第二、将斜抛运动分解为沿初速度方向的斜向上的匀速直线运动和自由落体运动两个分运动，用矢量合成法则求解。

第三、将沿斜面和垂直斜面方向作为 x 、 y 轴，分别分解初速度和加速度后用运动学公式解题。

交流与讨论

对于斜抛运动我们只介绍下船上抛和斜下抛的研究方法，除了平抛、斜上抛、斜下抛外，抛体运动还包括竖直上抛和竖直下抛，请大家根据我们研究前面几种抛体运动的方法来研究一下竖直上抛和竖直下抛。

参考解答：对于这两种运动来说，它们都是直线运动，但这并不影响用运动的合成与分解的方法来研究它们。这个过程我们可以仿照第一节中我们介绍的匀加速运动的分解过程，对竖直上抛运动，设它的初速度为 v_0 ，那么它的速度就可以写成 $v = v_0 - g t$ 的形式，位移写成 $x = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$ 的形式。那这样我们就可以进行分解了。把速度写成 $v_1 = v_0$ ， $v_2 = -g t$ 的形式，把位移写成 $x_1 = v_0 t$ ， $x_2 = -\frac{1}{2} g t^2$ 的形式，这样我们可以看到，竖直上抛运动被分解成了一个竖直向上的匀速直线运动和一个竖直向上的匀减速运动。对于竖直下抛运动可以采取同样的方法进行处理。

小结：

- （1）具有水平速度的物体，只受重力作用时，形成平抛运动。
- （2）平抛运动可分解为水平匀速运动和竖直自由落体运动。平抛位移等于水平位移和竖直位移的矢量和；平抛瞬时速度等于水平速度和竖直速度的矢量和。
- （3）平抛运动是一种匀变速曲线运动。
- （4）如果物体受到恒定合外力作用，并且合外力跟初速度垂直，形成类似平抛的匀变速曲线运动，只需把公式中的 g 换成 a ，其中 $a = F_{\text{合}} / m$ 。

说明：

(1) 平抛运动是学生接触到的第一个曲线运动，弄清其成因是基础，水平初速度的获得是问题的关键，可归纳为两种：第一、物体被水平加速：水平抛出、水枪射出、水平冲击等；第二、物体与原来水平运动的载体脱离，由于惯性而保持原来的水平速度。

(2) 平抛运动的位移公式和速度公式中有三个含有时间 t ，应根据不同的已知条件来求时间。但应明确：平抛运动的时间完全由抛出点到落地点的竖直高度确定(在不高的范围内 g 恒定)，与抛出的速度无关。

板书设计：

4. 抛体运动的规律

一、抛体运动的位置

任意一点的位置 $P(x, y)$ ，其中 $x = vt$ $y = \frac{1}{2}gt^2$

任意时刻的位移： $s = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{(vt)^2 + (\frac{1}{2}gt^2)^2}$

方向 $\tan\alpha = \frac{y}{x} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{vt} = \frac{gt}{2v}$

二、抛体运动的速度

任意时刻的速度由 $v_x = v_0$ ， $v_y = gt$ 得 $v_t = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$

三、斜抛的运动规律(斜上抛、斜下抛、斜上抛和斜下抛)：

处理方法：运动的合成与分解

5.5 圆周运动

三维教学目标

1、知识与技能

(1) 认识匀速圆周运动的概念，理解线速度的概念，知道它就是物体做匀速圆周运动的瞬时速度；理解角速度和周期的概念，会用它们的公式进行计算；

(2) 理解线速度、角速度、周期之间的关系： $v = r\omega = 2\pi r / T$ ；

(3) 理解匀速圆周运动是变速运动。

2、过程与方法

(1) 运用极限法理解线速度的瞬时性，掌握运用圆周运动的特点如何去分析有关问题；

(2) 体会有了线速度后，为什么还要引入角速度，运用数学知识推导角速度的单位。

3、情感、态度与价值观

(1) 通过极限思想和数学知识的应用，体会学科知识间的联系，建立普遍联系的观点；

(2) 体会应用知识的乐趣，激发学习的兴趣。

教学重点：线速度、角速度、周期的概念及引入的过程，掌握它们之间的联系。

教学难点：理解线速度、角速度的物理意义及概念引入的必要性。

教学方法：探究、讲授、讨论、练习

教具准备：多媒体教学课件；用细线拴住的小球；实物投影仪。

教学过程：

第五节 圆周运动

(一) 新课导入

请同学观看两个物体所做的曲线运动，并注意观察它们的运动特点：

第一个：老师用事先准备好的用细线拴住的小球，演示水平面内的圆周运动；

第二个：课件展示同学们熟悉的手表指针的走动。（它们的轨迹是一个圆）这就是我们今天要研究的圆周运动。

（二）新课教学

行驶中的汽车轮子，公园里的“大转轮”，自行车上的各个转动部分。日常生活和生产实践中做圆周运动的物体可以说是“举不胜举”。同学们所列举的这些做圆周运动物体上的质点，哪些运动得较慢？哪些运动得更快？我们应该如何比较它们运动的快慢呢？下面就请同学们对自行车上的各个转动部分，围绕课本第44页“思考与讨论”中提出的问题，前后每四人一组进行讨论。

交流与讨论

开始讨论时，学生之间有激烈的争论，各人考虑的出发点不一样，思考的角度不同。有人认为小齿轮、后轮上各点运动的快慢一样，因为它们是一起转动的；有人认为大齿轮、小齿轮各点运动的快慢一样，因为它们是用链条连在一起转动的，等等。这时需要老师的引导，你衡量快慢的标准是什么？你从哪个角度去进行比较的？

引导学生过渡到对描述圆周运动快慢的物理量——线速度的学习上来。

1、线速度

我们曾经用速度这个概念来描述物体做直线运动时的快慢，那么我们能否继续用这个概念来描述圆周运动的快慢呢？如果能，该怎样定义？下面就请同学们自主学习课本第45页上有关线速度的内容：给出阅读提纲，学生先归纳，然后师生互动加深学习。阅读提纲：

线速度的物理意义？

线速度的定义(和直线运动中速度定义的比较)？

线速度的定义式？

线速度的瞬时性/

线速度的方向？

匀速圆周运动的“匀速”同“匀速直线运动”的“匀速”一样吗？

自主阅读，积极思考，然后每四人一组进行讨论、交流，形成共识。线速度的物理意义反映了质点在单位时间内通过的弧长的多少。线速度是利用物体通过的弧长与所用时间的比值来定义的。线速度也是矢量，其运动过程中方向在不断变化着，因此要注意其瞬时性。匀速圆周运动的“匀速”，不是真正的匀速，而是指速度的大小不变……

总结：

(1) 物理意义：描述质点沿圆周运动的快慢。

(2) 定义：质点做圆周运动通过的弧长 Δs 和所用时间 Δt 的比值叫做线速度。（比值定义法，这里是弧长，而直线运动中是位移）

(3) 大小： $v = \Delta l / \Delta t$ 单位： m/s (s 是弧长，非位移)。

(4) 当选取的时间 Δt 很小很小时(趋近零)，弧长 Δs 就等于物体在 t 时刻的位移，定义式中的 v ，就是直线运动中学过的瞬时速度了。

(5) 方向：在圆周各点的切线上。

(6) “匀速圆周运动”中的“匀速”指的是速度的大小不变，即速率不变；而“匀速直线运动”的“匀速”指的速度不变，是大小方向都不变，二者并不相同。

结论：匀速圆周运动是一种变速运动。

2、角速度

教师出示课件展示手表指针的转动，提出问题：

根据线速度的定义，请你比较手表指针中点和端点线速度的大小？

同一根指针上不同的点，其线速度大小却不一样，而它们是应该有共同点的。因此这就需要我们思考：描述圆周运动的快慢，除了用线速度外，还有没有其他方法？阅读提纲：

角速度的物理意义？

角速度的定义？

角速度的定义式？

角速度能把同一物体上各点做圆周运动的共同点反映出来。角速度大反映了物体转动的快慢……

总结：

- (1) 物理意义：描述质点转过的圆心角的快慢。
- (2) 定义：在匀速圆周运动中，连接运动质点和圆心的半径转过 $\Delta\theta$ 的角度跟所用时间 Δt 的比值，就是质点运动的角速度。
- (3) 定义式： $\omega = \Delta\theta / \Delta t$
- (4) 单位：rad/s(弧度每秒)

3、角速度的单位

每接触一个新的物理量，我们都要关心它的物理单位是什么，那么线速度的单位是米 / 秒，角速度的单位又是什么呢？下面就请同学们自主学习课本第 46 页上有关角速度的内容，课件投影出阅读提纲；

怎样度量圆心角的大小？弧度这个单位是如何得到的？在计算时要注意什么？

国际单位制中，角速度的单位是什么？

有人说，匀速圆周运动是线速度不变的运动，也是角速度不变的运动，这两种说法正确吗？为什么？

总结：

- (1) 圆心角 θ 的大小可以用弧长和半径的比值来描述，这个比值是没有单位的，为了描述问题的方便，我们“给”这个比值一个单位，这就是弧度。弧度不是通常意义上的单位。计算时，不能将弧度带进算式中。
- (2) 国际单位制中，角速度的单位是弧度 / 秒(rad / s)。
- (3) 这一句话是错误的，因为线速度是矢量，其方向在不断变化，匀速圆周运动是线速度大小不变的运动，后一句话是正确的，因为角速度是不变的（如果有学生提出角速度是矢量吗？教师可明确说是矢量，但高中阶段不研究其方向，而不能违背科学说角速度是标量）。

教材中还提到了描述圆周运动快慢的两种方法，它们是什么？单位如何？阅读教材第 46 页的有关内容，掌握转速和周期的概念。

4、线速度与角速度的关系

线速度和角速度都能描述圆周运动的快慢，它们之间有何关系呢？下面请同学们依据刚学过的线速度和角速度的概念和定义，推导出线速度和角速度的关系 $v=r\omega$

点评：通过推导，加深对所学知识的理解，掌握知识间的联系。到此，教师还需引导学生进一步思考：以上都能描述圆周运动快慢的线速度、角速度、转速和周期，除了有以上的联系外，还有没有不同的地方？如果学生通过讨论发现周期这一概念更能突显出圆周运动的周期性和重复性，将使学生对圆周运动有进一步的认识。

例题分析

【例题剖析】

【例 1】如图 6.5-1 所示的传动装置中, B、C 两轮固定在一起绕同一轴转动, A、B 两轮用皮带传动, 三轮半径关系是 $r_A = r_C = 2r_B$. 若皮带不打滑, 求 A、B、C 轮边缘的 a、b、c 三点的角速度之比和线速度之比.

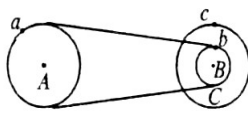


图 6.5-1

解析: A、B 两轮通过皮带传动, 皮带不打滑, 则 A、B 两轮边缘的

线速度大小相等, 即 $v_a = v_b$ 或 $v_a : v_b = 1 : 1$

①

由 $v = \omega r$ 得 $\omega_a : \omega_b = r_B : r_A = 1 : 2$

②

B、C 两轮固定在一起绕同一轴转动, 则 B、C 两轮的角速度相同, 即

$\omega_b = \omega_c$ 或 $\omega_b : \omega_c = 1 : 1$

③

由 $v = \omega r$ 得 $v_b : v_c = r_B : r_C = 1 : 2$

④

由②③得 $\omega_a : \omega_b : \omega_c = 1 : 2 : 2$

由①④得 $v_a : v_b : v_c = 1 : 1 : 2$.

说明: 解这类题时要注意抓住传动装置的特点: 同轴传动的是角速度相等, 皮带传动是两轮边缘的线速度大小相等, 再注意运用 $v = \omega r$ 找联系.

【例 2】如图 6.5-2 所示, 直径为 d 的纸制圆筒, 使它以角速度 ω 绕轴 O 匀速转动, 然后使子弹沿直径穿过圆筒. 若子弹在圆筒旋转不到半周时在圆筒上留下 a、b 两个弹孔, 已知 aO 、 bO 夹角为 φ , 求子弹的速度.

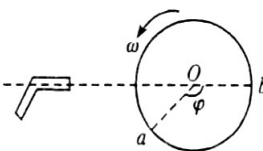


图 6.5-2

解析: 子弹从 a 穿入圆筒到从 b 穿出圆筒, 圆筒转过的角度为

$\pi - \varphi$, 则子弹穿过圆筒的时间为 $t = (\pi - \varphi) / \omega$

在这段时间内子弹的位移为圆筒的直径 d , 则子弹的速度为 $v = d / t = \omega d / (\pi - \varphi)$.

思考: 若把原题中的“在圆筒旋转不到半周时”去掉, 子弹的速度又如何?

【例 3】一把雨伞, 圆形伞面的半径为 r , 伞面边缘距地面的高度为 h , 以角速度 ω 旋转这把雨伞, 问伞面边缘上甩出去的水滴落在水平地面上形成的圆的半径是 R 是多大?

解析: 水滴从伞面边缘甩出去以后做平抛运动, 水滴的水平速度为

$$v_0 = \omega r$$

水滴在空中做平抛运动的时间为

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

水滴做平抛运动的水平射程为 $x = v_0 t = \omega \cdot r \sqrt{\frac{2h}{g}}$.

如图 6.5-3 所示为俯视图, 表示水滴从 a 点甩离伞面, 落在地面上的 b 点; O 是转动轴(圆心), 可见水滴落在地面上形成的圆的半径为

$$R = \sqrt{r^2 + x^2} = r \sqrt{1 + \frac{2h\omega^2}{g}}.$$

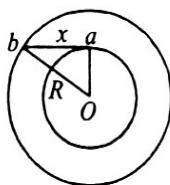


图 6.5-3

说明: 这是一个涉及匀速圆周运动和平抛运动的综合性题目, 正确解答该题的关键有三点: 一是知道水滴离开伞缘时的速度方向与伞缘相切, 且线速度的大小与伞缘的线速度大小相同; 二是认识到水滴离开伞缘后做平抛运动; 三是正确画出示意图, 将三维空间的运动情况简化为平面图形. 画示意图往往能帮助形成清晰的物理情景, 若能养成画示意图的良好习惯, 对于提高解题能力是十分有益的.

注: 例 3 可作为思考题留给有余力的学生, 体现个性化.

板书设计：

第五节 圆周运动

1、描述匀速圆周运动的有关物理量

(1) 线速度

- 1.定义：做圆周运动的物体通过的弧长与所用时间的比值
- 2.公式： $v=\Delta l/\Delta t$ 单位：m/s(s 是弧长，非位移)
- 3.物理意义：

(2) 角速度

- 1.定义：做圆周运动的物体的半径扫过的角度与所用时间的比值
- 2.公式： $\omega=\Delta\theta/\Delta t$.
- 3.单位：rad / s
- 4.物理意义：

(3) 转速和周期

2、线速度，角速度、周期间的关系

$$v=r\omega=\frac{2\pi r}{T} \quad \omega=\frac{2\pi}{T}$$

5.6 向心加速度

三维教学目标

1、知识与技能

- (1) 理解速度变化量和向心加速度的概念；
- (2) 知道向心加速度和线速度、角速度的关系式；
- (3) 能够运用向心加速度公式求解有关问题。

2、过程与方法： 体会速度变化量的处理特点，体验向心加速度的导出过程，领会推导过程中用到的数学方法，教师启发、引导，学生自主阅读、思考、讨论、交流学习成果。

3、情感、与价值观： 培养学生思维能力和分析问题的能力，培养学生探究问题的热情，乐于学习的品质。特别是“做一做”的实施，要通过教师的引导让学生体会成功的喜悦。

教学重点： 理解匀速圆周运动中加速度的产生原因，掌握向心加速度的确定方法和计算公式。

教学难点： 向心加速度方向的确定过程和向心加速度公式的推导与应用。

教学方法： 探究、讲授、讨论、练习

教具准备： 多媒体辅助教学设备等

教学过程：

第六节 向心加速度

（一）新课导入

通过前面的学习，我们已经知道，做曲线运动的物体速度一定是变化的。即使是我们上一堂课研究的匀速圆周运动，其方向仍在不断变化着。换句话说，做曲线运动的物体，一定有加速度。圆周运动是曲线运动，那么做圆周运动的物体，加速度的大小和方向如何确定呢？——这就是我们今天研究的课题。

（二）新课教学

1、感知加速度的方向

请同学们看两例：（展示多媒体动态投影图 6.6D 1 和图 6.6D 2）并提出问题。

（1）图 6.6D 1 中的地球受到什么力的作用？这个力可能沿什么方向？（感觉上应该受到指向太阳的引力作用）

（2）图 6.6D 2 中的小球受到几个力的作用？这几个力的合力沿什么方向？（小球受到重力、支持力和绳子的拉力三个力的作用，其合力即为绳子的拉力，其方向指向圆心。）

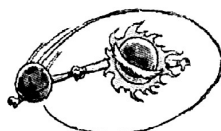


图 6.6-1 地球受力沿什么方向

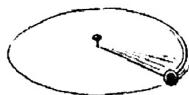


图 6.6-2 小球所受合力沿什么方向

可能有些同学有疑惑，即我们这节课要研究的是匀速圆周运动的加速度，可是上两个例题却在研究物体所受的力，这不是“南辕北辙”了吗？（根据牛顿第二定律可知，知道了物体所受的合外力，就可以知道物体的加速度，可能是通过力来研究加速度吧。）

我们之前没有研究过曲线运动的加速度问题，特别是加速度的方向较难理解，而牛顿第二定律告诉我们，物体的加速度方向总是和它的受力方向一致，这个关系不仅对直线运动正确，对曲线运动也同样正确。所以先通过研究力来感知加速度，特别是加速度的方向。但我们具体研究时仍要根据加速度的定义来进行，为了进一步增加感性认识，请同学们再举出几个类似的做圆周运动的实例，并就刚才讨论的类似问题进行说明。

做匀速圆周运动的物体所受的力或合外力指向圆心，所以物体的加速度也指向圆心，是不是由此可以得出结论：“任何物体做匀速圆周运动的加速度都指向圆心”？暂时不能，因为上面只研究了有限的实例，还难以得出一般性的结论。然而，这样的研究十分有益，因为它强烈地向我们提示了问题的答案，给我们指出了方向。

下面我们将对圆周运动的加速度方向作一般性的讨论。

2、速度变化量

请同学们阅读教材“速度变化量”部分，同时在练习本上画出物体加速运动和减速运动时速度变化量 Δv 的图示，思考并回答问题：速度的变化量 Δv 是矢量还是标量？

如果初速度 v_1 和末速度 v_2 不在同一直线上，如何表示速度的变化量 Δv ？

认真阅读教材，思考问题，在练习本上画出物体加速运动和减速运动时速度变化量的图示。每小组 4 人进行交流和讨论：如果初速度 v_1 和末速度 v_2 不在同一直线上，如何表示速度的变化量 Δv ？

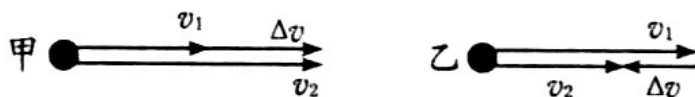


图 6.6-3

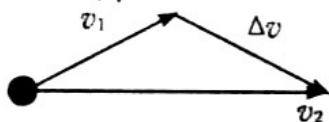


图 6.6-4

交流与讨论：图 6.6D 3 和图 6.6D 4 进行对比。同学们在刚才的交流与讨论中是否有什么问题提出来？

速度变化量实际上就是速度的差值，但由于速度是矢量，故应是矢量差。同一直线的两个矢量相减，可以通过选取正方向将矢量相减转化为代数量相减。而不在同一直线上的两个矢量相减，我们现在无法处理。我们在第三章中学过的两个矢量相加的三角形法则反过来运用就可以得出两个不在同一直线上的矢量的相减。

课堂训练

请一位学生上黑板画出做平抛运动的物体在运动的过程中，连续相等的时间内速度变化量的矢量图，其他同学画在笔记本上，将同学们画出的各种情形投影出来如图 6.6D 5 所示。让同学们交流、讨论，指出哪个图是符合实际的矢量图。(具体过程略)

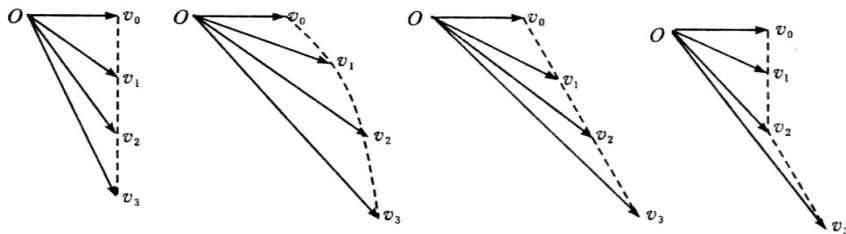


图 6.6-5

3、向心加速度

请同学们阅读教材“向心加速度”部分，分析投影图 6.6D 6。并思考以下问题：

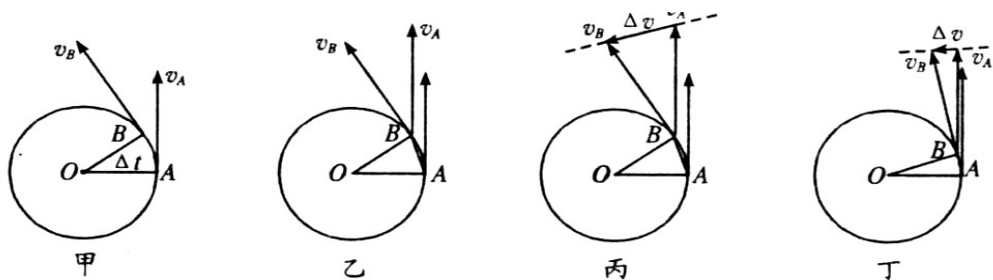


图 6.6-6 质点从 A 运动到 B 的速度变化量

- (1) 在 A、B 两点画速度矢量 v_A 和 v_B 时，要注意什么？
- (2) 将 v_A 的起点移到 B 点时要注意什么？
- (3) 如何画出质点由 A 点运动到 B 点时速度的变化量 Δv ？
- (4) $\Delta v / \Delta t$ 表示的意义是什么？
- (5) Δv 与圆的半径平行吗？在什么条件下， Δv 与圆的半径平行？

在图 6.6D 6 丁中， Δv 的延长线并不通过圆心，为什么说这个加速度是“指向圆心”的？此时，学生可能不知如何回答，老师一定要在学生充分讨论的基础上再引导学生从课本上找答案，即课本第 50 页上的第 5 行的“将 v_A 的起点移到 B，同时保持 v_A 的长度和方向不变，它仍可代表质点在 A 处的速度。”这一句话就是答案的依据。

结论：当 Δt 很小很小时， Δv 指向圆心。

上面的推导不涉及“地球公转”“小球绕图钉转动”等具体的运动，结论具有一般性：做匀速圆周运动的物体加速度指向圆心，这个加速度称为向心加速度。匀速圆周运动的加速度方向明确了，它的大小与什么因素有关呢？下面请大家按照课本第 51

页“做一做”栏目中的提示，在练习本上推导出向心加速度的表达式。也就是下面这两个表达式： $a_N=v^2/r$ ， $a_N=r\omega^2$

思考与讨论：引导学生思考并完成课本第 51 页“思考与讨论”栏目中提出的问题，可将同一观点的学生编为一组，不同组之间进行辩论，深化本节课所学的内容。

课堂训练

(1) 关于北京和广州随地球自转的向心加速度，下列说法中正确的是……(BD)

- A. 它们的方向都沿半径指向地心
- B. 它们的方向都在平行赤道的平面内指向地轴
- C. 北京的向心加速度比广州的向心加速度大
- D. 北京的向心加速度比广州的向心加速度小

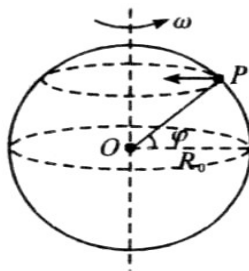


图 6.6 - 7

点评：因为地球自转时，地面上的一切物体都在垂直于地轴的平面内绕地轴做匀速圆周运动，它们的转动中心(圆心)都在地轴上，而不是地球球心，向心力只是引力的一部分(另一部分是重力)，向心力指向地轴，所以它们的向心加速度也都指向地轴。

课外训练

(1) 一个拖拉机后轮直径是前轮直径的 2 倍，当前进且不打滑时，前轮边缘上某点 A 的线速度与后轮边缘上某点的线速度之比 $V_A: V_B=$ _____，角速度之比 $\omega_A: \omega_B=$ _____，向心加速度之比 $a_A: a_B=$ _____。

(2) 甲、乙两个物体都做匀速圆周运动，转动半径比为 3: 4，在相同的时间里甲转过 60 圈时，乙转过 45 圈，则它们所受的向心加速度之比为……()

- A. 3: 4 B. 4: 3 C. 4: 9 D. 9: 16

(3) 下列关于向心加速度的说法中，正确的是……()

- A. 向心加速度的方向始终与速度的方向垂直
- B. 向心加速度的方向保持不变
- C. 在匀速圆周运动中，向心加速度是恒定的
- D. 在匀速圆周运动中，向心加速度的大小不断变化

(4) 小球做圆锥摆运动时，摆线与竖直方向的夹角大小不变，下列说法中正确的是 ()

- A. 小球受重力、摆线拉力和向心力作用
- B. 小球运动过程中线速度是恒定的
- C. 小球运动过程中向心加速度是恒定的
- D. 小球向心加速度的大小，决定于摆线偏离竖直方向的角度

(5) 如图 6.6D 8 的皮带传动装置中 ……()

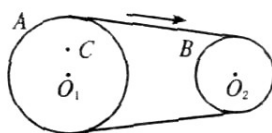


图 6.6 - 8

- A. A 点与 C 点的角速度相同，所以向心加速度也相同
- B. A 点半径比 C 点半径大，所以 A 点向心加速度大于 C 点向心加速度
- C. A 点与 B 点的线速度相同，所以向心加速度相同
- D. B 点与 C 点的半径相同，所以向心加速度也相同

(6) 如图 6.6D 9 所示，质量为 m 的小球用长为 L 的悬绳固定于 O 点，在 O 点的正下方 $L/3$ 处有一颗钉子，把悬绳拉直与竖直方向成一定角度，由静止释放小球，则小球从右向左摆的过程中悬绳碰到钉子的前后，小球的向心加速度之比是多少？

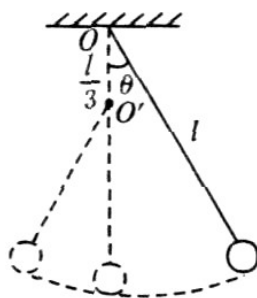


图 6.6-9

(7) 如图 6.6-10 所示，长度为 $L=0.5\text{m}$ 的轻杆，一端固定质量为 $M=1.0\text{kg}$ 的小球 A (小球的半径不计)，另一端固定在一转动轴 O 上。小球绕轴在水平面上匀速转动的过程中，每隔 0.1s 杆转过的角度为 30° 。试求：小球运动的向心加速度？

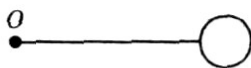


图 6.6-10

参考答案 1. 1: 1 2: 1 2: 1 2. B 3. A 4. D 5. B 6. 2: 3 7. 14 m/s^2

板书设计：

第六节 向心加速度

1、感知做匀速圆周运动的物体加速度的方向

2、速度变化量的求法

3、向心加速度

(1) 名称的由来

(2) 表达式： $a_N = v^2/r$, $a_N = r\omega^2$

(3) 对两种表达式的比较、分析

5.7 向心力

三维教学目标

1、知识与技能

(1) 理解向心力的概念及其表达式的确切含义；

(2) 知道向心力大小与哪些因素有关，并能用来进行计算；

(3) 知道在变速圆周运动中，可用上述公式求质点在某一点的向心力和向心加速度。

2、过程与方法

(1) 通过用圆锥摆粗略验证向心力的表达式的实验来了解向心力的大小与哪些因素有关，并具体“做一做”来理解公式的含义。

(2) 进一步体会力是产生加速度的原因，并通过牛顿第二定律来理解匀速圆周运动、变速圆周运动及一般曲线运动的各自特点。

3、情感、态度与价值观

(1) 在实验中，培养学生动手的习惯并提高分析问题、解决问题的能力。

(2) 感受成功的快乐，体会实验的意义，激发学习物理的兴趣。

教学重点： 体会牛顿第二定律在向心力上的应用；明确向心力的意义、作用、公式及其变形。

教学难点：圆锥摆实验及有关物理量的测量；如何运用向心力、向心加速度的知识解释有关现象。

教学方法：探究、讲授、讨论、练习

教具准备：多媒体课件、圆锥摆等实验设备

教学过程：

第七节 向心力

（一）新课导入

前面两节课，我们学习、研究了圆周运动的运动学特征，知道了如何描述圆周运动，这节课我们再来学习物体做圆周运动的动力学特征——向心力。

（二）新课教学

1、向心力

请同学们阅读教材“向心力”部分，思考并回答以下问题：

- （1）举出几个物体做圆周运动的实例，说明这些物体为什么不沿直线飞去。
- （2）用牛顿第二定律推导出匀速圆周运动的向心力表达式。

认真阅读教材，列举并分析实例，体会向心力的作用效果，并根据牛顿第二定律推导出匀速圆周运动的向心力表达式。

交流与讨论

请同学们交流各自的阅读心得并进行相互间的讨论。

圆周运动是变速运动，有加速度，故做圆周运动的物体一定受到力的作用，而我们知道做匀速圆周运动的物体具有向心加速度，根据牛顿第二定律，这个加速度一定是由于它受到了指向圆心的合力的作用，这个合力叫做向心力，下面请同学们把刚才由牛顿第二定律推出的向心力的表达式展示出来。

