第1讲
运动描述

本讲导学

本讲开始，我们将带领大家完成一个看似不可能完成的任务，30次课系统，扎实的学完高中的物理的所有课程。单独来看期中每一个章节，其实并不难，难就难在短时间内我们的同学会接受很多新的内容。学懂这个课程对于我们同学高中学习战略上的意义我们就不再强调。

我们要强调的是：针对这个课程的特点，我们课程中会特别的强调知识的结构性还有与初中知识的衔接性。在每讲的讲义后面，我们会留出空间让同学们把当天学的内容作出总结与归纳。请大家计跟着老师进行总结，这也是每一个高中物理学的好的同学必做的工作。

知识点睛

一、基本概念

●知识点1　机械运动

物体相对于其他物体的位置变化，叫做**机械运动（mechanical motion）**，简称为运动．车辆的行驶，机器的运转是机械运动；树叶摇摆，雄鹰振翅也是机械运动；河水流动、风（空气的流动）等等，只要是物体间相对位置发生变化，都是机械运动．

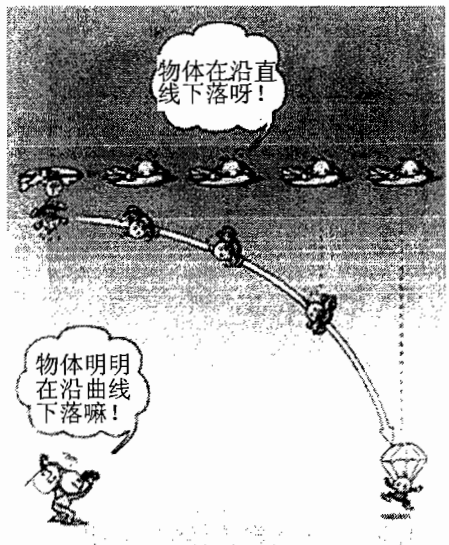
●知识点2　参考系

（1）运动的相对性：

一、基本概念

●知识点1　机械运动

物体相对于其他物体的位置变化，叫做**机械运动（mechanical motion）**，简称为运动．车辆的行驶，机器的运转是机械运动；树叶摇摆，雄鹰振翅也是机械运动；河水流动、风（空气的流动）等等，只要是物体间相对位置发生变化，都是机械运动．



●知识点2　参考系

（1）运动的相对性：

自然界的一切物体都处于永恒的运动之中，绝对静止的物体是不存在的．就此意义而言，我们说运动是绝对的．但是，描述某一个物体的位置及其随时间的变化，却又总是相对于其他物体而言的．这就是运动的相对性．

（2）参考系的定义：

要描述一个物体的运动，首先要选定某个其他物体做参考，观察物体相对于这个“其他物体”的位置是否随时间变化，以及怎样变化．这种用来做参考的物体就叫做**参考系（reference frame）**．实质上，初中课本中提到的参照物也就是这里的参考系．

（3）参考系的选择：

描述一个物体的运动时，参考系可以任意选择．但是，选择不同的参考系来观察同一物体的运动，其结果会有所不同．由于运动描述的相对性，凡是提到运动，都应该弄清楚他是相对哪个参考系而言的．参考系的选择是个重要的问题，选

取得当，会使问题的研究变得简洁、方便.

●知识点 3　平动和转动

在物体上选定任一直线，如果在物体的运动过程中，该直线的位置始终保持彼此平行，这样的运动叫做**平动（translation）**.

如果物体上所有各点都绕同一直线（转轴）作圆周运动，则该运动称为**转动（rotation）**.

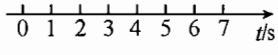
●知识点 4　质点

（1）质点的定义：在某些情况下，可以不考虑物体的大小和形状，这时，我们突出“物体具有质量”这一要素，把它简化为一个有质量的点，称为**质点（mass point）**. 于是，对实际物体运动的描述，就转化成对质点运动的描述.

（2）一个物体能否看作质点需要具体情况具体分析

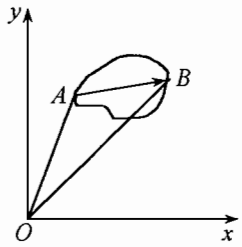
一个物体能否看作质点，一定要对具体情况进行具体分析，要看其大小、形状在所研究的问题中起的作用而定. 例如：一列火车从北京开往上海，在计算运行时间的时候，可以忽略列车的长度，把它视为质点；但是同样这列火车，要计算它通过黄河铁路大桥所需时间时，则必须考虑列车的长度，不可把列车视为质点.

●知识点 5　时间和时刻



时刻是事物运动、发展、变化过程所经历的各个状态先后顺序的标志，时间则是事物运动、发展、变化所经历的过程长短的量度. 时刻和时间可以在时间轴上表示出来，时间轴上的每一个点都表示一个不同的时刻，时间轴上的一段线段表示的是时间，如图所示. “5 秒末”“5 秒时”“第 5 秒初”“第 5 秒末”等指的都是时间轴上具体的点，是时刻而不是时间，“5 秒内”“前 5 秒内”“后 5 秒内”“第 5 秒内”等指的是时间轴上的一段，所以是时间而非时刻. 我们平时所说的“时间”究竟是指时间还是时刻，需要具体情况具体分析.

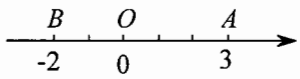
●知识点 6　路程和位移



在初中的课本中我们就已经知道，**路程（path）**是物体运动轨迹的长度，它只有大小，没有方向；一般来说，当物体从某一点 ***A*** 运动到另一点 ***B*** 时，尽管可能沿不同的轨迹，走过不同的路程，但位置的变动是相同的. 在物理学中用一个叫做**位移（displacement）**的物理量来表示物体（质点）的位置变化. 我们从初位置到末位置作一条有向线段，用这条有向线段表示位移.

位移是描述物体位置变化的物理量，既有大小，又有方向，这样的物理量叫做**矢量（vector）**，路程是物体运动轨迹的长度，它只有大小，没有方向，这样的物理量叫做**标量（sealar）**.

●知识点 7　坐标系



如果物体沿直线运动，为了定量描述物体的位置变化，可以以这条直线为 x 轴，在直线上规定原点、正方向和单位长度，建立直线坐标系. 如图所示，若某一物体运动到 A 点，此时它的位置坐标 $x_A = 3\text{m}$，若它运动到 B 点，则此刻它的坐标 $x_B = -2\text{m}$.

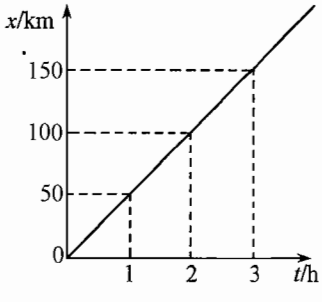
一般来说，为了定量地描述物体的位置及位置的变化，需要在参考系上建立适当的**坐标系（coordinate system）**.

二、位移和时间的关系

●知识点 1　匀速直线运动

（1）定义：**物体在一条直线上运动，如果在任意相等的时间里位移相等，这种运动就叫做匀速直线运动（uniform rectilinear motion）.**

（2）位移—时间图象



在平面直角坐标系中，用横轴表示时间 t，用纵轴表示位移 x，

根据给出的（或测定的）数据，作出几个点的坐标，用直线将几个点连接起来，则这条直线就表示了物体的运动特点．这种图象就叫做位移——时间图象，简称为位移图象．如图所示为汽车自初位置开始．每小时的位移都是5.0×10^4m的$x-t$图象．

【注意】匀速直线运动的图象一定是一条直线．$x-t$图象表示的是位移时间变化的情况，而不是运动的径迹．

●知识点2　变速直线运动

物体在一条直线上运动，如果在相等的时间里位移不相等，这种运动就叫做变速直线运动．

（1）变速直线运动也可以用$x-t$图象表示，但不是直线．

（2）我们所见到沿直线运动的物体，通常都是变速的，匀速直线运动应是一种理想化的模型．

【例1】　一辆汽车沿平直的公路行驶，从经过“200m”路标开始计时，第5s末经过“300m”路标，第10s末经过“400m”路标，第15s末经过“500m”路标，则这辆汽车（　　）

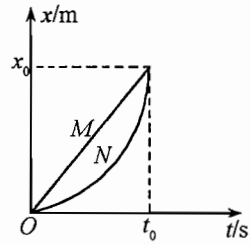
A．一定是匀速直线运动　　B．一定不是匀速直线运动

C．可能是匀速直线运动　　D．以上均不正确

<解析>　匀速直线运动的定义是：物体在一条直线上运动，在相等的时间里位移相等，这里的“相等时间里”应理解为“在任意相等时间里”．本题汽车在前5s内位移为$300\text{m}-200\text{m}=100\text{m}$，第二个5s内位移为$400\text{m}-300\text{m}=100\text{m}$，第三个5s内位移为$500\text{m}-400\text{m}=100\text{m}$，在连续三个相等时间内（5s）内位移相等，此运动可能是匀速直线运动，但也不能说一定是匀速直线运动，因为每个5s内不一定是匀速直线运动．如第一个5s内可能前半段时间汽车加速，后半段时间汽车减速，但位移是100m．只要不是任意相等时间内位移相等，就不能确定为匀速直线运动．因此选项C正确．

<解析>　C

【例2】　如图是M、N两个物体做直线运动的位移——时间图象，由图可知（　　）



A．M物体做匀速直线运动

B．N物体做曲线运动

C．t_0秒内M、N两物体的位移相等

D．t_0秒内M、N两物体的路程相等

<解析>　由图可知，M物体的位移随时间均匀变化，N物体的位移不随时间均匀变化，所以M物体做匀速直线运动，N物体做变速直线运动，选项A正确；计时开始，M、N两物体均起于O点，t_0秒内，M、N两物体都到达s_0位置，其位移都是s_0，所以t_0秒内两物体的位移相等；随着时间的增加，位移一直在变大，且一直沿着s轴正方向运动，对单向直线运动，路程等于位移的大小．

<答案>　A、C、D

三、运动快慢的描述——速度

●知识点1　速度（velocity）

（1）定义：速度v等于物体运动的位移x跟发生这段位移所用时间t的比值．

（2）公式：$v=\dfrac{x}{t}$

（3）物理意义：速度是表示物体运动快慢的物理量.

（4）单位：国际单位制中，速度的单位是“米每秒”，符号是m/s（或$m\cdot s^{-1}$）. 常用的单位还有：千米每时（km/h或$km\cdot h^{-1}$）、厘米每秒（cm/s或$cm\cdot s^{-1}$）等等.

【注意】速度不但有大小，而且有方向，是矢量，其大小在数值上等于单位时间内位移的大小，它的方向跟运动的方向相同.

●知识点2　平均速度（average velocity）

（1）定义：做变速直线运动的物体的位移x跟发生这段位移所用时间t的比值，叫做平均速度.

（2）公式：$\overline{v}=\dfrac{x}{t}$

【注意】平均速度既有大小又有方向，是矢量，其方向与一段时间t内发生的位移的方向相同. 在变速直线运动中，不同时间（或不同位移）内的平均速度一般是不相同的，因此，求出的平均速度必须指明是对哪段时间（或哪段位移）而言的.

●知识点3　瞬时速度（instantaneous velocity）和瞬时速率（instantaneous speed）

运动物体在某一时刻（或某一位置）的速度，叫瞬时速度；瞬时速度的大小叫瞬时速率，有时简称速率.

瞬时速度的物理意义：精确描述物体运动快慢和运动方向的物理量.

对瞬时速度要明确以下五点：

①瞬时速度常称为速度.

②方向性：速度与速率不同，速率只反映质点的运动快慢，而速度却反映质点运动的快慢和方向.

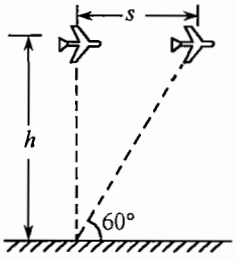
③瞬时性：速度具有瞬时性，一般所提到的速度都是指瞬时速度，它反映物体在某时刻（或某位置）运动的快慢和方向. 所谓匀速运动，实际上是各个时刻的速度都相同.

④相对性：变换参考系时，同一物体的速度对不同参考系而言是不同的.

⑤在$x-t$图象中，某时刻的速度等于此时刻所对应的图线的斜率.

例题精讲
li ti jing jiang

【例3】　一架飞机水平匀速地在某同学头顶飞过，当他听到飞机的发动机声从头顶正上方传来时，发现飞机在他前上方约与地面成60°角的方向上，据此可估算出此飞机的速度约为声速的____倍.



＜解析＞　**声音在空中传播过程可认为是匀速直线运动，飞机在水平方向上也是做匀速直线运动，光的传播时间可忽略不计，按题意可画出示意图如下. 由示意图可知，飞机水平飞行s的时间等于声音从头顶上方传到地面的时间，即：**

$\dfrac{s}{v_{机}}=\dfrac{h}{v_{声}}$，$\dfrac{v_{机}}{v_{声}}=\dfrac{s}{h}=\cot 60°=\dfrac{\sqrt{3}}{3}=0.58$，**故本题填**$0.58$.

＜解析＞　0.58（**或者**$\dfrac{\sqrt{3}}{3}$）

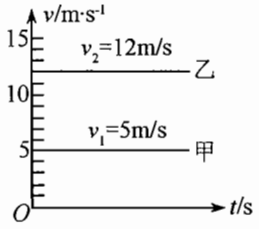
知识点睛

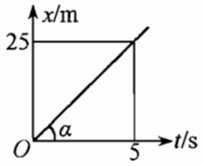
四、速度和时间的关系

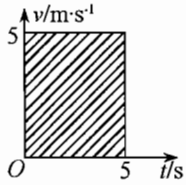
●知识点1　速度—时间图象

（1）匀速直线运动的 $v-t$ 图象

匀速直线运动中，速度的大小和方向不随时间变化．我们以横轴表示时间，纵轴表示速度，在平面直角坐标系中就可作出匀速直线运动的 $v-t$ 图象．如图所示，甲、乙两条图线分别表示两物体以5m/s和12m/s的速度作匀速直线运动．







（2）匀速直线运动的位移

匀速直线运动的位移可由 $x=vt$ 求出，如上图所示甲物体在2s内的位移为

$x=v_1t=5\times2\text{m}=10\text{m}$．

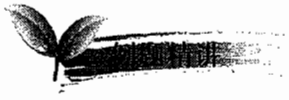
匀速直线运动的位移可由 $x-t$ 图象上直接读出，如上图所示，5s内的位移为25m．

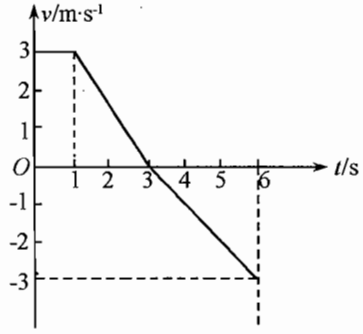
匀速直线运动的位移可由 $v-t$ 图象求得．如上图所示，阴影部分“面积”的大小就等于位移的大小．即5s内位移大小为25m．

●知识点2　变速直线运动

变速直线运动分为匀变速直线运动和非匀变速直线运动两种，其中匀变速直线运动是变速直线运动的一种特殊情况．在变速直线运动中，如果在相等时间内速度的改变相等，这种运动就叫做**匀变速直线运动**（**uniform variable rectilinear motion**）．

在匀变速直线运动中，如果物体的速度随着时间均匀增加，这个运动叫做匀加速直线运动；如果物体的速度随着时间均匀减小，这个运动叫做匀减速直线运动．





【例4】　如图是一质点的速度——时间图象，质点在前3s内的位移和路程各是多少？在前6s内的位移和路程各是多少？

<解析>　**前3s内物体运动方向为正方向，后3s内物体运动方向为负方向，物体在6s内是做往返直线运动．图象中图线与横轴包围的面积的绝对值之和为总路程，代数之和为总位移．**

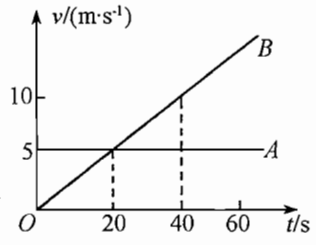
从图中可知，前3s内的位移为 $s_1=1\times3+\frac{1}{2}\times2\times3\text{m}=6\text{m}$

前3s内通过的路程是 $l_1=6\text{m}$

前6s内的路程是 $l_2=[1\times3+\frac{1}{2}\times2\times3+\frac{1}{2}\times3\times3]\text{m}=10.5\text{m}$

前6s内的位移是 $l_2=[1\times3+\frac{1}{2}\times2\times3-\frac{1}{2}\times3\times3]\text{m}=1.5\text{m}$

<答案>　**见解析．**



【例5】　右图为 A、B 两个质点运动的 $v-t$ 图象，同时由同一地点向同一方向做直线运动，从图象可以看出（　　）

A．A 做匀速运动，B 做匀加速运动

B．开始 A 比 B 快，20s后 B 比 A 快

C．20s末 B 追上 A

D．40s末 B 追上 A

<解析>　**图中的 A 表示质点做匀速运动，B 表示质点做匀加速运动．在 $t=20\text{s}$ 之前，质点 A 的速度大于质点 B 的速度，在 $t=20\text{s}$ 之后，质点 B 的速度大于质点 A 的速度，在 $t=20\text{s}$ 时，**

两者速度相等．当A、B两个质点位移相等时相遇，而在图像分析中，$v-t$图像所包围的“面积”表示位移．以横轴0□40s的一段为底边，画竖直虚线与直线A、B相交，构成两个面积相等的矩形和三角形，因此40s末B追上A．

＜答案＞ A、B、D

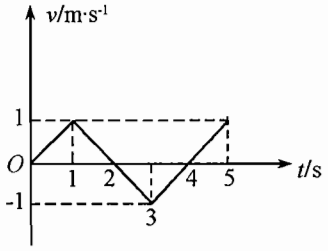
【例6】 一质点沿直线运动时的速度——时间图象如图所示．则以下说法中正确的是（　）

A．第1s末质点的位移和速度都改变方向

B．第2s末质点的位移改变方向

C．第4s末质点的位移为零

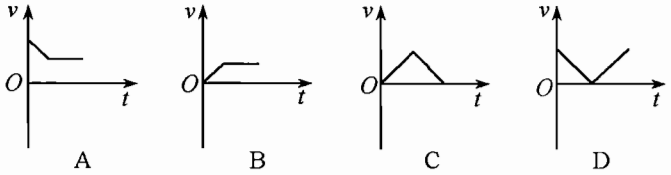
D．第3s末和第5s末质点的位置相同



＜解析＞ 由图中可直接看出，速度方向发生变化的时刻是第2s末、第4s末；而位移在前2s内为正，且逐渐增大，第3、4s内为负，前4s内位移仍为正，第4s末位移为零，第5s内位移又为正，位移改变方向是在4s末．所以，第4s末质点位移为零，第3s末质点位移为0.5m，第5s末质点位移也为0.5m．

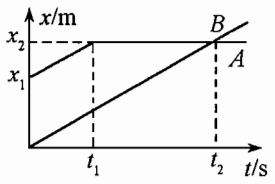
＜答案＞ C、D

【例7】 小球在斜面上从静止开始匀加速下滑，进入水平面后又做匀减速运动直到停止，如图所示速率图象中哪个能正确反映小球的这一运动过程（　）



＜答案＞ C

【例8】 如图所示是质点A与B在同一直线上沿同一方向运动的x—t图像．由图可知（　）



A．$t=0$时，A在B的前面

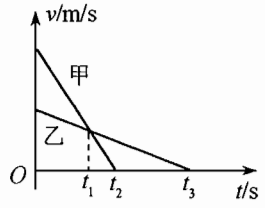
B．B在t_2s追上A，此后B在A的前面

C．在开始阶段B的速度比A大

D．在开始阶段B的速度比A小，t_2s以后B的速度超过A的速度

＜答案＞ A、B

【例9】 如图所示，甲、乙两物体同时、同点沿同一方向做匀减速直线运动，由$v-t$图可知（　）



A．t_1时刻甲在乙前面　　B．t_1时刻乙在甲前面

C．t_1时刻两物体相遇　　D．甲物体先停止运动

＜解析＞ t_1时刻甲图线与轴围成的面积大于乙，故甲在前，乙在后；t_1时刻两物体速度相同，不是相遇；$t_2<t_3$，故甲先停下来．

＜答案＞ A、D

知识点睛

五、速度改变快慢的描述——加速度

●知识点 1　加速度

不同物体的运动，速度变化的快慢往往是不同的．例如，飞机在地面从静止加速到刚离开地面的过程中，速度是逐渐加快的．约在30s内，飞机的速度由0增加到300km/h（相当于83m/s），发射炮弹时，炮弹在炮筒中的速度在0.005s内就可以由0增加到250m/s，显然，炮弹速度的变化要比飞机起飞速度的变化快得多．

（1）定义：为了描述物体运动速度变化的快慢这一个特征，我们引入**加速度（acceleration）**的概念：**加速度是速度的变化量与发生这一变化所用时间的比值**，通常用a代表．

（2）公式：若用Δv表示速度在时间单位间隔Δt内发生的变化，则有：$a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$

有时也使用公式$a=\dfrac{v-v_0}{t}$（$a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}=\dfrac{v-v_0}{t-0}=\dfrac{v-v_0}{t}$）

（3）物理意义：加速度是表示速度改变快慢的物理量．

（4）单位：在国际单位制中，加速度的单位是米每二次方秒，符号是$\mathrm{m/s^2}$或$\mathrm{m\cdot s^{-2}}$．

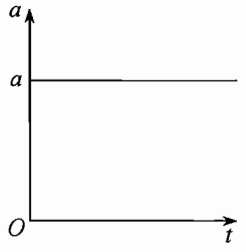
加速度不但有大小，而且有方向，是矢量，在匀变速直线运动中，加速度的方向跟速度的改变量的方向相同．在直线运动中，如果速度增加，加速度的方向与速度的方向相同；如果速度减小，加速度的方向与速度方向相反．

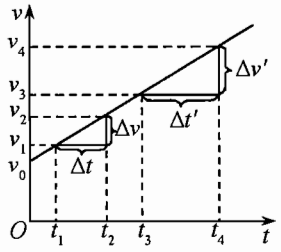
●知识点 2　加速度与速度的区别

比较项目	速度	加速度
物理意义	描述物体运动快慢的物理量	描述物体速度变化快慢的物理量
定义式	$v=\dfrac{x}{t}$或$v=\dfrac{\Delta x}{\Delta t}$	$a=\dfrac{v_t-v_0}{t}$或$a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$
单位	$\mathrm{m/s}$（或$\mathrm{m\cdot s^{-1}}$）	$\mathrm{m/s^2}$（或$\mathrm{m\cdot s^{-2}}$）
方向	与位移x（或Δx）同向	与速度变化量v_t-v_0（或Δv）同向

●知识点 3　匀变速直线运动的特点

根据匀变速直线运动的定义可知，它的加速度是一个恒量，即加速度的大小和方向都不随时间变化，如果用$a-t$图象来描述，匀变速直线运动的$a-t$图象就是一条平行于t轴的直线，匀变速直线运动的$v-t$图象是一条倾斜的直线，图象的斜率是加速度．

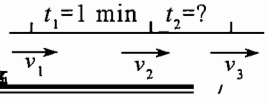




例题精讲

【例10】　火车沿平直铁轨匀加速前进，通过某一路标时速度为10.8km/h，1min后变成54km/h，又需经多少时间，火车的速度才能变成64.8km/h？

＜解析＞　题中给出了火车在三个不同时刻的速度，分别设为v_1、v_2、v_3，火车的运动示意图如图所示．三个不同时刻的速度分别为



$v_1 = 10.8\text{km/h} = 3\text{m/s}$

$v_2 = 54\text{km/h} = 15\text{m/s}$

$v_3 = 64.8\text{km/h} = 18\text{m/s}$

解法Ⅰ：由速度公式 $v_t = v_0 + at$ **得**

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{v_2 - v_1}{t_1} = \frac{15-3}{60}\text{m/s}^2 = 0.2\text{m/s}^2$$

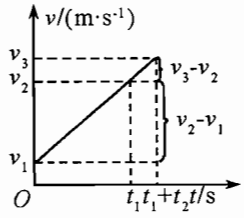
则时间 $t_2 = \frac{v_3 - v_2}{a} = \frac{18-15}{0.2}\text{s} = 15\text{s}$

解法Ⅱ：此运动过程中加速度不变．由于 $a = \frac{\Delta v}{t}$

所以 $\frac{v_2 - v_1}{t_1} = \frac{v_3 - v_2}{t_2}$ **故** $t_2 = \frac{v_3 - v_2}{v_2 - v_1}$

$t_1 = \frac{18-15}{15-3} \times 60\text{s} = 15\text{s}$

解法Ⅲ：用 $v-t$ **图象求解．因为物体加速度不变，其** $v-t$ **图象如图所示，由图中的相似三角形可知：** $\frac{v_3 - v_1}{v_2 - v_1} = \frac{t_1 + t_2}{t_1}$



代入数据 $\frac{18-3}{15-3} = \frac{60+t_2}{60}$

解得 $t_2 = 15\text{s}$

六、匀变速直线运动的规律

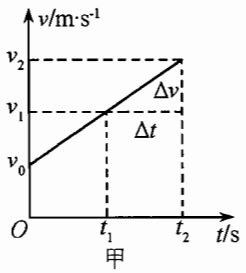
●知识点 1　速度和时间的关系

（1）速度公式的导出：

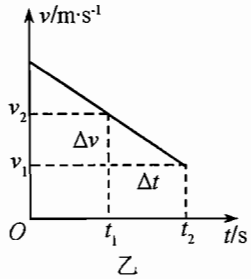
由加速度的定义式 $a = \frac{v_t - v_0}{t}$ 得：$v_t = v_0 + at$

（2）$v-t$ 图象

$v-t$ 图象直观地反映了速度随时间的变化规律，如图所示．根据 $v-t$ 图象，可以确定的是



甲



乙

①初速度的大小 v_0，即图象中纵轴截距．

②判断是加速运动，还是减速运动，在图中，甲是加速的，乙是减速的．

③算出加速度，$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$，即为图线的斜率

④确定某时刻的速度或达到某速度所需要的时间．

●知识点 2　平均速度公式

（1）平均速度的一般表达式：$\bar{v} = \frac{x}{t}$

此式表示作变速运动的物体通过的位移与通过这段位移所用时间的比值为物体在这一段位移

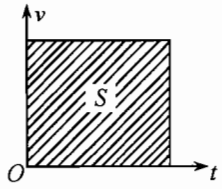
上的平均速度，此式适于任何形式的运动.

（2）匀变速运动的平均速度公式：$\overline{v}=\frac{v_0+v_t}{2}$

即平均速度为初、末速度的算术平均值. 注意：上式成立的条件是物体作匀变速直线运动.

●知识点 3　位移和时间的关系

（1）匀速直线运动的位移 $x=vt$，位移 x 的大小可由 $v-t$ 图象上的“面积”的大小表示，如图所示.



（2）匀变速直线运动的位移

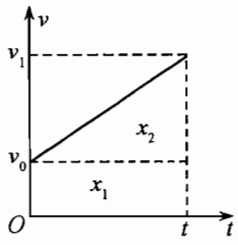
① 根据平均速度的意义，作任何变速运动物体的位移都可表示为 $x=\overline{v}t$，此式具有普遍性，即任何情况下都成立.

而在匀变速直线运动中，平均速度 $\overline{v}=\frac{v_0+v_t}{2}$，所以匀变速直线运动的位移

$$x=\overline{v}t=\frac{v_0+v_t}{2}t$$

② 位移公式 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 的推导

【公式代入法】由于位移 $x=\overline{v}t$，而 $\overline{v}=\frac{v_0+v_t}{2}$，又因为 $v_t=v_0+at$，在此三式中消去 $\overline{v}$ 和 v_t，得到位移公式 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$



【图象法】如图所示为物体作匀变速直线运动的 $v-t$ 图象，在时间 t 内的位移由“面积”的数值可以表示出来. 位移 x 大小等于梯形面积：

$$x=\frac{v_0+v_t}{2}t=\frac{v_0+(v_0+at)}{2}t$$，也即 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$

●知识点 4　速度和位移的关系式

由于 $x=\overline{v}t=\frac{v_0+v_t}{2}t$，又有 $a=\frac{v_t-v_0}{t}$ 即 $t=\frac{v_t-v_0}{a}$，代入前式可得：

$x=\frac{v_0+v_t}{2}\cdot\frac{v_t-v_0}{a}$，即：$2ax=v_t^2-v_0^2$，这便是速度和位移的关系式.

●知识点 5　一般解题方法

（1）确定某一运动过程为研究对象，判断物体运动的性质（匀加速或匀减速运动）

（2）对匀减速运动，设初速度方向为正方向，则加速度为负值，写出各已知量.

（3）代入公式进行计算，并对计算结果作必要讨论.

【例11】　一个物体位移与时间的关系为 $x=5t+5t^2$（x 以 m 为单位，t 以 s 为单位），下列说法中正确的是（　）

A．这个物体的初速度为 2.5m/s　　B．这个物体的加速度为 $10m/s^2$

C．这个物体的初速度为 10m/s　　D．这个物体的加速度方向一定与初速度方向一致

＜解析＞　根据 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 得 $v_0=5m/s$，$\frac{1}{2}a=5m/s^2$．即 $a=10m/s^2$．v_0 与 a 都为正值，二者的方向相同.

＜答案＞　B、D

【例12】　一滑块在斜面上从静止开始做匀加速直线运动，如果在前 5s 内的位移为 50cm，求：



（1）第6s内的位移和前6s内的位移；
（2）第6s初和第6s末的速度；
（3）通过第4个1cm所用的时间.

＜解析＞ 根据位移公式和速度公式进行求解，关键是要先求出加速度.

（1）依题意，$v_0=0$，由$x=\frac{1}{2}at^2$，得$a=\frac{2x}{t^2}=\frac{2\times50}{5^2}\text{cm/s}^2=4\text{cm/s}^2$

第6s内的位移：$x_6-x_5=\frac{1}{2}at_6^2-\frac{1}{2}at_5^2=\frac{1}{2}\times4\times(6^2-5^2)\text{cm}=22\text{cm}$

前6s内的位移：$x_6=\frac{1}{2}at_6^2=\frac{1}{2}\times4\times6^2\text{ cm}=72\text{cm}$

（2）第6s初的速度即第5s末的速度：$v_5=at_5=4\times5\text{cm/s}=20\text{cm/s}$

第6s末的速度：$v_6=at_6=4\times6\text{cm/s}=24\text{cm/s}$

（3）第4个1cm指滑块位置从3cm处变化到4cm处的位移.

$$\Delta t=t_{\text{IV}}-t_{\text{III}}=\sqrt{\frac{2s_{\text{IV}}}{a}}-\sqrt{\frac{2s_{\text{III}}}{a}}=(\sqrt{\frac{2\times4}{2}}-\sqrt{\frac{2\times3}{4}})\text{s}=0.19\text{s}$$

＜答案＞ 第6s内位移为22cm；前6s内位移为72cm；第6s初速度为20cm/s；第6s末速度为24cm/s；通过第4个1cm所用时间为0.19s.

【点评】 首先要分清时间和时刻的概念.时间一般是时间间隔或是时间增量，它等于终止时刻减去起始时刻.前6s内指开始计时到第6s末之间的时间，第6s内指第5s末到第6s末之间的时间.第6s初和第6s末均指时刻.时间与位移、路程、平均速度相对应；时刻与位置、瞬时速度相对应.

【例13】 甲、乙两车同时经同一地点同向运动，甲以16m/s的初速度，2m/s^2的加速度做匀减速直线运动，乙以4m/s的初速度，1m/s^2的加速度和甲同向做匀加速直线运动.求两车再次相遇前两车相距的最大距离和再次相遇时两车运动的时间.

＜解析＞ 当两车速度相同时相距最远，当乙车追上甲车时，两车的位移相等.

解法Ⅰ：当两车速度相同时，两车相距最远，此时两车运动时间为t_1，速度为v_1，则

$v_1=v_{甲}-a_{甲}t_1$，$v_1=v_{乙}+a_{乙}t_1$

两式联立解得：$t_1=\frac{v_{甲}-v_{乙}}{a_{甲}+a_{乙}}=\frac{16-4}{2+1}\text{s}=4\text{s}$

此时两车相距$\Delta x=x_1-x_2=(v_{甲}t_1-\frac{1}{2}a_{甲}t_1^2)-(v_{乙}t_1+\frac{1}{2}a_{乙}t_1^2)$

$=(16\times4-\frac{1}{2}\times2\times4^2)\text{m}-(4\times4+\frac{1}{2}\times1\times4^2)\text{m}=24\text{m}$

当乙车追上甲车时，两车的位移均为x，运动时间均为t，则：

$v_{甲}t-\frac{1}{2}a_{甲}t^2=v_{乙}t+\frac{1}{2}a_{乙}t^2$，解得$t=0$（舍去），$t=8\text{s}$

解法Ⅱ：甲车的位移为$x_{甲}$，则：$x_{甲}=v_{甲}t-\frac{1}{2}a_{甲}t^2$

乙车运动的位移为$x_{乙}$，则：$x_{乙}=v_2t+\frac{1}{2}a_{乙}t^2$

某一时刻两车相距Δx，则：$\Delta x=x_{甲}-x_{乙}=(v_{甲}t-\frac{1}{2}a_{甲}t^2)-v_{乙}t-\frac{1}{2}a_{乙}t^2$

$=(v_{甲}-v_{乙})t-\frac{1}{2}(a_{甲}+a_{乙})t^2=(16-4)t-\frac{1}{2}(2+1)t^2=12t-\frac{3}{2}t^2$

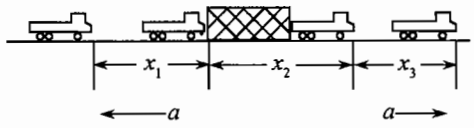
∴当 $t=-\frac{12}{2\times(-\frac{3}{2})}\text{s}=4\text{s}$ 时两车相距最远．此时 $\Delta x=12\times4-\frac{3}{2}\times4^2\text{m}=24\text{m}$ ．

当相遇时，$\Delta x=12t-\frac{3}{2}t^2=0$ ，解得 $t_1=0$（舍去），$t_2=8\text{s}$ ．

本题还可运用图象法求解，在此不再叙述．

【例14】 一列长100m的列车以 $v_0=20\text{m/s}$ 的正常速度运行，当通过1000m长的大桥时，必须以 $v=10\text{m/s}$ 的速度行驶，过桥后再加速到正常速度．设在减速与加速过程中加速度大小不变，均为 0.5m/s^2，求列车因为过桥而延误的时间．

<解析> 从题意分析可知，列车先后经历了三个过程，匀减速—匀速—匀加速，如右图所示．设 v_0 方向为正方向，分步解析如下：



匀减速过程：$t_1=\frac{v-v_0}{a}=\frac{10-20}{(-0.5)}\text{s}=20\text{s}$ ，

$x_1=\frac{v_0+v}{2}\cdot t_1=\frac{20+10}{2}\times20\text{m}=300\text{m}$

匀速过桥过程：$t_2=\frac{x_2}{v}=\frac{1000+100}{10}\text{s}=110\text{s}$ ，$x_2=1100\text{m}$

匀加速过程：$t_3=\frac{v_0-v}{a}=\frac{20-10}{0.5}\text{s}=20\text{s}$ ，$x_3=x_1=300\text{m}$（对称性）

列车全过程：总时间 $t=t_1+t_2+t_3=(20+110+20)\text{s}=150\text{s}$

总位移 $x=x_1+x_2+x_3=1700\text{m}$

若列车以正常速度运行（$v_0=20\text{m/s}$）完成这段位移，运动时间应为 $t_0=\frac{x}{v_0}=\frac{1700}{20}\text{s}=85\text{s}$

因此，列车因为过桥而延误的时间 $\Delta t=t-t_0=(150-85)\text{s}=65\text{s}$

<答案> 65s

【点评】 （1）列车车通过大桥时，解答中不能将列车视为质点，因为车尾过了大桥才算列车通过大桥，所以匀速运动阶段的位移为1100m；而在匀减速和匀加速阶段，列车应视为质点考虑．

（2）涉及比较复杂的运动过程，应遵循以下步骤：

①分清各阶段的运动性质，画出运动草图，在图上标出已知量和未知量；

②找出各阶段运动上的联系，例如速度、时间、位移、加速度等物理量间的关系；

③根据各段不同的运动特点，选用对应的运动学公式求解，巧用平均速度公式，可简化解答．

潮汐产生的原因

到过海边的人都知道，海水有涨潮和落潮现象。涨潮时，海水上涨，波浪滚滚，景色十分壮观；退潮时，海水悄然退去，露出一片海滩。我国古书上说：“大海之水，朝生为潮，夕生为汐。”那么，潮汐是怎样产生的？

古时候，很多贤哲都探讨过这个问题，提出过一些假想。古希腊哲学家柏拉图认为地球和人一样，也要呼吸，潮汐就是地球的呼吸。他猜想这是由于地下岩穴中的振动造成的，就像人的心脏跳动一样。

随着人们对潮汐现象的不断观察，对潮汐现象的真正原因逐渐有了认识。我国古代余道安在《海潮图序》一书中说：“潮之涨落，海非增减，盖月之所临，则之往从之。”汉代思想家王充在《论衡》中写到：“涛之起也，随月盛衰。”他们都指出了潮汐与月球有关系。到了 17 世纪 80 年代，英国科学家牛顿发现了万有引力定律以后，提出了潮汐是由于月球和太阳对海水的吸引力引起的假设，从而科学地解释了潮汐产生的原因。

原来，海水随着地球自转也在旋转，而旋转的物体都受到离心力的作用，使它们有离开旋转中心的倾向，这就好象旋转张开的雨伞，雨伞上水珠将要被甩出去一样。同时海水还受到月球、太阳和其它天体的吸引力，因为月球离地球最近，所以月球的吸引力较大。这样海水在这两个力的共同作用下形成了引潮力。由于地球、月球在不断运动，地球、月球与太阳的相对位置在发生周期性变化，因此引潮力也在周期性变化，这就使潮汐现象周期性地发生。



第2讲
匀变速运动

一、匀变速直线运动规律的应用

●知识点1　匀变速直线运动的公式

（1）速度公式： $v_t = v_0 + at$（由加速度的定义式 $a = \dfrac{v_t - v_0}{t}$ 可以直接推导得出）

（2）平均速度公式： $\overline{v} = \dfrac{v_0 + v_t}{2}$

（3）位移公式： $x = v_0 t + \dfrac{1}{2}at^2$

由于位移 $x = \overline{v}t$，$\overline{v} = \dfrac{v_0 + v_t}{2}$，又有 $v_t = v_0 + at$，在此三式中消去 $\overline{v}$ 和 v_t，即得到位移公式.