向心力表达式： $F_N = mv^2/r$, $F_N = mr\omega^2$

2、实验：用圆锥摆粗略验证向心力的表达式

实验与探究：请同学们阅读教材“实验”部分，思考下面的问题：

- （1）实验器材有哪些？
- （2）简述实验原理，怎样达到验证的目的？
- （3）实验过程中要注意什么？如何保证小球在水平面内做稳定的圆周运动，测量哪些物理量，记录哪些数据？
- （4）实验过程中产生误差的原因主要有哪些？

认真阅读教材，思考问题，找学生代表发言，听取学生的见解，点评、总结。

交流与讨论：实验的过程中，多项测量都是粗略的，存在较大的误差，用两个方法得到的力并不严格相等。通过实验还体会到，向心力并不是像重力、弹力、摩擦力那样具有某种性质的力来命名的，它是效果力，是按力的效果名的，在圆锥摆实验中，向心力是小球重力和细线拉力的合力，还可以理解为是细线拉力在水平面内的一个分力。

我有一个改进的实验，其装置如图 6.7D 1 所示，让小球在刚好要离开锥面的情况下做匀速圆周运动，我认为利用该装置可以使测量值减少误差。

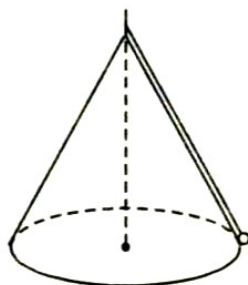


图 6.7 - 1

课堂训练

说明以下几个圆周运动的实例中向心力是由哪些力提供的？

- （1）绳的一端拴一小球，手执另一端使小球在光滑水平面上做匀速圆周运动？

(2) 火星绕太阳运转的向心力是什么力提供的？

(3) 在圆盘上放一个小物块，使小物块随圆盘一起做匀速圆周运动，分析小物块受几个力，向心力由谁提供？

参考答案

(1) 解析：小球受重力、支持力、绳的拉力而做匀速圆周运动，由于竖直方向小球不运动，故重力、支持力合力为零，那么水平方向上的匀速圆周运动由水平面上的绳的拉力来提供。

(2) 解析：火星和太阳间的万有引力提供火星运转的向心力。

(3) 解析：小物块受重力、支持力和静摩擦力，静摩擦力提供向心力。

3、变速圆周运动和一般曲线运动

在刚才“做一做”的实验中，我们可以通过抡绳子来调节沙袋速度的大小，这就给我们带来一个疑问：难道向心力能改变速度的大小吗？为什么？（不能。因为我刚才做实验时发现，当我的手保持不动时，沙袋的速度并不能改变，只有当我的手在动时，沙袋的速度才能改变，所以不能。但具体细节我还没有搞清）

对于做一般曲线运动的物体，我们可以用怎样的分析方法进行简化处理？请同学们阅读教材并结合课本图 6.7D 4 的提示发表自己的见解，同时再与刚才研究的变速圆周运动去进行对比。

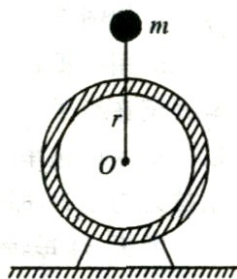


图 6.7-4

课堂训练

(1) 如图 6.7D 2 所示，在光滑的水平面上钉两个钉子 A 和 B，相距 20cm 用一根长 1 m 的细绳，一端系一个质量为 0.5 kg 的小球，另一端固定在钉子 A 上。开始时球与钉子 A、B 在一条直线上，然后使小球以 2 m/s 的速率开始在水平面内做匀速圆周运动，若绳子能承受的最大拉力为 4 N，那么从开始到绳断所经历的时间是多少？

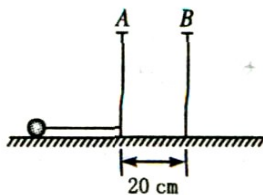


图 6.7-2

说明：需注意绳碰钉子的瞬间，绳的拉力和速度方向仍然垂直，球的速度大小不变，而绳的拉力随半径的突然减小而突然增大。

(2) 如图 6.7D 3 所示，水平转盘的中心有个竖直小圆筒，质量为 m 的物体 A 放在转盘上，A 到竖直筒中心的距离为 r ，物体 A 通过轻绳、无摩擦的滑轮与物体 B 相连，B 与 A 质量相同。物体 A 与转盘间的最大静摩擦力是正压力的 μ 倍，则转盘转动的角速度在什么范围内，物体 A 才能随盘转动？

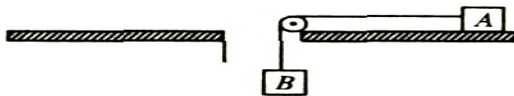


图 6.7-3

说明：根据向心力公式，解题的关键是分析做匀速圆周运动物体的受力情况；明确哪些力提供了它需要的向心力。

(3) 如图 6.7D 4 所示，在质量为 M 的电动机上，装有质量为 m 的偏心轮，飞轮转动的角速度为 ω ，当飞轮重心在转轴正上方时，电动机对地面的压力刚好为零，则飞轮重心离转轴的距离多大？在转动过程中，电动机对地面的最大压力多大？

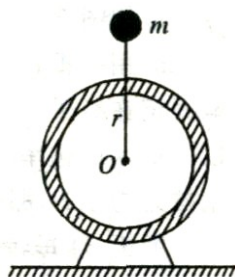


图 6.7 - 4

课外训练

(1) 如图 6.7D 5 所示，一圆盘可以绕一个通过圆盘中心且垂直于盘面的竖直轴转动，在圆盘上放置一木块，当圆盘匀速转动时，木块随圆盘一起运动，那么…()

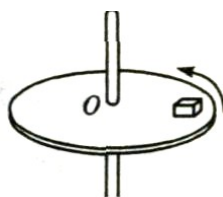


图 6.7 - 5

- A.木块受到圆盘对它的摩擦力，方向背离圆盘中心
- B.木块受到圆盘对它的摩擦力，方向指向圆盘中心
- C.因为木块与圆盘一起做匀速转动，所以它们之间没有摩擦力
- D.因为摩擦力总是阻碍物体运动的，所以木块受到圆盘对它的摩擦力的方向与木块运动方向相反

(2) 一个 2.0kg 的物体在半径是 1.6m 的圆周上以 4m/s 的速率运动，向心加速度为多大?所需向心力为多大?

(3) 太阳的质量是 $1.98 \times 10^{30}\text{kg}$ ，它离开银河系中心大约 3 万光年($1\text{光年}: 9.46 \times 10^{12}\text{km}$)，它以 250km/s 的速率绕着银河系中心转动，计算太阳绕银河系中心转动的向心力?

(4) 关于匀速圆周运动的周期大小，下列判断正确的是……………()

- A.若线速度越大，则周期一定越小
- B.若角速度越大，则周期一定越小
- C.若半径越大，则周期一定越大
- D.若向心加速度越大，则周期一定越大

(5) 线的一端系一个重物，手执线的另一端使重物在光滑水平面上做匀速圆周运动，当转速相同时，线长易断，还是线短易断?为什么?如果重物运动时系线被桌上的一个钉子挡住，随后重物以不变的速率在系线的牵引下绕钉子做圆周运动，系线碰钉子时钉子离重物越远线易断?还是离重物越近线易断?为什么?

(6) 如图 6.7-6 所示，线段 $OA=2AB$ ，A、B 两球质量相等。当它们绕 O 点在光滑的水平桌面上以相同的角速度转动时，两线段的拉力之比是多少?

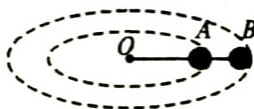


图 6.7 - 6

参考答案 1. B 2. 10m/s^2 20N 3. $4.36 \times 10^{20}\text{N}$ 4. B

5. 线长易断，因为转速相同时，由向心力公式知，半径越大，所需向心力越大。越近易断，因为线速度相同时，由向心力公式知，半径越小，所需向心力大。 6. 3:5

板书设计：

第七节 向心力

1、向心力

- (1) 通过实例进一步感受做圆周运动的物体必须受到力的作用
- (2) 向心力的概念
- (3) 向心力的表达式

2、向心力的实验验证

- (1) 圆锥摆的实验
- (2) 向心力公式的实验讨论(“做一做”)

3、变速圆周运动和一般曲线运动的研究

5.8 生活中的圆周运动

三维教学目标

1、知识与技能

- (1) 知道如果一个力或几个力的合力的效果是使物体产生向心加速度，它就是圆周运动的物体所受的向心力。会在具体问题中分析向心力的来源。
- (2) 能理解运用匀速圆周运动的规律分析和处理生产和生活中的具体实例。
- (3) 知道向心力和向心加速度的公式也适用于变速圆周运动，会求变速圆周运动中物体在特殊点的向心力和向心加速度。

2、过程与方法

- (1) 通过对匀速圆周运动的实例分析，渗透理论联系实际的观点，提高学生分析和解决问题的能力。
- (2) 通过匀速圆周运动的规律也可以在变速圆周运动中使用，渗透特殊性和一般性之间的辩证关系，提高学生的分析能力。
- (3) 通过对离心现象的实例分析，提高学生综合应用知识解决问题的能力。

3、情感、态度与价值观

- (1) 通过对几个实例的分析，使学生明确具体问题必须具体分析，理解物理与生活的联系，学会用合理、科学的方法处理问题。
- (2) 通过离心运动的应用和防止的实例分析，使学生明白事物都是一分为二的，要学会用一分为二的观点来看待问题。
- (3) 养成良好的思维表述习惯和科学的价值观。

教学重点：理解向心力是一种效果力；在具体问题中能找到是谁提供向心力的，并结合牛顿运动定律求解有关问题。

教学难点：具体问题中向心力的来源；关于对临界问题的讨论和分析；对变速圆周运动的理解和处理。

教学方法：探究、讲授、讨论、练习

教具准备：多媒体课件

教学过程：

第八节 生活中的圆周运动

(一) 新课导入

复习提问：请同学们回顾并叙述出对于圆周运动你已经理解和掌握了哪些基本知识？（用线速度、角速度、转速和周期等来描述做圆周运动物体的运动快慢；知道了圆周运动一定是变速运动，一定具有加速度；掌握了对于圆周运动的有关问题还必须通过运用牛顿第二定律去认真分析和处理。）

(二) 新课教学

1、铁路的弯道

6.8D 1 并提出问题：火车受几个力作用？这几个力的关系如何？

火车受到4个力的作用，各为两对平衡力，即合外力为零。其中重力和支持力的合力为零，牵引力和摩擦力的合力为零，那火车转弯时情况会有何不同呢？

提出问题：

(1) 转弯与直线前进有何不同？(2) 画出受力示意图，并结合运动情况分析各力的关系？（转弯时火车的速度方向在不断变化，故其一定有加速度，其合外力一定不为零。）

转弯时合外力不为零，即需要提供向心力，而平直路前行不需要，那么火车转弯时是如何获得向心力的？进一步受力分析

得：需增加的一个向心力（效果力），由铁轨外轨的轮缘和铁轨之间互相挤压而产生的弹力提供。

问题：挤压的后果会怎样？（由于火车质量、速度比较大，故所需向心力也很大。这样的话，轮缘和铁轨之间的挤压作用力将很大，导致的后果是铁轨容易损坏，轨缘也容易损坏。）

那么应该如何解决这一实际问题，结合学过的知识加以讨论，提出可行的解决方案，并画出受力图，加以定性说明。

交流与讨论：学生发挥自己的想象能力，结合知识点设计方案，结合受力图发表自己的见解…… 如图 6.8D 1 所示：

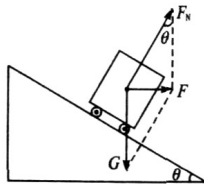


图 6.8-1

（火车受的重力和支持力的合力提供向心力，对内外轨都无挤压，这样就达到了保护铁轨的目的。）请同学们运用刚才的分析进一步讨论：实际的铁路上为什么转弯处的半径和火车运行速度有条件限制？

2、拱形桥

问题：质量为 m 的汽车在拱形桥上以速度 v 行驶，若桥面的圆弧半径为 R ，试画出受力分析图，分析汽车通过桥的最高点时对桥的压力？通过分析，你可以得出什么结论？

在最高点，对汽车进行受力分析，确定向心力的来源；由牛顿第二定律列出方程求出汽车受到的支持力；由牛顿第三定律求出桥面受到的压力： $F_N = G - mv^2/r$ 可见，汽车对桥的压力 F_N 小于汽车的重力 G ，并且压力随汽车速度的增大而减小。

请同学们进一步考虑当汽车对桥的压力刚好减为零时，汽车的速度有多大。当汽车的速度大于这个速度时，会发生什么现象？（把 $F_N = 0$ 代入上式可得，此时汽车的速度为 $v = \sqrt{gR}$ ，当汽车的速度大于这个速度时，就会发生汽车飞出去的现象。这种现象我们在电影里看到过。）

下面再一起共同分析汽车通过凹形桥最低点时，汽车对桥的压力比汽车的重力大些还是小些？（汽车通过凹形桥最低点时，汽车对桥的压力比汽车的重力大。）

如果汽车不在拱形桥的最高点或最低点，前面的结论还是否能用？如果不能直接运用，又如何来研究这一问题呢？（前面的结论能直接运用，不过此时物体的向心加速度不等于物体的实际加速度，即要用上一节研究变速圆周运动的方法来处理。）

课堂训练

例 1：一辆质量 $m=2.0t$ 的小轿车，驶过半径 $R=90m$ 的一段圆弧形桥面，重力加速度 $g=10m/s^2$ 。求：

- （1）若桥面为凹形，汽车以 $20m/s$ 的速度通过桥面最低点时，对桥面压力是多大？
- （2）若桥面为凸形，汽车以 $10m/s$ 的速度通过桥面最高点时，对桥面压力是多大？
- （3）汽车以多大速度通过凸形桥面顶点时，对桥面刚好没有压力？

解：（1）汽车通过凹形桥面最低点时，在水平方向受到牵引力 F 和阻力 f ，在竖直方向受到桥面向上的支持力 N_1 和向下的重力 $G=mg$ ，如图 6.8D 2 所示：

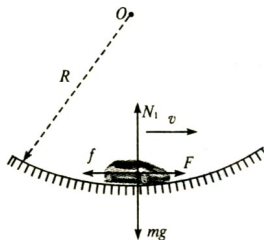


图 6.8-2

圆弧形轨道的圆心在汽车上方，支持力 N_1 与重力 $G=mg$ 的合力为 $N_1 - mg$ ，这个合力就是汽车通过桥面最低点时的向心力，即 $F_{向} = N_1 - mg$ 。由向心力公式有： $N_1 - mg = mv^2/R$

解得桥面的支持力大小为

$$N_1 = m \frac{v^2}{R} + mg = (2\,000 \times \frac{20^2}{90} + 2\,000 \times 10) \text{ N} = 2.89 \times 10^4 \text{ N}$$

根据牛顿第三定律,汽车对桥面最低点的压力大小是 $2.98 \times 10^4 \text{ N}$.

(2)汽车通过凸形桥面最高点时,在水平方向受到牵引力 F 和阻力 f ,在竖直方向受到竖直向下的重力 $G=mg$ 和桥面向上的支持力 N_2 ,如图 6.8-3 所示.圆弧形轨道的圆心在汽车的正下方,重力 $G=mg$ 与支持力 N_2 的合力为 $mg-N_2$,这个合力就是汽车通过桥面顶点时的向心力,即 $F_{\text{向}}=mg-N_2$,由向心力公式有 $mg-N_2=m \frac{v^2}{R}$

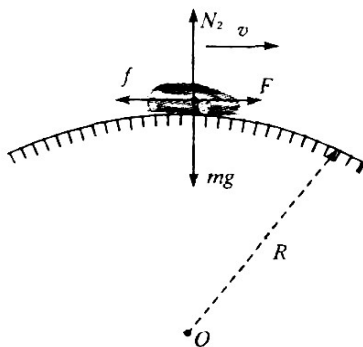


图 6.8-3

解得桥面的支持力大小为

$$N_2 = mg - m \frac{v^2}{R} = (2\,000 \times 10 - 2\,000 \times \frac{10^2}{90}) \text{ N} = 1.78 \times 10^4 \text{ N}$$

根据牛顿第三定律,汽车在桥的顶点时对桥面压力的大小为 $1.78 \times 10^4 \text{ N}$.

(3)设汽车速度为 v_m 时,通过凸形桥面顶点时对桥面压力为零.根据牛顿第三定律,这时桥面对汽车的支持力也为零,汽车在竖直方向只受到重力 G 作用,重力 $G=mg$ 就是汽车驶过桥顶点时的向心力,即 $F_{\text{向}}=mg$,由向心力公式有 $mg=m \frac{v_m^2}{R}$

$$\text{解得: } v_m = \sqrt{gR} = \sqrt{10 \times 90} \text{ m/s} = 30 \text{ m/s}$$

汽车以 30 m/s 的速度通过桥面顶点时,对桥面刚好没有压力.

3、航天器中的失重现象

从刚才研究的一道例题可以看出,当汽车通过拱形桥凸形桥面顶点时,如果车速达到一定大小,则可使汽车对桥面的压力为零,如果我们把地球想象为特大的“拱形桥”,则情形如何呢?会不会出现这样的情况;速度达到一定程度时,地面对车的支持力为零?这时驾驶员与座椅之间的压力是多少?驾驶员躯体各部分之间的压力是多少?他这时可能有什么感觉?

假设宇宙飞船质量为 M ,它在地球表面附近绕地球做匀速圆周运动,其轨道半径近似等于地球半径 R ,航天员质量为 m ,宇宙飞船和航天员受到的地球引力近似等于他们在地面上的重力,试求座舱对宇航员的支持力,此时飞船的速度多大?通过求解,你可以得出什么结论?(运用牛顿第二定律可解得:宇宙飞船的速度为 $\sqrt{Rg}$,再对宇航员进行分析可得,此时座椅对宇航员的支持力为零,即航天员处于失重状态。)

4、离心运动

做圆周运动的物体一旦失去向心力的作用,它会怎样运动呢?如果物体受的合力不足以提供向心力,它会怎样运动呢?发表你的见解并说明原因。(做圆周运动的物体一旦失去向心力的作用,它会沿切线飞出去,如体育中的“链球”运动,运动员手一放后,“链球”马上飞了出去。)

如果向心力突然消失,物体由于惯性,会沿切线方向飞出去。

如果物体受的合力不足以提供向心力,物体虽不能沿切线方向飞出去,但会逐渐远离圆心.这两种运动都叫做离心运动。

讨论与思考:请同学们结合生活实际,举出物体做离心运动的例子,在这些例子中,离心运动是有益的还是有害的?你能说出这些例子中离心运动是怎样发生的吗?

课堂训练

例题 1: 杂技演员在做水流星表演时, 用绳系着装有水的水桶, 在竖直平面内做圆周运动, 若水的质量 $m=0.5\text{ kg}$, 绳长 $l=60\text{ cm}$, 求: (1) 最高点水不流出的最小速率, (2) 水在最高点速率 $v=3\text{ m/s}$ 时, 水对桶底的压力。

解析: (1) 在最高点水不流出的条件是重力不大于水做圆周运动所需要的向心力

$$\text{即 } mg \leq m \frac{v_0^2}{l}$$

则所求最小速率 $v_0 = \sqrt{gl} = \sqrt{0.6 \times 9.8} \text{ m/s} = 2.42 \text{ m/s}$.

(2) 当水在最高点的速率大于 v_0 时, 只靠重力提供向心力已不足, 此时水桶底对水有一向

下的压力, 设为 F_N , 由牛顿第二定律有 $F_N + mg = m \frac{v^2}{l}$

$$F_N = m \frac{v^2}{l} - mg = 2.6 \text{ N}$$

点评: 抓住临界状态, 找出临界条件是解决这类极值问题的关键。

思考: 若本题中将绳换成轻杆, 将桶换成球, 上面所求的临界速率还适用吗?

例题 2: 如图 6.8D 4 所示, 在水平固定的光滑平板上, 有一质量为 M 的质点 P , 与穿过中央小孔 H 的轻绳一端连着, 平板与小孔是光滑的, 用手拉着绳子下端, 使质点做半径为 d 、角速度为 ω 的匀速四周运动, 若绳子迅速放松至某一长度 $\wedge$ 而拉紧, 质点就能在以半径为 b 的圆周上做匀速圆周运动, 求质点由半径 a 到 b 所需的时间及质点在半径为 b 的圆周上运动的角速度?

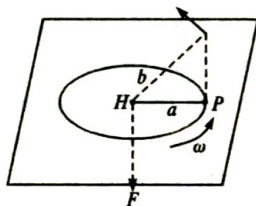


图 6.8-4

解析: 质点在半径为 a 的圆周上以角速度 ω_1 做匀速圆周运动, 其线速度为 $v_a = \omega_1 a$. 突然松绳后, 向心力消失, 质点沿切线方向飞出以 v_a 做匀速直线运动, 直到线被拉直, 如图 6.8-5 所示. 质点做匀速直线运动的位移为 $s = \sqrt{b^2 - a^2}$, 则质点由半径 a 到 b 所需的时间为: $t = s/v_a = \sqrt{b^2 - a^2}/(\omega_1 a)$.

当线刚被拉直时, 球的速度为 $v_a = \omega_1 a$, 把这一速度分解为垂直于绳的速度 v_b 和沿绳的速度 v' . 在绳绷紧的过程中 v' 减为零, 质点就以 v_b 沿着半径为 b 的圆周做匀速圆周运动. 根据相似三角形得 $\frac{v_b}{a} = \frac{v_a}{b}$, 即 $\frac{\omega_2 b}{a} = \frac{\omega_1 a}{b}$. 则质点沿半径为 b 的圆周做匀速圆周运动的角速度为 $\omega_2 = a^2 \omega_1 / b^2$.

例题 3: 一根长 $l=0.625\text{ m}$ 的细绳, 一端拴一质量 $m=0.4\text{ kg}$ 的小球, 使其在竖直平面内绕绳的另一端做圆周运动, 求: (1) 小球通过最高点时的最小速度; (2) 若小球以速度 $v=3.0\text{ m/s}$ 通过圆周最高点时, 绳对小球的拉力多大? 若此时绳突然断了, 小球将如何运动?

分析与解答:(1)小球通过圆周最高点时,受到的重力 $G=mg$ 必须全部作为向心力 $F_{\text{向}}$, 否则重力 G 中的多余部分将把小球拉进圆内, 而不能实现沿竖直圆周运动. 所以小球通过圆周最高点的条件应为 $F_{\text{向}} \geq mg$, 当 $F_{\text{向}} = mg$ 时, 即小球受到的重力刚好全部作为通过圆周最高点的向心力, 绳对小球恰好不施拉力, 如图 6.8-6 所示, 此时小球的速度就是通过圆周最高点的最小速度 v_0 , 由向心力公式有: $mg = m \frac{v_0^2}{l}$

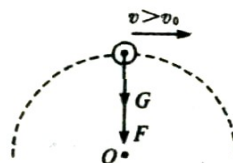


图 6.8-6

$$\text{解得: } G = mg = m \frac{v_0^2}{l}$$

$$v_0 = \sqrt{gl} = \sqrt{10 \times 0.625} \text{ m/s} = 2.5 \text{ m/s}.$$

(2)小球通过圆周最高点时,若速度 v 大于最小速度 v_0 , 所需的向心力 $F_{\text{向}}$ 将大于重力 G , 这时绳对小球要施拉力 F , 如图 6.8-6 所示, 此时有 $F + mg = m \frac{v^2}{l}$

$$\text{解得: } F = m \frac{v^2}{l} - mg = (0.4 \times \frac{3.0^2}{0.625} - 0.4 \times 10) \text{ N} = 1.76 \text{ N}$$

若在最高点时绳子突然断了, 则提供的向心力 mg 小于需要的向心力 $m \frac{v^2}{l}$, 小球将沿切线方向飞出做离心运动(实际上是平抛运动).

课外训练

(1) 如图 6.8-7 所示, 汽车以一定的速度经过一个圆弧形桥面的顶点时, 关于汽车的受力及汽车对桥面的压力情况, 以下说法正确的是……………()



图 6.8-7

- A. 在竖直方向汽车受到三个力: 重力、桥面的支持力和向心力
- B. 在竖直方向汽车只受两个力: 重力和桥面的支持力
- C. 汽车对桥面的压力小于汽车的重力
- D. 汽车对桥面的压力大于汽车的重力

(2) 一辆汽车以速度 v 匀速转弯, 若车轮与地面间的最大静摩擦力为车重的 k 倍, 求汽车转弯的最小半径?

(3) 一根原长为 20cm 的轻质弹簧, 劲度系数 $k=20 \text{ N/m}$, 一端拴着一个质量为 1 kg 的小球, 在光滑的水平面上绕另一端做匀速圆周运动, 此时弹簧的实际长度为 25 cm, 如图 6.8-8 所示. 求: 小球运动的线速度为多大? 小球运动的周期为多大?

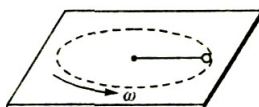


图 6.8-8

(4) 一细绳拴一质量 $m=100 \text{ g}$ 的小球, 在竖直平面内做半径 $R=40 \text{ cm}$ 的圆周运动, 取 $g=10 \text{ m/s}^2$, 求: 小球恰能通过圆周最高点时的速度, 小球以 $v=3.0 \text{ m/s}$ 的速度通过圆周最低点时, 绳对小球的拉力; 小球 $v_2=5.0 \text{ m/s}$ 的速度通过圆周最低点时, 绳对小球的拉力?

(5) 质量为 $m=0.02 \text{ kg}$ 的小球, 与长为 $l=0.4 \text{ m}$ 的不计质量的细杆一端连接, 以杆的另一端为轴, 在竖直面内做圆周运动, 当小球运动到最高点. 速度分别为 $v_1=0$, $v_2=1 \text{ m/s}$, $v_3=2 \text{ m/s}$, $v_4=4 \text{ m/s}$ 时, 杆分别对小球施加什么方向的力? 大小如何?

(6) 一架滑翔机以 180 km/h 的速率, 沿着半径为 1200 m 的水平圆弧飞行, 计算机翼和水平面间夹角的正切值。(取 $g=10 \text{ m/s}^2$)

(7) 一辆 $m=2.0 \times 10^3 \text{ kg}$ 的汽车在水平公路上行驶, 经过半径 $r=50 \text{ m}$ 的弯路时, 如果车速 $v=72 \text{ km/h}$, 这辆汽车会不会发生侧滑? 已知轮胎与路面间的最大静摩擦力 $F_{\text{max}}=1.4 \times 10^4 \text{ N}$.

(8) 如图 6.8D 9 所示, 圆弧形拱桥 AB 的圆弧半径为 40 m, 桥高 10m, 一辆汽车通过桥中央时桥受压力为车重的 $\frac{1}{2}$, 汽车的速率多大? 若汽车通过桥中央时对桥恰无压力, 汽车的落地点离 AB 中点 P 多远?

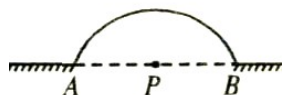


图 6.8 - 9

参考答案

1. BC 2. v^2/kg 3. 0.5 m/s 3. 14 s 4. (1) 2 m/s (2) 1.25 N (3) 7.25 N 5. O. 2 N 的支持力, 0.15 N 的支持力, 0 N (无作用力), 0.6 N 的拉力 6. $\tan\theta = 4/25$ 7. 会发生侧滑 8. $10\sqrt{2} \text{ m/s}$ $20\sqrt{2} \text{ m}$

板书设计

第八节 生活中的圆周运动

1、铁路的弯道

- (1) 讨论向心力的来源:
- (2) 外轨高于内轨时重力与支持力的合力是使火车转弯的向心力
- (3) 讨论: 为什么转弯处的半径和火车运行速度有条件限制?