（4）速度—位移公式： $2ax = v_t^2 - v_0^2$

由于 $x = \overline{v}t = \dfrac{v_0 + v_t}{2}t$，又有 $a = \dfrac{v_t - v_0}{t}$ 即 $t = \dfrac{v_t - v_0}{a}$，代入前式可得：

$x = \dfrac{v_0 + v_t}{2} \cdot \dfrac{v_t - v_0}{a}$，即：$2ax = v_t^2 - v_0^2$

●知识点2　匀变速直线运动的推论

（1）在连续相等的时间内的位移之差为恒定值 $\Delta x = at^2$

推导（一）：如果物体做匀变速直线运动，那么对于连续相等相隔为 t 的时间，第 n 个 t 时间段的位移为：$x_n = \overline{v}t = \dfrac{v_{n-1} + v_n}{2}t = \dfrac{[v_0 + a\cdot(n-1)\ t] + (v_0 + a\cdot nt)}{2}t = v_0 t + \dfrac{1}{2}a \cdot \dfrac{2n-1}{2}t$

同理有：$x_{n-1} = v_0 t + \dfrac{1}{2}a \times \dfrac{2(n-1)-1}{2}t$

故任意连续相等时间 t 内的位移之差为：$\Delta x = x_n - x_{n-1} = at^2$

推导（二）：设物体在第一段 t 时间段的初速度为 v_0，第二段 t 时间段的初速度为 v_1，则有：

$x_1 = v_0 t + \dfrac{1}{2}at^2$，$x_2 = v_1 t + \dfrac{1}{2}at^2$，$v_1 = v_0 + at$

故：$x_2 - x_1 = \left[(v_0 + at)\ t + \dfrac{1}{2}at^2\right] - (v_0 t + \dfrac{1}{2}at^2) = at^2$

（2）某段时间中间时刻的瞬时速度等于这段时间内的平均速度 $v_{\frac{t}{2}} = \dfrac{v_0 + v_t}{2}$

对于匀变速直线运动而言，某时间中间时刻的瞬时速度应为：

$$v_{\frac{t}{2}} = v_0 + a\cdot\frac{t}{2} = \frac{2v_0 + at}{2} = \frac{v_0 + (v_0 + at)}{2} = \frac{v_0 + v_t}{2}$$

（3）某段位移内中间位置的瞬时速度等于 $v_{\frac{x}{2}} = \sqrt{\dfrac{v_0^2 + v_t^2}{2}}$

对于某段位移x，若它的初速度为v_0，末速度为v_t，那么有$2ax=v_t^2-v_0^2$；同理，完成$\frac{1}{2}x$时，有：$2a\cdot\frac{1}{2}x=v_{\frac{x}{2}}^2-v_0^2$，即$v_t^2-v_0^2=2(v_{\frac{x}{2}}^2-v_0^2)$，解得：$v_{\frac{x}{2}}=\sqrt{\frac{v_0^2+v_t^2}{2}}$

例题精讲

【例1】 一个质点从静止开始做匀加速直线运动，已知它在第4s内的位移是14m，求它前进72m所用的时间.

<解析> 质点在第4s内的位移，就是它在前4s内位移x_4和前3s内位移x_3之差，即$x_{\text{Ⅳ}}=x_4-x_3$

根据匀变速直线运动位移公式，因为初速度为零，所以$x=\frac{1}{2}at^2$则有

$x_{\text{Ⅳ}}=x_4-x_3=\frac{1}{2}a\times4^2-\frac{1}{2}a\times3^2=14\text{m}$，解得质点运动的加速度为$a=4\text{m/s}^2$，质点前进72m所用的时间，由公式$x=\frac{1}{2}at^2$得$t=\sqrt{\frac{2x}{a}}=\sqrt{\frac{2\times72}{4}}s=6\text{s}$

<答案> 6s

【例2】 一小汽车从静止开始以3m/s^2的加速度行驶，恰有一自行车以6m/s的速度从车边匀速驶过.

（1）汽车从开动后在追上自行车之前经多长时间后两者相距最远？此时距离是多少？

（2）什么时候追上自行车，此时汽车的速度是多少？

<解析> 解法一：

（1）以自行车为参考系，汽车追上自行车之前初速$v_0=v_{汽}-v_{自}=0-6\text{m/s}=-6\text{m/s}$，加速度$a=a_{汽}-a_{自}=3\text{m/s}^2$.

汽车远离自行车减速运动（于自行车对地运动方向相反），当末速为$v_t=0$时，相对自行车最远.

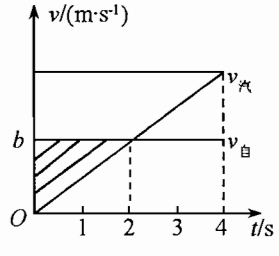
$v_t-v_0=at$，$t=\frac{-v_0}{a}=\frac{6}{3}\text{s}=2\text{s}$，即2s后二者相距最远

$v_t^2-v_0^2=2ax$，$x=\frac{-v_0^2}{2a}=-6\text{m}$，二者相距6m，负号表示汽车比自行车落后.

（2）当汽车追上自行车时，两车位移相等.$v_{自}\cdot t'=\frac{1}{2}at'^2$，代入数值得$t'=4\text{s}$，

$v'_{汽}=at'=3\times4\text{m/s}=12\text{m/s}$

解法二：如右图所示，作出$v-t$图.



（1）设相遇前ts两车速度相等，$v_{汽}=a\cdot t=6\text{m/s}$，即$3t=6$，解得$t=2\text{s}$时两车相距最远.两车的位移差$\Delta x=\frac{1}{2}\times6\times2\text{m}=6\text{m}$

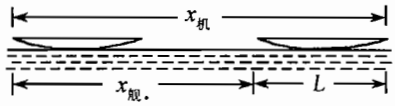
（2）由图知，$t=2\text{s}$以后，若两车位移相等，即$v-t$图象与时间轴所夹的“面积”相等.

由几何关系知，相遇时间为$t'=4\text{s}$，此时$v_{汽}=2v_{自}=12\text{m/s}$

<答案> （1）2s，6m （2）12m/s

【例3】 美国“肯尼迪”号航空母舰上飞机跑道长90m，在跑道一端停有“F－15”型战斗机，已知“F－15”型战斗机在跑道上加速时可产生的最大加速度为5.0m/s²，飞机起飞速度为50m/s，要想该飞机在此舰上正常起飞，航空母舰应沿起飞方向至少以多大的速度匀速航行?

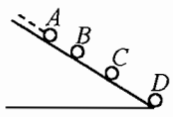
<解析> 设飞机刚好能从舰上正常起飞时，航空母舰航行速度大小为v_0，飞机起飞过程所需时间为t，由图中位移关系得：$x_{机}-x_{舰}=L$，即$v_0t+\frac{1}{2}at^2-v_0t=L$，解得$t=6\text{s}$，



对飞机$v_t=v_0+at$，所以 $v_0=v_t-at=(50-5.0\times6)\text{m/s}=20\text{m/s}$

<解析> 20m/s

【例4】 从斜面上某一位置，每隔0.1s释放一颗小球，在连续释放几颗后，对在斜面上滑动的小球拍下照片，如图所示，测得$x_{AB}=15\text{cm}$，$x_{BC}=20\text{cm}$，试求：



（1）小球的加速度.

（2）拍摄时B球的速度$v_B=?$

（3）拍摄时$x_{CD}=?$

（4）A球上面滚动的小球还有几颗?

<解析> 释放后小球都做匀加速直线运动，每相邻两球的时间间隔均为0.1s，可以认为A、B、C、D各点是一个球在不同时刻的位置.

（1）由$a=\frac{\Delta x}{T^2}$知，小球的加速度

$$a=\frac{x_{BC}-x_{AB}}{T^2}=\frac{20-15}{0.1^2}\text{cm/s}^2=500\text{cm/s}^2=5\text{m/s}^2$$

（2）B点的速度等于AC段上的平均速度即$v_B=\frac{x_{AC}}{2T}=\frac{15+20}{2\times0.1}\text{cm/s}=1.75\text{m/s}$

（3）由于相邻相等时间的位移差恒定

即$x_{CD}-x_{BC}=x_{BC}-x_{AB}$

所以$x_{CD}=2x_{BC}-x_{AB}=40\text{cm}-15\text{cm}=25\text{cm}=0.25\text{m}$

（4）设A点小球速度为v_A

由于$v_B=v_A+aT$

则$v_A=v_B-aT=(1.75-5\times0.1)\text{m/s}=1.25\text{m/s}$

所以A球的运动时间$t_A=\frac{v_A}{a}=\frac{1.25}{5}\text{s}=0.25\text{s}$

故在A球上方正在滚动的小球还有2颗.

知识点睛

二、自由落体运动

●知识点1　自由落体运动

（1）定义：**物体只在重力作用下从静止开始下落的运动，叫自由落体运动（free-fall motion）.** 这种运动只在没有空气的空间才能发生，在有空气的空间，如果空气阻力的作用比较小，可以忽略，物体的下落也可以近似看作自由落体运动.

（2）特点：① 初速度 $v_0=0$

② 受力特点：只受重力作用，没有空气阻力或空气阻力可忽略不计.

③ 加速度是重力加速度 g，其大小不变，方向始终竖直向下.

（3）运动性质：自由落体运动是初速度为零加速度为 g 的匀加速直线运动.

●知识点2　自由落体运动的规律

（1）速度公式 $v_t=gt$

由于做自由落体运动的物体只受重力作用，其运动性质是初速度为零加速度为 g 的匀加速直线运动. 故 $v_t=v_0+at=0+gt=gt$

（2）下落高度 $h=\frac{1}{2}gt^2$

下落高度实质上即是物体做初速度为零加速度为 g 的匀加速直线运动的位移：

$$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2=0+\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}gt^2\ （也即\ h=\frac{1}{2}gt^2）$$

（3）下落时间 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$

由下落高度 $h=\frac{1}{2}gt^2$，可以解得：下落高度 h 所需要的时间为 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$

（4）落地速度 $v=\sqrt{2gh}$

物体从高 h 处开始做自由落体运动，落地所需时间为 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$，

此时速度应为：　$v=0+gt=g\cdot\sqrt{\frac{2h}{g}}=\sqrt{2gh}$

例题精讲

【例5】　一个物体从塔顶上下落，在到达地面前最后1s内的位移是整个位移的 $\frac{9}{25}$，求塔高.

<提示>　整个位移 $h=\frac{1}{2}gt^2$. 物体下落后 $(t-1)$s 内的位移是 $h'=\frac{1}{2}g(t-1)^2$. 最后1s内的位移是 $h-h'$.

<解析>　据题意，物体最后1s内的位移是整个位移的 $\frac{9}{25}$，所以 $(t-1)$s 内的位移是整个位移的 $\frac{16}{25}$. 即 $\frac{h'}{h}=\frac{16}{25}$. 而 $h=\frac{1}{2}gt^2$ ，$h'=\frac{1}{2}g(t-1)^2$ ，由此得 $\frac{(t-1)^2}{t^2}=\frac{16}{25}$ ，$\frac{t-1}{t}=\frac{4}{5}$ ，解得 $t=5$s .

$h=\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}\times9.8\times5^2\,\text{m}=122.5\,\text{m}$

<答案>　122.5m

【例6】　一矿井深为125m，在井口每隔相同的时间间隔落下一小球，当第11个小球刚从井口开

始下落时，第1个小球恰好达到井底，则相邻两个小球开始下落的时间间隔为多少，这时第9个小球与第7个小球相距多少米？（g取10m/s）

<解析> 设每隔时间T落下一小球，则第1个小球运动的时间是$10T$，第9个小球运动的时间是$2T$，第7个小球运动的时间是$4T$，由位移公式$h=\frac{1}{2}gt^2$，得$125=\frac{1}{2}\times10\times(10T)^2$，$T=0.5\text{s}$，$h_7=\frac{1}{2}\times10\times2^2\,\text{m}=20\text{m}$，$h_9=\frac{1}{2}\times10\times1^2=5\text{m}$，这时第9个小球与第7个小球相距15m．

<答案> 时间间隔为0.5s，第9个小球与第7个小球相距15m．

三．运动的合成与分解

1. 矢量的合成与分解

矢量的合成与分解的基本方法是平行四边形法则，即两分量构成平行四边形的两邻边，合矢量为该平行四边形与两分量共点的对角线。由平行四边形法则又衍生出三角形法则，多个矢量的合成又可推导出多边形法则。

同一直线上的矢量的合成与分解可以简化为代数运算，由此，不在同一直线上的矢量的合成与分解一般通过正交分解法进行运算，即把各个矢量向互相垂直的坐标轴投影，先在各轴上进行代数运算之后，再进行矢量运算。

2. 运动的合成和分解

运动的合成与分解是矢量的合成与分解的一种。运动的合成与分解一般包括位移、速度、加速度等的合成与分解。运动的合成与分解的特点主要有：

①运动的合成与分解总是与力的作用相对应的；

②各个分运动有互不相干的性质，即各个方向上的运动与其他方向的运动存在与否无关，这与力的独立作用原理是对应的；

③位移等物理量是在一段时间内才可完成的，故他们的合成与分解要讲究等时性，即各个运动要取相同时间内的位移；

④瞬时速度等物理量是指某一时刻的，故它们的合成分解要讲究瞬时性，即必须取同一时刻的速度。

【例7】 河宽$d=60\text{m}$，水流速度$v_1=6\text{m/s}$，小船在静水中的速度$v_2=3\text{m/s}$，问：

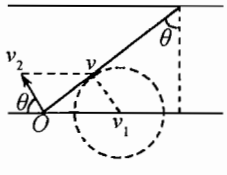
（1）要使它渡河的时间最短，则小船应如何渡河?最短时间是多少?

（2）要使它渡河的航程最短，则小船应如何渡河?最短的航程是多少?

<解析> （1）要使小船渡河时间最短，则小船船头应垂直河岸渡河，渡河的最短时间

$$t_{\min}=\frac{d}{v_2}=\frac{60}{3}\text{s}=20\text{s}\ .$$

（2）渡河航程最短有两种情况：①船速v_2大于水流速度v_1时，即$v_2>v_1$时，合速度v与河岸垂直时，最短航程就是河宽；②船速v_2小于水流速度v_1时，即$v_2<v_1$时，合速度v不可能与河岸垂直，只有当合速度v方向越接近垂直河岸方向，航程越短．可由几何方法求得，即以v_1的末端为圆心，以v_2的长度为半径作圆，从v_1的始端作此圆的切线，





该切线方向即为最短航程方向，如图所示．

设航程最短时，船头应偏向上游河岸与河岸成θ角，则$\cos\theta=\frac{v_2}{v_1}=\frac{3}{6}=\frac{1}{2}$，得$\theta=60°$，最短航程$x=\frac{d}{\cos\theta}=\frac{60}{\frac{1}{2}}\text{m}=120\text{m}$，小船的船头与上游河岸成60°角时，渡河能航程最短，为120m．

【例8】 在封闭的玻璃管中注满清水，水中放一蜡球(直径略小于玻璃管内径)，将蜡球调至管的最低点，使玻璃管竖直放置，在蜡球上升的同时将玻璃管水平向右移动.假设从某时刻 t=0 开始，蜡球在玻璃管内每 1 s 上升的高度都是 5 cm,从 t=0 开始，玻璃管向右匀加速平移，每隔 1 s 通过的水平位移依次是 4 cm,12 cm,20 cm,28 cm,…,试分析、计算：

(1)蜡球实际做直线运动还是曲线运动，简述你的理由.