2、拱形桥

- (1) 思考: 汽车过拱形桥时, 对桥面的压力与重力谁大?
- (2) 圆周运动中的超重。失重情况。

3、航天器中的失重现象

4、离心运动

- (1) 离心现象的分析与讨论。
- (2) 离心运动的应用和防止。

第六章 万有引力与航天

6.1 行星的运动

三维教学目标

1、知识与技能

- (1) 知道地心说和日心说的基本内容;
- (2) 知道所有行星绕太阳运动的轨道都是椭圆, 太阳处在椭圆的一个焦点上;
- (3) 知道所有行星的轨道的半长轴的三次方跟它的公转周期的二次方的比值都相等, 且这个比值与行星的质量无关, 但与太阳的质量有关;
- (4) 理解人们对行星运动的认识过程是漫长复杂的, 真理是来之不易的。

2、过程与方法: 过托勒密、哥白尼、第谷·布拉赫、开普勒等几位科学家对行星运动的不同认识, 了解人类认识事物本质的曲折性并加深对行星运动的理解。

3、情感、态度与价值观

(1) 澄清对天体运动神秘、模糊的认识，掌握人类认识自然规律的科学方法。

(2) 感悟科学是人类进步不竭的动力。

教学重点：理解和掌握开普勒行星运动定律，认识行星的运动。学好本节有利于对宇宙中行星的运动规律的认识，掌握人类认识自然规律的科学方法，并有利于对人造卫星的学习。

教学难点：对开普勒行星运动定律的理解和应用，通过本节的学习可以澄清人们对天体运动神秘、模糊的认识。

教学方法：探究、讲授、讨论、练习

教具准备：挂图、多媒体课件

教学过程：

第一节 行星的运动

(一) 新课导入

多媒体演示：天体运动的图片浏览。

在浩瀚的宇宙中有无数大小不一、形态各异的天体，如月亮、地球、太阳、夜空中的星星……由这些天体组成的广袤无限的宇宙始终是我们渴望了解、不断探索的领域。关于天体的运动，历史上有过不同的看法。

中国古代天文学观。我国古代先民看到北极星常年不动，以及北斗七星等拱极星的回转，便以为星空是圆的，就像是一只倒扣着的半球大锅，覆整在大地上，而北极则是这盖天的顶，又认为地是方的，就像一张围棋盘，此即“天圆地方”说。东汉时的天文学家张衡提出“浑天”说，认为天就像一个大鸡蛋，地球就是其中的蛋黄。

中国古代通常将历法和天文联系在一起。历法注重天体运行的长时间段的重复周期，而不注重天体在三维空间中的运行情况，与古希腊人和中世纪的欧洲人不同，中国历法家很少关心宇宙结构方面的讨论。在汉朝的大部分时期，人们满足于这样的假设：有人居住的世界是一小块中心区域，靠近平面大地中央，这个平面大地是一个绕着倾斜的轴旋转的天球的直径面，天体在该天球的内面移动，但它们靠何种机制来进行这种运动则没有讨论。

中国古代有丰富的天文记录。公元前第二个千年的后期，甲骨文中已记载了新星现象，从约公元前 200 年开始，在官方文件中已有关于新星的连年记载，还有流星雨、彗星、日食、太阳黑子以及异乎寻常的云、板光之类的记载，或对彗星的跟踪观测的记录。这些现象的观测者都使用了制作精良的大型浑天仪和其他刻度仪器，所观测的天体位置，其精确程度毫不逊色于欧洲在第谷之前的观测。

在广袤无垠的宇宙中有着无数大小不一、形态各异的天体，如太阳、月亮、夜空中闪烁的星星……吸引了人们的注意，智慧的头脑开始探索天体运动的奥秘，它们的运动是靠神的支配，还是物理规律的约束？经过不懈的努力，科学家们对它已有初步的了解，这一节让我们循着前人的足迹学习行星运动的情况。

(二) 新课教学

1、“地心说”和“日心说”之争

讨论与交流

(1) 古人对天体运动存在哪些看法？（“地心说”和“日心说”）

(2) 什么是“地心说”？什么是“日心说”？（“地心说”认为地球是宇宙的中心，是静止不动的，太阳、月亮以及其他行星都绕地球运动，“日心说”则认为太阳是静止不动的，地球和其他行星都绕太阳运动。“地心说”的代表人物：托勒密(古希腊)。“地心说”符合人们的直接经验，同时也符合势力强大的宗教神学关于地球是宇宙中心的认识，故地心说一度占据了统治地位。）“日心说”战胜了“地心说”，最终被接受。

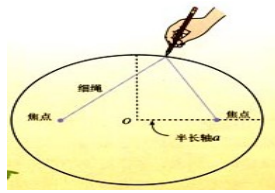
讨论与交流

“日心说”战胜了“地心说”，最终真理战胜了谬误，请同学们阅读第 64 页《人类对行星运动规律的认识，中托勒密：地心宇宙，哥白尼：拦住了太阳，推动了地球。交流讨论，找出“地心说”遭遇的尴尬和“日心说”的成功之处？（地心说所描述的天体的运动不仅复杂而且问题很多，如果把地球从天体运动的中心位置移到一个普通的、绕太阳运动的位置，换一个角度来考虑天体的运动，许多问题都可以解决，行星运动的描述也变得简单了。）“日心说”代表人物：哥白尼，“日心说”能更完美地解释天体的运动。

2、开普勒行星运动定律

做一做：用图钉和细绳画椭圆，可以用一条细绳和两图钉来画椭圆，如图 7.1D1 所示，把白纸稿在木板上，然后按上图钉，把

细绳的两端系在图钉上，用一枝铅笔紧贴着细绳滑动，使绳始终保持张紧状态，铅笔在纸上画出的轨迹就是椭圆，图钉在纸上留下的痕迹叫做椭圆的焦点。



想一想：椭圆上某点到两个焦点的距离之和与椭圆上另一点到两个焦点的距离之和有什么关系？

课堂训练：分四小组进行，阅读教材第二段到最后，并阅读第 64 页《人类对行星运动规律的认识》中第谷：天才观察家，开普勒：真理超出期望，投影展示以下问题：

(1) 古人认为天体做什么运动？（古人把天体的运动看得十分神圣，他们认为天体的运动不同于地面物体的运动，天体做的是最完美、最和谐的匀速圆周运动。）

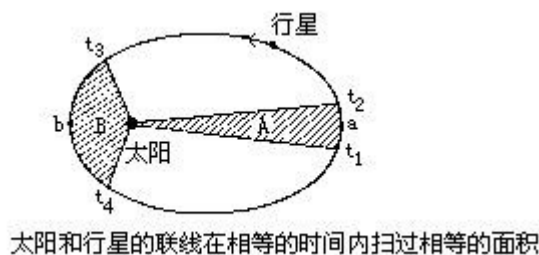
(2) 开普勒认为行星做什么样的运动？他是怎样得出这一结论的？（开普勒认为行星做椭圆运动，他发现假设行星做匀速圆周运动，计算所得的数据与观测数据不符，只有认为行星做椭圆运动，才能解释这一差别。）

(3) 开普勒行星运动定律哪几个方面描述了行星绕太阳运动的规律？具体表述是什么？（开普勒行星运动定律从行星运动轨道，行星运动的线速度变化，轨道与周期的关系三个方面揭示了行星运动的规律）具体表述为：

第一定律：所有行星绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳处在椭圆的一个焦点上。这一定律说明了行星运动轨迹的形状，不同的行星绕太阳运行时椭圆轨道相同吗？（不同）

第二定律：对任意一个行星来说，它与太阳的连线在相等时间内扫过相等的面积。

如图所示，行星沿着椭圆轨道运行，太阳位于椭圆的一个焦点上，如果时间间隔相等，即 $t_2 - t_1 = t_4 - t_3$ ，那么面积 A = 面积 B。由此可见，行星在远日点 a 的速率最小，在近日点 b 的速率最大。



太阳和行星的连线在相等的时间内扫过相等的面积

第三定律：所有行星的椭圆轨道的半长轴的三次方跟公转周期的平方的比值都相等。由于行星的椭圆轨道都跟圆近似，在近似计算中，可以认为行星都以太阳为圆心做匀速圆周运动，在这种情况下，若用 R 代表轨道半径，T 代表公转周期，开普勒第三定律可以用下面的公式表示：

比值 k 是一个与行星无关的恒量， $\frac{R^3}{T^2}$ 与太阳有关。

给出太阳系九大行星平均轨道半径和周期的数值，供学生课后验证。

这一定律发现了所有行星的轨道的半长轴与公转周期之间的定量关系，但是比值 k 是一个与行星无关的常量，那么你能猜想出它可能跟谁有关吗？

提示：根据开普勒第三定律知：所有行星绕太阳运动的半长轴的三次方跟公转周期二次方的比值是一个常数 k，可以猜想，这个“k”一定与运动系统的物体有关。因为常数 k 对于所有行星都相同，而各行星是不一样的，故跟行星无关，而在运动系中除了行星就是中心天体——太阳，故这一常数“k”一定与中心天体——太阳有关。（通过后面的学习将知道 k 值与太阳质量的关系）

说明：

(1) 开普勒定律不仅适用于行星绕太阳运动，也适用于卫星绕着地球转，不过比例式 $\frac{R^3}{T^2} = k$ 。k 中的 k 是不同的，与中心天体有关。

(2) 开普勒定律是总结行星运动的观察结果而总结归纳出来的规律。它们每一条都是经验定律，都是从行星运动所取得的资料中总结出来的规律。开普勒定律只涉及运动学、几何学方面的内容。

(3) 由于行星的椭圆轨道都跟圆近似，在近似计算中，可以认为，行星都以太阳为圆心做匀速圆周运动。在这种情况下，若用 R 代表轨道半径， T 代表公转周期，开普勒第三定律可以用下面的公式表示

$$\frac{R^3}{T^2} = k.$$

(4) 开普勒关于行星运动的确切描述，不仅使人们在解决行星的运动学问题上有了依据，更澄清了人们对天体运动神秘、模糊的认识，同时也推动了对天体动力学问题的研究。

课堂探究

- (1) 播放行星绕椭圆轨道运动的课件，使学生对行星的运动有一个简单的感性认识。
- (2) 出示九大行星轨道挂图，使学生对多数行星的轨道与圆十分接近有一个感性认识。

讨论与交流：实际上，多数行星的轨道与圆十分接近，所以在中学阶段的研究中能够按圆处理，开普勒三定律适用于圆轨道时，应该怎样表述呢？（行星的圆轨道的半径的三次方跟它的公转周期的二次方的比值都相等）

课堂训练

- (1) 下列说法正确的是……………()
A.地球是宇宙的中心，太阳、月亮及其他行星都绕地球运动
B.太阳是宇宙的中心，所有天体都绕太阳运动
C.太阳是静止不动的，地球和其他行星都绕太阳运动
D.“地心说”和哥白尼提出的“日心说”现在看来都是不正确的
- (2) 已知木星绕太阳公转的周期是地球绕太阳公转周期的 12 倍。则木星绕太阳公转轨道的半长轴为地球公转轨道半长轴的 () 倍。

参考答案：1. 答案：D 分析：“地心说”是错误的，所以 A 不正确。太阳系在银河系中运动，银河系也在运动，所以，B、C 不正确，D 正确。 2. 答案：5. 24

小结：

本节学习的是开普勒行星运动的三定律，其中第一定律反映了行星运动的轨迹是椭圆，第二定律描述了行星在近日点的速率最小，在远日点的速率最大，第三定律揭示了轨道半长轴与公转周期的定量关系。在近似计算中可以认为行星都以太阳为圆心做匀速圆周运动。

板书设计：

第一节 行星的运动

1、地心说和日心说

- 2、**第一定律：**所有行星绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳处在椭圆的一个焦点上。
- 3、**第二定律：**对任意一个行星来说，它与太阳的连线在相等时间内扫过相等的面积。
- 4、**开普勒第三定律：**所有行星的椭圆轨道的半长轴的三次方跟公转周期的平方的比值都相等。

6.2 太阳与行星间的引力 6.3 万有引力定律

三维教学目标

1、知识与技能

- (1) 理解太阳与行星间引力的存在；
- (2) 能根据开普勒行星运动定律和牛顿第三定律推导出太阳与行星间的引力表达式；
- (3) 了解万有引力定律得出的思路 and 过程，理解万有引力定律的含义，掌握万有引力定律的公式；
- (4) 知道任何物体间都存在着万有引力，且遵循相同的规律。

2、过程与方法

- (1) 通过推导太阳与行星间的引力公式，体会逻辑推理在物理学中的重要性；
- (2) 体会推导过程中的数量关系。

3、情感、态度与价值观：感受太阳与行星间的引力关系，从而体会大自然的奥秘。

教学重点：据开普勒行星运动定律和牛顿第三定律推导出太阳与行星间的引力公式，记住推导出的引力公式。

教学难点：太阳与行星间的引力公式的推导过程。

教学方法：探究、讲授、讨论、练习

教具准备：挂图、多媒体课件

教学过程：

万有引力定律

(一) 引入新课

请同学们从运动的描述角度思考，开普勒行星运动定律的物理意义？

开普勒在 1609 和 1619 年发表了行星运动的三个定律，解决了描述行星运动的问题，但好奇的人们，面向天穹，深情地叩问：是什么力量支配着行星绕着太阳做如此和谐而有规律的运动呢？

(第一定律揭示了描述行星运动的参考系、及其运动轨迹；第二定律揭示了行星在椭圆轨道上运动经过不同位置的快慢情况，近日点附近速度大，远日点附近速度小；第三定律：揭示了不同行星虽然椭圆轨道和环绕周期不同，但由于中心天体相同，所以共同遵循轨道半长轴的三次方与周期的二次方比值相同的规律。)

开普勒第一定律也叫椭圆轨道定律，它的具体内容是：所有行星分别在大小不同的轨道上围绕太阳运动。太阳在这些椭圆的一个焦点上。他的这条定律否定了行星轨道为圆形的理论 开普勒在确定地球运行轨道时发现，若将地球绕太阳运行的轨道分为若干小段，每一段与太阳的连线在相等的时间间隔内扫过相等的面积。开普勒把这一结果推广到其他行星，就得到了 **开普勒第二定律**：对任意行星来说，他与太阳的连线（称为径矢）在相等的时间内扫过相等的面积：

$$S_{AB} = S_{CD} = S_{EK}$$

开普勒第三定律的具体表述是：行星绕太阳运动轨道半长轴 a 的立方与运动周期的平方成正比：

$$\frac{a^3}{T^2} = k$$

问题及归纳：

(1) 行星在椭圆轨道上运动是否需要力？这个力是什么力提供的？这个力是多大？太阳对行星的引力，大小跟太阳与行星间的距离有什么关系吗？

(2) 行星的实际运动是椭圆运动，但我们还不知道求出椭圆运动加速度的运动学公式，我们现在怎么办？把它简化为什么运

动呢？

(3) 既然把行星绕太阳的运动简化为圆周运动。那么行星绕太阳的运动可进一步简化为匀速圆周运动吗？为什么？（以上的过程归纳为：行星做曲线运动→必受到力的作用→把行星绕太阳的运动简化为圆周运动→进一步简化为匀速圆周运动）

既然行星围绕太阳运动的轨道是椭圆，即为曲线运动，那么肯定有一个力要来维持这个运动，那么这个力是由什么来提供的呢？我们跟随着科学家们一起去研究讨论这个问题。

（二）新课教学

1、万有引力定律

（1）人类对行星运动规律原因认识的过程

略微介绍十七世纪前以及伽利略，开普勒，笛卡儿的观点。

17 世纪前：行星理所应当的做这种完美的圆周运动

伽利略：一切物体都有合并的趋势，这种趋势导致物体做圆周运动。

开普勒：受到了来自太阳的类似与磁力的作用。

笛卡儿：在行星的周围有旋转的物质作用在行星上，使得行星绕太阳运动。

到牛顿这个时代的时候，科学家们对这个问题有了更进一步的认识，例如胡克、哈雷等，他们认为行星绕地球运动受到太阳对它的引力，甚至证明了行星轨道如果为圆形，引力的大小跟太阳距离的二次方成反比，但无法证明在椭圆轨道下，引力也遵循这个规律。

牛顿在前人的基础上，证明了如果太阳和行星的引力与距离的二次方成反比，则行星的轨迹是椭圆，并且阐述了普遍意义下的万有引力定律。接下来我们就跟随牛顿先生一起去研究这个万有引力定律。

由于行星运动的椭圆轨道很接近与圆形轨道，所以我们把它理想化为一个圆形轨道，这样就简化了问题，易于我们在现有认知水平上来接受。

2、万有引力定律

（1）定律的推导

如果行星的运动轨道是圆，则行星将作匀速圆周运动。根据匀速圆周运动的条件可知，行星必然要受到一个引力。牛顿认为这是太阳对行星的引力，那么，太阳对行星的引力 F 提供行星作匀速圆周运动所需的向心力。

学生推导得：

$$F = m \frac{v^2}{r} = m \omega^2 r$$

那么我们从这个式子中马上就可看到一些比例关系，那么为什么牛顿还要进行推导下去呢？（这样研究问题比较复杂，因为有四个变量。不能体现这个行星运动的特点）

分为两大组进行推导：将 $v = 2\pi r/T$ 和 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 代入上式得 $F = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$

那么从这个式子中还是有很多的变量，研究仍旧复杂，怎么办呢？（引导学生利用开普勒第三定律 $\frac{r^3}{T^2} = K$ 代入上式）

学生推导得到：

$$F = 4\pi^2 K \frac{m}{r^2}$$

总结：由上式可得出结论：太阳对行星的引力跟行星的质量成正比，跟行星到太阳的距离的二次方成反比。

即：

$$F \propto \frac{m}{r^2}$$

$$F = 4\pi^2 K \frac{m}{r^2}$$

中比值 k 是一个与行星无关的恒量，只与太阳有关。那么究竟与太阳有什么关系呢？（牛顿根据其第三定律：

太阳吸引行星的力与行星吸引太阳的力是同性质的作用力，且大小相等。）

设想：既然这个引力与行星的质量成正比，也应跟太阳的质量 M 成正比。（引导学生，或者采用让学生来解释的方法）即： $F \propto$

$$\frac{Mm}{r^2} \quad \text{写成等式就是 } F = G \frac{Mm}{r^2}$$

行星绕太阳运动遵守这个规律，那么在其他地方是否适用这个规律呢？（假如说月球、卫星绕地球）（为了验证地面上的重力与地球吸引月球、太阳吸引行星的力是同一性质的力，遵守同样的规律，牛顿还做了著名的“月—地”检验（参见课本 P₁₀₅ 右侧），结果证明他的想法是正确的。）

如果我们已知月球绕地球的公转周期为 27.3 天，地球半径为 $6.37 \times 10^6 \text{m}$ ，轨道半径为地球半径的 60 倍。同学们试计算一下月球绕地球的向心加速度是多大？（引导学生采用两种方法进行求解并分析结果）

提示：根据向心加速度公式： $a = \frac{4\pi^2 r}{T^2} \approx 2.71 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$ ，因为 $F \propto \frac{m}{r^2}$ 所以 $a \propto 1/r^2$ 同学们通过计算验证，

$$a = \frac{g}{3600} \approx 2.72 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$$
，两者结果十分接近，说明遵循同一规律。

牛顿在研究了这许多不同物体间的作用力都遵循上述引力规律之后。于是他把这一规律推广到自然界中任意两个物体间，于 1687 年正式发表了具有划时代意义的万有引力定律。

（2）万有引力定律

内容：自然界中任何两个物体都是相互吸引的，引力的大小跟这两个物体的质量的乘积成正比，跟它们的距离的二次方成反比。

公式：如果用 m_1 和 m_2 表示两个物体的质量，用 r 表示它们的距离，那么万有引力定律可以用下面的公式来表示

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

既然自然界中任何两个物体之间都存在引力，为什么我们感觉不到旁边同学的引力？（下面我们粗略的来计算一下两个质量为 50kg，相距 0.5m 的人之间的引力。）

$$\text{提示： } F = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{50 \times 50}{0.25} = 6.67 \times 10^{-7} \text{ N}$$

那么这个力的大小到底是怎么样一个概念呢，其实他相当于提起一个质量比头发丝还小的物体所用的力，因此我们很难察觉。但它对于质量较大的物体来说，就不可忽视了。

说明：

（1） G 为引力常量，在 SI 制中， $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$ 。（这个引力常量的出现要比万有引力定律晚一百多年哪！是英国的物理学家卡文迪许测出来的），我们下节课就要学习。

为什么说是粗略？

（2）万有引力定律中的物体是指质点而言，不能随意应用于一般物体。对于相距很远因而可以看作质点的物体，公式中的 r 就是指两个质点间的距离；对均匀的球体，可以看成是质量集中于球心上的质点，这是一种等效的简化处理方法。

（3）万有引力定律建立的重要意义

17 世纪自然科学最伟大的成果之一，它把地面上的物体运动的规律和天体运动的规律统一了起来，对以后物理学和天文学的发展具有深远的影响，而且它第一次揭示了自然界中的一种基本相互作用的规律，在人类认识自然的历史上树立了一座里程碑。

6.4 万有引力的成就

三维教学目标

1、知识与技能

- (1) 了解地球表面物体的万有引力两个分力的大小关系，计算地球质量；
- (2) 行星绕恒星运动、卫星的运动共同点：万有引力作为行星、卫星圆周运动的向心力，会用万有引力定律计算天体的质量；
- (3) 了解万有引力定律在天文学上有重要应用。

2. 过程与方法：

- (1) 培养学生根据数据分析找到事物的主要因素和次要因素的一般过程和方法；
- (2) 培养学生根据事件之间相似性采取类比方法分析新问题的能力与方法；
- (3) 培养学生归纳总结建立模型的能力与方法。

3. 情感态度与价值观：

- (1) 培养学生认真严谨的科学态度和大胆探究的心理品质；
- (2) 体会物理学规律的简洁性和普适性，领略物理学的优美。

教学重点：地球质量的计算、太阳等中心天体质量的计算。

教学策略：通过数据分析、类比思维、归纳总结建立模型来加深理解。

教学难点：根据已有条件求中心天体的质量。

教学方法：探究、讲授、讨论、练习

教具准备：挂图、多媒体课件

教学过程：

第四节 万有引力的成就

(一) 导入新课◆

万有引力常量的测出的物理意义？（使万有引力定律有了其实际意义，可以求得地球的质量，万有引力常量一经测出，万有引力定律对天文学的发展起了很大的推动作用，这节课我们来讨论万有引力定律在天文学上的应用。）

(二) 新课教学◆

1、地球质量

(1) 练习计算：《中华一题》 已知： $M_{\text{地}}=$ $m=$ $R=$

求：(1) 万有引力；(2) 物体随地球自转的向心力；(3) 比较可得什么结论？

(2) 了解地球表面物体的重力与地球对物体的万有引力的关系。

多媒体投影图：物体 m 在纬度为 θ 的位置，万有引力指向地心，分解为两个分力： m 随地球自转围绕地轴运动的向心力和重力。

给出数据：地球半径 R 、纬度 θ （取 90° ）、地球自转周期 T ，计算两个分力的大小比值，引导学生得出结论：向心力远小于

重力，万有引力大小近似等于重力。因此不考虑（忽略）地球自转的影响， $mg = G \frac{Mm}{R^2}$ ，地球质量： $M = \frac{gR^2}{G}$

2、太阳质量

应用万有引力可算出地球的质量，能否算出太阳的质量是多少？提问：行星做圆周运动的向心力的来源是什么？是否需要考虑九大行星之间的万有引力？

总结：太阳质量远大于各个行星质量，高中阶段粗略计算，不考虑行星之间的万有引力。

设中心天体太阳质量 M ，行星质量 m ，轨道半径 r 也是行星与太阳的距离，行星公转角速度 ω ，公转周期 T ，则：

$$G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r$$

太阳质量： $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$ ，与行星质量 m 无关。

提问：不同行星与太阳的距离 r 和绕太阳公转的周期 T 都是各不相同的。但是不同行星的 r 、 T 计算出来的太阳质量必须是一样的！上面的公式能否保证这一点？

同理，月亮围绕地球做圆周运动，根据前面的推导我们能否计算地球的质量？建立模型：通过围绕天体的运动半径和周期求中心天体的质量。多媒体投影木星行星围绕木星圆周运动，请学生思考如何测量木星的质量。

3、发现未知天体

阅读课本“发现未知天体”。多媒体投影海王星、冥王星图片。

本课小结：

两个基本知识：

(1) 地球表面，不考虑（忽略）地球自转的影响，物体的重力近似等于万有引力： $mg = G \frac{Mm}{R^2}$ 地球质量， $M = \frac{gR^2}{G}$

(2) 建立模型求中心天体质量，围绕天体做圆周运动的向心力为中心天体对围绕天体的万有引力，通过围绕天体的运动半径

和周期求中心天体的质量。 $G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r$ ，中心天体质量， $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$

板书设计：

第四节 万有引力的成就

1、地球质量 M

地球表面，不考虑（忽略）地球自转的影响， $mg = G \frac{Mm}{R^2}$ ，地球质量 $M = \frac{gR^2}{G}$

2、太阳质量——中心天体质量

(1) 太阳质量 M ，行星质量 m ，轨道半径 r 行星与太阳的距离，行星公转角速度 ω ，公转周期 T ，则

$G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r$ ，太阳质量 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$ ，与行星质量 m 无关。

(2) 建立模型求中心天体质量。

3、发现未知天体◆

万有引力对研究天体运动有着重要的意义。海王星、冥王星就是这样发现的。请同学们推导：已知中心天体的质量及绕其运动的

行星的运动情况，在太阳系中，行星绕太阳运动的半径 r 为：◆根据 $F_{\text{万有引力}} = F_{\text{向}} = G \frac{Mm}{r^2}$ ，而 $F_{\text{万有引力}} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r$ ，两式联立得：

◆ $r = \left(\frac{GT^2 M}{4\pi^2} \right)^{\frac{1}{3}}$ ，在 18 世纪发现的第七个行星——天王星的运动轨道，总是同根据万有引力定律计算出来的有一定偏离。当

时有人预测，肯定在其轨道外还有一颗未发现的新星。后来，亚当斯和勒维列在预言位置的附近找到了这颗新星。后来，科学家利用这一原理还发现了许多行星的卫星，由此可见，万有引力定律在天文学上的应用，有极为重要的意义。

6.5 宇宙航行

三维教学目标

1、知识与技能

- (1) 了解人造卫星的有关知识;
- (2) 知道三个宇宙速度的含义, 会推导第一宇宙速度。

2、过程与方法: 通过用万有引力定律推导第一宇宙速度, 培养学生运用知识解决问题的能力。

3、情感、态度与价值观

- (1) 通过介绍我国在卫星发射方面的情况, 激发学生的爱国热情;
- (2) 感知人类探索宇宙的梦想, 促使学生树立献身科学的人生价值观。

教学重点: 第一宇宙速度的推导。

教学难点: 运行速率与轨道半径之间的关。

教学方法: 探究、讲授、讨论、练习

教具准备: 挂图、多媒体课件

教学过程:

第五节 宇宙航行

(一) 引入新课

1957 年前苏联发射了第一颗人造地球卫星, 开创了人类航天时代的新纪元。我国在 70 年代发射第一颗卫星以来, 相继发射了多颗不同种类的卫星, 掌握了卫星回收技术和“一箭多星”技术, 99 年发射了“神舟”号试验飞船。这节课, 我们要学习有关人造地球卫星的知识。

(二) 进行新课

1、牛顿的设想

(1) 牛顿对人造卫星原理的描绘。

设想在高山上一门大炮, 水平发射炮弹, 初速度越大, 水平射程就越大, 可以想象当初速度足够大时, 这颗炮弹将不会落到地面, 将和月球一样成为地球的一颗卫星。

(2) 人造卫星绕地球运行的动力学原因。

人造卫星在绕地球运行时，只受到地球对它的万有引力作用，人造卫星作圆周运动的向心力由万有引力提供。

(3) 人造卫星的运行速度。

设地球质量为 M ，卫星质量为 m ，轨道半径为 r ，由于万有引力提供向心力，则 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ ，

$\therefore v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ，可见：高轨道上运行的卫星，线速度小。提出问题：角速度和周期与轨道半径的关系呢？

$$\omega = \frac{v}{r} = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$$

可见：高轨道上运行的卫星，角速度小，周期长。引入：高轨道上运行的卫星速度小，是否发射也容易呢？这就需要看卫星的发射速度，而不是运行速度。

2、宇宙速度

(1) 第一宇宙速度

推导：问题：牛顿实验中，炮弹至少要以多大的速度发射，才能在地面附近绕地球做匀速圆周运动？地球半径为 6370km。

分析：在地面附近绕地球运行，轨道半径即为地球半径。由万有引力提供向心力： $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$ 得： $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ 又

$$\because mg = G \frac{Mm}{R^2} \quad \therefore v = \sqrt{gr} = 7.9 \text{ km/s}$$

结论：如果发射速度小于 7.9km/s，炮弹将落到地面，而不能成为一颗卫星；发射速度等于 7.9km/s，它将在地面附近作匀速圆周运动；要发射一颗半径大于地球半径的人造卫星，发射速度必须大于 7.9km/s。可见，向高轨道发射卫星比向低轨道发射卫星要困难。

意义：第一宇宙速度是人造卫星在地面附近环绕地球作匀速圆周运动所必须具有的速度，所以也称为环绕速度。

(2) 第二宇宙速度：大小 $v_2 = 11.2 \text{ km/s}$ 。

意义：使卫星挣脱地球的束缚，成为绕太阳运行的人造行星的最小发射速度，也称为脱离速度。

注意：发射速度大于 7.9km/s，而小于 11.2km/s，卫星绕地球运动的轨迹为椭圆；等于或大于 11.2km/s 时，卫星就会脱离地球的引力，不再绕地球运行。

(3) 第三宇宙速度：大小： $v_3 = 16.7 \text{ km/s}$ 。

意义：使卫星挣脱太阳引力束缚的最小发射速度，也称为逃逸速度。

注意：发射速度大于 11.2km/s，而小于 16.7km/s，卫星绕太阳作椭圆运动，成为一颗人造行星。如果发射速度大于等于 16.7km/s，卫星将挣脱太阳引力的束缚，飞到太阳系以外的空间。

3、人造卫星的发射速度与运行速度

(1) 发射速度：

发射速度是指卫星在地面附近离开发射装置的初速度，一旦发射后再无能量补充，要发射一颗人造地球卫星，发射速度不能小于第一宇宙速度。

(2) 运行速度：

运行速度指卫星在进入运行轨道后绕地球做圆周运动的线速度。当卫星“贴着”地面飞行时，运行速度等于第一宇宙速度，当卫星的轨道半径大于地球半径时，运行速度小于第一宇宙速度。