(2)蜡球在 t=1s 时的运动速度

<解析>（1）显然曲线，因为两个方向位移比不固定

（2）竖直方向速度为 5cm/s,水平加速度 8cm/s^2,t=1s 速度$\sqrt{5^2+8^2}=\sqrt{89}$ cm/s



三、平抛运动

1．定义：将物体以一定的速度沿水平方向抛出，不考虑空气阻力，物体只在重力作用下所做的运动．

2．对平抛运动的理解．

（1）平抛运动的初速度是水平的，受到恒力——重力的作用，其方向竖直向下．

（2）平抛运动中，一开始重力与速度方向垂直，后来在重力的作用下，物体的速度方向不断向重力方向靠近，但始终不能相同．

（3）平抛运动是曲线运动中的一个特例，平抛运动尽管加速度是恒定的，但速度大小和方向都是不断发生改变的，是最简单的曲线运动．

（4）平抛运动是在竖直面内进行的，轨迹是一条抛物线．

3．平抛运动的性质

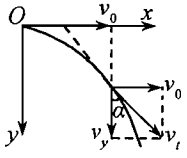
因只受重力，故其加速度恒为重力加速度g，是匀变速曲线运动．

4．平抛运动的规律

（1）研究方法：根据做平拖运动的物体的初始状态和受力情况，把平抛运动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．

（2）规律：

①加速度：由于水平方向不受外力，所以$a_x=0$；竖直方向只受重力作用，所以$a_y=g$，合加速度$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}=g$，方向竖直向下．



②速度：如图所示，$v_x=v_0$，$v_y=gt$．合速度$v_1=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{v_0^2+g^2t^2}$，与竖直方向夹角为$\alpha$，则$\tan\alpha=\frac{v_x}{v_y}=\frac{v_0}{gt}$．

位移：水平方向匀速直线运动位移$x=v_0t$，竖直方向自由落体运动位移$y=\frac{1}{2}gt^2$．

5．对平抛运动规律的进一步理解

（1）平抛运动的轨迹为抛物线，坐标x、y的关系为$y=\frac{g}{2v_0^2}x^2$，即属于抛物线方程，说明平抛运动在竖直平面内的轨迹是抛物线．

（2）水平方向和竖直方向的两个分运动是相互独立的，其中每个分运动都不会影响另一个分运动.

（3）水平方向和竖直方向的两个分运动及合运动具有等时性，运动时间由自由落体运动决定，$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$，与抛出时的初速度v_0无关.

（4）平抛运动的水平射程：$x=v_0t=v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$

（5）与匀变速直线运动的比较

相同点：①它们的加速度都是恒定的，都属于匀变速运动. ②都可以分解为两个直线运动去分析.

不同点：①平抛运动的位移、速度属于二维问题，必须根据平行四边形定则才能得以解决；匀变速直线运动属于一维问题，化成代数运算，可直接计算. ②平抛运动的加速度是重力加速度，而匀变速直线运动的加速度大小和方向是任意的，只要恒定.

典例精讲

【例9】 A、B两小球同时从距地面高为$h=15\text{m}$处的同一点抛出，初速度大小均为$v_0=10\text{m/s}$. A球竖直向下抛出，B球水平抛出，空气阻力不计，重力加速度取$g=10\text{m/s}^2$. 求：

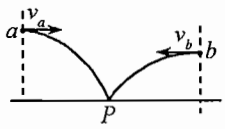
（1）A球经多长时间落地？

（2）A球落地时，A、B两球间的距离是多少？

<解析> （1）A球做竖直下抛运动$h=v_0t+\frac{1}{2}gt^2$，将$h=15\text{m}$，$v_0=10\text{m/s}$代入，可得$t=1\text{s}$.

（2）B球做平抛运动$x=v_0t$，$y=\frac{1}{2}gt^2$，将$v_0=10\text{m/s}$，$t=1\text{s}$代入，可得$x=10\text{m}$，$y=5\text{m}$. 此时A球与B球的距离L为$L=\sqrt{x^2+(h-y)^2}$，将x，y，h数据代入，得$L=10\sqrt{2}\text{m}$.

【例10】 如图所示，在同一竖直面内，小球a、b从高度不同的两点，分别以初速度v_a和v_b沿水平方向抛出，经过时间t_a和t_b后落到与两抛出点水平距离相等的P点. 若不计空气阻力，下列关系式正确的是（　）



A. $t_a>t_b$，$v_a<v_b$　　B. $t_a>t_b$，$v_a>v_b$

C. $t_a<t_b$，$v_a<v_b$　　D. $t_a<t_b$，$v_a>v_b$

<解析> 由于物体做平抛运动，在竖直方向上$h=\frac{1}{2}gt^2$，$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$，因$h_a>h_b$，故$t_a>t_b$，因$t=\frac{x}{v}$，由于水平方向$x_a=x_b$，$t_b<t_a$，所以$v_b>v_a$，故A项正确.

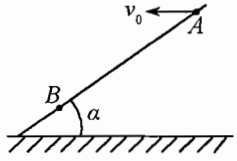
命题思路：本题主要考查平抛运动的知识. 由于a，b两球在水平方向上的位移相等，由$x=vt$很容易得出结论.

<答案> A

【例11】 如图所示，在水平方向成α角的斜坡上的A点，以初速v_0水平抛出一物体，物体落在同一坡上的B点，求：

（1）物体的飞行时间及A、B间距离；

（2）抛出后经多长时间物体离开斜面距离最大，最大距离是多少？



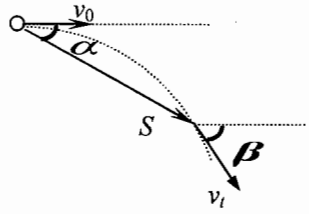
<解析> 求解平抛运动，按常规思路，应该将运动沿水平和竖直两个方向分解，但这种方法对（2）的解答极为不利，因为（2）中需要利用平行于斜面方向和垂直于斜面方向上的分运动. 下面对（1），（2）两问分别用不同的分解方法求解.



（1）设 AB 间距离为 L，由 A 到 B 时间为 t，则在水平方向有 $L\cos\alpha = v_0 t$，在竖直方向有 $L\sin\alpha = \frac{1}{2}gt^2$．解得 $t = \frac{2v_0\tan\alpha}{g}$，$L = \frac{2v_0^2\tan\alpha}{g\cos\alpha}$

（2）在垂直于斜面方向上，物体的运动类似于竖直上抛运动，其初速度为 $v_{0y} = v_0\sin\alpha$，加速度为 $a_y = g\cos\alpha$，当物体离斜面距离最大时，垂直于斜面方向上的速度为 0，故有 $t' = \frac{v_{0y}}{a_y} = \frac{v_0\tan\alpha}{g}$；最大距离 $y = \frac{v_{0y}^2}{2a_y} = \frac{(v_0\sin\alpha)^2}{2g\cos\alpha}$．

【例12】 一个物体做平抛运动，位移方向与水平方向之间的夹角为 α，某时刻它的速度方向与水平方向之间的夹角为 β，如图所示，请证明 $2\tan\alpha = \tan\beta$



电子计算机

电子计算机包括模拟计算机和数字计算机两大类，都具有度量和计算的简单观念。然而通常所指的计算机，都指数字计算机而言。实际上，每架大型的数字计算机，包括有成千个恒温器，求积计和小型模拟计算机，这些仪器都是以度量他量，来计算某量的。电子计算机的构造极为复杂，通常可分为输入、输出、记忆、计算及控制五大部分。又记忆、计算及控制三大部分称之为“中央处理机”。电子计算机的计算，是有一定的法则。通常它在作计算或逻辑运算时，已有一部分的法则储存于电子计算机中，其余的法则如数目字或指令，则由外界输入。因此，电子计算机在作运算时，必须将许多输入资料事先存储于记忆单位，然后再根据需要，依次自储存单位取出，进行计算。记忆单位与计算单位是相互沟通的，记忆单位所存储的资料，送入计算单位中，经过运算后的结果，再送回记忆单位储存。此外，指令执行的先后次序，必须根据需要而且有一定的规则，因此电子计算机除了以上两单位外，必须有一控制单位，来执行所需要的指令。经由计算的结果，并不能永远储存于记忆单位，必须取出，而用数目字或字母表达于报表或卡片上。电子计算机的功能，除了可以预测变幻无常的气象、进行医疗诊断，帮助引导人们到月球去，加强各大城市之间的通讯等。电子计算机还有绘制建筑图样和商业图表的能力，并被用来绘制各种美术图案。现在电子计算机已成为现代化办公室不可缺少的手段，在发达的国家电子计算机已进入家庭和生活中。



第3讲
力与平衡

一、力

●知识点1　力的概念

力（force）是物体间的相互作用．其国际单位是**牛顿（newton）**，简称牛，符号是**N**．

任何力都有四个基本属性，即物质性、相互性、瞬时性和方向性．

（1）力的物质性：物质性指力不能离开施力物体和受力物体而独立存在，即只要有力，必须同时存在施力物体和受力物体．一个力应对应两个物体．

【注意】力的作用可以是直接作用也可以是间接作用，两个物体不一定要接触．

（2）力的相互性：相互性指力是物体与物体间的相互作用，施力物体同时也是受力物体．

【注意】力总是成对出现的：物体间的作用是相互的，这两个力同时产生，同时消失，而且性质相同．这一对力称为一对相互作用力或称为一对作用力与反作用力．

（3）力的瞬时性：瞬时性指物体间的相互作用（力）随这种相互作用的施加与否而瞬时同步有无．

（4）力的方向性：方向性指力是有大小和方向的物理量，我们把这种既有大小又有方向的物理量称为矢量，所以力是矢量．

●知识点2　力的作用效果

力可以使物体发生形变，也可以改变物体的运动状态，即改变物体运动速度的大小和方向．

力的作用效果可以分为两种：

（1）静力效果——使物体的形状发生变化（形变），如把物体拉伸、压缩、转、剪切等．

（2）动力效果——改变物体的运动状态，如使物体从静止开始运动，从运动变为静止（或使物体的运动速度从小变大、从大变小）；或使物体的运动方向发生变化等．

二、重力

●知识点1　重力的产生

由于受到地球的吸引而使物体受到的力叫**重力（gravity）**．

●知识点2　重力的特点

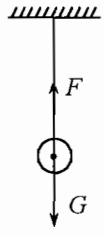
（1）地球上的一切物体都受到重力的作用．

（2）重力是非接触力：抛出去在空中运动的物体与静止时所受重力是不变的．

（3）重力的施力物体是地球．

●知识点3　重力的三要素

（1）重力的大小：重力与质量的关系是$G=mg$，通常取$g=9.8\text{N/kg}$，g的物理意义是：1kg的物体所受重力的大小是9.8N．粗略计算时$g=10\text{N/kg}$．重力的大小可以用弹簧测力计测出，其大小在数值上等于物体静止时对水平支持物的压力或对竖直悬绳的拉力．



（2）重力的方向：总是竖直向下，与当地的水平面垂直，可由铅锤线确定．重力的方向不受其他作用力的影响，与运动状态也没有关系．

【注意】切不可说成垂直向下，因为平面不一定水平，其垂直向下的方向也不同，另外，重力的方向也不一定指向地心．

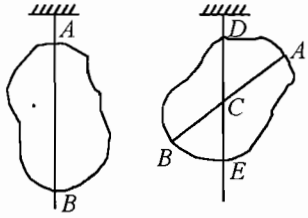
（3）重力的作用点：重力的作用点在物体的**重心（center of gravity）**上．

重心是重力的等效作用点，并不是重力的实际作用点，也不一定在物体上．物体重心的位置

由物体的形状及质量分布情况所决定，与物体的放置状态无关，与物体的运动状态无关.

●知识点 4　薄板重心的求法——悬挂法

对于质量分布不均匀、形状不规则的薄板状物体，可用悬挂法确定其重心的位置. 具体做法如图所示，先在薄板的边缘取一点 A，在 A 点把薄板悬挂起来，当薄板处于平衡时，由二力平衡的条件知道，物体所受的重力跟悬绳的拉力在同一直线上. 所以物体的重心一定在通过 A 点的竖直线 AB 上；然后在 D 点把物体悬挂起来，同样可以知道，物体的重心一定在过 D 点的竖直线 DE 上，AB 和 DE 的交点 C 就是薄板重心的位置.



三、弹力

●知识点 1　形变及其种类

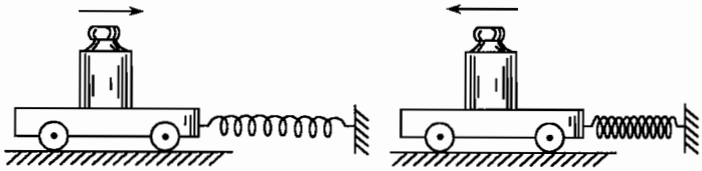
（1）定义：**物体在力的作用下形状或体积发生改变，叫做形变（deformation）. 有些物体在形变后能够恢复原状，这种形变叫做弹性形变（elastic deformation）.**

如果形变过大，超过一定的限度，撤去作用力后，物体就不能完全恢复原来的形状. 这个限度叫做**弹性限度（elastic limit）**.

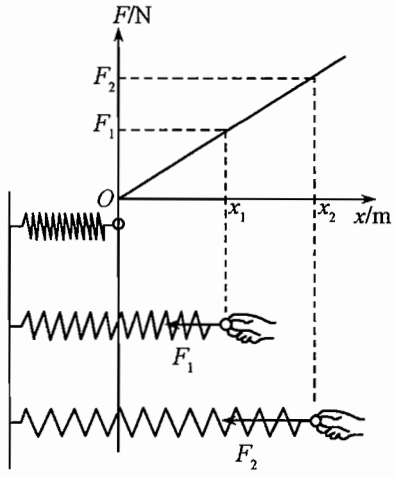
（2）形变的种类：拉伸形变、压缩形变、弯曲形变、扭转形变等.

●知识点 2　弹力

发生形变的物体，由于要恢复原状，对跟它接触的物体产生力的作用，这种力叫**弹力（elastic force）**.



甲：被拉长的弹簧使小车向右运动　　乙：被压缩的弹簧使小车向左运动



（1）弹力的产生：弹力的施力者是发生形变的物体，受力者是使它发生形变的其他物体.

（2）弹力的方向：弹力的方向总是与作用在物体上使物体发生形变的外力方向相反.

●知识点 3　胡克定律（Hooke law）

（1）胡克定律的内容：**弹簧发生弹性形变时，弹力的大小 F 跟弹簧伸长（或缩短）的长度 x 成正比.**

（2）公式：$F = kx$

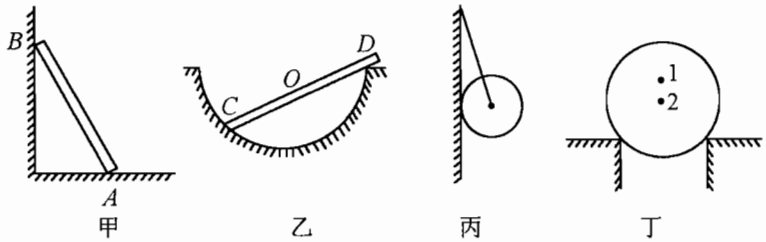
另有变形式 $\Delta F = k\Delta x$，其含义为：在弹簧的弹性限度以内，弹力大小的增量 ΔF 与弹簧长度的增量 Δx 成正比.（其中 ΔF 和 Δx 可正可负）

（3）公式中的 k 称为弹簧的**劲度系数（coefficient of stiffness）**，单位是牛顿每米，符号用 N/m 表示.

（4）胡克定律仅适用于在弹性限度内弹簧的拉升或压缩形变.

例题精讲

【例1】　请在下图中画出静止的杆或球所受的弹力.



甲　　乙　　丙　　丁

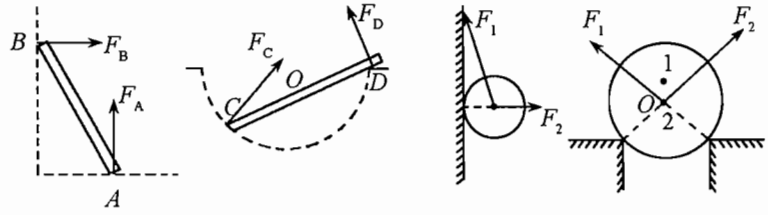
甲图：杆靠在墙上；

乙图：杆放在半球形的槽中；

丙图：球用细线悬挂在竖直墙上；

丁图：点1是球的重心位置，点2是球心，1、2点在同一竖直线上.

<解析>　图甲：杆在重力作用下对 A、B 两处都产生挤压作用，故 A、B 两点处对杆有弹力，弹力方向与接触点的平面垂直.

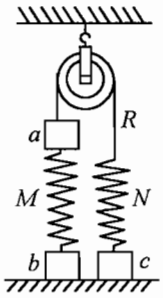


甲　　乙　　丙　　丁

图乙：杆对 C、D 两处有挤压作用，因 C 处为曲面，D 处为支撑点，所以 C 弹力垂直其切面指向球心，D 处弹力垂直杆斜向上. 图丙：球挤压墙壁且拉紧绳子，所以墙对球的弹力与墙面垂直；绳子对球的弹力沿绳斜向上. 图丁：当重心不在球心处时，弹力作用线也必通过球心 O，应注意不要错误地认为弹力作用线必定通过球的重心.

<答案>　如解析图.

【例2】　如图所示，a、b、c 为三个物体，M、N 为两个轻质弹簧、R 为跨过光滑定滑轮的轻绳，它们连接如图所示并处于平衡状态，下列说法正确的是（　　）



A. 有可能 N 处于拉伸状态而 M 处于压缩状态

B. 有可能 N 处于压缩状态而 M 处于拉伸状态

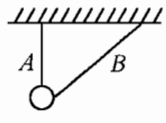
C. 有可能 N 处于不伸不缩状态而 M 处于拉伸状态

D. 有可能 N 处于拉伸状态而 M 处于不伸不缩状态

<解析>　轻绳只能沿绳产生向上的拉力或不产生力的作用. 因此弹簧 N 只可能被拉伸或不伸不缩而不可能被压缩. 所以，选项 B 错. 若轻绳不产生力或产生的向上拉力小于物块 a 的重力，弹簧 M 一定是压缩状态而不可能是拉伸状态. 所以，选项 C 错误. 当轻绳产生向上的拉力小于物块 a 的重力时，弹簧 N 被拉伸，弹簧 M 则处于压缩状态. 所以，选项 A 正确. 当轻绳产生向上的拉力等于物块 a 的重力时，弹簧 N 仍被拉伸，弹簧 M 则处不伸不缩状态. 所以，选项 D 正确. 另外，此题也可以物块为研究对象，分别分析三个物块的受力情况，根据平衡条件即可得出正确答案.

<答案>　A、D

【例3】　如图所示，某球用 A、B 两根绳悬挂起来，若 A 绳竖直且 A、B 两绳的延长线都通过球心，球受几个力（　　）



A. 1个　　**B.** 2个　　**C.** 3个　　**D.** 无法确定

<答案>　B

知识点睛

四、摩擦力

一个物体在另一个物体表面上发生相对滑动或具有相对滑动趋势时，要受到另一个物体阻碍它相对滑动的力，这种力叫做**摩擦力（frictional force）**.

●知识点 1　摩擦力产生的条件

摩擦力可分为两种，一种是滑动摩擦力（物体间相对滑动），另一种是静摩擦力（物体间相对静止但有相对运动的趋势）. 产生摩擦力的条件为：

（1）两物体直接接触；

（2）两接触面不光滑；（粗糙）

（3）两接触的物体必须相互挤压，发生弹性形变，有弹力；

（4）两物体间发生了相对滑动或者有相对运动的趋势.