(3) 同步卫星

所谓同步卫星，是相对于地面静止的，和地球具有相同周期的卫星， $T=24h$ ，同步卫星必须位于赤道上方距地面高 h 处，并且 h 是一定的。同步卫星也叫通讯卫星。

$$\text{由 } G \frac{Mm}{(R+h)^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 (R+h) \text{ 得: } h = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}} - R \quad (T \text{ 为地球自转周期, } M、R \text{ 分别为地球的质量, 半径)。代}$$

入数值得 $h=3.6 \times 10^7 m$ 。

例题分析

例题 1: 有两颗人造卫星，都绕地球做匀速圆周运行，已知它们的轨道半径之比 $r_1:r_2=4:1$ ，求：（1）这颗卫星的线速度之比；（2）角速度之比；（3）周期之比；（4）向心加速度之比？

$$\text{解: (1) 由 } G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} \text{ 得 } v = \sqrt{\frac{GM}{r}}, \text{ 所以 } v_1:v_2=1:2$$

$$(2) \text{ 由 } G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r \text{ 得 } \omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}, \text{ 所以 } \omega_1:\omega_2=1:8$$

$$(3) \text{ 由 } T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ 得 } T_1:T_2=8:1$$

$$(4) \text{ 由 } G \frac{Mm}{r^2} = ma \text{ 得 } a_1:a_2=1:16$$

例题 2: 地球半径为 6400km，在贴近地表附近环绕地球做匀速圆周运动的卫星速度为 $7.9 \times 10^3 m/s$ ，则周期为多大？估算地球的平均密度。

$$\text{解: (1) } T = \frac{2\pi R}{v} = 5087s = 84.8 \text{ min};$$

$$(2) \text{ 由 } G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} R, \text{ 得: } \rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3\pi}{GT^2} = 5.4 \times 10^3 kg/m^3$$

思考：能否发射一颗周期为 80min 的人造地球卫星？

梦想成真

师：探索宇宙的奥秘，奔向广阔而遥远的太空，是人类自古以来的梦想，那么梦想成真了吗？请同学们阅读教材“梦想成真”部分。

生：1957 年 10 月 4 日，世界上第一颗人造地球卫星发射成功。

1961 年 4 月 12 日，苏联空军少校加加林进入了“东方一号”载人飞船，火箭点火起飞绕地球飞行一圈，历时 108min，然后重返大气层，安全降落在地面上，铸就了人类进入太空的丰碑。

1969 年 7 月 16 日 9 时 32 分，“阿波罗 11 号”成功登临月球，载人航天技术迅速发展。

1992 年，中国载人航天工程正式启动，2003 年 10 月 15 日 9 时，我国“神舟”五号宇宙飞船在酒泉卫星发射中心成功发射，把中国第一位航天员杨利伟送入太空，飞船绕地球飞行 14 圈后，于 10 月 16 日 6 时 23 分安全降落在内蒙古主着陆场。这次成功发射实现了中华民族千年的飞天梦想，标志着中国成为世界上第三个能够独立开展载人航天活动的国家，为进一步的空间科学研究奠定了坚实的基础。伴随着“神舟”五号的发射成功，中国已正式启动“嫦娥工程”，开始了宇宙探索的新征程。

板书设计：

第五节 宇宙航行

1、宇宙速度

7.9km/s 11.2km/s 16.7km/s

第一宇宙速度是卫星发射的最小速度，是在轨道上运行的最大速度。

2、人造地球卫星 $G \frac{Mm}{(R+h)^2} = m(\frac{2\pi}{T})^2 (R+h)$

3、同步卫星：定点在赤道上空，周期 T、高度 h、线速度 v 一定。T=24h h=36000km v=3.1km/s

4、梦想成真

- (1) 世界的成就
- (2) 中国的成就

6.6 经典力学的局限性

三维教学目标

1、知识与技能

- (1) 知道牛顿运动定律的适用范围；
- (2) 了解经典力学在科学研究和生产技术中的广泛应用；
- (3) 知道质量与速度的关系，知道高速运动中必须考虑速度随时。

2、过程与方法： 通过阅读课文体会一切科学都有自己的局限性，新的理论会不断完善和补充旧的理论，人类对科学的认识是无止境的。

3、情感、态度与价值观： 通过对牛顿力学适用范围的讨论，使学生知道物理中的结论和规律一般都有其适用范围，认识知识的变化性和无穷性，培养献身于科学的时代精神。

教学重点： 牛顿运动定律的适用范围。

教学难点： 高速运动的物体，速度和质量之间的关系。

教学方法： 探究、讲授、讨论、练习

教具准备： 挂图、多媒体课件

教学过程：

第六节 经典力学的局限性

(一) 新课导入

自从 17 世纪以来，以牛顿运动定律为基础的经典力学不断发展，如：在宏观、低速、弱引力的广阔领域，包括天体力学的研究中取得了巨大的成就，经典力学在科学研究和生产技术中有了广泛的应用，如从地面物体的运动到天体的运动，从大气的流动到地壳的变动，从拦河筑坝、修建桥梁到设计各种机械；从自行车到汽车、火车、飞机等各种交通工具；从投出的篮球到发射火箭、人造卫星、宇宙飞船……从而证明了牛顿运动定律的正确性。但是，经典力学也不是万能的，像一切科学一样，它没有也不会穷尽一切真理，它也有自己的局限性，它像一切科学理论一样，是一部“未完成的交响曲”，那么经典力学在什么范围内适用呢？有怎样的局限性呢？这节课我们就来了解这方面的知识。

(二) 新课教学

1、从低速到高速

请同学们阅读教材“从低速到高速”部分，回答低速与高速的概念、质速关系、速度合成与两个公设。（低速到高速的概念，通常所见的物体的运动皆为低速运动，如行驶的汽车，发射的导弹、人造卫星及宇宙飞船等，有些微观粒子在一定条件下其速度可以与光速相接近，这样的速度称为高速。）

质速关系是：在经典力学中，物体的质量是不变的，但爱因斯坦的狭义相对论指出，物体的质量随速度的增大而增大，即：其中 m_0 为静止质量， m 是物体速度为 v 时的质量， c 是真空中光速。例如：（1） $v=0.8c$ 时，物体的质量约增大到静止质量的 1.7 倍，这时经典力学就不再适用了。（2）如地球以 $v=30\text{km/s}$ 的速度绕太阳公转时， $m=1.010101m_0$ ，它的质量增大十分微小，可以忽略不计。

速度合成与两个公设。 一条河流中的水以相对河岸的速度 $v_{\text{水岸}}$ 流动，河中的船以相对于河水的速度 $v_{\text{船水}}$ 顺流而下，在经典力学中，船相对于岸的速度即为 $v_{\text{船岸}}=v_{\text{船水}}+v_{\text{水岸}}$

经验告诉我们，这简直是天经地义的，但是，仔细一看，这个关系式涉及两个不同的惯性参考系，而速度总是与位移(空间长度)及时间间隔的测量相联系，在牛顿看来，位移和时间的测量与参考系无关，正是在这种时空的观念下，上式才成立，然而，相对论认为，同一过程的位移和时间的测量在不同的参考系中是不同的，因而上式不能成立，经典力学也就不再适用了。

(1) 相对性原理： 物理规律在一切惯性参考系中都具有相同的形式。

(2) 光速不变原理： 在一切惯性参考系中，测量到的真空中的光速都一样。

经典力学是适用于低速运动的物体还是适用于高速运动的物体呢？（适用于低速运动的物体）

阅读教材科学漫步部分，体会时间和空间是什么？

2、从宏观到微观

请同学们阅读教材“从宏观到微观”部分，并说明经典力学是适用于宏观物体还是微观物体。（19 世纪末到 20 世纪初，人

们相继发现了电子、质子、中子等微观粒子，发现它们不仅具有粒子性，而且具有波动性，它们的运动规律不能用经典力学描述。）

20 世纪 20 年代，建立了量子力学，它能够正确地描述微观粒子运动的规律性，并在现代科学技术中发挥了重要作用。

经典力学一般不适用于微观粒子。相对论和量子力学的出现，是否表示经典力学失去了意义？（相对论和量子力学的出现，说明人类对自然的认识更加广泛和深入，而不表示经典力学失去了意义，它只是使人们认识到经典力学有它的适用范围：只适用于低速运动，不适用于高速运动，只适用于宏观世界，不适用于微观世界。）

3、从弱引力到强引力

请同学们阅读教材“从弱引力到强引力”部分，并回答问题：何为弱引力？何为强引力？（万有引力属于弱引力，利用万有引力定律可以解释天体的运动，并预言和发现了海王星和冥王星，首次把天上的星体运动规律与地面物体的运动规律统一起来。）

爱因斯坦引力理论表明，当天体半径减小到一定程度时（太阳的引力半径为 3 km，地球的引力半径为 1 m），天体间的引力就趋于无穷大。

讨论与交流

（1）实际的天文观测，行星的运行轨道并不是严格闭合的，它们的近日点在不断地旋进，经典力学的解释令人满意吗？（用什么理论来圆满地进行了解释？按牛顿的万有引力定律推算，行星的运动应该是一些椭圆或圆，行星沿着这些椭圆或圆做周期性运动，与实际观测结果不符，经典力学也能作出一些解释，但是，水星旋进的实际观测值比经典力学的预言值多，经典力学的解释不能令人满意。）

爱因斯坦根据广义相对论计算出水星近日点的旋进还应有 43' 的附加值，同时还预言了光线在经过大质量的星体附近时，如经过太阳附近时会发生偏转现象，并且都被观测证实。

（2）何为天体的引力半径？

假定一个球形天体的质量不变，并通过压缩减小它的半径，天体表面上的引力将会增加，当引力趋于无穷大时，被压缩天体半径接近的值——“引力半径”。

只要天体的实际半径远大于它们的引力半径，那么爱因斯坦和牛顿的理论计算出的力的差异并不很大，但当天体的实际半径接近引力半径时，这种差异将急剧增大，这就是说，在强引力的情况下，牛顿的万有引力理论将不再适用。

对于这样的科学发展过程，英国剧作家萧伯纳曾诙谐地说，“科学总是从正确走向错误”这种调侃倒也不失为一种幽默的表述。

（3）历史上的科学成就与新的科学成就的关系是什么？

历史上的科学成就不会被新的科学成就所否定，而是作为某些条件下的局部情形，被包括在新的科学成就之中，如：当物体的速度远小于光速 $c(3 \times 10^8 \text{ m/s})$ 时，相对论与经典理论的结论没有区别；当另一个重要常数即“普朗克常数” $h(6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})$ 可以忽略不计时，量子力学和经典力学的结论没有区别，相对论和量子力学都没有否定过去的科学，而只认为过去的科学是自己在一定条件下的特殊情形。

实例探究

例 1：以牛顿运动定律为基础的经典力学，在科学研究和生产技术中有哪些应用？

参考答案：经典力学在科学研究和生产技术中有广泛的应用，经典力学与天文学相结合建立了天体力学；经典力学和工程实际相结合，建立了应用力学，如水力学，材料力学、结构力学等。从地面上各种物体的运动到天体的运动：从大气的流动到地壳的变动；从拦河筑坝、修建桥梁到设计各种机械；从自行车到汽车、火车、飞机等现代交通工具的运动，从投出篮球到发射导弹、卫星、宇宙飞船等等，所有这些都服从经典力学规律。

例 2：以牛顿运动定律为基础的经典力学的适用范围是什么？

参考答案：经典力学只适用于解决低速运动问题，不能用来处理高速运动问题，经典力学只适用于宏观物体，一般不适用于微观粒子；经典力学只适用于解决弱引力问题，不能用来处理强引力问题。

课堂训练

（1）20 世纪初，著名物理学家爱因斯坦提出了_____，改变了经典力学的一些结论，在经典力学中，物体的质量是_____的，

而相对论指出质量随着速度变化而_____。

(2) 20 世纪初期，建立了_____，它能够正确地描述微观粒子的运动规律。

(3) 经典力学只适用于解决_____问题，不能用来处理——问题，经典力学只适用于物体，一般不适用于_____。

(4) 微观粒子的运动不仅具有_____性，同时具有波动性，它们的运动规律很多情况下不能用经典力学来说明，要增强正确描述微观粒子的运动规律，需要用_____。

(5) 牛顿运动规律只适用于_____物体的运动，狭义相对论阐述物体在以_____的速度运动时所遵从的规律。

参考答案

(1) 狭义相对论 固定不变 变化 (2) 量子力学 (3) 低速运动 高速运动 宏观 微观粒子

(4) 粒子 量子力学 (5) 宏观、低速 接近光速

小结

本节学习了经典力学的局限性：

(1) 从低速到高速：在经典力学中，物体的质量 m 是不随运动状态改变的，而狭义相对论指出，质量要随着物体的运动速度的增大而增大。即

(2) 从宏观到微观：相对论和量子力学的出现，并不说明经典力学失去了意义，只说明它有一定的适用范围：只适用于低速运动，不适用于高速运动；只适用于宏观世界，不适用于微观世界。

(3) 从弱引力到强引力：相对论物理学与经典物理学的结论没有区别，相对论与量子力学都没有否定过去的科学，而只是认为科学在一定条件下有其特殊性，经典力学只适用于弱引力，不适用于强引力。

板书设计：

第六节 经典力学的局限性

1、从低速到高速 经典力学只适用于低速运动

2、从宏观到微观 经典力学只适用于宏观物体

3、从弱引力到强引力 万有引力定律只适用于弱引力

第七章 机械能及其守恒定律

7.1 追寻守恒量

教学三维目标

1、知识与技能

- (1) 领悟伽利略理想斜面实验中的转化和守恒的事实；
- (2) 理解能量这个物理量及动能、势能的物理意义；
- (3) 独立分析伽利略理想斜面实验的能量转换和守恒关系；
- (4) 除伽利略理想斜面实验以外，能列举出其它动能与势能相互转化和守恒的实例；
- (5) 能够列举出不同形式的能量可以互相转化并可能守恒；
- (6) 理解能量转化与守恒是一种重要的自然规律，激发学生产生用这一规律解决问题的意识。

2、过程与方法

- (1) 体会伽利略分析问题的精妙，学习他能分析出事物本质的方法；
- (2) 体会费恩曼所说话的深刻内涵，体会转化与守恒的普遍性。

3、情感、态度、价值观

- (1) 体会大自然的多样性和科学概念的概括性，激发对自然现象的探究欲望和对科学知识的崇尚精神。
- (2) 体会物理规律分析问题的简洁之美。

教学重点：理解动能、势能的含义，体会能量转化、守恒的普遍存在性。

教学难点：培养创新能力，使学生在发现了能量转化、守恒的普遍存在性后，能马上意识到这里面存在的巨大的使用前景（就象商人看到了商机）。

教学用具：多媒体课件、视频录像、双线摆系统和直尺一套、悠悠球一个，实物投影系统一套。

教学过程：

第1节 追寻守恒量

从本章开始，我们研究力学中另外一个重要的物理量：能量，以及它所遵守的规律。大家知道，牛顿是经典力学的奠基人，他提出了三个定律和万有引力定律，但是他没有研究过能量（至少没有深入研究），课本上有一句话：“‘能量’是牛顿没有留给我们的少数力学概念之一”至于力学中还有哪些概念牛顿也没有研究过，有兴趣的同学可以自己查找资料。但是能量这一概念并不是牛顿之后才出现的，在伽利略时代，能量及其守恒思想就已经出现。

理想斜面实验是谁“做”的？为了说明什么问题？怎样“做”的？（伽利略“做”的；为了研究力和运动的关系，证明运动不需要力来维持）

让小球沿一个斜面从静止开始滚下，小球将滚上另一个斜面，如果没有摩擦，小球将上升到原来的高度。减小后一斜面的倾角，小球在这个斜面上仍达到同一高度，但这时他要滚得远些。继续减小后一斜面的倾角，小球达到同一高度，但滚得更远些，若将后一斜面放平，由于球永远达不到原来的高度，所以将永远滚动下去。

伽利略在分析理想斜面实验时，除了得出：运动不需要力来维持的结论外，他还注意到实验中反映出一个转化与守恒的事实（或思想）。

1、对理想斜面实验的初步分析

提问 1：猜一猜他看出的转化的事实是什么？（高度与速度，还要具体说一下，如下滑时高度转化为速度等，若有人直接说出势能与动能，则指出伽利略时代还没有这两个概念）

提问 2：猜一猜他看出的守恒的事实是什么？（一个与高度有关的量和一个与速度有关的量之和守恒，若回答出势能、动能之和守恒，引导同上，若回答出高度与速度之和守恒，引导出这是描述物体运动的两个不同概念，单位都不一样，无法相加）

提问 3：假设你是伽利略，而且掌握了牛顿运动定律和运动学公式，能不能从理论上证明出与高度有关的量和与速度有关的量之和守恒？（提醒：把 h_0 、 h 、 v 放在一个公式中，分析从 P 点释放到 Q 点过程中已知四个量，而学过的运动学公式中每个公式都有四个量）

$$\frac{h_0 - h}{\sin \theta} = \frac{v^2}{2g \sin \theta} \quad \Leftrightarrow \quad h_0 - h = \frac{v^2}{2g} \quad \Leftrightarrow \quad h + \frac{v^2}{2g} = h_0$$

总结 1：伽利略对理想斜面实验的分析：高度与速度相互转化，转化过程中与高度有关的量和与速度有关的量之和守恒。

2、给出动能与势能的概念，体会动能与势能转化并守恒的普遍存在性。

伽利略的发现在今天看来就是我们初中学过的能量转换与守恒的思想。其中与高度有关的量我们现在叫它势能；与速度有关的量我们现在叫它动能。动能与势能的概念，请用势能和动能描述一下理想斜面实验中的转化与守恒的事实。

提问 4：动能与势能相互转化，但转化过程中总能量守恒的物理过程肯定有很多，只是你没有特意注意，现在在大脑中搜索一下，试着列举出几个动能与势能相互转化但总能量可能守恒的实例？

重点列举两个：

(1) 视频：游乐场中的海盗船和秋千。双线摆演示（老师给出双线摆这个名字）；并演示证明左右最高点一样高，若时间允许可以让学生探究如何用这些器材证明左右一样高（提醒证明方法不唯一）。最后采用底部放置直尺，左右摆开的最大距离相等）

(2) 视频：滚摆。悠悠球演示

提问 5：课本开头给出了费恩曼的一段话，（老师阅读），费恩曼是何许人，也同学们课下自己去了解，他的这段话的意思是自然界的一切现象都受能量的转化与守恒定律支配，回忆初中所学知识，除了动能和势能外，还学过哪些能量？列举出它们可以相互转化且总能量可能守恒的实例？如电能转化为光能等。

总结 2：

(1) 能量 $\left\{ \begin{array}{l} \text{势能：相互作用的物体凭借其位置而具有的能量} \\ \text{动能：物体由于运动而具有的能量} \end{array} \right.$

(2) 在理想斜面实验中，动能与势能相互转化，转化过程中总能量守恒。

(3) 能量的转化与守恒是自然界普遍存在的现象。

3、体会追寻能量转化与守恒思想的意义。

能量的转化与守恒是自然界普遍存在的现象，由此你想到了什么？或说你意识到什么？

提醒：（赫兹发现了电磁波，很快有人发明了电报）气象预报说：“近年夏天会持续高温，而且干旱……”国美的老板听了会想到什么：空调会热销，发财的机会来了。使用价值：如果我掌握了守恒的规律，就可以用它来解决问题，看到了新技术，就要琢磨怎样应用它，就是创新。如果你对它无动于衷，就总是落后于人家。

总结 3：追寻“守恒量”的意义：开辟一种新的简单的解决问题的途径。

板书设计：

第 1 节 追寻守恒量

(1) 伽利略对理想斜面实验的分析：高度与速度相互转化，转化过程中与高度有关的量和与速度有关的量之和守恒。

(2) 能量 $\left\{ \begin{array}{l} \text{势能：相互作用的物体凭借其位置而具有的能量} \\ \text{动能：物体由于运动而具有的能量} \end{array} \right.$

(3) 在理想斜面实验中，动能与势能相互转化，转化过程中总能量守恒

- (4) 能量的转化与守恒是自然界普遍存在的现象。
- (5) 追寻“守恒量”的意义：开辟一种新的简单的解决问题的途径。
- (6) 能量的概念是人类在寻找“运动中的守恒量是什么”的过程中发展起来的。

7.2 功

教学三维目标

1、知识与技能

- (1) 理解功的概念，知道力和物体在力的方向发生位移是做功的两个不可缺少的因素；
- (2) 理解正功和负功的概念，知道在什么情况下力做正功或负功；
- (3) 知道在国际单位制中，功的单位是焦耳(J)，知道功是标量；
- (4) 掌握合力做功的意义和总功的含义；
- (5) 掌握公式 $W = F s \cos \alpha$ 的应用条件，并能进行有关计算。

2、过程与方法：理解正负功的含义，并会解释生活实例。

3、情感、态度与价值观：功与生活联系非常密切，通过探究功来探究生活实例。

教学重难点：

- (1) 重点使学生掌握功的计算公式，理解力对物体做功的两个要素；
- (2) 难点是物体在力的方向上的位移与物体运动方向的位移容易混淆，需要讲透、讲白；
- (3) 使学生认识负功的意义较困难，也是难点之一。

教学方法：教师启发、引导，学生自主阅读、思考，讨论、交流学习成果。

教学工具：计算机、投影仪、CAI 课件、录像片

教学过程：

第二节 功

(一) 引入新课

初中我们学过做功的两个因素是什么？（一是作用在物体上的力，二是物体在力的方向上移动的距离。）

扩展：高中我们已学习了位移，所以做功的两个要素我们可以认为是：①作用在物体上的力；②物体在力的方向上移动的位移。

导入：一个物体受到力的作用，且在力的方向上移动了一段位移，这时，我们就说这个力对物体做了功。在初中学习功的概念时，强调物体运动方向和力的方向的一致性，如果力的方向与物体的运动方向不一致呢？相反呢？力对物体做不做功？若做了功，又做了多少功？怎样计算这些功呢？本节课我们来继续学习有关功的知识，在初中的基础上进行扩展。

(二) 教学过程设计

1、推导功的表达式

- (1) 如果力的方向与物体的运动方向一致，该怎样计算功呢？

物体 m 在水平力 F 的作用下水平向前行驶的位移为 s ，如图 1 所示，求力 F 对物体所做的功。

在问题一中，力和位移方向一致，这时功等于力跟物体在力的方向上移动的距离的乘积。

$$W = F s$$

- (2) 如果力的方向与物体的运动方向成某一角度，该怎样计算功呢？物体 m 在与水平方向成 α 角的力 F 的作用下，沿水平方向向前行驶的距离为 s ，如图 2 所示，求力 F 对物体所做的功。

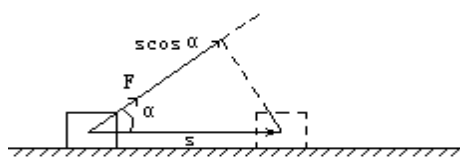


图 2

分析并得出这一位移为 $s \cos \alpha$ 。至此按功的前一公式即可得到如下：

计算公式： $W = F s \cos \alpha$

按此公式考虑（再根据公式 $W=Fs$ 做启发式提问），只要 F 与 s 在同一直线上，乘起来就可以求得对物体所做的功。在图 2 中，我们是将位移分解到 F 的方向上，如果我们将力 F 分解到物体位移 s 的方向上，看看能得到什么结果？

由于物体所受力的方向与运动方向成一夹角 α ，可根据力 F 的作用效果把 F 沿两个方向分解：即跟位移方向一致的分力 F_1 ，跟位移方向垂直的分力 F_2 ，如图所示：



$$F_1 = F \cos \alpha$$

$$F_2 = F \sin \alpha$$

据做功的两个不可缺少的因素可知：分力 F_1 对物体所做的功等于 $F_1 s$ 。而分力 F_2 的方向跟位移的方向垂直，物体在 F_2 的方向上没有发生位移，所以分力 F_2 所做的功等于零。所以，力 F 所做的功 $W = W_1 + W_2 = W_1 = F_1 s = F s \cos \alpha$

力 F 对物体所做的功等于力的大小、位移的大小、力和位移夹角的余弦这三者的乘积。即：

$$W = F s \cos \alpha$$

W 表示力对物体所做的功， F 表示物体所受到的力， s 物体所发生的位移， α 力 F 和位移之间的夹角。功的公式还可理解成在位移方向的分力与位移的乘积，或力与位移在力的方向的分量的乘积。

例题 1： $F=100\text{N}$ 、 $s=5\text{m}$ 、 $\alpha=37^\circ$ ，计算功 W ？ $W=400\text{N} \cdot \text{m}$ 。就此说明 $1\text{N} \cdot \text{m}$ 这个功的大小被规定为功的单位，为方便起见，取名为焦耳，符号为 J ，即 $1\text{J}=1\text{N} \cdot \text{m}$ 。

在国际单位制中，功的单位是焦耳 (J)

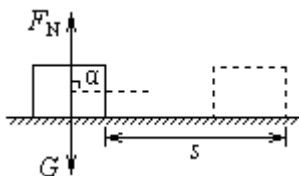
$$1\text{J} = 1\text{N} \cdot \text{m}$$

2、对正功和负功的学习

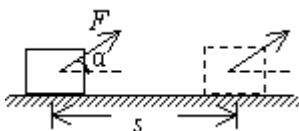
通过上边的学习，我们已明确了力 F 和位移 s 之间的夹角，并且知道了它的取值范围是 $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ 。那么，在这个范围之内， $\cos \alpha$ 可能大于 0，可能等于 0，还有可能小于 0，从而得到功 W 也可能大于 0、等于 0、小于 0。请画出各种情况下力做功的示意图，并加以讨论。

认真阅读教材，思考老师的问题。

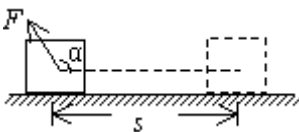
(1) 当 $\alpha = \pi/2$ 时， $\cos \alpha = 0$ ， $W=0$ 。力 F 和位移 s 的方向垂直时，力 F 不做功；



(2) 当 $\alpha < \pi/2$ 时， $\cos \alpha > 0$ ， $W > 0$ 。这表示力 F 对物体做正功；



(3) 当 $\pi/2 < \alpha \leq \pi$ 时， $\cos \alpha < 0$ ， $W < 0$ 。这表示力 F 对物体做负功。



总结：

(1) 功的正负表示是动力对物体做功还是阻力对物体做功。

功的正负由力和位移之间的夹角决定，所以功的正负决不表示方向，而只能说明做功的力对物体来说是动力还是阻力。当力对物体做正功时，该力就对物体的运动起推动作用；当力对物体做负功时，该力就对物体运动起阻碍作用。

(2) 功的正负是借以区别谁对谁做功的标志。

功是标量，只有量值，没有方向。功的正、负并不表示功的方向，而且也不是数量上的正与负。我们既不能说“正功与负功的方向相反”，也不能说“正功大于负功”，它们仅表示相反的做功效果。正功和负功是同一物理过程从不同角度的反映。同一个做功过程，既可以从做正功的一方来表述也可以从做负功的一方来表述。

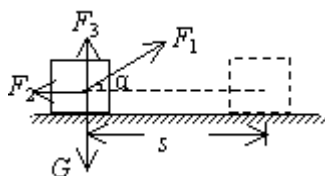
(3) 一个力对物体做负功，往往说成物体克服这个力做功。

例 2： 一个力对物体做了 -6J 的功，可以说成物体克服这个力做了 6J 的功。打个比喻，甲借了乙 10 元钱，那么从甲的角度表述，是甲借了钱；从乙的角度表述，乙将钱借给了别人。

3、几个力做功的计算

刚才我们学习了一个力对物体所做功的求解方法，而物体所受到的力往往不只一个，那么，如何求解这几个力对物体所做的功呢？

如图所示，一个物体在拉力 F_1 的作用下，水平向右移动位移为 s ，求各个力对物体做的功是多少？各个力对物体所做功的代数和如何？物体所受的合力是多少？合力所做的功是多少？



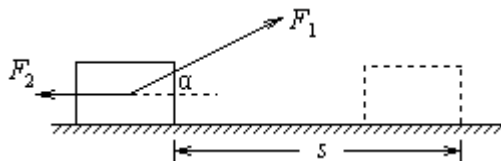
解析：物体受到拉力 F_1 、滑动摩擦力 F_2 、重力 G 、支持力 F_3 的作用。重力和支持力不做功，因为它们和位移的夹角为 90° ； F_1 所做的功为： $W_1 = F_1 s \cos \alpha$ ，滑动摩擦力 F_2 所做的功为： $W_2 = F_2 s \cos 180^\circ = -F_2 s$ 。各个力对物体所做功的代数和为： $W = (F_1 \cos \alpha - F_2) s$

故：根据正交分解法求得物体所受的合力 $F = F_1 \cos \alpha - F_2$ 合力方向向右，与位移同向；合力所做的功为： $W = F s \cos 0^\circ = (F_1 \cos \alpha - F_2) s$

总结：当物体在几个力的共同作用下发生一段位移时，这几个力对物体所做的功可以用下述方法求解：

- (1) 求出各个力所做的功，则总功等于各个力所做功的代数和；
- (2) 求出各个力的合力，则总功等于合力所做的功。

例 3：一个质量 $m=2\text{kg}$ 的物体，受到与水平方向成 37° 角斜向上方的拉力 $F_1=10\text{N}$ ，在水平地面上移动的距离 $s=2\text{m}$ 。物体与地面间的滑动摩擦力 $F_2=4.2\text{N}$ 。求外力对物体所做的总功。