●知识点 2　滑动摩擦力（sliding frictional force）

（1）滑动摩擦力的大小：滑动摩擦力 F 的大小跟压力 F_N 成正比，其数学表达式为：$F=\mu F_N$

公式 $F=\mu F_N$ 中的 F_N 是两个物体表面间的弹力，称为正压力（垂直于接触面的力），μ 为滑动摩擦因数，它的数值跟相互接触的两个物体的材料有关、跟接触面情况（如粗糙程度）有关.

【注意】滑动摩擦力大小与接触面大小无关，与物体的运动性质无关.

（2）滑动摩擦力的方向：滑动摩擦力的方向跟接触面相切且与物体间相对运动的方向相反.

●知识点 3　静摩擦力（static frictional force）

两个互相接触的物体相对静止，如汽车停在水平地面上，当人用力推车时，虽然车没有动，但车已有了相对地面运动的趋势，由二力平衡知，地面对车产生一个阻碍车运动的力，称为静摩擦力.

（1）静摩擦力的大小：只要物体与接触面之间没有发生相对运动，静摩擦力的大小就随着产生静摩擦力外力的变化而变化，并与该外力保持大小相等.

（2）静摩擦力的方向：静摩擦力的方向总是沿着接触面，并且跟物体相对运动趋势的方向相反.

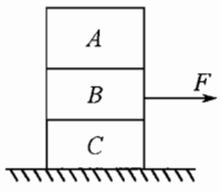
【注意】如果接触面是曲面，则静摩擦力的方向与接触面相切.

●知识点 4　最大静摩擦力

静摩擦力的增大有一个限度. 当引起静摩擦力产生的外力增大到一定程度时，静摩擦力就不能够抵抗外力的作用保持物体平衡了，这时物体将开始运动（但是物体还没有运动），物体在外力作用下即将开始运动（但是物体还没有运动）的临界状态下的静摩擦力即是最大静摩擦力. 最大静摩擦力的大小与正压力成正比. 其数值等于在外力作用下物体刚刚开始运动时引发摩擦力的外力的大小.（实际上，最大静摩擦力一般比滑动摩擦力略大一点，但通常认为二者是相等的.）两物体之间实际发生的静摩擦力 F 在 0 与最大静摩擦力 F_{max} 之间，即 $0<F\le F_{max}$.

例题精讲

【例4】　如图所示，A、B、C 三个物体完全相同，且各接触面不光滑，现用水平力 F 拉 B，三物体仍处于静止，下列说法正确的是（　　）



A. C 物体共受四个力作用

B. B 物体共受四个力作用

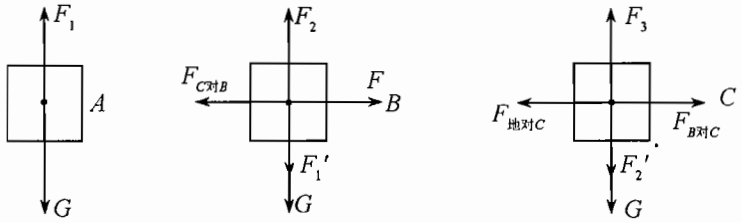
C. A 物体共受三个力作用

D. B 对 C 的摩擦力大小为 F，方向与 F 相同

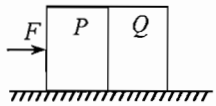
<解析>　**首先要将研究对象 A、B、C 分别隔离出来，进而分析周围哪些物体对它施加了作用力，**

及对它施加作用力的方向，并将这些力一一画在它的简图上．分析力的顺序最好是先重力，再弹力，后摩擦力（弹力、摩擦力要逐个接触面去分析）．分析完毕再回到系统中检查，看符不符合力的相互性和物体所处的状态．此题中 A、B、C 三物体受力分析如下图所示，

<答案> D



【例5】 如图所示，物体 P、Q 并排放在水平地面上，已知 P、Q 与地面间的最大静摩擦力都为 $f_m=6\text{N}$，两物体的重力均为10N．（1）若用水平力 $F=5\text{N}$ 去推物体 P，这时 P、Q 各受到地面的摩擦力 f_1、f_2 为多大？（2）若水平力 $F=10\text{N}$，则情况又如何？



<解析> （1）当推力 $F=5\text{N}$ 时，因为 $F<2f_m$，P、Q 均静止，P 可能受到重力 G，地面支持力 N_1，推力 F，摩擦力 f_1 和 Q 对 P 的弹力 N 作用而保持静止．则有 $N_1=G$，$F=f_1+N$．因为 f_1 的最大值 $f_m=6\text{N}>F=5\text{N}$，所以 $N=0$，$f_1=F=5\text{N}$．由于 P 对 Q 无作用力，所以 Q 与地面间没有摩擦力作用，$f_2=0$．

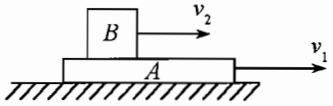
（2）若 $F=10\text{N}$，大于 P 与地面的最大静摩擦力 f_m，此时物体要静止，P、Q 间的相互作用力应为 $N=F-f_m=4\text{N}$，P 与地面间的摩擦力 $f_1=f_m=6\text{N}$

对 Q 分析，Q 受到重力 G，地面支持力 N_2，P 对 Q 的弹力 N 和地面摩擦力 f_2 而保持静止，则 $G=N_2=10\text{N}$，Q 与地面间的静摩擦力 $f_2=N=4\text{N}$．

<答案> （1）$f_1=5\text{N}$，$f_2=0$（2）$f_1=6\text{N}$，$f_2=4\text{N}$

<答案> D

【例6】 如图所示，A 为长木板，在水平面上以速度 v_1 向右运动，物块 B 在木板 A 的上面以速度 v_2 向右运动．下列判断正确的是（　　）



A．若是 $v_1=v_2$，A、B 之间无滑动摩擦力

B．若是 $v_1>v_2$，A 受到了 B 所施加向右的滑动摩擦力

C．若是 $v_1<v_2$，B 受到了 A 所施加向右的滑动摩擦力

D．若是 $v_1>v_2$，B 受到了 A 所施加向左的滑动摩擦力

<解析> 根据滑动摩擦力的定义进行判断，当 $v_1=v_2$ 时，A、B 之间无相对运动，它们之间没有滑动摩擦力；当 $v_1>v_2$ 时，A 相对 B 向右运动，它受到 B 施加向左的滑动摩擦力，B 则相对 A 向左运动，B 受到 A 施加向右的滑动摩擦力；当 $v_1<v_2$ 时，B 相对 A 向右运动，B 受到 A 施加向左的滑动摩擦力，A 则受到 B 施加向右的滑动摩擦力．综上所述，A 选项正确．

<答案> A

知识点睛

五、力的合成

●知识点 1　合力

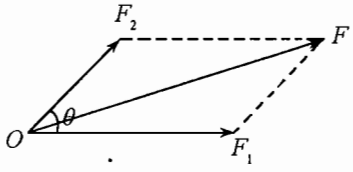
当一个物体受到几个力的共同作用时，我们常常可以求出这样一个力，这个力的作用效果跟原来几个力的共同效果相同，这个力就叫做那几个力的**合力（resultant force）**.

●知识点 2　共点力

如果一个物体受到两个或者更多力的作用，有些情况下这些力共同作用在同一点上，或者虽不作用在同一点上，但他们的力的作用线延长线交于一点，这样的一组力叫做**共点力（concurrent forces）**.

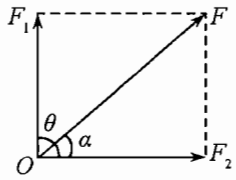
●知识点 3　共点力的合成法则

求几个已知力的合力叫**力的合成（composition of forces）**. 力的合成就是找一个力去替代几个已知的力，而不改变其作用效果.



力的**平行四边形定则（parallelogram rule）**：如右图所示，以表示两个力的有向线段为邻边作平行四边形，这两边夹角的对角线大小和方向就表示合力的大小和方向.（只适用于共点力）

下面根据已知两个力夹角 θ 的大小来讨论力的合成的几种情况：



（1）当 $\theta=0°$ 时，即 F_1、F_2 同向，此时合力最大，$F=F_1+F_2$，方向和两个力的方向相同.

（2）当 $\theta=180°$ 时，即 F_1、F_2 方向相反，此时合力最小，$F=|F_1-F_2|$，方向和 F_1、F_2 中较大的那个力相同.

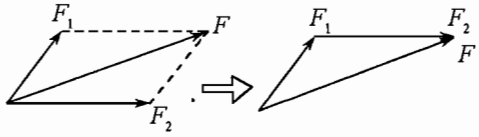
（3）当 $\theta=90°$ 时，即 F_1、F_2 相互垂直，如图，$F=\sqrt{F_1^2+F_2^2}$，$\tan\alpha=\dfrac{F_1}{F_2}$.

（4）当 θ 为任意角时，根据余弦定律，合力 $F=\sqrt{F_1^2+F_2^2+2F_1F_2\cos\theta}$

根据以上分析可知，无论两个力的夹角为多少，必然有 $|F_1-F_2|\leqslant F\leqslant|F_1+F_2|$ 成立.

力的三角形定则（triangular rule）和多边形法则

力的平行四边形定则，也可以用力的矢量三角形表示，如图甲可用图乙的力的三角形法表示，即将待合成的力按原来力的方向“首”、“尾”相接，合力即为起于一个力的“首”，止于另一个力的“尾”的有向线段.



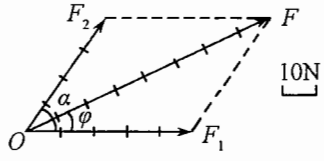
平行四边形定则　　三角形定则

甲　　乙

力的多边形法则：若是物体受到的几个力的合力为零，那么这几个力按照力的图示首尾相接，可以组成一个封闭的矢量多边形.

知识点 4　解题方法

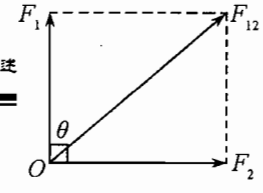
（1）图解法:从力的作用点起，依两个分力的作用方向按同一标度作出两个分力 F_1、F_2，并构成一个平行四边形，这个平行四边形的对角线的长度按同样比例表示合力的大小. 对角线的方向就是合力的方向,通常可用量角器直接量出合力 F 与某一个力(如 F_1）的夹角 φ，如图所示.



（2）计算法：从力的作用点按照分力的作用方向画出力的平行四边形后，算出对角线所表示的合力的大小.

例题精讲

【例7】　两个大小相等的共点力 F_1、F_2，当它们间的夹角为90° 时合力大小为



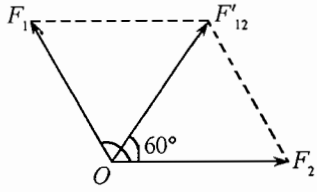
20N，则当它们间的夹角为120°时，合力的大小为多少？

<解析> 本题可根据平行四边形定则求解．

设 $F_1=F_2=F$；当它们间的夹角 $\theta=90°$ 时，画出的平行四边形是一正方形，其合力为：

$$F_{12}=\sqrt{F_1^2+F_2^2}=\sqrt{F^2+F^2}=\sqrt{2}F$$

$$\therefore F=\frac{1}{\sqrt{2}}F_{12}=\frac{1}{\sqrt{2}}\times 20N=10\sqrt{2}\text{N}$$



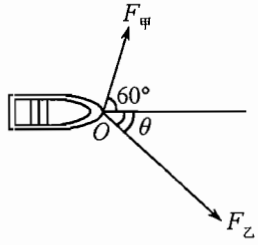
当两个分力 F_1、F_2 间夹角变为 $\theta=120°$ 时，同理画出平行四边形实为一菱形．由于每一半组成一等边三角形，因此其合力

$$F'_{12}=F_1=F_2=10\sqrt{2}\text{N}$$

<推论> 由本题可以推知，三个大小相等、互成120°夹角的共点力的合力一定等于零．此时每一个力一定与其他两个力的合力等值反向．

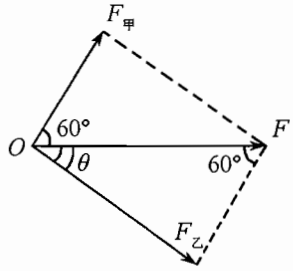
<答案> $10\sqrt{2}\text{N}$

【例8】 两个人在两岸用绳拉小船在河流中行驶．如图所示，已知甲的拉力是200N，拉力方向与航向夹角为60°，乙的拉力大小为 $200\sqrt{3}$N，且两绳在同一水平面内．若要使小船能在河流正中间沿直线行驶，乙用力的方向如何？小船受到两拉力的合力为多大？



<解析> 要使小船能沿河流正中间直线行驶，两个拉力的合力的方向应与河岸平行，指向航向．因此，本题属于已知一个分力的大小和方向、另一个分力的大小和合力方向，求另一个分力的方向和合力的问题．

（解法一：正弦定理）根据题意作出平行四边形如图所示，



由正弦定理有：$\dfrac{F_{甲}}{\sin\theta}=\dfrac{F_{乙}}{\sin 60°}$，

$$\sin\theta=\frac{F_{甲}}{F_{乙}}\cdot\sin 60°=\frac{200}{200\sqrt{3}}\times\frac{\sqrt{3}}{2}=\frac{1}{2}$$，故 $\theta=30°$，

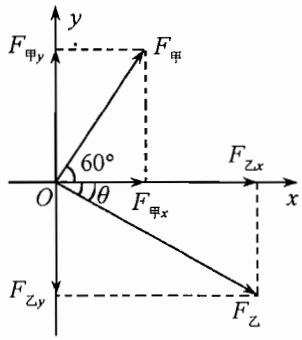
而 $F=\sqrt{F_{甲}^2+F_{乙}^2+2F_{甲}F_{乙}\cos(60°+\theta)}=\sqrt{F_{甲}^2+F_{乙}^2}=400\text{N}$

（解法二：正交分解法）将两力的作用点 O 作为坐标原点，以小船航向为 x 轴方向，建立直角坐标系，如图所示，将 $F_{甲}$、$F_{乙}$ 进行正交分解．由图可知：

$F_{甲x}=F_{甲}\cos 60°$，$F_{甲y}=F_{甲}\sin 60°$，$F_{乙x}=F_{乙}\cos\theta$，$F_{乙y}=F_{乙}\sin\theta$．

由题意可知：$F_y=0$，则有 $F_{甲y}=F_{乙y}$，即

$$F_{甲}\sin 60°=F_{乙}\sin\theta$$



$$\therefore\quad \sin\theta=\frac{F_{甲}\sin 60\theta°}{F_{乙}}=\frac{200\times\dfrac{\sqrt{3}}{2}}{200\sqrt{3}}=\frac{1}{2}$$，即 $\theta=30°$．

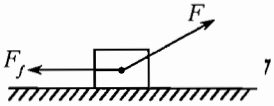
小船受到两拉力的合力即：

$$F_x=F_{甲x}+F_{乙x}=F_{甲}\cos 60°+F_{乙}\cos 30°=400\text{N}$$

<答案> $\theta=30°$，$F=400\text{N}$

【说明】 力的正交分解法将在第二部分内容“力的分解”知识点 4 中进行详细介绍，教师可将此题的第二种解法留到讲解了正交分解法以后再作拓展．

【例9】 如图所示，一木块在拉力 F 的作用下，沿水平面做匀速直线运



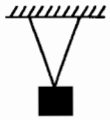
动，则拉力F和摩擦力F_f的合力的方向是（　）

A．向上偏右　　B．向上偏左　　C．向上　　D．向右

<解析>　物体做匀速直线运动，说明物体受到平衡力的作用．对木块进行受力分析可知，木块受到重力G、支持力F_N、拉力F和摩擦力F_f四个力的作用，由于重力G和支持力F_N都没有水平分量，如果木块要平衡，则拉力F和摩擦力F_f的合力必然为竖直方向，摩擦力F_f水平、拉力F偏上，显然合力的方向只能为竖直向上．

<答案>　C

【例10】　如图所示，用两根绳子吊着一个物体，逐渐增大两绳间的夹角，物体始终保持静止，则两绳对物体的拉力的合力（　）



A．大小不变　　B．逐渐增大　　C．逐渐减小　　D．先减小后增大

<答案>　A

六、力的分解

●知识点1　分力

几个力共同产生的效果跟原来一个力产生的效果相同，这几个力就叫做原来那个力的**分力**（components of forces）.

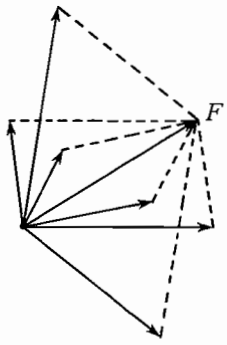
●知识点2　力的分解

（1）求一个已知力的分力叫做力的分解.

（2）分解规律：力的分解是力的合成的逆运算，同样遵守平行四边形定则，即把已知力作为平形四边形的对角线，那么，与已知力共面的平行四边形的两条邻边就表示已知力的两个分力.

●知识点3　力的分解方法

力的分解方法：根据力F产生的作用效果，先确定两个分力的方向，再根据平行四边形定则用作图法作出两个分力F_1和F_2的示意图，最后根据相关数学知识计算出两个分力的大小.



实际上，对于同一条对角线，可以作出无数个不同的平行四边形．也就是说，同一个力可以分解为无数对大小、方向不同的分力．一个已知力究竟应该怎样分解，这要根据实际情况来决定.

●知识点4　力的正交分解方法

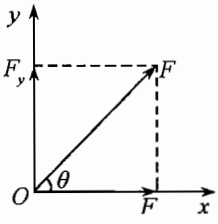
正交分解法是把力沿着两个经选定的互相垂直的方向作分解，其目的是便于运用普通代数运算公式来解决矢量的运算，它是处理力的合成和分解的复杂问题的一种简便方法，其步骤如下：

（1）正确选定直角坐标系.

通常选共点力的作用点为坐标原点，坐标轴方向的选择则应根据实际问题来确定，原则是使坐标轴与尽可能多的力重合，即：使向两坐标轴投影分解的力尽可能少．在处理静力学问题时，通常是选用水平方向和竖直方向上的直角坐标，当然在其他方向较为简便时也可选用.

（2）分别将各个力投影到坐标轴上，分别求出x轴和y轴上各力的投影的合力F_x和F_y：

$$F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + \ldots \qquad F_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + \ldots$$



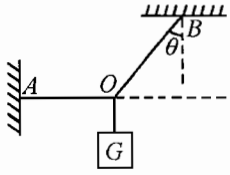
（式中的F_{1x}和F_{1y}是F_1在x轴和y轴上的两个分量，其余类推.）

这样，共点力的合力大小为：$F=\sqrt{F_x^2+F_y^2}$.