解析：拉力 F_1 对物体所做的功为 $W_1 = F_1 s \cos 37^\circ = 16\text{J}$ 。

摩擦力 F_2 对物体所做的功为 $W_2 = F_2 s \cos 180^\circ = -8.4\text{J}$ 。

外力对物体所做的总功 $W = W_1 + W_2 = 7.6\text{J}$ 。

板书设计：

第二节 功

1、推导功的表达式

$$W = F s \cos \alpha \quad \text{或} \quad W = F s \cos \alpha$$

功的单位是焦耳(J) $1\text{J} = 1\text{N} \cdot \text{m}$

2、对正功和负功的学习

- (1) 当 $\alpha = \pi/2$ 时， $\cos \alpha = 0$ ， $W=0$ 。力 F 和位移 s 的方向垂直时，力 F 不做功；
- (2) 当 $\alpha < \pi/2$ 时， $\cos \alpha > 0$ ， $W > 0$ 。这表示力 F 对物体做正功；
- (3) 当 $\pi/2 < \alpha \leq \pi$ 时， $\cos \alpha < 0$ ， $W < 0$ 。这表示力 F 对物体做负功。

注意：

- (1) 功的正负表示是动力对物体做功还是阻力对物体做功。
- (2) 功的正负是借以区别谁对谁做功的标志。
- (3) 一个力对物体做负功，往往说成物体克服这个力做功。

3、几个力做功的计算

几个力对物体所做的功可以用下述方法求解：

- (6) 求出各个力所做的功，则总功等于各个力所做功的代数和；
- (2) 求出几个力的合力，则总功等于合力所做的功。

4、说明

- (1) 功的概念起源于早期工业革命的需要，为了比较蒸汽机的效益，工程师用机器举起物体的重量与高度的乘积来度量机器的输出，称为功。
- (2) 19 世纪法国的科学家科里奥利把作用力和力的方向上的位移的乘积叫做运动的功。
- (3) 功的重要意义在于决定能量的变化。

实例探究

对“功”的理解

例 1：水流从高处落下，对水轮机做 $3 \times 10^8 \text{J}$ 的功，对这句话的正确理解是（ ）

- A. 水流在对水轮机做功前，具有 $3 \times 10^8 \text{J}$ 的能量
- B. 水流在对水轮机做功时，具有 $3 \times 10^8 \text{J}$ 的能量
- C. 水流在对水轮机做功后，具有 $3 \times 10^8 \text{J}$ 的能量
- D. 水流在对水轮机做功的过程中，能量减少 $3 \times 10^8 \text{J}$

解析：本题考查了功和能的关系，并且同实际中的科技应用联系起来。

解：根据“功是能量转化的量度”可知，水流在对水轮机做功的过程中，有能量参与转化，水流对水轮机做了 $3 \times 10^8 \text{J}$ 的功，则有 $3 \times 10^8 \text{J}$ 的机械能减少了。故答案应选 D。

点拨：功是能量转化的量度是指做功的过程就是能量转化的过程。做了多少功，就有多少能量发生转化，绝不能说功是能量的量度。

关于“功”的计算

例 1：用水平恒力 F 作用在质量为 M 的物体上，使之在光滑的水平面上沿力的方向移动距离 s ，恒力做功为 w_1 ，再用该恒力作用于质量为 m ($m < M$) 的物体上，使之在粗糙的水平面上移动同样距离 s ，恒力做功为 w_2 ，则两次恒力做功的关系是（ ）

- A. $w_1 > w_2$
- B. $w_1 < w_2$
- C. $w_1 = w_2$
- D. 无法判断

分析：在粗糙水平面上移动一段距离，跟在光滑水平面上移动的同距离，对力 F 做功来说， $w = FS$ 是相同的，即 $w_1 = w_2$ 。

解：正确选项为 C。

点评：求功时，必须要明确哪个力在哪个过程中的功。根据功的定义，力 F 所做的功与 F 的大小及在 F 的方向上发生的位移大小的乘积有关，与物体是否受其它力及物体的运动状态等其它因素均无关，即力做功具有独立性。

例 2：如图所示，拉力 F 使质量为 m 的物体匀速地沿着长为 L 倾角为 α 的斜面的一端向上滑到另一端，物体与斜面间的动摩擦因数为 μ ，分别求作用在物体上各力对物体所作的功。

分析：选物体为研究对象，其受力为拉力 F ，重力 mg ，弹力 F_1 ，摩擦力 F_2 。

解：(1) 拉力 F 对物体所做的功为 $W_F = FL$

由于物体作匀速运动，故

$$F = mg \sin \alpha + F_2 = mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha \quad \text{所以}$$

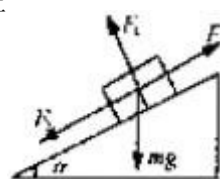
$$W_F = mgL(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

即拉力 F 对物体做正功，此拉力 F ，一般称为动力或牵引力。

(2) 重力 mg 对物体所做的功为：

$$W_G = mgL \cos(90^\circ + \alpha) = -mgL \sin \alpha$$

即重力对物体做负功，即亦物体克服重力所做的功为 $mgL \sin \alpha$ 。



(3) 摩擦力对物体所做的功为

$$W_2 = F_2 L \cos 180^\circ = -F_2 L = -\mu mg L \cos \alpha$$

即摩擦力对物体做负功，也可以说是物体克服摩擦力做了功 $\mu mg L \cos \alpha$

(4) 弹力 F_1 对物体所做的功为

$$W_1 = F_1 L \cos 90^\circ = 0$$

即弹力对物体不做功。

点评：讲功必须分清是哪个力做的功，在解题时一定要注意题目中是求哪个力做的功，正确找出力 F 、位移 s 和夹角 α 的关系。

例 3：如图 3 所示，ABCD 为画在水平地面上的正方形，其边长为 a ， P 为静止于 A 点的物体。用水平力 F 沿直线 AB 拉物体缓慢滑动到 B 点停下，然后仍用水平力 F 沿直线 BC 拉物体滑动到 C 点停下，接下来仍用水平力 F 沿直线 CD 拉物体滑动到 D 点停下，最后仍用水平力 F 沿直线 DA 拉物体滑动到 A 点停下。若后三段运动中物体也是缓慢的，求全过程中水平力 F 对物体所做的功是多少？

（此例题先让学生做，然后找出一个所得结果是 $W=0$ 的学生发言，此时会有学生反对，并能说出 $W=4Fa$ 才是正确结果。让后者讲其思路 and 做法，然后总结，使学生明确在每一段位移 a 中，力 F 都与 a 同方向，做功为 Fa ，四个过程加起来就是 $4Fa$ 。）

点评：功的概念中的位移是在这个力的方向上的位移，而不能简单地与物体运动的位移画等号。要结合物理过程做具体分析。

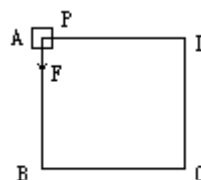


图 3

7.3 功 率

三维教学目标

1、知识与技能

(1) 理解功率的定义及额定功率与实际功率的定义；

(2) $P=w/t$ ， $P=Fv$ 的运用。

2、过程与方法

(1) $P=w/t$ 通常指平均功率， $\Delta t \rightarrow 0$ 为瞬时功率；

(2) $P=Fv$ ，分析汽车的启动，注意知识的迁移。

3、情感、态度与价值观：感知功率在生活中的实际应用，提高学习物理科学的价值观。

教学重点：理解功率的概念，并灵活应用功率的计算公式计算平均功率和瞬时功率。

教学难点：正确区分平均功率和瞬时功率所表示的物理意义，并能够利用相关公式计算平均功率和瞬时功率。

教学方法：教师启发、引导，学生自主阅读、思考，讨论、交流学习成果。

教学工具：投影仪、投影片、录相资料、CAI 课件。

教学过程：

第三节 功 率

(一) 新课导入

在学习了功之后，我们来回忆一下这样的问题：力对物体所做的功的求解公式是什么？

功的定义式是： $W=F \cdot L \cdot \cos \alpha$ 。

一台起重机在 1 min 内把 1 t 重的货物匀速提到预定的高度；另一台起重机在 30 s 内把 1 t 货物匀速提到相同的高度。这两台起重机做的功是不是一样呢？

两台起重机对物体做功的大小相同，那么这两台起重机做功有没有区别呢？区别是什么？（区别就在于他们做功的快慢不一样）为了进一步研究力对物体做功的快慢，我们进入这一节课的主题：**功 率**

（二）进行新课

1、功率：功率是描述力对物体做功快慢的物理量。

还是刚才这两台起重机，它们对物体做功的快慢不同怎样比较它们做功的快慢呢？它们完成这些功所用的时间不同，第一台起重机做功所用时间长，我们说它做功慢；第二台起重机做同样的功，所用的时间短，我们说它做功快。

这样研究的前提条件是什么？它们做的功相同，在做功大小相同的条件下比较所用的时间，时间越短，做功越快。

一台起重机能在 1min 内把 1t 的货物提到预定的高度，另一台起重机用 30s 把 0.4t 的货物提到预定的高度。两台起重机谁做功更快？你是用什么方法比较它们做功快慢的？

力 F_1 对甲物体做功为 W_1 ，所用时间为 t_1 ；力 F_2 对乙物体做功为 W_2 ，所用时间为 t_2 ，在下列条件下，哪个力做功快？

A. $W_1=W_2, t_1>t_2$

B. $W_1=W_2, t_1<t_2$

C. $W_1>W_2, t_1=t_2$

D. $W_1<W_2, t_1=t_2$

总结：做功快慢的比较有两种方式：一是比较完成相同的功所用的时间；另一是比较在相同的时间内完成的功。

在物理学中，一个力所做的功 W 跟完成这些功所用时间 t 的比值 w/t ，叫做功率。用 p 表示，则 $P=w/t$ 。那么功率的物理意义是什么？ **功率是描述力对物体做功快慢的物理量。**

上式是功率的定义式，也是功率的度量式， P 与 w 、 t 间无比例关系，做功的快慢由做功的物体本身决定。根据这一公式求出的是平均功率，同时这个公式变形后给我们提供了一种求功的方法： $W=pt$ 。

根据公式，功率的单位是什么？（ J/s ）瓦特，符号是 W 。

这两种表示方法是等效的，以后我们就用瓦特作为功率的单位，符号是 w ，除了瓦特这个单位之外，功率还有一些常用单位，例如千瓦 (kW)，它和 W 之间的换算关系是 $1 kW=1 000W$ ，另外还有一个应该淘汰的常用单位马力， $1 马力=735 W$ 。

功率的这种定义方法叫做什么定义方法？（比值定义法）我们以前学过的哪一个物理量也是用这种方法来进行定义的？

（1）这样定义的物理量非常多，例如密度的定义是质量和体积的比值，压强的定义是压力和面积的比值，电阻的定义是电压和电流的比值等。

（2）高中物理中的速度的定义是位移和时间的比值，加速度是速度变化量和时间的比值。

提示：某一个物理量与时间的比值叫做这个物理量的变化率，速度是位移的变化率，加速度是速度的变化率，功率应该叫做功的变化率。

公式 $p=w/t$ 是平均功率还是瞬时功率？

回答：（1） $p=w/t$ 指平均功率。（2）用这个公式也可以表示瞬时功率，当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时，即表示瞬时功率。

2、对额定功率和实际功率的学习

指导学生阅读教材 7 页“额定功率和实际功率”一段，提出问题，你对“额定功率和实际功率”是怎样理解的通过学生阅读，培养学生的阅读理解能力。

（1）**额定功率：**指机器正常工作时的最大输出功率，也就是机器铭牌上的标称值。

（2）**实际功率：**指机器工作中实际输出的功率。

机器不一定都在额定功率下工作。实际功率总是小于或等于额定功率。实际功率如果大于额定功率容易将机器损坏机车启动过程中，发动机的功率指牵引力的功率而不是合外力或阻力的功率。

3、功率与速度

提问 1：力、位移、时间都与功率相联系，请同学们用学过的知识推导出功率与速度的关系式；推不出来的同学可以先阅读教材“功率与速度”部分，然后自己再推导。

分析：公式的意义。

（1） $P=Fv$ ，即力 F 的功率等于力 F 和物体运动速度 v 的乘积。当 F 与 v 不在一条直线上时，则用它们在一条直线上的分量相乘。

（2）公式 $P=Fv$ 中若 v 表示在时间 t 内的平均速度， P 表示力 F 在这段时间 t 内的平均功率。

（3）如果时间 t 取得足够小，公式 $P=Fv$ 中的 v 表示某一时刻的瞬时速度时， P 表示该时刻的瞬时功率。

问题 2：汽车等交通工具在启动和行驶过程中，其牵引力和行驶速度是怎样变化的？请同学们阅读教材相关内容，用自己的话

加以解释。

根据公式 $P=Fv$ ：

(1) 当功率 P 一定时， F 与 v 成反比，即做功的力越大，其速度就越小。当交通工具的功率一定时，要增大牵引力，就要减小速度。所以汽车上坡时，司机用换挡的办法减小速度来得到较大的牵引力。

(2) 当速度 v 一定时， P 与 F 成正比，即做功的力越大，它的功率就越大。汽车从平路到上坡时，若要保持速率不变，必须加大油门，增大发动机功率来得到较大的牵引力。

(3) 当力 F 一定时，功率 P 与速度 v 成正比，即速度越大，功率越大。起重机吊起同一物体时以不同的速度匀速上升，输出的功率不等，速度越大，起重机输出的功率越大。

板书设计：

第三节 功 率

1、功率

在物理学中，一个力所做的功 W 跟完成这些功所用时间 t 的比值 w/t ，叫做功率。用 p 表示

$$P = w / t$$

功率的单位（ J/s ）或 瓦特，符号是 W 。1 $kW=1\ 000W$ ，另外还有一个应该淘汰的常用单位：马力，1 马力=735 W 。

(1) $p=w/t$ 指平均功率。

(2) 用这个公式也可以表示瞬时功率，当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时，即表示瞬时功率。

(3) 功率是描述力对物体做功快慢的物理量。

2、对额定功率和实际功率的学习

(1) 额定功率：指机器正常工作时的最大输出功率，也就是机器铭牌上的标称值。

(2) 实际功率：指机器工作中实际输出的功率。

3、功率与速度

根据公式 $P = F v$

(1) 当功率 P 一定时， F 与 v 成反比，即做功的力越大，其速度就越小。当交通工具的功率一定时，要增大牵引力，就要减小速度。所以汽车上坡时，司机用换挡的办法减小速度来得到较大的牵引力。

(2) 当速度 v 一定时， P 与 F 成正比，即做功的力越大，它的功率就越大。汽车从平路到上坡时，若要保持速率不变，必须加大油门，增大发动机功率来得到较大的牵引力。

(3) 当力 F 一定时，功率 P 与速度 v 成正比，即速度越大，功率越大。起重机吊起同一物体时以不同的速度匀速上升，输出的功率不等，速度越大，起重机输出的功率越大。

（四）实例探究

关于功率的计算

例 1：质量 $m=3\ kg$ 的物体，在水平力 $F=6\ N$ 的作用下，在光滑水平面上从静止开始运动，运动时间 $t=3\ s$ ，求：

(1) 力 F 在 $t=3\ s$ 内对物体所做的功。

(2) 力 F 在 $t=3\ s$ 内对物体所做功的平均功率。

(3) 在 $3\ s$ 末力 F 对物体做功的瞬时功率。

解析：物体在水平力 F 的作用下，在光滑水平面上做初速度为零的匀加速直线运动，根据牛顿第二定律，可求出加速度 $a=F/m=2\ m/s^2$ ，则：物体在 $3\ s$ 末的速度 $v=at=6\ m/s$ 物体在 $3\ s$ 内的位移 $s=at^2/2=9\ m$

(1) 力 F 做的功 $W=Fs=6\times 9\ J=54\ J$

(2) 力 F 在 $3\ s$ 内的平均功率 $P=W/t=18\ W$

(3) $3\ s$ 末力 F 的瞬时功率 $P=Fv=6\times 6\ W=36\ W$

关于机车的启动问题

例 2：汽车发动机的额定功率为 $60kW$ ，汽车质量为 $5t$ ，汽车在水平路面上行驶时，阻力是车重的 0.1 倍， g 取 $10\ m/s^2$ ，问：

① 汽车保持额定功率从静止起动后能达到的最大速度是多少？

② 若汽车保持 0.5 m/s^2 的加速度做匀加速运动，这一过程能维持多长时间？

解析：① 当牵引力 F 大小等于阻力 f 时，汽车的加速度 $a=0$ ，速度达到最大值 v_m ，据公式 $P=Fv$ ，可得出汽车最大速度 v_m

$$P_{\text{额}}=Fv=fv_m \quad v_m=p/F=P_{\text{额}}/f=12\text{m/s}$$

② 汽车做匀加速运动所能维持的时间应该从开始到汽车达到额定功率的时候，设汽车做匀加速运动时的牵引力为 $F_{\text{牵}}$ ，阻力为 f ，据牛顿第二定律，有： $F_{\text{牵}}=f+ma=0.1mg+ma=7500 \text{ N}$

当汽车的功率增大到额定功率时，汽车做匀加速过程结束，设这时汽车的速度为 v'_m ，据功率公式 $P=Fv$ 得： $v'_m=P_{\text{额}}/F=8\text{m/s}$

设汽车能维持匀加速运动的时间为 t_0 ，则：

$$v'_m = at_0 \quad \text{得：} t_0=v'_m/a=16\text{s}$$

7.4 重力势能

设计思路

《重力势能》一节新教材与旧教材相比有很大变化。教材首先从重力做功开始，讨论物体竖直向下运动、沿倾斜直线向下运动、以至物体沿任意路径向下运动几种情况的重力做功，利用极限思想，严格证明了重力对物体做功与路径无关。分析“ mgh ”是一个具有特殊意义的物理量，来定义重力势能。然后再分析重力势能的变化和重力做功的关系，再讲重力势能的相对性和系统性。这样将重力势能的讲法准确了，也加深了，思路比较清晰。

本节课内容既是重点又是难点，学生在一节课内不容易全面理解和掌握，教学中不宜追求多而全，可以在后续课程中逐渐理解与加深。

教学过程中可以多举身边的实际例子，由简单的现象如自由落体等进行分析，便于得出结论，学生也容易接受。

教法上教师应充分调动学生的思维，使学生始终处于学习的主体，激发探究意识和学习的积极性。

教学三维目标

1、知识与技能

- (1) 理解重力势能的概念，会用重力势能的定义进行计算；
- (2) 理解重力势能的变化和重力做功的关系，知道重力做功与路径无关；
- (3) 知道重力势能的相对性和系统性。

2、过程与方法

- (1) 根据已有的知识，利用极限的思想证明重力做功与路径无关；
- (2) 根据功和能的关系，推导重力势能的表达式。使学生体会知识建立的方法。

3、情感态度与价值观： 从对生活中有关的物理现象观察、对已有知识的掌握得到物理结论，激发和培养学生探索自然规律的兴趣。

教学重点： 重力做功与路径无关，重力势能的概念，重力势能的变化和重力做功的关系。

教学难点： 重力势能的变化和重力做功的关系，重力势能的相对性和系统性。

教学内容：

第四节 重力势能

（一）引入新课

问题 1：水力发电站是利用水来发电的，水是利用什么来发电的呢？高处的石头欲落下，你为什么害怕，急于要躲开呢？

（物体由于被举高而具有重力势能。）

问题 2：怎么样认识重力势能呢？

演示：粉笔在竖直方向上的运动。（引导学生分析粉笔上升和下降过程重力做功与重力势能的变化）

功与能是两个密切联系的物理量。物体的高度发生变化，重力势能发生变化，重力要做功。我们认识重力势能，不能脱离重力做功的研究。

（二）进行新课

本节课就从重力做功的研究入手，来认识重力势能。

1、重力做功

根据功的计算公式分别计算甲、乙、丙三种情况中小球由 A 到 B 过程中重力所做的功。

过程甲、乙结果为： $W_{mg}=mgh=mgh_1-mgh_2$

过程丙：物体沿任意路径向下运动情况，学生会感到困难。在分析过程中要体现出极限思想，主要强调的是科学方法。思路为：逐步提出问题，引发学生思考并逐步进行分析计算。

(1) 物体沿曲线运动，就已有的知识，重力做功能求出吗？（不能）怎么办？

(2) 想一想我们能够解决的是什么样的情况？（物体沿直线运动过程重力做功，可以根据过程甲乙的计算结果进行计算。）

(3) 回忆前面学习过的方法，可不可以变曲为直呢，怎么变？（将整个路径分成许多很短的间隔）

(4) 怎么样来进一步计算重力的做功？（ $W=W_1+W_2+W_3+\dots$ ）

这一过程中，教师听取学生汇报，点评，解答学生可能提出的问题。

根据上面的分析，归纳总结出解决问题的方法是：把整个路径分成许多很短的间隔；由于每一段很小很小，都可以近似看作一段倾斜直线；分别求出物体通过每一小段倾斜直线时重力所做的功；物体通过整个路径时重力所做的功，等于重力在每小段上所做的功的代数和。先猜想以下结果可能是什么样的？有没有依据，还是一种感觉？然后再进行计算，自己检验你的猜想。

结果： $W_{mg}=mgh=mgh_1-mgh_2$

结论：物体运动时，重力对它做的功只跟它的起点和终点的位置有关，而跟物体运动的路径无关。

2、重力势能

重力势能应该与那些量有关？如果轻重不同的石头从同一高度下来砸到脚上，感觉怎样？同一块石头从不同高度下来，砸到脚上，感觉又如何？分析出重力势能应该与重力、高度有关。

分析表达式： $W_{mg}=mgh=mgh_1-mgh_2$ 重力做功的大小等于物重跟起点高度的乘积 mgh_1 与终点的 mgh_2 两者之差，观察重力 mg 与所处位置的高度 h 的乘积 “ mgh ” 看出，（1）与重力做功密切相关；（2）随高度变化而变化，恰与势能的基本特征一致。这是一个具有特殊意义的物理量。

(1) **定义：**地球上的物体具有的和它的高度有关的能量，叫做重力势能。

(2) **表达式：** $E_p=mgh$ 即物体的重力势能等于它所受重力与所处高度的乘积。

(3) **重力势能为标量。**

(4) **单位：** $1J=1kg \cdot m/s^2 \cdot m=1Nm$

举例计算如图小球在 1 和 2 位置的重力势能。（ $m=10kg$, $h_1=3m$, $h_2=1m$ ）

3、重力势能的变化和重力做功的关系

问题 1：定性分析上图中小球从 1→2 和从 2→1 过程中，重力做功情况，重力势能变化情况？

问题 2：定量分析重力势能的变化和重力做功的关系？

结合上面的具体数值，计算重力势能的变化值，和重力做功的数值，首先建立一个数量上的概念。

分析： $W_{mg}=mgh_1-mgh_2$ 式中： W_{mg} 为重力做功； $E_{p1}=mgh_1$ 为初位置的重力势能； $E_{p2}=mgh_2$ 为末位置的重力势能。

重力势能的变化表示为： $\Delta E_p=E_{p2}-E_{p1}$ 则： $W_{mg}=-(E_{p2}-E_{p1})=-\Delta E_p$

问题 3：小球沿光滑斜面下滑到底端，计算重力做功。

问题 4：重力势能的变化量。如果斜面粗糙结果如何？

总结：

- (1) 物体的高度下降时，重力做正功，重力势能减少，重力势能减少的量等于重力所做的功；
- (2) 物体的高度增加时，重力做负功，重力势能增加，重力势能增加的量等于物体克服重力所做的功。
- (3) 重力势能变化只与重力做功有关，与其他力做功无关。

4、重力势能的相对性

问题 1：手拿教科书放在某一位置，问高度是多少？

物体的高度总是相对某一水平面来说的。同样，物体的重力势能也是相对于某一水平面来说的，具有相对性。

问题 2：以天花板为参考平面，讲桌上的粉笔盒重力势能是多少？

总结：

- (1) 参考平面上， $E_p=0$ ；
- (2) 参考平面的选取一般以研究问题的方便为原则。
- (3) 对选定的参考平面而言：

上方： $h>0$ ， $E_p>0$ ；

下方： $h<0$ ， $E_p<0$ ，表示物体这个位置具有的重力势能比在参考平面上具有的重力势能要少。

5、重力势能的系统性

我们一直在讲某物体的重力势能，是不是准确呢？由重力做功与重力势能的关系、重力的产生看，如果没有地球，就谈不上重力势能，因此，严格说，

重力势能是地球与物体这一系统所共有的，不是物体单独所有的，通常说某物体的重力势能是多少，只是一种简化的说法。

板书设计：

第四节 重力势能

1、重力做功：

物体运动时，重力对它做的功只跟它的起点和终点的位置有关，而跟物体运动的路径无关。

2、重力势能

- (1) 定义：地球上的物体具有的和它的高度有关的能量，叫做重力势能。
- (2) 定义式： $E_p=mgh$ 即物体的重力势能等于它所受重力与所处高度的乘积。
- (3) 重力势能为标量。
- (4) 单位： $1J=1kg \cdot m/s^2 \cdot m=1Nm$

3、重力势能的变化和重力做功的关系

$$W_{mg} = -\Delta E_p$$

- (1) 物体的高度下降时，重力做正功，重力势能减少，重力势能减少的量等于重力所做的功；
- (2) 物体的高度增加时，重力做负功，重力势能增加，重力势能增加的量等于物体克服重力所做的功。
- (3) 重力势能变化只与重力做功有关，与其他力无关。

4、重力势能的相对性

- (1) 参考平面上， $E_p=0$ ；
- (2) 参考平面的选取一般以研究问题的方便为原则。
- (3) 对选定的参考平面而言：

上方： $h>0$ ， $E_p>0$ ；

下方： $h<0$ ， $E_p<0$ ，表示物体这个位置具有的重力势能比在参考平面上具有的重力势能要少。

5、重力势能的系统性：

我们一直在讲某物体的重力势能，是不是准确呢？由重力做功与重力势能的关系、重力的产生看，如果没有地球，就谈不上重力势能，因此，严格说：

重力势能是地球与物体这一系统所共有的，不是物体单独所有的，通常说某物体的重力势能是多少，只是一种简化的说法。

7.5 探究弹性势能的表达式

教学设计思路

课程标准总目标中对学生在科学探究方面提出了要求：学习科学探究方法，发展自主学习能力，养成良好的思维习惯，能运用物理知识和科学探究方法解决一些问题。

在物理课程标准中，弹性势能的表达式未作要求，即不要求学生用弹簧的弹性势能的表达式解决相关问题，而是让学生经历一次理论探究的过程。“探究弹性势能的表达式”在探究类型中属于逻辑推理任务型。学生的科学探究并不意味着只是动手操作，进行实验活动。凡是有利于学生“构建知识”、形成“科学观念”、领悟“科学研究方法”的各种活动都属于科学探究范畴。因此，本节教材在教学中重点放在物理方法的教学及加深学生对科学探究的理解上。本节课的探究是在学生原有认知基础上，通过猜想与假设，运用已掌握的物理规律、从理论上推导出新的物理规律，它注重理论推导。

“做功的过程就是能量转化过程”，这是本章教学中的一条主线。对于一种势能，一定对应于相应的力做功。类比研究重力势能是从分析重力做功入手的，研究弹簧的弹性势能则应从弹簧的弹力做功入手。然而弹簧的弹力是一个变力，如何研究拉力做功是本节的一个难点，要引导学生对比匀变速直线运动位移的求法，进行知识迁移，利用微元法得到弹簧的弹性势能的表达式，逐步把微分和积分的思想渗透到学生的思维中。

本节课通过教师给出鲍威尔百米纪录的视频及举生活中的拉弓射箭和撑杆跳高等实例，给学生感性认识，让学生对弹性势能的决定因素进行猜想，进行初步的定性探究，为定量探究打下基础。引导学生通过类比重力做功与重力势能的关系引出弹簧的弹性势能与弹簧的弹力做功的关系，但弹力做功和重力做功的不同点就在于弹力是变力，激发、鼓励学生大胆思考，开发学生的创造潜能，启发学生思维，使学生参与到教与学的活动中去，学生在自己思考的前提下，在教师适当的指导和帮助下，设计自己的探究方案，完成定量探究，同时进一步证实定性探究的正确性，体验探究的过程，体会微分思想和积分思想在物理学中的应用。

三维教学目标

1、知识与技能

- (1) 理解弹性势能的概念；
- (2) 知道探究弹性势能表达式的方法，了解计算变力做功的思想与方法；
- (3) 进一步了解功和能的关系。

2、过程与方法

- (1) 利用逻辑推理和类比的方法探究弹性势能表达式；
- (2) 通过探究弹性势能表达式的过程，让学生体会微分思想和积分思想在物理学中的应用。

3、情感态度与价值观

- (1) 培养学生对科学的好奇心与求知欲；
- (2) 通过讨论与交流等活动，培养学生与他人进行交流与反思的习惯。发扬与他人合作的精神，分享探究成功后的喜悦之情；
- (3) 体味弹性势能在生活中的意义，提高物理在生活中的应用意识。