设合力的方向与x轴正方向之间的夹角为α，因为$\tan\alpha=\dfrac{F_y}{F_x}$，

所以，通过查数学用表，可得α数值，即得出合力F的方向.

特别的：若$F=0$，则可推得$F_x=0$，$F_y=0$. 这是处理多个力作用下物体平衡问题的常用的好办法.



【例11】 如图所示，重物的重量为G，轻细线AO与BO的A、B端是固定的，平衡时AO是水平的，BO与竖直方向的夹角为θ，AO的拉力F_{T_1}和BO的拉力F_{T_2}大小是（　）

A. $F_{T_1}=G\cos\theta$　　**B.** $F_{T_1}=G\tan\theta$

C. $F_{T_2}=G\sin\theta$　　**D.** $F_{T_2}=\dfrac{G}{\cos\theta}$

<解析> 选取O点为研究对象，其受力如右图所示，O点受到三个力的作用：物体对O的拉力，大小为G，AO绳子的拉力F_{T_1}，BO绳子的拉力F_{T_2}.

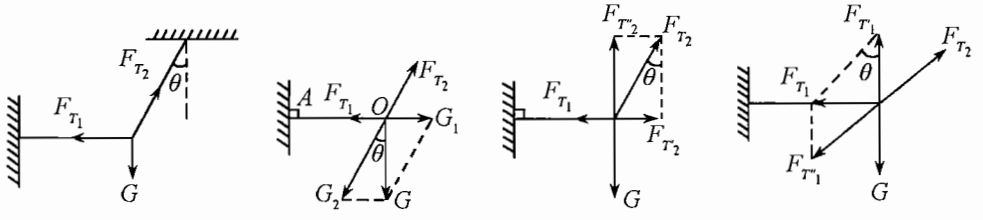
解法一：重力G的作用效果是拉紧两根绳子，拉绳子的力应该沿着绳子方向，如右图所示，将重力G沿两根绳子的方向分解为G_1和G_2，在直角三角形中，由几何知识得：$G_1=G\tan\theta$，$G_2=\dfrac{G}{\cos\theta}$.

由于重物静止，任何方向的合力均为零，所以有$F_{T_1}=G_1=G\tan\theta$，$F_{T_2}=G_2=\dfrac{G}{\cos\theta}$.

解法二：把拉力F_{T_2}的作用效果看做是竖直向上平衡重力和水平向右拉绳子的，如图所示，可将F_{T_2}沿水平和竖直两个方向分解为$F_{T_2'}$和$F_{T_2''}$，由几何知识得$F_{T_2}\sin\theta=F_{T_2'}=F_{T_1}$，$F_{T_2}\cos\theta=F_{T_2''}=G$. 联立即可解得：$F_{T_2}=\dfrac{G}{\cos\theta}$，$F_{T_1}=F_{T_2}\cdot\sin\theta=\dfrac{G}{\cos\theta}\cdot\sin\theta=G\tan\theta$，

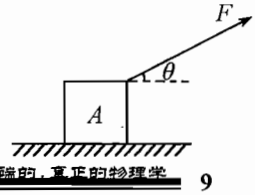
解法三：如把F_{T_1}的作用效果看做是沿竖直向上方向提物体和斜向下方向拉紧另一细绳，则可按照如图所示的那样把F_{T_1}分解为$F_{T_2'}$和$F_{T_2''}$.

现根据小球处于静止状态，所受的合力为零的条件，利用直角三角形的知识，都可以解得$F_{T_1}=G\tan\theta$，$F_{T_2}=\dfrac{G}{\cos\theta}$



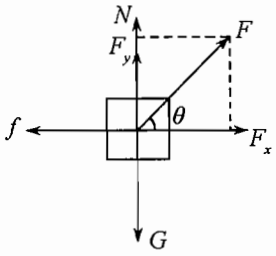
<答案> B、D

【例12】 已知如图，A的重量为G. 在F的作用下，在水平面上滑动，若动摩擦因数为μ，求：滑动摩擦力的大小.



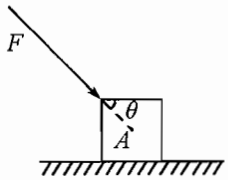
<解析> 如右图所示，对物体A进行受力分析，将所有力沿水平和竖直两个方

向进行分解．由于物体沿水平面滑动，根据平衡条件可知物体在竖直方向上受到的力是平衡力，也即是说：$F_y+N=G$，$N=G-F_y$，故物体A受到的滑动摩擦力为$f=\mu N=\mu(G-F_y)=\mu(G-F\sin\theta)$



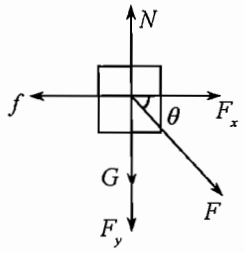
<答案> $\mu(G-F\sin\theta)$

【例13】 已知如图，A的重量为G．在F的作用下，在水平面上滑动，若动摩擦因数为μ，求：滑动摩擦力的大小．



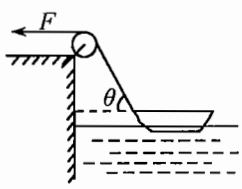
<解析> 如图所示，对物体A进行受力分析，将所有力沿水平和竖直两个方向进行分解．由于物体沿水平面滑动，根据平衡条件可知物体在竖直方向上受到的力是平衡力，也即是说：

$N=G+F_y=G+F\sin\theta$，故物体A受到的滑动摩擦力为$f=\mu N=\mu(G+F\sin\theta)$



<答案> $\mu(G+F\sin\theta)$

【例14】 小船用绳索拉向岸边，如图所示，船在水中运动时设水的阻力大小不变，那么在小船匀速靠岸的过程中，下列哪句话是正确的（　　）



A．绳子的拉力F不断增大　　B．绳子的拉力F不变

C．船的浮力减小　　D．船的浮力增大

<解析> 由于小船匀速靠岸，对船进行受力分析可知：$F\cos\theta=f$，$F\sin\theta+F_{浮}=G$，在小船靠岸的过程中，水的阻力f不变，绳子倾角θ不断增大（增大范围为$0°\sim90°$），$\sin\theta$不断增大，$\cos\theta$不断减小；故$F=\dfrac{f}{\cos\theta}$增大，$F_{浮}=G-F\sin\theta$减小．

<答案> A、C

超导体

在温度和磁场都小于一定数值的条件下，许多导电材料的电阻和体内磁感应强度都突然变为零的性质。具有超导性的物体叫做“超导体”。1911 年荷兰物理学家卡曼林-昂尼斯（1853～1926 年）首先发现汞在 4.173K 以下失去电阻的现象，并初次称之为“超导性”。现已知道，许多金属（如锡、铝、铅、钽、铌等）、合金（如铌—锆、铌—钛等）和化合物（如 Nb3Sn、Nb3Al 等）都是可具有超导性的材料。物体从正常态过渡到超导态是一种相变，发生相变时的温度称为此超导体的“转变温度”（或“临界温度”）。现有的材料仅在很低的温度环境下才具有超导性，其中以 Nb3Ge 薄膜的转变温度最高（23.2K）。1933 年迈斯纳和奥森费耳德又共同发现金属处在超导态时其体内磁感应强度为零，即能把原来在其体内的磁场排挤出去；这个现象称之为迈斯纳效应。当磁场达到一定强度时，超导性就将破坏，这个磁场限值称为“临界磁场”。目前所发现的超导体有两类。第一类只有一个临界磁场（约几百高斯）；第二类超导体有下临界磁场 Hc1 和上临界磁场 Hc2。当外磁场达到 Hc1 时，第二类超导体内出现正常态和超导态相互混合的状态，只有当磁场增大到 Hc2 时，其体内的混合状态消失而转化为正常导体。现在已制备上临界磁场很高的超导材料（如 Nb3Sn 的 Hc2 达 22 特斯拉，Nb3Al0.75Ge0.25 的 Hc2 达 30 特斯拉），用以制造产生强磁场的超导磁体。超导体的应用目前正逐步发展为先进技术，用在加速器、发电机、电缆、贮能器和交通运输设备直到计算机方面。1962 年发现了超导隧道效应即约瑟夫逊效应，并已用于制造高精度的磁强计、电压标准、微波探测器等。近两年来，中国、美国、日本在提高超导材料的转变温度上都取得了很大的进展。1987 年研制出 YBaCuO 体材料转变温度达到 90～100K，零电阻温度达 78K，也就是说过去必须在昂贵的液氦温度下才能获得超导性，而现在已能在廉价的液氮温度下获得。1988 年又研制出 CaSrBiCuO 体和 CaSrTlCuO 体，使转变温度提高到 114～115K。近两三年来，超导方面的工作正在突飞猛进。

第4讲
牛顿定律

一、牛顿第一定律

●**知识点1 牛顿第一定律**

（1）牛顿第一定律（Newton first law of motion）：一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态，除非作用在它上面的力迫使它改变这种状态.

（2）牛顿第一定律阐述了三点物理思想.

① 说明物体不受外力时的运动状态是匀速直线运动或静止，即力不是维持物体运动的原因.

② 一切物体都有保持匀速直线运动状态或静止状态的特性.

③ 一切物体受外力时，就会改变原来的运动状态，即外力是迫使物体改变运动状态的原因.

（3）牛顿第一定律的意义

① 澄清了力的概念：力是改变物体运动状态的原因，并不是维持物体运动的原因.

② 指出了力和运动的定性关系：不受外力作用的物体，将保持匀速直线运动状态或静止状态.

③ 揭示了一切物体固有的属性——惯性.

●**知识点2 惯性**

牛顿第一运动定律表明，物体具有保持原来匀速直线运动状态或静止状态的性质，我们把这个性质叫做**惯性（inertia）**. 牛顿第一定律又叫做**惯性定律（law of inertia）**.

（1）惯性是物体的固有属性：一切物体都具有惯性.

（2）惯性与物体的受力情况及运动状态无关.

（3）惯性不是力，惯性是物体具有的保持匀速直线运动或静止状态的性质，而力是物体对物体的作用，力是改变物体运动状态的原因，二者在概念上有着本质的区别.

物体的惯性与其外界因素无关，只与物体本身有关. 惯性大小的量度是质量.

【例1】 火车在长直水平轨道上匀速行驶，门窗紧闭的车厢内有一人向上跳起，发现仍落回车上原处，这原因是（ ）

A. 人跳起后，车厢内空气给他以向前的力，带着他随同火车一起向前运动

B. 人跳起的瞬间，车厢的地板给他一个向前的力，推动他随同火车一起向前运动

C. 人跳起后，车在继续向前运动，所以人落下后必定偏后一些，只是由于时间很短，偏后距离太小，不明显而已

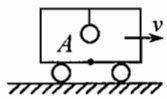
D. 人跳起后直到落地，在水平方向上和车始终具有相同的速度

＜解析＞ **人从跳起到落地的过程中，水平方向不受其他外力，由于惯性仍保持与火车相同的速度，**

所以落回原地，故正确答案为 D．

<答案>　D

【例2】　如图所示，在匀速行驶的车上，一小球吊在车厢顶上，车底板上的 A 点在小球正下方，若小球上面的细线被烧断，则小球落在（　）



A．A 点　　B．A 点前方

C．A 点后方　　D．不能确定

<答案>　A

例题精讲

二、物体运动状态的改变

●知识点 1　物体运动状态的改变

所谓物体的运动状态，就是指物体在做机械运动时所处的一种状态，物体的运动状态可以用速度矢量来描述，速度本身是既有大小又有方向的状态量，可以说物体的运动状态指的就是物体的运动速度．运动状态的改变，指的是速度（大小或方向）发生改变，应该包括三种情况：

（1）速度大小改变，方向不变；　　（2）速度大小不变，方向改变；

（3）速度大小和方向都改变．

速度的变化量用符号“Δv”表示，与速度 v 一样，也是一个既有方向又有大小的矢量．

其定义是：物体运动的末速度 v 与初速度 v_0 的矢量差．

其计算公式是：$\Delta v = v - v_0$．本式是矢量式．只能运用矢量合成的平行四边形定则进行，同时要明确速度的方向性．

●知识点 2　力是物体产生加速度的原因

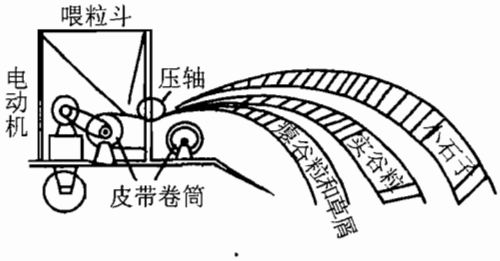
（1）在运动学内容中，加速度的定义是：运动物体速度的变化与发生这一变化所用的时间的比值．其表达式是：$a=\dfrac{v_t-v_0}{t}$ 或者 $a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$，加速度 a 是速度 v 对时间 t 的变化率．

必须把速度的“变化率”$\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$ 与速度的“变化量”Δv 严格区别开来．速度的变化率 $\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$（即加速度）是描述物体速度变化快慢的物理量，而速度的变化量 Δv 是描述物体速度变化大小的物理量．

（2）力是改变物体运动状态的原因，又因为物体运动状态发生变化的标志是物体速度的变化，而物体的速度变化又必然存在着运动的加速度．故此，力是使物体产生加速度的原因．

例题精讲

【例3】　在谷物的收割和脱粒过程中，小石子、草屑等杂物很容易和谷物混在一起．另外，谷有瘪粒，为了将它们分离，农民常用一种叫做“风谷”的农具分选，如图所示，它的分选原理是（　）



A．小石子质量大，飞得最远

B．草屑和瘪粒质量小，飞得最近

C．草屑和瘪粒的惯性最大，飞得最远

D．空气阻力的作用是他们速度变化快慢不同

<解析> 石子、谷粒、草屑和瘪粒，他们飞出时的初速度基本相同，由于形状和大小不同，在飞行中受到的阻力不同．一般来说，小石子受到的阻力比草屑等杂物受到的阻力要小，所以他们的速度变化快慢不同，草鞋和瘪粒的速度变化快，故落点近；小石子速度变化得慢，故落点远．

<答案> D

三、牛顿第二定律

●知识点1 牛顿第二定律

（1）牛顿第二定律（Newton second law）：物体的加速度跟所受的合力成正比，跟物体的质量成反比．加速度的方向跟合力的方向相同．

（2）数学公式： $F_{合}=ma$ **或者** $a=\frac{F_{合}}{m}$ **．（其中** $F_{合}$、m、a **均取国际制单位）**

变形式 $a=\frac{F_{合}}{m}$ 是运动加速度的决定式，说明物体的加速度与所受的合力成正比，与物体的质量成反比．要与加速度的定义式 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 区别开来．

●知识点2 牛顿第二定律与牛顿第一定律的关系

牛顿第一定律不是牛顿第二定律的特例，而是牛顿第二定律的思想基础．牛顿第一定律反映的是不受外力作用时，物体保持原来运动状态的特性：牛顿第二定律则反映了在外力作用下物体加速度与哪些因素相关和物体运动状态改变的规律．

●知识点3 牛顿第二定律的一般解题方法

（1）明确研究对象

（2）进行受力分析和运动状态分析，画出示意图

（3）求出合力 $F_{合}$

（4）由 $F_{合}=ma$ 列式求解

用牛顿第二定律解题，就要对物体进行正确的受力分析，求合力．物体的加速度既和物体的受力相联系，又和物体的运动情况相联系，加速度是联系力和运动的纽带．故用牛顿第二定律解题，离不开对物体的受力情况和运动情况的分析．

例题精讲

【例4】 质量为 M 的木块位于粗糙水平桌面上，若用大小为 F 的水平恒力拉木块，其加速度大小为 a．当拉力方向不变，大小变为 $2F$ 时，木块的加速度大小为 a'，则（ ）

A．$a'=a$　　B．$a'<2a$　　C．$a'>2a$　　D．$a'=2a$

＜解析＞　木块受到的合外力为拉力与滑动摩擦力的矢量和，由牛顿第二定律分别求出拉力为 F 和 $2F$ 时的加速度，比较即可选出正确答案．

设动摩擦因数为 μ，由 $F_{合}=ma$ 得 $a=\dfrac{2F-\mu Mg}{M}$，

$$a'=\frac{2F-\mu Mg}{M}=\frac{2(F-\mu Mg)}{M}+\mu g=2a+\mu g$$

所以 $a'>2a$，正确答案是 C．

＜答案＞　C

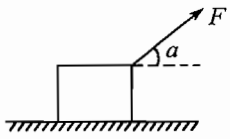
【例5】　质量为 m 的物体，在两个大小相等，夹角为120° 的共点力作用下，产生的加速度大小为 a，当两个力的大小不变，夹角变为0° 时，物体的加速度大小变为_____；夹角变为90° 时，物体的加速度大小变为_____．

＜答案＞　$2a$　$\sqrt{2}a$

【例6】　汽车空载时的质量是 4×10^3kg，它能运载的最大质量是 3×10^3kg 要使汽车在空载时加速前进需要牵引力是 2.5×10^4N，那么满载时以同样加速度前进，需要的牵引力是_____．（摩擦力不计）

＜答案＞　4.4×10^4N

【例7】　如图所示，置于水平地面上质量为 M 的木块，在大小为 F，方向与水平方向成 α 角的拉力作用下沿地面做加速运动，若木块与地面之间的动摩擦因数为 μ，则木块的加速度大小为（　）



A．$\dfrac{F}{M.}$　　B．$\dfrac{\cos\alpha}{M}$

C．$\dfrac{F\cos\alpha-\mu Mg}{M}$　　D．$\dfrac{F\cos\alpha-\mu(Mg-F\sin\alpha)}{M}$

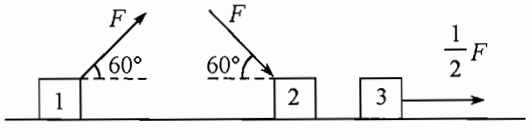
＜解析＞　木块受到的支持力为 $N=Mg-F\sin\alpha$，

水平方向上的合力为 $F_x=F\cos\alpha-\mu(mg-F\sin\alpha)$，

故木块的加速度 $a=\dfrac{F_x}{M}=\dfrac{[F\cos\alpha-\mu(Mg-F\sin\alpha)]}{M}$

＜答案＞　D

【例8】　三个完全相同的物块1、2、3放在水平桌面上，它们与桌面间的动摩擦因数都相同．现在大小相同的外力 F 沿下图所示方向分别作用在1和2上，用 $\dfrac{1}{2}F$ 的外力沿水平方向作用在3上，使三者都做加速运动．令 a_1、a_2、a_3 分别代表物块1、2、3的加速度，则（　）