教学重点：探究弹性势能表达式的过程与方法；体会微分思想和积分思想在物理学中的应用。

教学难点：如何合理的推理与类比；结合图像体会微分和积分思想，研究拉力做功。

实验仪器准备：一组：两根不同劲度系数的弹簧、小车。（若学生实验，可以两人一组仪器）

课件准备：用Powerpoint做的教学课件

课型：探究课

教学过程：

第5节

探究弹性势能的表达式

问题 1 短跑运动员为什么要使用蹲踞式起跑？它比站立式起跑有哪些好处？

想一想：压缩的弹簧可以把小球弹出很远、拉开的弓可以把箭射出、撑杆跳高运动员可以借助手中的弯曲的杆跳得很高……这些现象说明什么？研究弹簧的弹性势能的表达式。

- (1) 猜想弹簧的弹性势能与什么因素有关。

(2) 类比：研究重力势能是从分析重力做功入手的。

1、探究 1 （定性）

弹簧的弹性势能与什么因素有关：弹簧的形变量、弹簧的劲度系数。

2、探究 2 （定量）

利用微元法，把变力做功问题转化为恒力做功问题。（通过 $v-t$ 图像进行知识迁移，引导学生利用 $F-t$ 图像下的面积代表功）拉力（或压力）做功 $W = k l^2 / 2$ ，弹簧弹力做功的表达式 $W = -k l^2 / 2$ 。

讨论：“可以把变力功问题转化为恒力功问题来解决。把拉伸的过程分为很多小段，它们的长度是 Δl_1 、 Δl_2 、 Δl_3 ……在各个小段上，拉力可以近似认为是不变的，它们分别是 F_1 、 F_2 、 F_3 ……所以，在各个小段上，拉力做的功分别是 $F_1 \Delta l_1$ 、 $F_2 \Delta l_2$ 、 $F_3 \Delta l_3$ ……拉力在整个过程中做的功可以用它在各个小段做功之和来表示 $F_1 \Delta l_1 + F_2 \Delta l_2 + F_3 \Delta l_3$ ……，”怎样想到这种方法的？”利用 $F-l$ 图像下的面积来代表功。

板书设计

第五节 探究弹性势能的表达式

1、弹性势能定义：发生弹性形变的物体的各个部分之间，由于有弹力的相互作用而具有势能，这种势能叫做弹性势能。

2、弹性势能表达式： $E_p = k l^2 / 2$

（设弹簧处于原长时，弹簧的弹性势能为零）

3、探究弹性势能表达式的方法：

（1）影响弹性势能的因素：①形变量

②劲度系数

（2）类比：①重力做功：研究重力势能 ②弹力做功：研究弹性势能

（3）变力做功的处理方法：①微元法 ②图像法

7.6 探究功与物体速度变化的关系

教学思路设计

前面几节课研究了重力做功与重力势能的关系，从而确立了重力势能的表达式。探究了弹力做功与弹性势能的关系，从而确立了弹性势能的表达式。这一节和下一节我们来探究功与物体动能的关系。

我们已经知道物体的动能与物体的速度有关，但我们还不能一下子就探究到功和物体动能的关系，我们先来探究力对物体做的功与物体速度变化的关系。

特别应该明确的是：本节课题《探究功与物体速度变化的关系》中物体速度变化不是指速度的变化量，而是指速度相关量的变化量。具体讲，可能是速度一次方的变化量，也可能是速度二次方的变化量、速度三次方的变化量…，还可能是速度二分之一次方的变化量…。所以我们探究的方向是功与物体速度相关量变化的关系，这样，我们探究起来才不会误入歧途。既不会只探究功与物体速度变化的关系，偏离探究方向；又不会狭隘的直接探究功与物体速度二次方变化的关系，功与物体速度三次方、二分之一次方变化的关系也要探究。要看看功与物体速度相关量变化到底是什么关系。

三维教学目标

1、知识与技能

- (1) 会用打点计时器打下的纸带计算物体运动的速度；
- (2) 学习利用物理图像探究功与物体速度变化的关系。

2、过程与方法：通过用纸带与打点计时器来探究功与物体速度相关量变化的关系，体验知识的探究过程和物理学的研究方法。

3、情感态度与价值观：体会学习的快乐，激发学习的兴趣；通过亲身实践，树立“实践是检验真理的唯一标准”的科学理念。

本课剖析：地位与作用：本节是下一节动能和动能定理的基础，要让学生在实践探究中体会功对物体的作用。本节的内容对于第七节动能和动能定理的学习起到很好的铺垫作用，非常重要。

教学重点：学习探究功与物体速度变化的关系的物理方法——倍增法，并会利用图像法处理数据。

教学难点：实验数据的处理方法——图像法。

思路方法

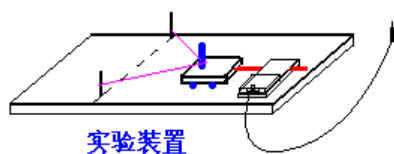
- (1) 在实验探究活动前，通过提出问题的方式，研究探索的思路，提出研究的方法；
- (2) 在实验探究活动中，要围绕分析论证实验预案、确定完善课本方案并在实验操作中改进实验、对实验数据进行分析处理得出结论这条主线进行；
- (3) 在实验探究活动后，要善于总结，理出方法；长期积累起来的科学的探究问题的方法，必将对今后的科学探究活动起到积极的指导作用。

教学仪器、器材准备：①钉有2个长直铁钉的长木板（附木块），②小车（300g）③相同的熟胶+橡皮筋6根（附：细线若干），④j01207火花式打点计时器（附：220V交流电源、备用墨粉纸盘、平直纸带若干）（也可用电磁式打点计时器），⑤计算机（附：大屏幕）。

第六节 探究功与物体速度变化的关系

阅读教材，提出方法

- (1) 实验装置：见右图。配套器材：课本方案装置
- (2) 实验思想方法：倍增法。虽为变力做功，但橡皮条做的功，随着橡皮条数目的成倍增加功也成倍增加。这种方法的构思极为巧妙。历史上，库仑应用类似的方法发现了著名的库仑定律。当然，恒力做功时，倍增法同样适用。
- (3) 数据处理方法：图像法。作出功—速度（ $W-v$ ）曲线，分析这条曲线，得出功与速度变化的定量关系。



学生思考，提出预案

(1) 学生提出多种设计预案, 在课上展示设计的思路和方法: 课本方案、气垫导轨加数字毫秒计方案、铁架台打点计时器自由落体方案等。

(2) 教师针对各种设计预案, 进行分析:

主要从合理性、科学性、可行性等方面进行分析, 略。

师生研讨, 初定方案

1、制定基本的实验方案: (师生互动) 互动以下面几个问题为中心展开:

(1) 探究中, 我们是否需要橡皮筋做功的具体数值? 不需要。因为实验是以倍增的思想方法设计, 若橡皮筋第一次做功为 W , 则橡皮筋第二次做功为 $2W$, ...、橡皮筋第 n 次做功为 nW 。且实验巧妙地将倍增的物理方法应用于变力做功。

(2) 为了达到各次实验中橡皮筋做的功成倍增加, 即实现倍增, 对各次实验中橡皮筋的伸长量有什么要求? 你想出了什么办法? 各次实验中橡皮筋的伸长量必须相同。若使小车在橡皮筋的变力作用下产生的位移相同, 就要有相同的运动起点。具体方法是: 以第一次实验时小车前(或后)端的位置为基准, 垂直运动方向在木板上作出一条水平线。以后改变橡皮筋的条数时, 小车前(或后)端仍以此位置为基准(均从静止)运动。

(3) 小车获得的速度怎样计算? 小车在橡皮筋作用结束后, 做匀速运动。找出纸带中点距相等的一段。求出点距相等一段的平均速度, 即为小车匀速运动的速度, 即小车加速后获得的速度。

(4) 是否一定需要测出每次加速后小车速度的数值? 可以怎样做? 不一定需要。(当然, 也可以测出每次加速后小车速度的数值)

设第一次小车获得的速度为 v , 小车在第一次、第二次、...、第 n 次实验中的速度为:

$$v_1 = \frac{\Delta x_1}{T}, v_2 = \frac{\Delta x_2}{T}, \dots; v_n = \frac{\Delta x_n}{T}, \text{若令 } v_1 = v, \text{ 则 } v_2 = \frac{\Delta x_2}{\Delta x_1} v = n_2 v, \dots; v_n = \frac{\Delta x_n}{\Delta x_1} v = n_n v, \text{ 即小车在第二次以后实}$$

验中获得的速度可以用第一次实验中获得的速度的倍数来表示。

(5) 实验完毕后, 用什么方法分析橡皮筋对小车做的功与小车速度的关系?

图像法。

(6) 如何在坐标纸上建立两轴物理量? 如何确定适当的标度?

纵坐标表示橡皮筋对小车做的功, 横坐标表示小车获得的速度。

以第一次实验时的功 W 为纵轴的单位长度(必须用), 可以用第一次实验时的速度 v 为横轴的单位长度(也可以根据各次实验中的最大速度值、坐标纸的最大格数来确定), 作出 $W-v$ 曲线, 即功-速度曲线。

2、确立基本的实验方案, 设计初步的实验步骤:

A. 先将木板置于水平桌面, 然后在钉有钢钉的长木板上, 放好实验小车。

B. 把打点计时器固定在木板的一端, 将纸带穿过打点计时器的限位孔, 纸带一端夹紧在小车的后端, 打点计时器接电源。

C. 过两钉中垂线上的适当位置作两钉的平行线, 交中垂线于 O 点, 作为小车每次运动的起始点。

D. 使用一根橡皮筋时, 将小车的前端拉到 O 点, 接通电源, 打点计时器打点, 释放小车, 小车离开木板前适时使小车制动, 断开电源, 取下纸带。重复本项前面的过程, 选出点迹清晰的纸带。(求出小车获得的速度。暂不求)

E. 换用同样材料、粗细、长度的两根、三根、...六根橡皮筋, 依照 D 项的方法, 分别进行实验。(得出各次实验中小车分别获得的速度。暂不求)

F. 以功为纵轴(第一次橡皮筋做的功为纵轴的单位长度), 以速度为横轴(第一次小车的速度为横轴的单位长度), 建立坐标系, 用描点法作出图像, 看看是否是正比例图像, 若不是, 功与速度的哪种相关量(的变化量)是正比的, 功就与速度的这种相关量(的变化量)具有确定的函数关系。

学生实验, 教师指导

1、学生按确定方案开始初步实验。(首先完成实验操作方案的前四步)

2、教师适时提出问题, 指导学生操作的技巧, 针对问题, 完善实验操作。

(1) 小车运动中会受到阻力, 可以采用什么方法进行补偿?

可以采用平衡摩擦力的方法。具体操作是: 使木板略微倾斜, 将小车(车后拴纸带)放到木板上, 轻推小车, 小车运动, 观察纸带的点距。调节木板的倾角, 观察纸带的点距, 直到点距相等, 表明恰平衡摩擦力(若用气垫导轨, 调节导轨的倾角, 若挡光条遮光的时间通过数字毫秒计显示时间相等, 即恰平衡摩擦力)。

(2) 观察打点的纸带, 点距是如何变化的? 点距是否均匀? 问题出在哪里? 若恰能平衡摩擦力, 试分析小车会做何种运

动？应该采用哪些点距来计算小车的速度？

先增大，后减小。不均匀（不是匀加速）。没有平衡摩擦力。就要用到补偿法。先加速（但非匀加），后匀速。应采用小车做匀速运动那一段的点距来计算速度。因为匀速的速度就是橡皮条对小车作用的最终速度；由于小车在橡皮条变力作用下做非匀加速运动，最终速度不能用匀变速运动纸带的处理方法得到，但可以用匀速运动纸带的处理方法得到。

（3）使木板略微倾斜，调节木板的倾角，经检验恰好平衡摩擦力。可以做一系列地平行线，选适当的位置作为 A，重新标出小车运动的初始位置 A。（体现完善实验的过程）

（4）确立可操作实验方案，设计合理的实验步骤：

- A. 先将木板置于水平桌面，然后在钉有钢钉的长木板上，放好实验小车。
- B. 把打点计时器固定在木板的一端，将纸带穿过打点计时器的限位孔，纸带一端夹紧在小车的后端，打点计时器接电源。
- C. 使木板略微倾斜，调节木板的倾角，测量纸带点距直到相等，表明恰好平衡摩擦力。
- D. 过两钉中垂线上的适当位置作两钉的平行线，交中垂线于 A 点，作为小车每次运动的起始点。
- E. 使用一根橡皮筋时，将小车的前（或后）端拉到 A 点，接通电源，打点计时器打点，释放小车，小车离开木板前适时使小车制动，断开电源，取下纸带。重复本项前面的过程，选出清晰的纸带。记下点距相等后 $t=0.1s$ 的位移 $\Delta x_1 m$ ，求出小车获得的速度 $v=10 \Delta x_1 m/s$ 。

F. 换用同样材料、粗细、长度的两根、三根、…六根橡皮筋，依照 D 项的方法，分别进行实验。记下各次实验点距相等后 $t=0.1s$ 的位移 $\Delta x_2, \Delta x_3 \cdots \Delta x_n m$ ，求出小车分别获得的速度 $v_2, v_3 \cdots v_n m/s$ 。

G. 以功为纵轴（用第一次橡皮筋做的功为纵轴的单位长度），以速度为横轴（可以用适当的速度值为单位长度，也可以用第一次小车的速度为横轴的单位长度），建立坐标系，用描点法作出图像，看看是否是正比例图像，若不是，功与速度的哪种相关量（的变化量）是正比的，功就与速度的这种相关量（的变化量）具有确定的函数关系。

处理数据，得出规律

1、采集橡皮条 分别为一根、两根……、六根时的数据（匀速运动阶段，例如在 0.1s 内的位移），记在自己设计的表格中。

2、记录数据的方式示例

示例一——数据关系						
	1	2	3	4	5	6
W/×WJ	1	2	3	4	5	6
X/×10 ⁻² m	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
v/v	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆

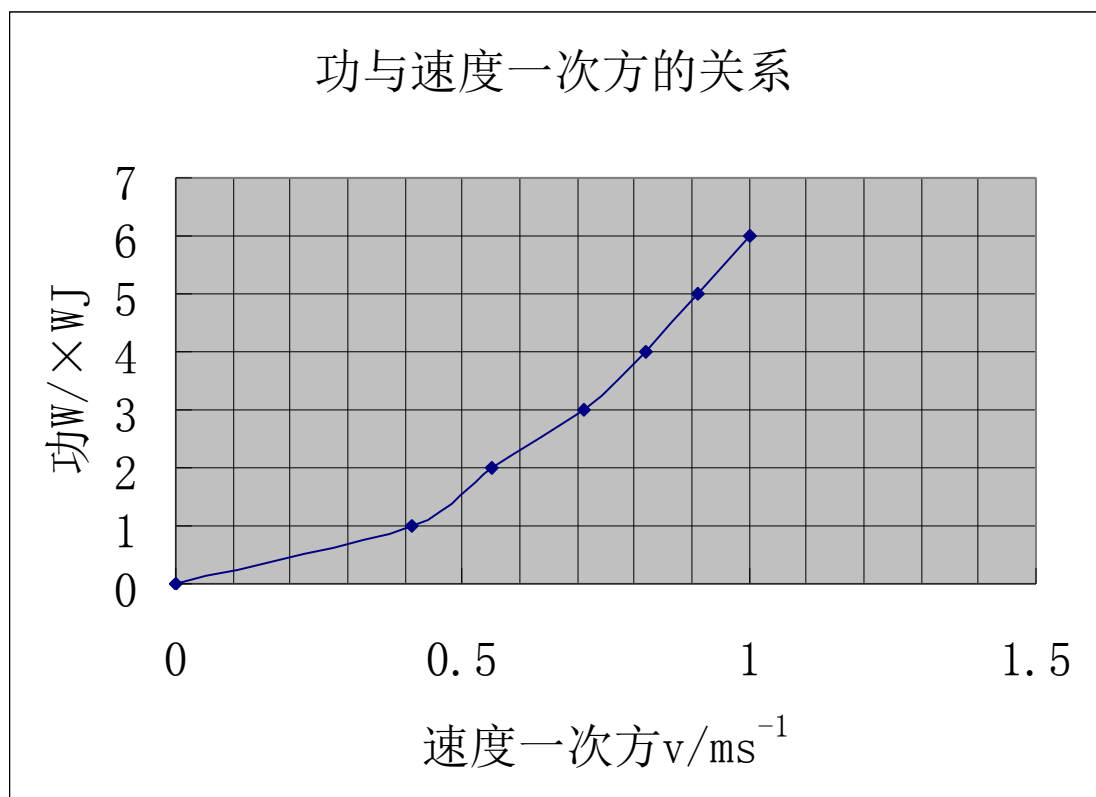
示例二——倍数关系						
	1	2	3	4	5	6
W/×WJ	1	2	3	4	5	6

$X/\times 10^{-2}\text{m}$	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
v/v	v	$(X_2/X_1) v$	$(X_3/X_1) v$	$(X_4/X_1) v$	$(X_5/X_1) v$	$(X_6/X_1) v$

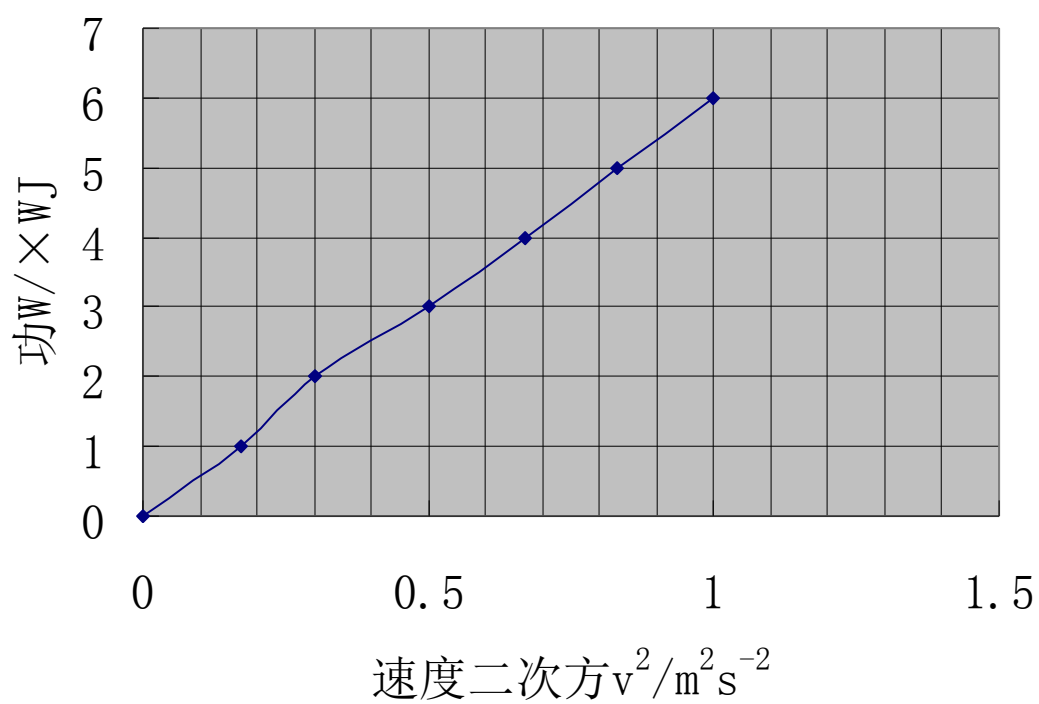
3. 转化成 Excel 数据，利用数表软件进行数据处理

示例——数据关系

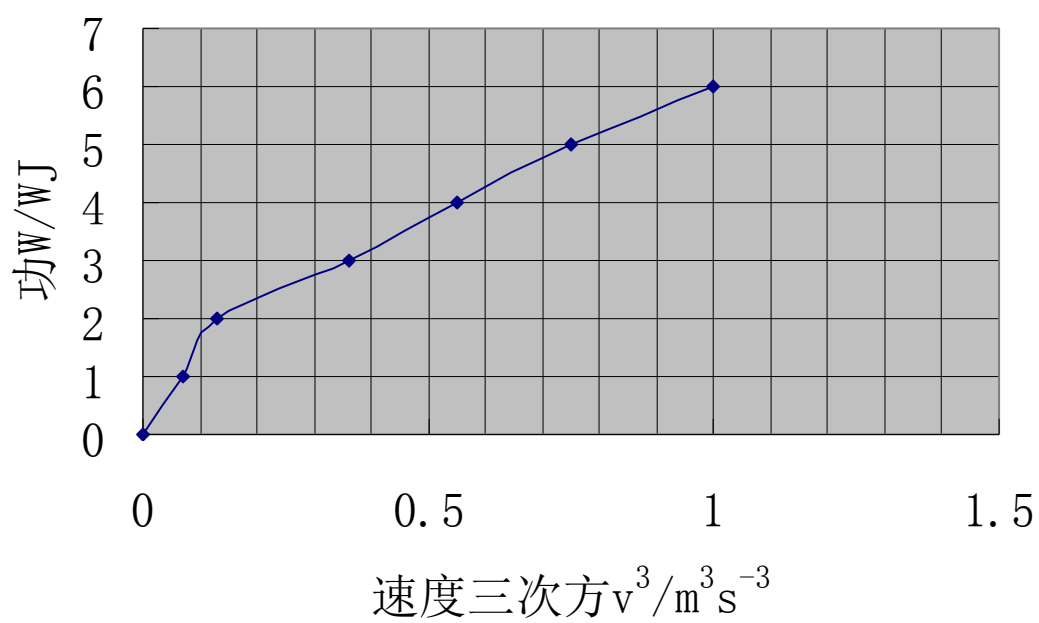
$x/(\text{cm})$	0	4.11	5.53	7.07	8.20	9.10	9.98
W/WJ	0	1	2	3	4	5	6
$v/(\text{m/s})$	0	0.41	0.55	0.71	0.82	0.91	1.00
W/WJ	0	1	2	3	4	5	6
v 平方	0	0.17	0.30	0.50	0.67	0.83	1.00
W/WJ	0	1	2	3	4	5	6
v 三次方	0	0.07	0.13	0.36	0.55	0.75	1.00
W/WJ	0	1	2	3	4	5	6
$v^{1/2}$ 次方	0	0.64	0.74	0.84	0.91	0.95	1.00
W/WJ	0	1	2	3	4	5	6

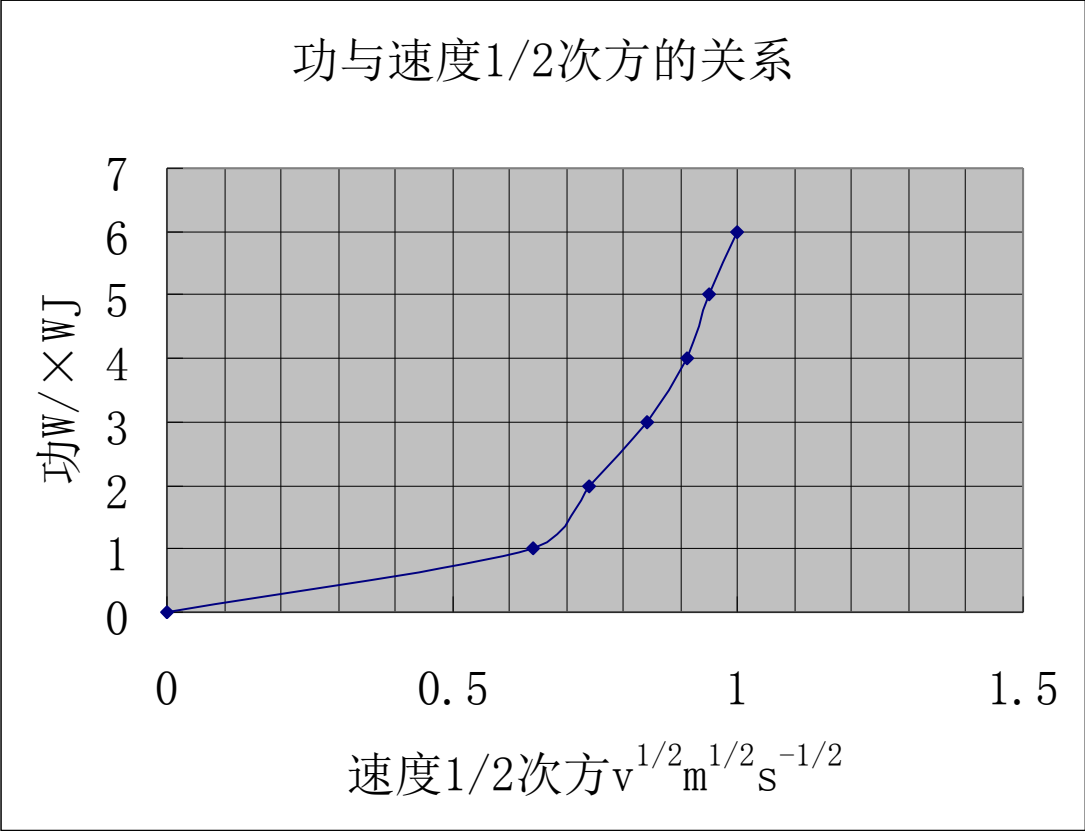


功与速度二次方的关系



功与速度三次方的关系





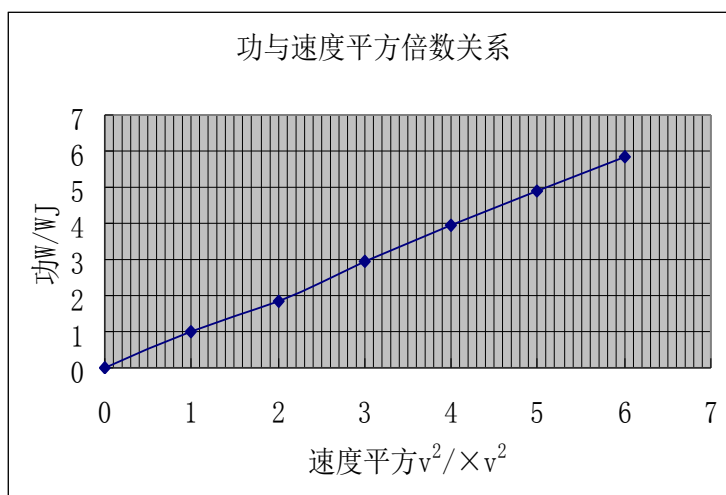
示例二——倍数关系

示例二——倍数关系						
次数	1	2	3	4	5	6
$W/\times WJ$	1	2	3	4	5	6
$X/\times 10^{-2}m$	4.11	5.53	7.07	8.20	9.10	9.98
速度的一次方						
v/v	v	(X_2/X_1) v	(X_3/X_1) v	(X_4/X_1) v	(X_5/X_1) v	(X_6/X_1) v
倍数	1.00	1.35	1.72	1.99	2.21	2.42
速度的二次方						
v^2/v^2	v^2	$(X_2/X_1)^2$ v^2	$(X_3/X_1)^2$ v^2	$(X_4/X_1)^2$ v^2	$(X_5/X_1)^2$ v^2	$(X_6/X_1)^2$ v^2
倍数	1.00	1.82	2.96	3.96	4.88	5.86
速度的三次方						
v^3/v^3	v^3	$(X_2/X_1)^3$ v^3	$(X_3/X_1)^3$ v^3	$(X_4/X_1)^3$ v^3	$(X_5/X_1)^3$ v^3	$(X_6/X_1)^3$ v^3
倍数	1.00	2.46	5.08	7.88	10.79	14.17
速度的 1/2 次方						
$v^{1/2}/v^{1/2}$	$v^{1/2}$	$(X_2/X_1)^{1/2}$	$(X_3/X_1)^{1/2}$	$(X_4/X_1)^{1/2}$	$(X_5/X_1)^{1/2}$	$(X_6/X_1)^{1/2}$

		$\sqrt[2]{v^{1/2}}$	$\sqrt[2]{v^{1/2}}$	$v^{1/2}$	$v^{1/2}$	$v^{1/2}$
倍数	1.00	1.16	1.31	1.41	1.49	1.56

分析得：只有速度的平方具有倍数关系。

示例二——倍数关系						
次数	1	2	3	4	5	6
$W/\times WJ$	1	2	3	4	5	6
$v^2/\times v^2$ 倍数	1.00	1.82	2.96	3.96	4.88	5.86



结论：功与速度的平方成正比。（本实验为便于探究，设初速度为零。）

结论推广：初速度不为零时，功与速度平方的变化量成正比。

课堂练习

1、本课实验应用倍增思想得到了橡皮筋对小车做的变力功与速度的平方成正比。这使我们想到：恒力对物体做的恒力功与速度的平方成正比，你如何应用倍增思想设计一个实验加以验证？