A．$a_1=a_2=a_3$　　B．$a_1=a_2$，$a_2>a_3$

C．$a_1>a_2$，$a_2<a_3$　　D．$a_1>a_2$，$a_2>a_3$

<解析>　点悟：作用力不同，地面对物体的弹力也不同，故摩擦力不同．

设物体与地面间的动摩擦因数为μ，据牛顿第二定律知：

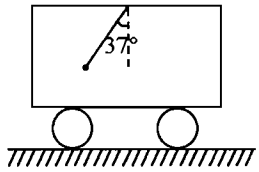
$$a_1=\frac{F\cos 60^\circ-\mu(mg-F\sin 60^\circ)}{m}=\frac{F}{2m}-\mu g+\frac{\sqrt{3}\mu F}{2m}$$

$$a_2=\frac{F.\cos 60^\circ-\mu(mg+F\sin 60^\circ)}{m}=\frac{F}{2m}-\mu g-\frac{\sqrt{3}\mu F}{2m}$$

$$a_3=\frac{F/2-\mu mg}{m}=\frac{F}{2m}-\mu g$$

<答案>　C

【例9】　如图所示，沿水平方向做匀变速直线运动的车厢中，悬挂小球的悬线偏离竖直方向37°角，球和车厢相对静止，球的质量为1kg（g取$10\,\mathrm{m/s^2}$，$\sin 37^\circ=0.6$，$\cos 37^\circ=0.8$）

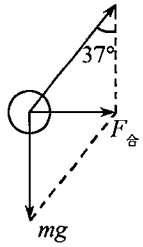


（1）求车厢运动的加速度并说明车厢的运动情况．

（2）求悬线对球的拉力．

<解析>　小球与车厢相对静止，有相同的运动情况．小球受重力和细线的拉力作用，求出它们的合力，由牛顿第二定律求加速度．

对小球的受力分析如图所示．



（1）小球所受的合外力为$F_{合}=mg\tan 37^\circ$．

由牛顿第二定律$F_{合}=\mathrm{ma}$，可求得球的加速度为：

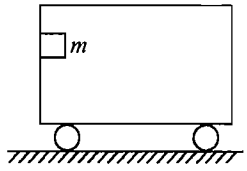
$$a=\frac{F_{合}}{m}=g\tan 37^\circ=7.5\,\mathrm{m/s^2}$$

加速度方向水平向右，车厢可能水平向右做匀加速直线运动，也可能水平向左做匀减速直线运动．

（2）由图可得，线对球的拉力大小为：$F=\frac{mg}{\cos 37^\circ}=\frac{1\times 10}{0.8}\mathrm{N}=12.5\,\mathrm{N}$

<答案>　（1）$7.5\,\mathrm{m/s^2}$　（2）12.5N

【例10】　如图所示，物块m与车厢后壁间的动摩擦因数为μ，当该车水平向右加速运动时，m恰好沿车厢后壁匀速下滑，则车的加速度为（　）



A．g　　B．μg　　C．$\frac{g}{\mu}$　　D．$\frac{1}{2}\mu g$

<解析>　设物体m与车厢后壁间的弹力大小为F_N，物块的加速度大小为a，对物块由牛顿第二定律得$F_N=ma$，竖直方向$mg-\mu F_N=0$，两式联立解得$a=\frac{g}{\mu}$，选项C正确．

<答案>　C



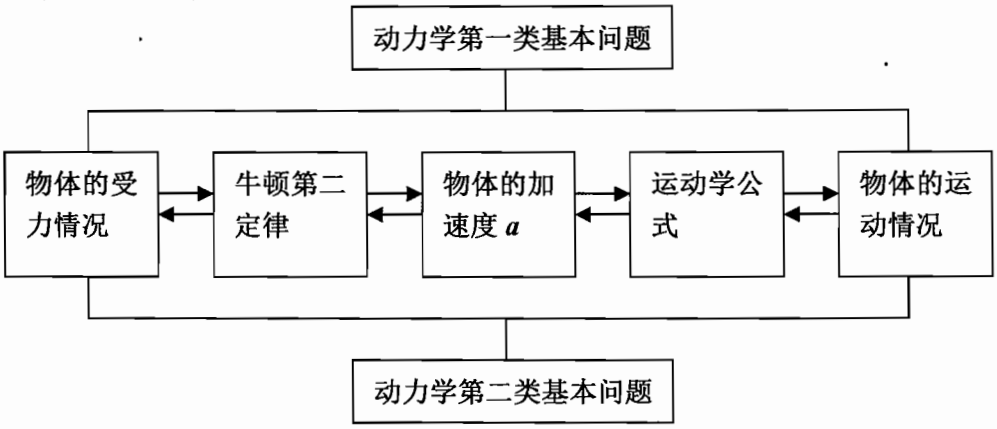
四、牛顿运动定律的应用

●知识点 1　动力学的两类基本问题

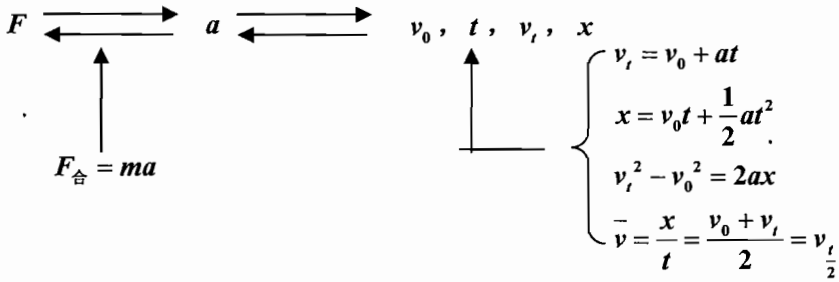
应用牛顿运动定律解决的问题主要可分为两类：(1) 已知受力情况求运动情况，(2) 已知运动情况求受力情况.

分析解决这两类问题的关键是抓住受力情况和运动情况之间联系的桥梁——加速度.

基本思路流程图：



基本公式流程图为：



动力学问题的处理方法：

(1) 正确的受力分析

物体进行受力分析，是求解力学问题的关键，也是学好力学的基础.

(2) 受力分析的依据

① 力的产生条件是否存在，是受力分析的重要依据之一.

② 力的作用效果与物体的运动状态之间有相互制约的关系，结合物体的运动状态分析受力情况是不可忽视的.

③ 由牛顿第三定律（力的相互性）出发，分析物体的受力情况，可以化难为易.

●知识点 2　解题思路

(1) 由物体的受力情况求解物体的运动情况的一般方法和步骤.

① 确定研究对象，对研究对象进行受力分析，并画出物体的受力图.

② 根据力的合成与分解的方法，求出物体所受合外力（包括大小和方向）.

③ 根据牛顿第二定律列方程，求出物体的加速度.

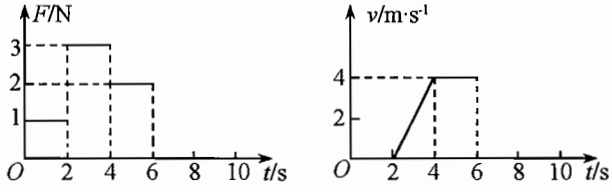
④ 结合给定的物体运动的初始条件，选择运动学公式，求出所需的运动参量.

（2）由物体的运动情况求解物体的受力情况.

解决这类问题的基本思路是解决第一类问题的逆过程，具体步骤跟上面所讲的相似，但需特别注意：①由运动学规律求加速度，要特别注意加速度的方向，从而确定合力的方向，不能将速度的方向与加速度的方向混淆. ②题目中求的力可能是合力，也可能是某一特定的作用力. 即使是后一种情况，也必须先求出合力的大小和方向，再根据力的合成与分解知识求分力.

例题精讲

【例11】 放在水平地面上的一物块，受到方向不变的水平推力 F 的作用，F 的大小与时间 t 的关系和物块速度 v 与时间 t 的关系如图所示. 取重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$. 由此两图线可以求得物块的质量 m 和物块与地面之间的动摩擦因数 μ 分别为（　　）



A. $m=0.5\text{kg}$，$\mu=0.4$　　**B**. $m=1.5\text{kg}$，$\mu=\dfrac{2}{15}$

C. $m=0.5\text{kg}$，$\mu=0.2$　　**D**. $m=1\text{kg}$，$\mu=0.2$

<解析> 从 $v-t$ 图中看出在 $4\text{s}-6\text{s}$ 内物块做匀速运动，对应的 $F-t$ 图中 $F_3=2\text{N}$，则物块所受的滑动摩擦力为 $F_f=\mu mg=2\text{N}$　　①

在 $2\text{s}-4\text{s}$ 内，由 $v-t$ 图可得物块的加速度为 $a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}=2\text{m/s}^2$

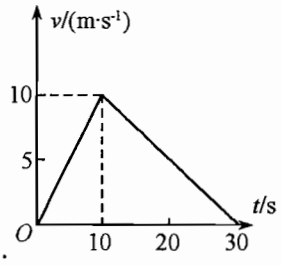
对应的 $F-t$ 图中 $F_2=3\text{N}$，由牛顿第二定律得 $F_2-F_f=ma$

即 $m=\dfrac{F_2-F_f}{a}$　　②

代入数据得 $m=0.5\text{kg}$，由①②解得 $\mu=0.4$

<答案> A

【例12】 在水平地面上有一质量为4kg的物体，物体在水平拉力 F 的作用下由静止开始运动. 10s后拉力大小减为 $\dfrac{1}{3}F$，该物体 $v-t$ 图象如图所示. 求：



（1）物体受到的水平拉力 F 的大小.

（2）物体与地面间的动摩擦因数.（g 取 10m/s^2）

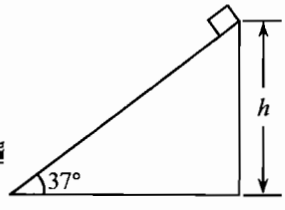
<解析> 由题意得：$a_1=\dfrac{10}{10}=1=\dfrac{F-F_f}{m}=\dfrac{F-F_f}{4}$，

$a_2=\dfrac{10}{20}=0.5=\dfrac{F_f-\frac{1}{3}F}{m}=\dfrac{F_f-\frac{1}{3}F}{4}$

解得：$F=9\text{N}$，$F_f=5\text{N}=\mu mg$，$\mu=0.125$

<答案> 9N，0.125

【例13】 如图所示，小木块从高 $h=6.0\text{m}$、倾角为37°的固定斜面的顶端由静止开始沿斜面滑至底端，到达底端时的速度大小为 8.0m/s.（g



取$10\text{m}/\text{s}^2$）求：

（1）木块从斜面顶端滑至底端所需的时间；

（2）小木块与斜面间的动摩擦因数.

<解析> （1）$a=\frac{v_t^2}{2s}=\frac{64}{2\times10}\text{m/s}=3.2\text{m/s}$，$t=\frac{v_t}{a}=\frac{8.0}{3.2}\text{s}=2.5\text{s}$

（2）设小木块的质量为m，则$mg\sin37°-f=ma$，$mg\cos37°-N=0$，$f=\mu N$，解得

$\mu=0.35$

<答案> （1）2.5s （2）0.35

【例14】 某物体从倾角30°，长为$5\sqrt{3}\text{m}$的斜面顶端匀速滑下，若保持斜面长度不变，将斜面倾角变为60°时，则该物体从斜面顶端由静止滑至底端需要的时间为_____.

<答案> 1.73s

通讯卫星

火箭、飞弹、太空航具，或其他人造物体被置入绕地球公转之轨道上者，均称为人造卫星。而作为通讯用的卫星则称为“通讯卫星”。通讯卫星有两种，被动的和自动的。被动的通讯卫星仅仅是一具反射器。播送站向那卫星发射讯号，这讯号被传送到地面上另一个遥远的接收站。自动的通讯卫星接收讯号后，把它加强，再把它发送出去。它们包含有接收、加强和播送的设备，以特殊的电池或太阳能电池作动力。为了把通讯微波信号，传送得更远，经常采用同步通讯卫星。所谓同步卫星，是指卫星经发射后，它与地球某点的相关位置不变，实际上这些卫星并非在那里静止不动，因为要达到同步的目的，卫星必然要以和地球自转的角速度相同的速度围绕地球转动。根据开普勒第三定律，卫星绕地球的周期因其平均轨道高度增加而增长。故在某一定高度时可期望致使卫星的周期与地球自转周期相同，如此则卫星与地球某点之相关位置可以不变，这个高度大约是 35783 公里。此种高度的卫星称为同步卫星。严格说来，仅是高度这一要求还不够，而必须又是在赤道面中圆形轨道上的卫星才真正能与地球某点相关位置不变。需要正圆形轨道是根据开普勒第二定律而来，此定律说明卫星在椭圆轨道上时其速度永远在改变，在最低点时为最高速，最高点时为最低速，故在椭圆轨道上的同步卫星，因为速率不定的结果，对地球上某点时而偏东时而偏西。卫星在赤道面轨道运行时称之为赤道轨道，如果轨道平面与赤道面成一个角度时，这个同步卫星称之为倾斜同步卫星，这时卫星对地球上某一点来说会时而偏北时而偏南。以这样的同步卫星作为通讯用的卫星就称之为“同步通讯卫星”由于这种卫星和地球上的某一地区处于同步，如果在赤道上空 36000 公里以外的高处，设置三颗同步卫星，就可以把微波信号传到全世界的任何地区。

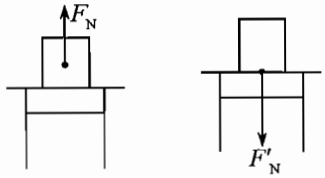


第5讲
有趣的牛顿定律

一、牛顿第三定律

●知识点1　物体间的力是相互的

相互作用的一对力，任选其中一个力称为**作用力（action）**，另一个力就是**反作用力（reaction）**．一对作用力与反作用力的性质总是相同的，作用力与反作用力总是作用在不同的物体上．



（1）重力的作用是相互的

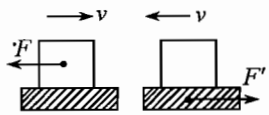
物体受到重力作用，施力者是地球，同时，地球也受到了物体对它的力的作用．对这个力而言，地球是受力者．

（2）弹力的作用是相互的，如右图所示．

放在水平桌面上的木块，由于桌面发生形变，给木块一向上的支持力 F_N．同时由于木块发生形变，对桌面产生一个向下的压力 F'_N．

（3）摩擦力的作用是相互的

放在粗糙木板上的木块相对木板向右运动时受到木板给它向左的摩擦力．由于运动的相对性，木板相对木块向左运动，从而受到木块给它向右的摩擦力．如图所示．



大量的实例表明，力的作用都是相互的，也就是说，任何物体是施力物体的同时，也是受力物体．两个物体间相互作用的这一对力，叫做作用力与反作用力．显而易见，自然界中的物体相互作用力的数目必然是偶数．

●知识点2　牛顿第三定律

（1）**牛顿第三定律（Newton third law）：两个物体之间的作用力与反作用力总是大小相等，方向相反，作用在一条直线上．**

（2）表达式：$F_1=-F_2$，F_1 表示作用力，F_2 表示反作用力，“－”号表示两个力方向相反．

（3）牛顿第三定律的特点：

① 普适性：一对作用力与反作用力总是大小相等、方向相反，作用在同一条直线上．这里的“总是”是强调对于任何物体，无论在何时、何地、何种情形、何种条件下，两个力等大、反向的关系都是成立的，不受质量大小，运动状态等因素的影响．

② 同时性：作用力与反作用力，总是同时产生、同时消失、同时变化、瞬时对应的．没有先后之分，也没有主次之差别，只有成对出现、形影相随之特点．

③ 等值性：作用力与反作用力总是大小相等．平衡态和非平衡态下的相互作用力都是一对等大的力；“以卵击石”时，也是“卵与石”之间的相互作用力大小相等．

④ 共线性：物体之间的作用力与反作用力永远在一条直线上，但方向相反．

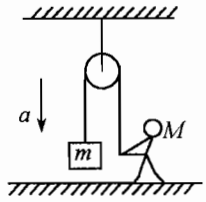
⑤ 异体性：作用力与反作用力分别作用在两个物体上．所以施力物体同时也是受力物体．

⑥ 同质性：作用力与反作用力一定是一对性质相同的力．作用力是引力则反作用力也一定是引力．

⑦ 实验性：牛顿第三定律是一个实验定律，可以用实验方法来证明作用力与反作用力是等大反向的．

例题精讲

【例1】 质量为 M 的人站在地面上，用绳通过定滑轮将质量为 m 的重物从高处放下，如图所示，若重物以加速度 a 下降（$a<g$），则人对地面的压力为（　　）



A. $(M+m)g-ma$　　**B.** $M(g-a)-ma$

C. $(M-m)g+ma$　　**D.** $Mg-ma$

<解析> （1）解此类问题的关键是，以加速度方向为正方向，利用牛顿第二定律列式求解；

（2）注意使用牛顿第三定律，因为人对地面压力并不是地面对人的弹力．

对 m，设绳的拉力为 F，由牛顿第二定律知：$mg-F=ma$，

所以，绳的拉力 $F=mg-ma$．

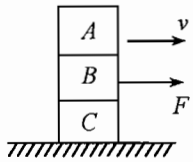
对 M，受重力、绳的拉力及地面弹力而平衡，则 $Mg=F_N+F$，

所以 $F_N=Mg-F=(M-m)g+ma$．

据牛顿第三定律知，人对地面压力大小也为 $(M-m)g+ma$．

<答案> C

【例2】 如图所示，A、B、C 为三个完全相同的物体，当水平力 F 作用于 B 上，三物可一起匀速运动，撤去力 F 后，三物仍可一起向前运动，设此时 A、B 间作用力为 F_1，BC 间作用力为 F_2，则 F_1 与 F_2 的大小为（　　）



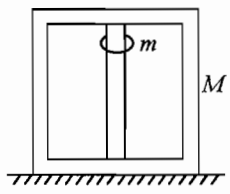
A. $F_1=F_2=0$　　**B.** $F_1=0$，$F_2=F$

C. $F_1=\frac{F}{3}$，$F_2=\frac{2}{3}F$　　**D.** $F_1=F$，$F_2=0$

<解析> 开始时三物一起匀速运动，则知 $F=F_{f地}$，撤去 F 后，整体受地面的摩擦力为 $F_{f地}$，整体匀减速运动，故 $F_{f地}=3ma$，$a=\frac{F}{3m}$，对 A，则 $F_1=ma=m\cdot\frac{F}{3m}=\frac{F}{3}$，对 AB 整体，则 $F_2=2ma=2m\cdot\frac{F}{3m}=\frac{2}{3}F$．