教学总结

（1）本实验用倍增思想设计，探究变力做功与速度的相关量的变化之间的关系。体现了探究过程采用的物理方法——倍增方法，用这种方法设计实验是非常精妙的。

（2）但本实验中，还需要用到纸带的分析、速度的测量、力的平衡等相关的知识与技能。

（3）实验探究能更强烈地激发学生的学习兴趣，体会学习的快乐；并通过亲身实践，树立起“实践是检验真理的唯一标准”的科学理念。

（4）本课的主线，是分析论证实验预案、确定完善课本方案并在实验操作中改进实验、对实验数据进行分析处理得出结论。

课后作业

可以从物理方法、平衡摩擦力、打点纸带分析、打点纸带求速度、数据处理（图像法）、实验结论（功与速度的平方成正比）、误差产生原因（系统与偶然误差）等方面选择安排。

关于实验细节的说明：

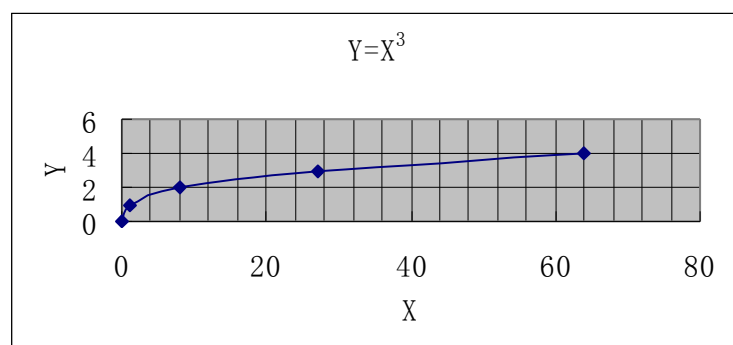
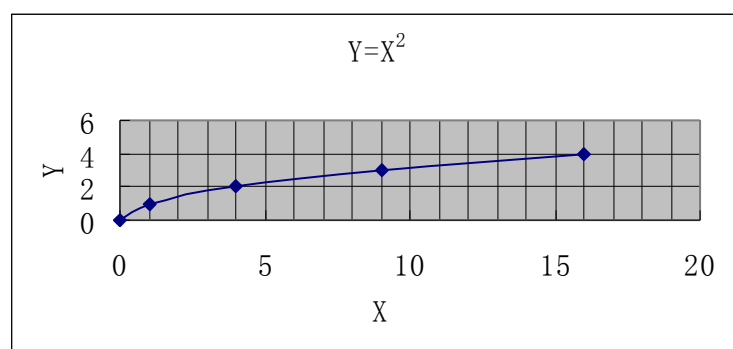
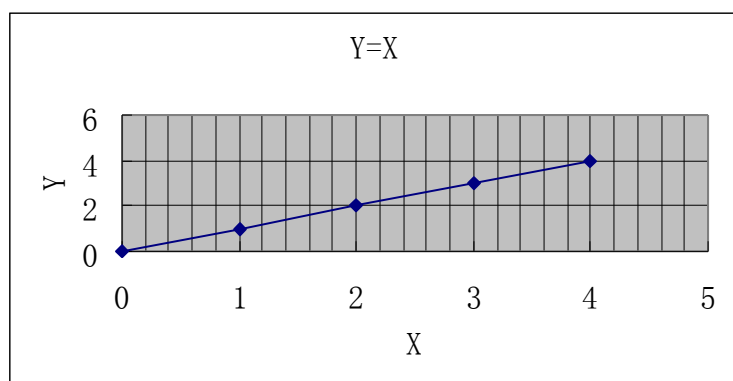
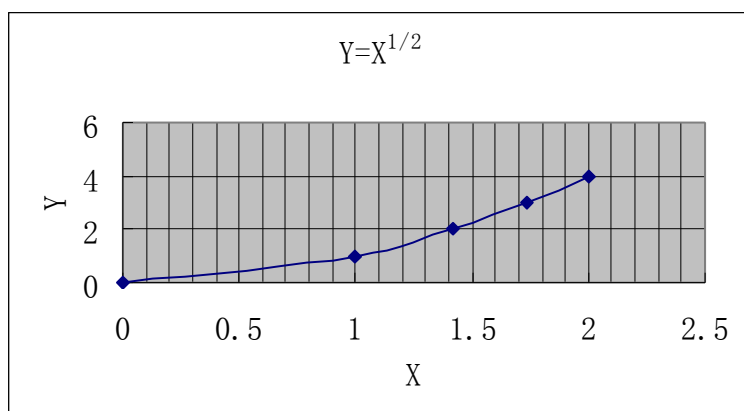
（1）实验材料：橡皮筋要选择同一根，截成等长的六段，每段长度约 0.5m；要事先做好两端带套且长度相等的橡皮条，共 6 根；木板要平整，长约 30cm、宽约 1m；纸带够用即可，不可过长，越长阻力越大，若小车加速运动 5cm，纸带用 25cm 即可。

（2）实验操作：平衡摩擦力要在小车后拖上纸带，纸带穿过打点计时器的限位孔，这样对阻力考虑的比较充分；是否确实平衡了摩擦力，要对打点纸带进行检验；特别是用多根橡皮筋拉小车时，要反复试拉，以保证每半根橡皮条受力均匀；每次实验小车都要从同一位置从静止开始运动；为了确保橡皮筋根数一定时得到的速度较为准确，可以多次测量，剔除坏点之后，求出

平均值，以减小测量的偶然误差。

（3）数据处理：应选择点迹清晰且直的纸带；对测量值进行筛选，剔除坏点，求出平均值；试探几种常见的函数关系，得到结论；也可以用画草图的方法或比例分析的方法，从某个函数关系开始试探，初步找到正比关系后，再作图确认，得到结论。

教学参考：几个常用数学图像的比较



7.7 动能和动能定理

课堂教学设计：

- (1) 在上节探究《功与物体速度变化的关系》的基础上进一步定量地确定物体的动能的表达式；
- (2) 进一步探究，力对物体做的功与物体动能有什么关系，既运用归纳推导方式推导动能定理的表达式；
- (3) 通过动能定理的推导理解理论探究的方法及其科学思维的重要意义；
- (4) 通过对实际问题的分析，对比牛顿运动定律，掌握运用动能定理分析解决问题的方法及其特点；
- (5) 通过动能定理的应用感悟量变（过程的积累）与质变（状态的改变）的哲学关系。

三维教学目标

1、知识与技能

- (1) 知道动能的定义式，能用动能的定义式计算物体的动能；
- (2) 理解动能定理反映了力对物体做功与物体动能的变化之间的关系；
- (3) 能够理解动能定理的推导过程，知道动能定理的适用条件；
- (4) 能够应用动能定理解决简单的实际问题。

2、过程与方法

- (1) 运用归纳推导方式推导动能定理的表达式；
- (2) 通过动能定理的推导理解理论探究的方法及其科学思维的重要意义；
- (3) 通过对实际问题的分析，对比牛顿运动定律，掌握运用动能定理分析解决问题的方法及其特点。

3、情感、态度与价值观

- (1) 通过动能定理的归纳推导培养学生对科学研究的兴趣；
- (2) 通过动能定理的应用感悟量变（过程的积累）与质变（状态的改变）的哲学关系。

教学重点： 动能的概念；动能定理的推导和理解。

教学难点： 动能定理的理解和应用。

教学过程：

第七节 动能和动能定理

1、对“动能”的初步认识

追寻守恒量中，已经知道物体由于运动而具有的能叫动能，大家先猜想一下动能与什么因素有关？应该与物体的质量与速度有关。

你能通过实验粗略验证一下你的猜想吗？（物体的动能与物体的质量和速度有什么关系）。

方案1： 让滑块从光滑的导轨上滑下与静止的木块相碰，推动木块做功。

实验：（1）让同一滑块从不同的高度滑下；（2）让质量不同的滑块从同一高度滑下。

现象：（1）高度大时滑块把木块推得远，对木块做的功多；（2）质量大的滑块把木块推得远，对木块做的功多。

实验结果：

（1）高度越大，滑块滑到底端时速度越大，在质量相同的情况下，速度越大，对外做功的本领越强，说明滑块由于运动而具有的能量越多。

（2）滑块从相同的高度滑下，具有的末速度是相同的，之所以对外做功的本领不同，是因为滑块的质量不同，在速度相同的情况下，质量越大，滑块对外做功的能力越强，也就是说滑块由于运动而具有的能量越多。

归纳： 物体的质量越大、速度越大物体的动能越大。

方案2： 被举高的锤子下落可将铁钉钉入木板中，高度越高，锤子越重具有的动能越大，钉铁钉时钉得越深。

2、对“动能的变化”原因的初步探究

前边我们学过，当力对物体做功时会对应某种形式的能的变化，例如重力做功对应于重力势能的变化，弹簧弹力做功对应于弹性势能的变化，那么什么原因使物体的动能发生变化哪？

（1）**多媒体演示实验：**

实验1： 小球在空中下落过程，重力做正功，动能增大。

实验2： 沿粗糙平面滑动的小车由运动到静止，由于摩擦阻力做负功，小车的动能减小。

(2) **学生观察实验现象** (要求学生观察物体在运动过程中受力、各力做功, 及物体动能的变化情况? 对于现象通过讨论, 由学生代表说出。)

(3) **得出结论:** 外力做功 (牵引力、阻力或其它力等) 是物体的动能改变的原因。

3、定量探究: 外力做功与物体动能的变化之间的定量关系

(1) 就下列几种物理情境, 用牛顿运动定律推导: 外力做功与物体动能的变化之间的定量关系。

用多媒体展示:

情境 1: 质量为 m 的物体, 在光滑水平面上, 受到与运动方向相同的水平外力 F 的作用下, 发生一段位移 L , 速度由 V_1 增加到 V_2

情境 2: 质量为 m 的物体, 在粗糙水平面上, 受摩擦力 F_f 的作用下, 发生一段位移 L , 速度由 V_1 增加到 V_2

情境 3: 质量为 m 的物体, 在粗糙水平面上, 受到与运动方向相同的水平外力 F 和摩擦力 F_f 的作用下, 发生一段位移 L , 速度由 V_1 增加到 V_2

按学生基础情况分组推导, 将结论填入下面的表格中, 并用语言表述本小组的结论:

物理情境	结论
1	$FL = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$
2	$-F_f L = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$
3	$FL - F_f L = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$

教师在学生表述自己得出的结论 (各组的分结论) 后, 引导学生得出动能定理的具体内容。及其理解动能的概念。

结论: 合力的功等于物体动能的变化。

分析总结、讲解规律

1、动能

(1) “ $\frac{1}{2}mv^2$ ” 是一个新的物理量

(2) $\frac{1}{2}mv_2^2$ 是物体末状态的一个物理量, $\frac{1}{2}mv_1^2$ 是物体初状态的一个物理量。其差值正好等于合力对物体做的功。

(3) 物理量 $\frac{1}{2}mv^2$ 定为动能, 其符号用 E_k 表示, 即当物体质量为 m , 速度为 V 时, 其动能: $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

(4) 动能是标量, 单位焦耳 (J)

(5) 含义: 动能是标量, 同时也是一个状态量

(6) 动能具有瞬时性, 是个状态量: 对应一个物体的质量和速度就有一个动能的值。

计算: 我国第一颗人造卫星的质量是 173kg , 运行速度是 7.2km/s , 它的动能是多少?

答: $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 4.48 \times 10^9 \text{ (J)}$ 通过计算进一步理解动能的物理意义。

2、动能定理

有了动能的表达式, 前面推出的 $W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ 就写成 $W = E_{k2} - E_{k1}$

师生讨论 W 、 E_{k2} 、 E_{k1} 的物理意义, 最后得出: 力在一个过程中对物体做的功等于物体在该过程中的动能变化。这个结论叫动能定理。

(1) 内容: 合力在一个过程中对物体做的功等于物体在该过程中的动能变化。

(2) 表达式: $W = E_{k2} - E_{k1}$

(3) 讨论:

- ① 当合力做正功时, 物体动能如何变化?
- ② 当合力做负功时, 物体动能如何变化?
- ③ 当物体受变力作用, 如何计算物体动能的变化?
- ④ 当物体做曲线运动时, 如何计算物体动能的变化?

答案:

- ① 当合力做正功时, 物体动能增加。
- ② 当合力做负功时, 物体动能减小。
- ③ 当物体受变力作用, 可把过程分解成许多小段每一段按照恒力运动是直线分段求解。
- ④ 当物体做曲线运动时, 可把过程分解成许多小段每一段按照恒力运动是直线分段求解。

3、应用练习

例题: 一架喷气式飞机质量为 $5.0 \times 10^3 \text{ kg}$, 起飞过程中从静止开始滑跑, 当位移达到 $L = 5.3 \times 10^2 \text{ m}$ 时, 速度达到起飞速度, $V = 60 \text{ m/s}$ 在此过程中飞机受到的平均阻力是飞机重量的 0.02 倍。求: 飞机受到的牵引力。

思考:

(1) 该题中叙述飞机的一个什么过程?

答: 飞机的起飞过程。

(2) 飞机的初速度多大? 末速度多大? 做功的位移多大?

$V_{\text{初}} = 0$ $V_{\text{末}} = 60 \text{ m/s}$ $L = 5.0 \times 10^3 \text{ kg}$

(3) 起飞过程中有几个力? 大小方向如何?

答: 四个力。重力、支持力、牵引力、阻力。其中牵引力和阻力做功。牵引力做正功, 阻力做负功。

(4) 如何求解合力做功?

答: 两种方法: ① $W_{\text{分}} = F_{\text{合}} L$ ② $W_{\text{分}} = F_{\text{牵}} L - f L$

(3) 把学生的解答过程展示出来。

(4) 纠正学生错误解法, 展示正确求解过程:

解: 飞机起飞初动能 $E_{k1} = 0$ 末动能 $E_k = \frac{1}{2} m V^2$ 合力功有 $W = F_{\text{合}} L$

根据动能定理: $F_{\text{合}} L = \frac{1}{2} m V^2 - 0$

根据飞机起飞时受力 $F = F_{\text{牵}} - f_{\text{阻}}$

$F_{\text{牵}} = \frac{1}{2} m V^2 / L + f_{\text{阻}} = 1.8 \times 10^4 \text{ (N)}$

飞机受到的牵引力是 $1.8 \times 10^4 \text{ (N)}$ 。

4、拓展训练:

(1) 该题中飞机起飞过程中牵引力的功转化成什么了? (讨论完成?)

答: 牵引力做的功转化成了飞机起飞的动能和飞机与地面摩擦的内能 (即摩擦力做的功)。

(2) 本题是否可用牛顿运动定律来解, 与上面解法有何不同? (用牛顿运动定律重解例题)

(3) 物体的运动为多段运动组成, 是否可用动能定理来解? 如何来解? (举个例题)

板书设计:

第七节 动能和动能定理

1、动能

(1) “ $\frac{1}{2} m v^2$ ” 是一个新的物理量;

(2) $\frac{1}{2} m v_2^2$ 是物体末状态的一个物理量, $\frac{1}{2} m v_1^2$ 是物体初状态的一个物理量。其差值正好等于合力对物体做的功;

(3) 物理量 $\frac{1}{2} m v^2$ 定为动能, 其符号用 E_k 表示, 即当物体质量为 m , 速度为 V 时, 其动能: $E_k = \frac{1}{2} m v^2$;

(4) 动能是标量, 单位焦耳 (J) ;

(5) 含义: 动能是标量, 同时也是一个状态量;

(6) 动能具有瞬时性，是个状态量：对应一个物体的质量和速度就有一个动能的值。

计算：我国第一颗人造卫星的质量是 173kg ，运行速度是 7.2km/s ，它的动能是多少？

答： $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 4.48 \times 10^9 \text{ (J)}$ 通过计算进一步理解动能的物理意义。

2、动能定理

有了动能的表达式，前面推出的 $W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ 就写成 $W = E_{k2} - E_{k1}$

师生讨论 W 、 E_{k2} 、 E_{k1} 的物理意义，最后得出：力在一个过程中对物体做的功等于物体在该过程中的动能变化。这个结论叫动能定理。

(1) 内容：合力在一个过程中对物体做的功等于物体在该过程中的动能变化。

(2) 表达式： $W = E_{k2} - E_{k1}$

(3) 讨论：

- ① 当合力做正功时，物体动能如何变化？
- ② 当合力做负功时，物体动能如何变化？
- ③ 当物体受变力作用，如何计算物体动能的变化？
- ④ 当物体做曲线运动时，如何计算物体动能的变化？

答案：

- ① 当合力做正功时，物体动能增加。
- ② 当合力做负功时，物体动能减小。
- ③ 当物体受变力作用，可把过程分解成许多小段每一段按照恒力运动是直线分段求解。
- ④ 当物体做曲线运动时，可把过程分解成许多小段每一段按照恒力运动是直线分段求解。

7.8 机械能守恒定律

三维教学目标

1、知识与技能

- (1) 知道什么是机械能，知道物体的动能和势能可以相互转化；
- (2) 正确推导物体在光滑曲面上运动过程中的机械能守恒，理解机械能守恒定律的内容，知道它的含义和适用条件；
- (3) 在具体问题中，能判定机械能是否守恒并能列出机械能守恒的方程式。

2、过程与方法

- (1) 学会在具体的问题中判定物体的机械能是否守恒；
- (2) 初步学会从能量转化和守恒的观点来解释物理现象，分析问题。

3、情感、态度与价值观：通过能量守恒的教学，使学生树立科学观点，理解和运用自然规律，并用来解决实际问题。

教学重点：掌握机械能守恒定律的推导、建立过程，理解机械能守恒定律的内容；在具体的问题中能判定机械能是否守恒，并能列出定律的数学表达式。

教学难点：从能的转化和功能关系出发理解机械能守恒的条件；能正确判断研究对象在所经历的过程中机械能是否守恒，能

正确分析物体系统所具有的机械能，尤其是分析、判断物体所具有的重力势能。

教学方法：演绎推导法、分析归纳法、交流讨论法。

教学工具：投影仪、细线、小球、带标尺的铁架台、弹簧振子。

教学过程：

第八节 机械能守恒定律

（一）引入

我们已学习了重力势能、弹性势能、动能。我们把这三种形式的能量统称为机械能。

（1）**定义：**物体的动能和势能之和称为物体的机械能。机械能包括动能、重力势能、弹性势能。

（2）**表达式：** $E = E_K + E_P$

这些不同形式的能是可以相互转化的，那么在相互转化的过程中，他们的总量是否发生变化？这节课我们就来探究这方面的问题。

（二）进行新课

1、动能与势能的相互转化

演示实验 1：如图，用细线、小球、带有标尺的铁架台等做实验。把一个小球用细线悬挂起来，把小球拉到一定高度的 A 点，然后放开，小球在摆动过程中，重力势能和动能相互转化。我们看到，小球可以摆到跟 A 点等高的 C 点，如图甲。如果用尺子在某一点挡住细线，小球虽然不能摆到 C 点，但摆到另一侧时，也能达到跟 A 点相同的高度，如图乙。问题：这个小实验中，小球的受力情况如何？各个力的做功情况如何？这个小实验说明了什么？学生活动：观察演示实验，思考问题，选出代表发表见解。小球在摆动过程中受重力和绳的拉力作用。拉力和速度方向总垂直，对小球不做功；只有重力对小球能做功。

实验证明：小球在摆动过程中重力势能和动能在不断转化。在摆动过程中，小球总能回到原来的高度。可见，重力势能和动能的总和保持不变。即机械能保持不变。

演示实验 2：如图，水平方向的弹簧振子。用弹簧振子演示动能和弹性势能的相互转化。

问题 1：这个小实验中，小球的受力情况如何？各个力的做功情况如何？这个小实验说明了什么？

观察演示实验，思考问题。小球在往复运动过程中，竖直方向上受重力和杆的支持力作用，水平方向上受弹力作用。重力、支持力和速度方向总垂直，对小球不做功；只有弹簧的弹力对小球能做功。

实验证明：小球在往复运动过程中弹性势能和动能在不断转化。小球在往复运动过程中总能回到原来的高度，可见，弹性势能和动能的总和应该保持不变。即机械能保持不变。

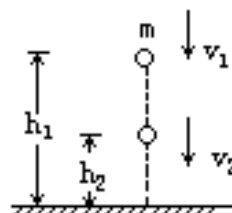
总结：通过上述分析，我们得到动能和势能之间可以相互转化，那么在动能和势能的转化过程中，动能和势能的和是否真的保持不变？下面我们就来**定量**讨论这个问题。

2、机械能守恒定律

质量为 m 的物体自由下落过程中，经过高度 h_1 的 A 点时速度为 v_1 ，下落至高度 h_2 的 B 点处速度为 v_2 ，不计空气阻力，取地面为参考平面，试写出物体在 A 点时的机械能和 B 点时的机械能，并找到这两个机械能之间的数量关系。

$$A \text{ 点} \quad E_A = E_{kA} + E_{PA} = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1$$

$$B \text{ 点} \quad E_B = E_{kB} + E_{PB} = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$



根据动能定理, 有 $W_G = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$

重力做功在数值上等于物体重力势能的减少量。 $W_G = mgh_1 - mgh_2$

由以上两式可以得到 $\frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1$

即 $E_{k2} + E_{p2} = E_{k1} + E_{p1}$

即 $E_2 = E_1$

可见: 在只有重力做功的物体系统内, 动能和重力势能可以相互转化, 而总的机械能保持不变。同样可以证明: 在只有弹力做功的物体系统内, 动能和弹性势能可以相互转化, 总的机械能也保持不变。

(1) **内容:** 在只有重力或弹力做功的物体系统内, 动能和弹性势能可以相互转化, 而总的机械能保持不变。这就是机械能守恒定律。

(2) **表达式:** $E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$ 或 $E_2 = E_1$

(3) **机械能守恒条件的理解**

1. 从能量转化的角度看, 只有系统内动能和势能相互转化, 无其它形式能量之间(如内能)转化;
2. 从系统做功的角度看, 只有重力或弹力做功。

(4) **只有重力或弹力做功与只受重力或弹力作用的含义不同。**

1. 只受重力或弹力;
2. 除重力或弹力外, 还受其它力, 但其它力不做功或其它力所做功代数和为零(如摆球的摆动)。

例 1: A、B 间, B 与地面间摩擦不计, A 自 B 上自由下滑过程中, A、B 组成的系统只有重力和 A、B 间的弹力(系统内的弹力)做功, A、B 组成的系统的机械能守恒, 但对 B 来说, A 对 B 的弹力做功, 但这个力对 B 来说是外力, B 的机械能不守恒。同样对 A 来说, A 的机械能不守恒。

说明: 如果问题中只有动能和重力势能的相互转化, 没有涉及到弹性势能, 此时机械能守恒的条件可以表述为: 只有重力做功以后遇到的问题绝大多数都是这种情形。

3、守恒定律的多种表达方式

当系统满足机械能守恒的条件以后, 常见的守恒表达式有以下几种:

(1) $E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$, 即初状态的动能和势能之和等于末状态的动能和势能之和。

(2) $\Delta E_k = -\Delta E_p$ 或 $\Delta E_p = -\Delta E_k$, 即动能(或势能)的增加量等于势能(或动能)的减少量。

(3) $\Delta E_A = -\Delta E_B$, 即 A 物体机械能的增加量等于 B 物体机械能的减少量。

把一个小球用细绳悬挂起来, 就成为一摆(如图), 摆长为 l , 最大偏角为 θ 。小球运动到最低位置时的速度是多大?

分析: 这个问题直接用牛顿第二定律和运动学的公式来处理, 需要用高等数学。现在用机械能守恒定律求解。

提问: 你是怎样判断这种情况下机械能守恒的?

解: 选择小球在最低位置时所在的水平面为参考平面。

小球在最高点时为初状态，初状态的动能 $E_{k1} = 0$ ，

重力势能 $E_{p1} = mg(l - l \cos \theta)$

机械能 $E_{k1} + E_{p1} = mgl(1 - \cos \theta)$

小球在最低点时为末状态，末状态的动能 $E_{k2} = \frac{1}{2}mv^2$

重力势能 $E_{p2} = 0$

末状态的机械能为 $E_{k2} + E_{p2} = \frac{1}{2}mv^2$ 。

根据机械能守恒定律有 $E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$

即 $\frac{1}{2}mv^2 = mgl(1 - \cos \theta)$ 所以 $v = \sqrt{2gl(1 - \cos \theta)}$ 。

思考：你能不能直接用牛顿第二定律和运动学的公式来处理这个问题？应用机械能守恒定律解题的优越性。

(1) 机械能守恒定律解题的一般步骤

1. 根据题意选取研究对象（物体或系统）
2. 明确研究对象的运动过程，分析对象在过程中的受力情况，弄清各力做功的情况，判断机械能是否守恒。
3. 恰当地选取零势能面，确定研究对象在过程中的始态或末态的机械能。
4. 根据机械能守恒定律的不同表达式列方程，并求解结果。

(2) 应用机械能守恒定律解题的优点

机械能守恒定律不涉及运动过程中的加速度和时间，用它来处理问题要比牛顿定律方便；应用机械能守恒定律解决问题，只需考虑运动的始末状态，不必考虑两个状态之间过程的细节。如果直接用牛顿运动定律解决问题，往往要分析过程中各个力的作用，而这些力往往又是变化的，因此一些难以用牛顿运动定律解决的问题，应用机械能守恒定律则易于解决。

板书设计：

第八节 机械能守恒定律

1、动能与势能的相互转化

2、机械能守恒定律

(1) 内容：在只有重力或弹力做功的物体系统内，动能和弹性势能可以相互转化，而总的机械能保持不变。这就是机械能守恒定律。

(2) 表达式： $E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$ 或 $E_2 = E_1$

(3) 机械能守恒条件的理解

1. 从能量转化的角度看，只有系统内动能和势能相互转化，无其它形式能量之间（如内能）转化。
2. 从系统做功的角度看，只有重力或弹力做功。

(4) 只有重力或弹力做功与只受重力或弹力作用的含义不同。

1. 只受重力或弹力；
2. 除重力或弹力外，还受其它力，但其它力不做功或其它力所做功代数和为零（如摆球的摆动）。

3、守恒定律的多种表达方式

(1) $E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$ ，即初状态的动能和势能之和等于末状态的动能和势能之和。

(2) $\Delta E_k = -\Delta E_p$ 或 $\Delta E_p = -\Delta E_k$ ，即动能（或势能）的增加量等于势能（或动能）的减少量。

(3) $\Delta E_A = -\Delta E_B$ ，即A物体机械能的增加量等于B物体机械能的减少量。

注意：机械能守恒定律解题的一般步骤

1. 根据题意选取研究对象（物体或系统）
2. 明确研究对象的运动过程，分析对象在过程中的受力情况，弄清各力做功的情况，判断机械能是否守恒。
3. 恰当地选取零势能面，确定研究对象在过程中的始态或末态的机械能。
4. 根据机械能守恒定律的不同表达式列方程，并求解结果。

注意：应用机械能守恒定律解题的优点

机械能守恒定律不涉及运动过程中的加速度和时间，用它来处理问题要比牛顿定律方便；应用机械能守恒定律解决问题，只需考虑运动的始末状态，不必考虑两个状态之间过程的细节。如果直接用牛顿运动定律解决问题，往往要分析过程中各个力的作用，而这些力往往又是变化的，因此一些难以用牛顿运动定律解决的问题，应用机械能守恒定律则易于解决。

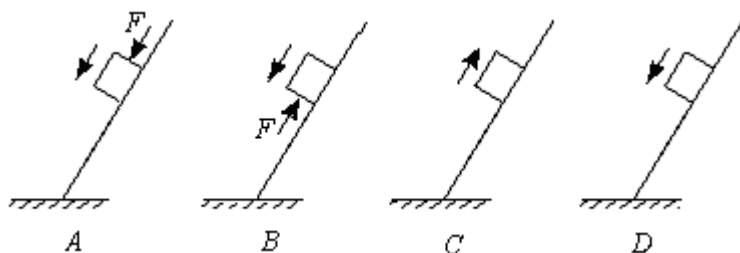
实例探究

对机械能守恒定律条件的理解

例1：关于物体的机械能是否守恒的叙述，下列说法中正确的是（ D ）

- A. 做匀速直线运动的物体，机械能一定守恒
- B. 做匀变速直线运动的物体，机械能一定守恒
- C. 外力对物体所做的功等于0时，机械能一定守恒
- D. 物体若只有重力做功，机械能一定守恒

例2：（2002年北京高考）如图所示，下列四个选项的图中，木块均在固定的斜面上运动，其中图A、B、C中的斜面是光滑的，图D中的斜面是粗糙的，图A、B中的F为木块所受的外力，方向如图中箭头所示，图A、D中的木块向下运动，图C中的木块向上运动。在这四个图所示的运动过程中机械能守恒的是（ C ）



解析：机械能守恒的条件是：物体只受重力或弹力的作用，或者还受其它力作用，但其它力不做功，那么在动能和势能的相互转化过程中，物体的机械能守恒。依照此条件分析，ABD三项均错。

巩固练习

1、从离地高为Hm的阳台上以速度v竖直向上抛出质量为m的物体，它上升hm后又返回下落，最后落在地面上，则下列说法中正确的是（不计空气阻力，以地面为参考面）（ ACD ）

- A. 物体在最高点时机械能为 $mg(H+h)$
- B. 物体落地时的机械能为 $mg(H+h) + \frac{1}{2}mv^2$
- C. 物体落地时的机械能为 $mgH + \frac{1}{2}mv^2$
- D. 物体在落回过程中，经过阳台时的机械能为 $mgH + \frac{1}{2}mv^2$

2、质量均为m的甲、乙、丙三个小球，在离地面高为h处以相同的动能在竖直平面内分别做平抛、竖直下抛、沿光滑斜面下滑，则（ ABC ）

- A. 三者到达地面时的速率相同
- B. 三者到达地面时的动能相同
- C. 三者到达地面时的机械能相同
- D. 以上说法都不正确

3、一个人把重物加速上举到某一高度，下列说法正确的是（ ACD ）

- A. 物体所受的合外力对它所做的功等于物体机械能的增量
- B. 物体所受合外力对它所做的功等于物体的动能的增量
- C. 人对物体所做的功和重力对物体所做的功的代数和等于物体机械能的增量
- D. 克服重力所做的功等于物体的重力势能的增量

量

4、下列实例（均不计空气阻力）中的运动物体，机械能守恒的应是（ BD ）

- A. 被起重机吊起的货物正在加速上升 B. 物体做平抛运动
C. 物体沿粗糙斜面匀速下滑 D. 一个轻质弹簧上端固定，下端系一重物，重物沿竖直方向做上下振动

5、推证：做平抛和竖直上抛运动时的物体的机械能守恒。

7.9 验证机械能守恒定律

三维教学目标

1、知识与技能

- (1) 要弄清实验目的，本实验为验证性实验，目的是利用重物的自由下落验证机械能守恒定律；
- (2) 要明确实验原理，掌握实验的操作方法与技巧、学会实验数据的采集与处理，能够进行实验误差的分析，从而使我们机械能守恒定律的认识，不止停留在理论的推导上，而且还能够通过亲自操作和实际观测，从感性上增加认识，深化对机械能守恒定律的理解；
- (3) 要明确纸带选取及测量瞬时速度简单而准确的方法。

2、过程与方法

- (1) 通过学生自主学习，培养学生设计实验、采集数据，处理数据及实验误差分析的能力；
- (2) 通过同学们的亲自操作和实际观测掌握实验的方法与技巧；
- (3) 通过对纸带的处理过程培养学生获取信息、处理信息的能力，体会处理问题的方法，领悟如何间接测一些不能直接测量的物理量的方法；
- (4) 通过实验过程使学生体验实验中理性思维的重要，既要动手，更要动脑。

3、情感态度与价值观

- (1) 通过实验及误差分析，培养学生实事求是的科学态度，激发学生对物理规律的探知欲；
- (2) 使学生通过实验体会成功的乐趣与成就感，激发对物理世界的求知欲；
- (3) 培养学生的团结合作精神和协作意识，敢于提出与别人不同的见解；
- (4) 通过经历实验过程，体验科学实验过程的艰辛与喜悦，并乐于探索自然界的奥妙。

教学重点：实验原理及方法的选择及掌握。

教学难点：实验误差分析的方法。

教学方法：

预习设计——实验观察——数据处理——归纳总结。

教师启发、引导，学生自主阅读、思考，亲自动手实验，并讨论、交流学习成果。

教学用具：铁架台（带铁夹）、打点计时器、重锤（带纸带夹子）、纸带、导线、刻度尺、低压电源。

教学过程：

第九节 验证机械能守恒定律

（一）导入新课

上节课我们从理论上学习了机械能守恒定律，我们从定律内容及守恒条件上初步理解了机械能守恒定律，今天我们通过自己亲身实验从感性上对定律再做进一步的理解。

（二）进行新课

1、实验目的

结合教材整理预习学案提纲，对学生整理结果进行点评。（展示幻灯片）本实验属验证性实验，实验目的是利用重物自由下落的现象验证机械能守恒定律。

2、认识实验仪器：组装实验仪器、明确各个仪器的功能。（暂时不做，只是组装）

电磁式打点计时器电源应选择10V以下，火花式打点计时器应选择220V。打点计时器限位孔位置应为竖直。纸带的长度应在1m左右。（学生思考，后面回答）

3、理解实验原理

通过对物体自由下落运动的研究来验证机械能守恒定律的实验原理是：忽略空气阻力，自由下落的物体在运动过程中机械能守恒，即重物动能的增加量等于其重力势能的减少量。具体地说：

- (1) 若以重物下落的起始点 O 为基准，设重物的质量为 m ，测出物体自起始点 O 下落距离 h 时的速度 v ，则在误差允许范围内，由计算得出 $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ ，机械能守恒定律即被验证。

(2) 若以重物下落过程中的某一点 A 为基准, 设重物的质量为 m , 测出物体对应于 A 点的速度 v_A , 再测出物体由 A 点下落 Δh 后经过 B 点的速度 v_B , 则在误差允许范围内, 由计算得: $\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = mg\Delta h$, 机械能守恒定律即被验证。

4、掌握实验的方法与技巧

实验步骤 (展示幻灯片)

- (1) 把打点计时器固定在桌边的铁架台上
- (2) 把打点计时器接到交流低压电源上
- (3) 将纸带固定在重锤上
- (4) 将纸带穿过计时器, 并将纸带提升到一定高度
- (5) 接通电源, 然后释放纸带. 断开电源, 取下纸带
- (6) 更换纸带, 重新进行同一要求的实验
- (7) 挑选点迹清晰的纸带研究, 用毫米刻度尺测出距离, 记录数据
- (8) 根据记录的数据进行有关计算并得出结论
- (9) 拆掉导线, 归整器材

学生实验

实验前教师提示: 打点计时器的使用

- (1) 电磁打点计时器应接 4~6V 交流电源, 当交变电流的频率为 50Hz 时, 打点周期为 0.02s。
- (2) 为使打点的频率比较稳定, 要求打点计时器振动片的固有频率也是 50Hz, 使之发生共振现象。振动片的长度可在一定范围内调节, 通过改变振动片的长度可调节它的固有频率。
- (3) 实验前要检查打点的清晰情况, 必要时调整振针的高度, 且不能让它松动, 否则将会出现漏点、双点等现象, 还会对纸带产生过大的阻力。
- (4) 电火花计时器可直接接在 220V 交流电源上, 注意采用双纸打点即可。

分组实验 (只是实验, 不进行数据处理)

问题讨论

问题 1: 本实验要不要测量物体的质量? 分组讨论, 得出结论。点拨思路, 明确结论。(展示幻灯片)

验证机械能守恒定律的表达式: $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ 和 $\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = mg\Delta h$ 中, 式子两边均有重物的质量 m ,

因而也可不具体测出 m 的大小, 而将 m 保留在式子中。

问题 2: 对实验中获得的数据条纸带应如何选取? 分组讨论, 得出结论, 选取合适的纸带以备处理数据之用。

5、分两种情况加以说明:

(1) 用 $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ 验证 这是以纸带上第一点 (起始点) 为基准点来验证机械能守恒定律的方法。由于第一点应是重物做自由落体运动开始下落的点, 所以应选取点迹清晰且第 1、2 两点间的距离接近 2mm 的纸带。

(2) 用 $\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = mg\Delta h$ 验证 这是回避起始点, 在纸带上选择后面的某两点验证机械能守恒定律的方法。由于重力势能的相对性, 处理纸带时选择适当的点为基准点, 势能的大小不必从起始点开始计算。这样, 纸带上打出起始点 O 后的第一个 0.02s 内的位移是否接近 2mm, 以及第一个点是否清晰也就无关紧要了。实验打出的任何一条纸带, 只要后面的点迹清晰, 都可以用于计算机械能是否守恒。

实验开始时如果不是用手提着纸带的上端, 而是用夹子夹住纸带的上端, 待开始打点后再松开夹子释放纸带, 打点计时器打出的第一个点的点迹清晰, 计算时从第一个计时点开始至某一点的机械能守恒, 其误差也不会太大。回避第一个计时点的原因也包括实验时手提纸带的不稳定, 使第一个计时点打出的点迹过大, 从而使测量误差加大。

问题 3: 重物的速度怎样测量? 结合教材介绍独立推导测量瞬时速度并得出结论。

结论: 做匀变速直线运动的纸带上某点的瞬时速度, 等于与之相邻两点间的平均速度。对教材推导方法点评。(有否更简洁、直

观的推导方法？）分组讨论可否变换一种思路进行推导，以使推导更简洁、直观）

如教材图所示，由于纸带做匀加速运动，故有 A 、 C 之间的平均速度：
$$\bar{v}_{AC} = \frac{v_A + v_C}{2}$$

又根据速度公式有： $v_B = v_A + a\Delta t$ ， $v_C = v_B + a\Delta t$ ，

故有： $v_B - v_A = v_C - v_B$ ，即： $v_B = \frac{v_A + v_C}{2}$ ，从而： $v_B = \bar{v}_{AC}$ 。

问题 4：通过处理实验数据，可得出什么结论？自主对所选择的纸带进行测量、计算，得出结论。对学生得出的结论进行点评，提出问题 5。

问题 5：实验误差分析，提出问题，在得到的实验数据中，大部分同学得到的结论是，重物动能的增加量稍小于重力势能的减少量，即 $E_k < E_p$ 。是怎么造成的呢？分组讨论，得到结论。对学生讨论进行点拨。展示幻灯片。

- (1) 重物 and 纸带下落过程中要克服阻力，主要是纸带与计时器之间的摩擦力。
- (2) 计时器平面不在竖直方向，纸带平面与计时器平面不平行是阻力增大的原因。
- (3) 电磁打点计时器的阻力大于电火花计时器。由于阻力的存在，重物动能的增加量稍小于势能的减少量，即 $E_k < E_p$ 。

在实验中会不会出现，重物动能的增加量稍大于重力势能的减少量，即 $E_k > E_p$ 的结论呢？分组讨论，得到结论。对学生讨论进行点拨。展示幻灯片。

交流电的频率 f 不是 50Hz 也会带来误差。

若 $f > 50\text{Hz}$ ，由于速度值仍按频率为 50Hz 计算，频率的计算值比实际值偏小，周期值偏大，算得的速度值偏小，动能值也就偏小，使 $E_k < E_p$ 的误差进一步加大。

根据同样的道理，若 $f < 50\text{Hz}$ ，则可能出现 $E_k > E_p$ 的结果。

问题 6：实验注意事项：

- (1) 安装打点计时器时，必须使两纸带限位孔在同一竖直线上，以减小摩擦阻力。
- (2) 应选用质量和密度较大的重物，可使摩擦阻力，空气阻力相对减小。
- (3) 实验时，必须先接通电源，让打点计时器工作正常后才能松开纸带让重锤下落。
- (4) 本实验因不需要知道重物动能的具体数值，故不需要测出重物的质量 m 。
- (5) 实际上重物和纸带下落过程中要克服阻力（主要是打点计时器的阻力）做功，所以动能的增加量 ΔE_k 必定稍小于势能的减少量 ΔE_p （电源频率为 50Hz）。

学生完成实验报告

巩固练习：（展示幻灯片）

例 1：某同学为验证机械能守恒定律编排了如下实验步骤：

- A. 用天平称出重物的质量；
- B. 把纸带固定到重物上，并把纸带穿过打点计时器，提升到一定高度；
- C. 拆掉导线，整理仪器；
- D. 断开电源，调整纸带，重做两次；
- E. 用秒表测出重物下落的时间；
- F. 用毫米刻度尺测出计数点与起点的距离，记录数据，并计算出结果，得出结论；

- G. 把打点计时器接到低压交流电源上；
- H. 接通电源，释放纸带；
- I. 把打点计时器接到低压直流电源上；
- J. 把打点计时器固定到桌边的铁架台上。

上述实验步骤中错误的是_____，可有可无的是_____，其余正确且必要的步骤按实验操作顺序排列是_____。（均只需填步骤的代号）

提示：认真阅读本节教材的“实验方法”。

解析：上述实验步骤中错误的是E和I，因为实验中不需要测定时间，打点计时器应使用低压交流电源。

可有可无的实验步骤是A。

其余正确且必要的步骤按实验操作顺序排列是：J、G、B、H、D、C、F。

点悟：对于物理实验，掌握实验原理和操作方法是最基本的要求。只有掌握了实验原理，才能判断出实验步骤中哪些是错误的，哪些是必要的；只有亲自动手进行认真的操作，才能正确地对实验步骤按序排列。

例2：某同学做“验证机械能守恒定律”的实验时，不慎将选好纸带的前面一部分破坏了，剩下的一段纸带上各相邻点间的距离已测出标在图上。已知打点计时器的工作频率为50Hz，重力加速度 g 取 9.80m/s^2 ，利用这段纸带能否验证机械能守恒定律？如何验证？

提示：认真阅读本节教材的数据处理方法。

解析：能利用这段纸带验证机械能守恒定律。

方法是：以重物从3号点运动到6号点为研究过程，物体对应于3、6两点的速度分别为

$$v_3 = \frac{x_{24}}{2T} = \frac{(2.11 + 2.49) \times 10^{-2}}{2 \times 0.02} \text{ m/s} = 1.15 \text{ m/s},$$

$$v_6 = \frac{x_{57}}{2t} = \frac{(3.26 + 3.65) \times 10^{-2}}{2 \times 0.02} \text{ m/s} = 1.73 \text{ m/s}。$$

重物从3号点运动到6号点动能的增加量为

$$\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_6^2 - \frac{1}{2}mv_3^2 = \frac{1}{2}m \times 1.73^2 \text{ J} - \frac{1}{2}m \times 1.15^2 \text{ J} \approx 0.835 \text{ J}。$$

重物从3号点运动到6号点重力势能的减少量为

$$-\Delta E_p = mgh_{36} = m \times 9.80 \times (2.49 + 2.89 + 3.26) \times 10^{-2} \text{ J} \approx 0.837 \text{ J}。$$

比较 ΔE_k 和 $-\Delta E_p$ 可知，重物动能的增加量近似等于重力势能的减少量，从而验证了机械能守恒定律。

点悟：实验打出的任何一条纸带，只要后面的点迹清晰，都可以用于计算机械能是否守恒。

用 $\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = mg\Delta h$ 来验证，这样就回避了起始点，在纸带上选择后面的某两点来验证了机械能守恒定律。

例3：在验证机械能守恒定律时，如果以 $\frac{v^2}{2}$ 为纵轴，以 h 为横轴，（ h 为从第一点到选定点的距离）根据实验数据绘出的

$\frac{v^2}{2} - h$ 图象应是什么形状才能验证机械能守恒定律，图线的斜率表示什么？

提示：由 $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ 进行分析。

解析：由 $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ ，可得 $\frac{v^2}{2} = gh \propto h$ ，即 $\frac{v^2}{2}$ 是 h 的正比例函数。所以，根据实验数据绘出的 $\frac{v^2}{2} - h$ 图象应

是通过原点的一条倾斜直线。由 $\frac{v^2}{2} = gh$ 可知， $\frac{v^2}{2} - h$ 图线的斜率表示重力加速度 g 。

点拨：本题给出了验证机械能守恒定律时，进行数据处理的图象方法。另外，利用本实验中得出的 $\frac{v^2}{2} - h$ 图线的斜率还可以

测定重力加速度 g 。

基础巩固

(1) 在“验证机械能守恒定律”的实验中，除天平、铁架台、夹子、纸带和重物外，还需要 ()

- A. 秒表 B. 刻度尺 C. 学生电源 D. 打点计时器

(2) 在“验证机械能守恒定律”的实验中，对于自由下落的重物，下列选择条件中可取的是 ()

- A. 选用重物时，重的比轻的好
B. 选用重物时，体积小的比大的好
C. 重物所受重力应与它所受的空气阻力和纸带所受打点计时器的阻力平衡
D. 重物所受重力应远大于它所受的空气阻力和纸带所受打点计时器的阻力

(3) 在“验证机械能守恒定律”的实验中，下列叙述正确的是 ()

- A. 安装打点计时器时，两纸带限位孔应在同一竖直线上
B. 实验时，在松开纸带让重物下落的同时，应立即接通电源
C. 若纸带上开头打出的几点模糊不清，也可设法用后面清晰的点进行验证
D. 测量重物下落高度必须从起始点算起

(4) 在“验证机械能守恒定律”的实验中：

(1) 现有器材是：打点计时器、低压电源、纸带、带夹子的重物、秒表、刻度尺、天平、导线、铁架台。其中该实验不需要的器材是_____。

(2) 实验时，松开纸带与闭合电源开关的合理顺序是_____。

(3) 实验中，如以要从几条打上点的纸带中挑选第 1、2 两点间的距离接近 _____mm 并且点迹清晰的纸带进行测量。

(4) 某学生在实验中器材安装正确，操作规范，所用交流电的频率为 50Hz，但验证结果是重物增加的动能稍小于它减少的重力势能，其主要原因是_____。

(5) 用打点计时器和重物在自由下落的情况下验证机械能守恒定律的实验中，电源频率为 50 Hz，依次打出的点为 0、1、2、3、4，则

(1) 在图中两条纸带中应选取的纸带是_____，因为_____。

(2) 如从起点 0 到第 3 点之间来验证，必须测量和计算出的物理量为_____，验证的表达式为_____。

(6) 在“验证机械能守恒定律”的实验中，打点计时器所用电源频率为 50Hz，当地重力加速度的值为 9.80m/s^2 ，测得所用重物的质量为 1.00kg 。甲、乙、丙三学生分别用同一装置打出三条纸带，量出各纸带上第 1、2 两点间的距离分别为 0.18cm ， 0.19cm 和 0.25cm ，可见其中肯定有一个学生在操作上有错误，错误操作的同学是：_____。原因是：_____。

若按实验要求正确地选出纸带进行测量，量得连续三点 A，B，C 到第一个点的距离如图所示（相邻计数点时间间隔为

0.02s), 那么,

- (1) 纸带的____端与重物相连;
- (2) 打点计时器打下计数点 B 时, 物体的速度 $v_B =$ _____
- (3) 从起点 O 到打下计数点 B 的过程中重力势能减少量是 $\Delta E_p =$ _____, 此过程中物体动能的增加量 $\Delta E_k =$ _____
- (4) 通过计算, 数值上 ΔE_p ____ ΔE_k (填 “>”、“=”、“<”), 这是因为_____

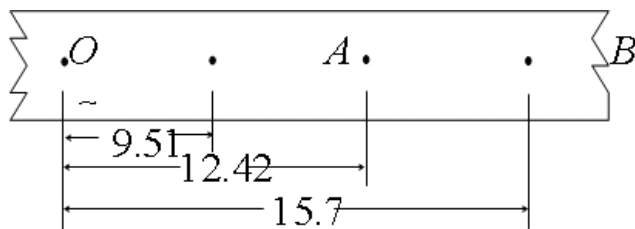
创新探究

(7) 在用落体法验证机械能守恒定律时, 某同学按照正确的操作选得纸带如图。其中 O 是起始点, A、B、C 是打点计时器连续打下的 3 个点。该同学用毫米刻度尺测量 O 到 A、B、C 各点的距离, 并记录在图中 (单位 cm)

- (1) 这三个数据中不符合有效数字读数要求的是_____, 应记作_____cm。

(2) 该同学用重锤在 OB 段的运动来验证机械能守恒, 已知当地的重力加速度 $g = 9.80 \text{ m/s}^2$, 他用 AC 段的平均速度作为跟 B 点对应的物体的即时速度, 则该段重锤重力势能的减少量为_____, 而动能的增加量为_____, (均保留 3 位有效数字, 重锤质量用 m 表示)。这样验证的系统误差总是使重力势能的减少量_____动能的增加量, (填 “>”、“=”、“<”), 原因是_____。

(3) 另一位同学根据同一条纸带, 同一组数据, 也用重锤在 OB 段的运动来验证机械能守恒, 不过他数了一下: 从打点计时器打下的第一个点 O 数起, 图中的 B 是打点计时器打下的第 9 个点。因此他用 $v_B = gt$ 计算跟 B 点对应的物体的即时速度, 得到动能的增加量为_____, 这样验证时的系统误差总是使重力势能的减少量_____动能的增加量, 原因是_____。



(8) 如图中 (b) 所示, 将包有白纸的圆柱棒替代纸带和重物, 蘸有颜料的毛笔固定在马达上并随之转动, 使之替代打点计时器。当烧断挂圆柱棒的线后, 圆柱棒竖直自由落下, 毛笔就在圆柱棒白纸上划出记号, 如图 5—62 (a) 所示, 测得记号之间的距离依次为 26、42、58、74、90、106mm, 已知马达铭牌上有 “1440r/min” 字样, 请说明如何由此验证机械能守恒。

课后练习参考答案

1. BCD 2. ABD 3. AC

4. (1) 该实验不需要的器材是秒表。(2) 实验时, 应先闭合电源开关, 再松开纸带。(3) 第一、二两点间的距离接近 2mm。(4) 纸带受到的摩擦阻力做负功。

5. (1) 在图中两条纸带中应选取的纸带是 (a), 因为物体自由下落时第 1、2 两点间的距离接近 2mm。(2) 测量点 0 和 2 之间的距离 h_{02} 、点 1 和 3 之间的距离 h_{13} , 计算点 2 的瞬时速度 v_2 ; 验证的表达式为 $mgh_{02} = \frac{1}{2}mv_2^2$ 。

6. 丙同学、该同学先放开纸带后接通的电源 (1) 左 (2) 0.98m/s (3) 0.49J、0.48J (4) >、实验中存在阻力不可避免
 7. (1) 0C、15.70 (2) 1.22m、1.20m、大于、v是实际速度, 因为有摩擦生热, 减少的重力势能一部分转化为内能
 (3) 1.23m、小于、v是按照自由落体计算的, 所计算的速度大于实验测得的实际速度.
 8. 其方法如下: ① 由马达铭牌“1440 r/min”算出毛笔画的线距的时间间隔为

$$T = \frac{1}{n} = \frac{60}{1440} \text{ s} \approx 0.04\text{s}.$$

- ② 根据 $v_n = \frac{x_n + x_{n+1}}{2T}$ 算出任意选取的划相邻两条线时圆柱棒的瞬时速度,

$$v_C = \frac{(42+58) \times 10^{-3}}{2 \times 0.04} \text{ m/s} = 1.25 \text{ m/s},$$

$$v_D = \frac{(58+74) \times 10^{-3}}{2 \times 0.04} \text{ m/s} = 1.65 \text{ m/s}.$$

故 $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_D^2 - \frac{1}{2}mv_C^2 = \frac{1}{2}m(v_D^2 - v_C^2) = \frac{1}{2}m \times (1.65^2 - 1.25^2) \text{ J} = 0.58m\text{J},$

而 $-\Delta E_p = mg \cdot CD = m \times 10 \times 58 \times 10^{-3} \text{ J} = 0.58m\text{J},$

可见 $\Delta E_k = -\Delta E_p,$

本题将包有白纸的圆柱棒替代纸带和重物, 蘸有颜料的毛笔固定在马路上并随之转动, 使之替代打点计时器, 从而验证了机械能守恒定律。这种实验方法是对教材中“验证机械能守恒定律”实验的创新。实验器材不同, 但其依据的实验原理及数据处理方法跟教材上的实验是一致的。

7.10 能量守恒定律与能源

三维教学目标

- 1、**知识与技能**：理解能量守恒定律，知道能源和能量耗散；
- 2、**过程与方法**：通过对生活中能量转化的实例分析，理解能量守恒定律的确切含义。
- 3、**情感、态度与价值观**

- (1) 感知我们周围能源的耗散，树立节能意识；
- (2) 通过能量守恒定律的教学，让学生领略物理规律的和谐美和简洁美，发展对科学的好奇心与求知欲。

教学重点：能量守恒定律的内容。

教学难点：理解能量守恒定律的确切含义；能量转化的方向性。

教学方法：教师启发、引导，学生自主阅读、思考，并讨论、交流学习成果。

教学工具：投影仪、教学录像或课件、玻璃容器、沙子、小铁球、水、小木块。

教学过程：

第十节 能量守恒定律与能源

(一) 引入新课

提出问题：我们已学习了多种形式的能，请同学们说出你所知道的能量形式。我们还知道不同能量之间是可以相互转化的，请你举几个能量转化的例子。

演示实验 1：在一个玻璃容器内放入沙子，拿一个小铁球分别从某一高度释放，使其落到沙子中。

思考：小球运动过程中机械能是否守恒？请说出小球运动过程中能量的转化情况。

演示实验 2：在盛有水的玻璃容器中放一小木块，让小木块在水中上下浮动，过一段时间，小木块停止运动。

思考：小木块运动过程中机械能是否守恒？请说出小球运动过程中能量的转化情况。

点评：通过学生举例和演示实验，说明各种形式的能量可以相互转化，增强学生的感性认识，并激发学生的学习兴趣，唤起学生强烈的求知欲。

以上实验表明，各种形式的能量可以相互转化，一种能量减少，必有其他能量增加，一个物体的能量减少，必定其他物体能量增加，能量的总和并没有不化。这就是我们今天要学习的能量守恒定律。

(二) 进行新课

1、能量守恒定律

引导学生阅读教材，说出能量守恒定律的内容，并引用教材上的话，说明能量守恒定律的建立有何重大意义？

历史上曾有人设想制造一种不需要消耗任何能源就可以不断做功的机器，即永动机，这样的机器能不能制成？为什么？

总结能量守恒定律的意义：能量守恒定律的建立过程，是人类认识自然的一次重大的飞跃，是哲学和自然科学长期发展和进步的结果，它是最普遍、最重要、最可靠的自然规律之一，而且是大自然普遍和谐性的一种表现形式，和谐美是科学的魅力所在。

提出问题，引出下一课题：既然能量是守恒的，不可能消灭，为什么我们还要节约能源？

2、能源和能量耗散

引导学生阅读教材，了解人类应用能源的历程，能源对人类社会发展的作用；人类在利用能源的同时也对环境造成了严重污染。

什么是能量耗散？能量耗散与能量守恒是否矛盾，该怎样理解？从能量转化的角度反映出自然界中宏观过程的方向性理解能量的耗散。

理解能量转化的方向性，能量的利用受这种方向性的制约，所以能量的利用是有条件的，也是有代价的。

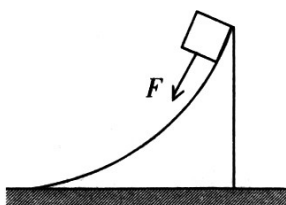
课堂总结：总结课堂内容，培养学生概括总结能力。从而构建他们自己的知识框架。

实例探究

对功能关系的理解

例 1：一小滑块放在如图所示的凹形斜面上，用力 F 沿斜面向下拉小滑块，小滑块沿斜面运动了一段距离。若已知在这过程中，拉力 F 所做的功的大小（绝对值）为 A ，斜面对滑块的作用力所做的功的大小为 B ，重力做功的大小为 G ，空气阻力做功的大小

为 D 。当用这些量表达时，小滑块的动能的改变（指末态动能减去初态动能）等于多少？滑块的重力势能的改变等于多少？滑块机械能（指动能与重力势能之和）的改变等于多少？



解析：根据动能定理，动能的改变等于外力做功的代数和，其中做负功的有空气阻力，斜面对滑块的作用力的功（因弹力不做功，实际上为摩擦阻力的功），因此 $\Delta E_k = A - B + C - D$ ；

根据重力做功与重力势能的关系，重力势能的减少等于重力做的功，因此 $\Delta E_p = -C$ ；

滑块机械能的改变等于重力之外的其他力做的功，因此 $\Delta E = A - B - D$

阅读材料：能量守恒定律的建立过程

能量守恒定律是建立在自然科学发展的基础上的，从16世纪到18世纪，经过伽利略、牛顿，惠更斯、莱布尼茨以及伯努利等许多物理学家的认真研究，使动力学得到了较大的发展，机械能的转化和守恒的初步思想，在这一时期已经萌发。

18世纪末和19世纪初，各种自然现象之间联系相继被发现。伦福德和戴维的摩擦生热实验否定了热质说，把物体内能的变化与机械运动联系起来。1800年发明伏打电池之后不久，又发现了电流的热效应、磁效应和其他的一些电磁现象，这一时期，电流的化学效应也被发现，并被用来进行电镀。在生物学界，证明了动物维持体温和进行机械活动的能量跟它所摄取的食物化学能有关，自然科学的这些成就，为建立能量守恒定律作了必要的准备。

能量守恒定律的最后确定，是在19世纪中叶由迈尔、焦耳和亥姆霍兹等人完成。德国医生迈尔是从生理学的角度开始对能量进行研究的。1842年，他从“无中生有，有不变无”的哲学观念出发，表达了对能量转化和守恒思想，他分析了25种能量的转化和守恒现象，成为世界上最先阐述能量守恒思想的人。英国物理学家焦耳从1840年到1878年将近40年的时间里，研究了电流的热效应，压缩空气的温度升高以及电、化学和机械作用之间的联系，做了400多次实验，用各种方法测定了热和功之间的当量关系，为能量守恒定律的发现奠定了坚实的实验基础。

在1847年，当焦耳宣布他的能量观点的时候，德国学者亥姆霍兹在柏林也宣读了同样课题的论文。在这篇论文里，他分析了化学能、机械能、电磁能、光能等不同形式的能的转化和守恒，并且把结果跟永动机不可能制造成功联系起来，他认为不可能无中生有地创造一个永久的推动力，机器只能转化能量，不能创造和消灭能量。亥姆霍兹在论文里对能量守恒定律作了一个清晰、全面而且概括的论述，使这一定律为人们广泛接受。

在19世纪中叶，还有一些人也致力于能量守恒地研究，他们从不同的角度出发，彼此独立地研究，却几乎同时发现了这一伟大的定律。因此，能量守恒定律的发现是科学发展的必然结果。此时，能量转化和守恒定律得到了科学界的普遍承认。这一原理指出：自然界的一切物质都具有能量，对应于不同的运动形式，能量也有不同的形式，如机械运动的动能和势能，热运动的内能，电磁运动的电磁能，化学运动的化学能等，他们分别以各种运动形式特定的状态参量来表示。当运动形式发生变化或运动量发生转移时，能量也从一种形式转化为另一种形式，从一个系统传递给另一个系统：在转化和传递中总能量始终不变。

恩格斯曾经把能量转化和守恒定律称为“伟大的运动基本规律”，认为它的发现是19世纪自然科学的三大发现之一（另两个发现是细胞学说，达尔文的生物进化论）。