<答案> C

【例3】 如图所示，一个箱子放在水平地面上，箱内有一固定的竖直杆，在杆上套着一个环，箱和杆的质量为 M，环的质量为 m，已知环沿着杆加速下滑，环与杆的摩擦力的大小为 F，则此时箱子对地面压力（　　）



A. 等于 Mg　　**B.** 等于 $(M+m)g$

C. 等于 $Mg+F$　　**D.** 等于 $(M+m)g-F$

<解析> 此题要求箱子对地面的压力，必然要用到牛顿第三定律，先求出地面对箱子的支持力 N，根据作用力与反作用力的关系，可得箱子对地面的压力 N' 与 N 大小相等．所以应将箱子隔离出来进行受力分析，然后根据箱子处于平衡状态即可求得 N'．

对环来说，它受两个力作用，重力 mg，方向竖直向下，杆对环的摩擦力 F，方向竖直向上，由牛顿第三定律可知，环对杆的摩擦力大小亦为 F，方向竖直向下．

对箱子来说，它受到三个力作用，重力大小为 Mg，方向竖直向下，环对杆的摩擦力为 F，方向竖直向下，地面对箱子的弹力大小设为 N，方向竖直向上．箱子静止在水平地面上，

根据平衡条件，则有 $N=Mg+F$ ，再根据牛顿第三定律，箱子对地面压力 N' 大小等于 $Mg+F$ ，方向竖直向下．故本题应选 C．

<答案>　C

二．力学单位制

●知识点 1　单位制

单位是为了测量、比较量的大小而建立的，在学习物理时，正确使用单位非常重要．物理公式在确定了物理量的数量关系的同时，也确定了物理量的单位关系．物理学中人为选定了几个单位作为**基本单位**，其他的物理量的单位可以通过公式用基本单位导出，这些物理量的单位称为**导出单位**．基本单位和导出单位构成了**单位制（system of units）**．

●知识点 2　基本单位

在物理学中有七个基本的物理量，它们是长度、质量、时间、电流强度、热力学温度、物质的量、发光强度，它们的单位分别是米（m）、千克（kg）、秒（s）、安培（A）、摩尔（mol）、开尔文（K）、坎德拉（cd），它们是**国际单位制**（SI）中的基本单位．

在力学中选定了质量（m）、长度（L）、时间（t）这三个物理量的单位千克（kg）、米（m）、秒（s）作为力学的基本单位．在力学单位制中把质量（m）、长度（L）、时间（t）称为基本物理量．

●知识点 3　导出单位

由基本单位通过物理公式推导而得到的单位叫做导出单位．如速度 $v=\dfrac{\Delta x}{\Delta t}$，单位为米/秒（m/s）；加速度 $a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$，单位为米/秒^2（m/s^2）；又由牛顿第二定律有 $F=ma$，力的单位为千克·米/秒^2（kg·m/s^2），且规定 1牛顿（N）=1千克·米/秒^2（kg·m/s^2）．

【例4】　在牛顿第二定律公式 $F=kma$ 中，比例系数 k 的数值（　　）．

A．在任何情况下都等于1

B．是由质量 m、加速度 a 和力 F 三者的大小所决定的

C．是由质量 m、加速度 a 和力 F 三者的单位所决定的

D．在国际单位制中一定等于1

<解析>　物理公式在确定物理量的数量关系的同时也确定了物理量单位的关系．课本上牛顿第二定律的公式 $F=ma$ 是根据实验结论导出的，其过程简要如下：

实验结论一：$a\propto F$；实验结论二：$a\propto\dfrac{1}{m}$

综合两个结论，得　$a\propto\dfrac{F}{m}$ 或 $F\propto ma$

上式写成等式为 $F=kma$，其中 k 为比例常数．如果选用合适的单位，可使 $k=1$．为此，对力的单位“N”作了定义：使质量是1kg的物体产生1m/s^{2}的加速度的力，叫做1N，即1N=1kg·m/s^2．据此，公式 $F=kma$，加中，如果各物理量都用国际单位（即 F 用N作单位、m 用kg作单位、a 用m/s^{2}作单位），则 k=1．由此可见，公式 $F=kma$ 中的比例常数 k 的数值，是由质量 m、加速度 a 和力 F 三者的单位所决定的，在国际单位制中 k=1，并不是在任何情况下 k 都等于1，故选项 A、B 错，选项 C、D 正确．

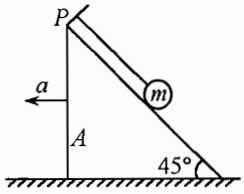
<答案>　C、D

【例5】 在国际单位制中，下列属于基本单位的是（ ）

A．cm　　B．s　　C．kg　　D．g

<答案> BC

【例6】 （临界加速度问题）如图所示，一细线的一端固定于倾角为45°的光滑楔形滑块A的顶端P处，细线的另一端拴一质量为m的小球．试求当滑块以$a=2g$的加速度向左运动时线中的拉力F_T．



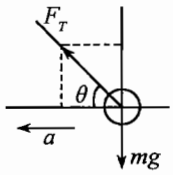
<解析> 本题中当滑块向左运动的加速度较小时，滑块对小球存在支持力；当滑块向左运动的加速度较大时，小球将脱离滑块斜面而“飘”起来．因此，本题存在一个临界条件：当滑块向左运动的加速度为某一临界值时，斜面对小球的支持力恰好为零（小球将要离开斜面而“飘”起来）．我们首先求此临界条件．此时小球受两个力：重力mg；绳的拉力F_T．根据牛顿第二定律的正交表示，有

$F_T\cdot\cos\theta=ma$ ①　，　$F_T\cdot\sin\theta-mg=0$ ②

联立上述两式并将$\theta=45°$代入，得$a=g$，

即当斜面体滑块向左运动的加速度为$a=g$时，小球恰好对斜面无压力．

当$a>g$时，小球将“飘”起来，当$a=2g$时，小球已“飘”起来了，此时小球的受力情况如图所示，故根据①②两式并将$a=2g$代入，解得$F_T=\sqrt{5}mg$.



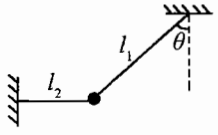
此即为所求线中的拉力．

<答案> $\sqrt{5}mg$

【点评】 在本题的解析过程中，通过对临界条件的求解，可清楚看到，当$a>g$时，绳与水平方向的夹角小于45°，且a越大，夹角θ越小（其极限值为：$a\to\infty$时，$\theta\to0$）．很多同学在求解此题时常犯下列错误：由方程①得$F_T\cdot\cos45°=m\cdot2g$，从而得$F_T=2\sqrt{2}mg$．实际上$a=2g$时球已离开斜面，线与水平方向的夹角不再是45°了．

另外，可以让学生思考一下，本题当系统向右、向下或向上做加速（或减速）运动时，还可能会有哪些“临界条件”？

【例7】 如图所示，一质量为m的物体系于长度分别为l_1、l_2的两根细线上，l_1的一端悬挂在天花板上，与竖直方向夹角为θ，l_2水平拉直，物体处于平衡状态．现将l_2线剪断，求剪断瞬时物体的加速度．



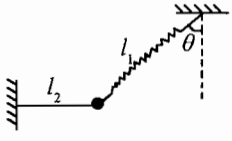
（1）下面是某同学对该题的一种解法：

解：设l_1线上拉力为T_1，l_2线上拉力为T_2，重力为mg，物体在三力作用下保持平衡，即：$T_1\cos\theta=mg$，$T_1\sin\theta=T_2$，$T_2=mg\tan\theta$

剪断线的瞬间，T_2突然消失，物体即在T_2反方向获得加速度．因为$mg\tan\theta=ma$，所以加速度$a=g\tan\theta$，方向在T_2反方向．

你认为这个结果正确吗?请对该解法做出评价并说明理由．

（2）若将图中的细线l_1改为长度相同、质量不计的轻弹簧，如右图所示，其他条件不变，求解的步骤和结果与（1）完全相同，即



$a=g\tan\theta$，你认为这个结果正确吗?请说明理由.

<解析> 求解此题先要对其结果做出评价，即明确指出是“对”还是“错”；其次应说明错的原因或对的理由，但求解此题的关键是应搞清楚在剪断l_2的瞬间，绳l_1的力发生了突变，而弹簧l_1上的力不能发生突变，仍为未剪断时的大小和方向．剪断的瞬间，绳子的弹力立即改变，弹簧弹力不变．

（1）错．因为l_2被剪断的瞬间，l_1上的张力大小发生了变化．

（2）对．因为l_2被剪断的瞬间，弹簧l_1的长度来不及发生变化，T_1大小和方向都不变．

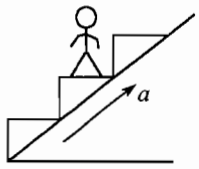
【例8】 A、B两个物体的质量分别为m_1和m_2，且$m_1>m_2$，在同一高度，同时由静止开始下落，下落过程中空气对两物体的阻力大小相等，则（ ）

A．两物体同时落地　　B．A先落地，B后落地

C．落地时A的速度大于B的速度　　D．落地时A的速度小于B的速度

<答案> BC

【例9】 如图所示，站在自动扶梯上的人随扶梯斜向上做加速运动，关于人受到的力，以下说法正确的是（ ）



A．摩擦力为零　　B．摩擦力方向水平向右

C．支持力等于重力　　D．支持力大于重力

<答案> BD

【例10】 在一条倾斜的、静止不动的传送带上，有一铁块正匀速向下滑动，现突然开动传送带使之向上加速运动，该铁块滑到底端所需时间与原来相比较将（ ）

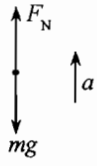
A．不变　B．增多　C．减小　D．不能确定

<答案> A

三、超重和失重

●知识点1 超重现象

超重（overweight）现象：当物体存在向上的加速度时，物体对支持物的压力（或对悬挂物的拉力）大于物体本身重力的现象称为超重现象．若支持物或悬挂物为测力计，则超重时“视重”大于实重，超出的部分为ma，此时物体可有向上加速或向下减速两种运动形式．



在升降机中的机板的测力计上挂有一质量为m的物体，整个升降机系统有向上的加速度a，那么物体对升降机测力计的压力是否还等于自身的重力?压力如何求呢?

物体受到重力和支持力，如图所示，由牛顿第二定律，得

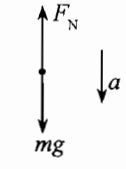
$F_N-mg=ma$，　$\therefore F_N=m(g+a)>mg$．

由牛顿第三定律，物体受到支持力和物体对测力计的压力大小相等．

●知识点2 失重现象

失重现象：当物体存在向下的加速度时，物体对支持物的压力（或对悬挂物的拉力）小于物体本身重力的现象称为失重现象．失重时“视重”小于实重，失去部分为ma，此时物体可做向上减速或向下加速运动．

若升降机系统具有向下的加速度为a，如图所示则由牛顿第二定律得



$mg-F_N=ma$，$\therefore F_N=m(g-a)<mg$．

由牛顿第三定律，物体受到的支持力和物体对测力计的压力大小相等．

●知识点3 完全失重

在失重现象中，物体对支持物体的压力（或对悬挂物的拉力）等于零的状态称为完全失重状

态．此时“视重”等于零，物体运动的加速度方向向下，大小为g．

在上图中，若$a=g$时，则由牛顿第二定律，得：

$mg-F_N=mg$，$F_N=0$．

则物体对支持物的压力变为零．

例题精讲

【例11】 在一个封闭装置中，用弹簧测力计称一物体的重量，根据读数与物体实际重量之间的关系，则以下判断中正确的是（ ）

A．读数偏大，表明装置加速上升

B．读数偏小，表明装置减速下降

C．读数为零，表明装置运动加速度等于重力加速度，但无法判定是向上还是向下运动

D．读数准确，表明装置匀速上升或下降

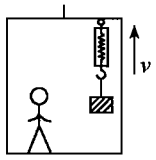
＜解析＞ 弹簧测力计读数与物体实际重量的大小关系，表明了物体在竖直方向的受力情况．便确定了加速度的方向是竖直方向，但是不能说明运动的方向，因为速度跟物体的加速度、受力情况无关．

弹簧测力计读数为零，即完全失重．这表明整具装置运动的加速度等于重力加速度g．但是$a=g$将会有两种情况：①加速下落；②减速上升，所以C正确．

读数偏大，即超重，表明装置加速度方向向上，可能的运动情况是加速上升或减速下降．故A选项错，同理知B选项也错；读数准确，即正常状态．装置可能静止，也可能正在向任意一个方向做匀速直线运动，故D选项错误．

＜答案＞ C

【例12】 一个质量为50kg的人，站在竖直向上运动着的升降机地板上，他看到升降机挂着重物的弹簧秤示数为40N，如图所示，已知重物质量为5kg，g取10m/s^2，这时人对升降机地板的压力（ ）



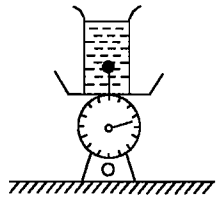
A．大于500N　　B．小于500N

C．等于500N　　D．上述答案都不对

＜答案＞ B

【例13】 如图所示，台秤上装有盛水的杯，杯底用细绳系一木质小球，若细线突然断裂，则在小木球上浮到水面的过程中，台秤的示数将（ ）

A．变小　　B．变大　　C．不变　　D．无法判断



＜解析＞ 将容器和木球看做整体，整体受测力计竖直向上的支持力和竖直向下的重力，当细线被剪断后，其实际效果是：在木球向上加速运动的同时，木球上方与该木球等体积的水球，将以同样大小的加速度向下加速流动，从而填补了木球占据的空间，由于$\rho_{水}>\rho_{木}$，水球的质量大于木球的质量，因此木球和水组成的系统其质心有向下的加速度，整个系统将处于失重状态，故台秤的示数将变小．

＜答案＞ A

教学建议：

本讲内容相对少了不少，方便对前面教学内容调节，讲得快的话可以补充一下惯性力的内容

开普勒定律的提出

1601 年，第谷逝世。约翰·开普勒接替了第谷的工作，开始编制鲁道夫星表。但开普勒的兴趣和注意力却更多的放在改进和完善哥白尼的日心说上，在探讨行星轨道性质的研究上。他发现第谷的观测数据，与哥白尼体系、托勒密体系都不符合。他决心寻找这种不一致的原因和行星运行的真实轨道。

最初的研究从观测与理论差异突出的火星着手。他运用传统的匀速圆周运动加偏心圆来计算，均遭到失败。经过长达 4 年近 70 次各种行星轨道形状设计方案的计算，开普勒认识到哥白尼体系的匀速圆周运动和偏心圆的轨道模式与火星的实际运动轨道不符。于是他大胆的抛弃了统治人类思想达 2000 年之久的“匀速圆周运动”偏见，尝试用别的几何曲线来表示火星轨道的形状。他认为行星运动轨道的焦点应该在产生引力中心的太阳上，并进而断定火星运动的线速度不是匀速的，近太阳时快些，远太阳时慢些并得出结论：太阳至火星的直径在一天内扫过的面积是相等的。

开普勒把这结论推广到其他行星上，结果也是与观测数据相符。就这样，他首先得到了行星运行的等面积定律。随后他发现火星运行的轨道不是正圆，而是焦点位于太阳上的椭圆，他把这结论应用于其他行星也是适用的。于是他又得到了行星运行的椭圆轨道定律。这两条定律发表在他 1609 年出版的《新天文学》一书上。但他对自己取得的成就还不满足。他渴望找到一种能适合所有行星的总体模式，把各行星联系在一起。他坚信存在着一个把全体行星完整地联系在一起的简单法则。

在这个信念鼓舞下，开普勒忍受着个人在家庭方面遭受的巨大不幸，在很少有人了解和支持的困难条件下，经过九年的反复计算和假设，终于在 1618 年找到在大量观测数据后面隐匿的数的和谐性：行星公转周期的平方与它们到太阳的平均距离的立方成正比。这就是周期定律。1619 年，他在《宇宙的和谐》一书中介绍了第三定律，他情不自禁地写道：“认识到这一真理，这是超出我的最美好的期望的。大局已定，这本书是写出来了，可能当代有人阅读，也可能是供后人阅读的。它很可能要等一个世纪才有信奉者一样，这一点我不管了。”

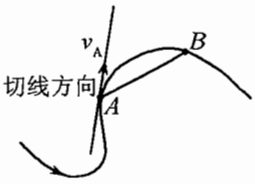
开普勒的三定律是天文学的又一次革命，它彻底摧毁了托勒密繁杂的本轮宇宙体系，完善和简化了哥白尼的日心宇宙体系。开普勒对天文学最大的贡献在于他试图建立天体动力学，从物理基础上解释太阳系结构的动力学原因。虽然他提出有关太阳发出的磁力驱使行星作轨道运动的观点是错误的。但它对后人寻找出太阳系结构的奥秘具有重大的启发意义，为经典力学的建立、牛顿的万有定律的发现，都作出重要的提示。

第6讲
圆周运动

一、曲线运动的受力特征

1．曲线运动的速度方向

曲线运动中速度的方向是时刻改变的，质点在某一点（或某一时刻）的速度方向是在曲线的这一点的切线方向，如图所示.



说明：速度是矢量，既有大小，又有方向，不论速度的大小是否改变，只要速度的方向发生改变，就表示速度矢量发生了变化，也就是有加速度．曲线运动中速度的方向时刻在改变，所以曲线运动是变速运动．

2．对做曲线运动的条件的理解

（1）曲线运动一定存在加速度

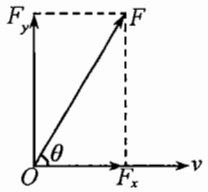
由于曲线运动的速度方向不断地改变，因此$\Delta v \neq 0$，所以根据$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$，$a$一定不为零．并且根据牛顿第二定律的瞬时性、矢量性，a的方向总是与合外力的方向一致的，因此，曲线运动中加速度的方向与速度方向也一定不在同一条直线上.

（2）曲线运动所受合外力一定不为零

在曲线运动中，由于a不为零，根据牛顿第二定律$F=ma$，可知合外力一定不为零.如果物体所受合外力是恒力，则加速度是恒定的，物体就做匀变速运动，如即将学到的平抛运动；如果物体所受合外力是变力，那么加速度就是变化的，物体就做变速曲线运动，如即将学到的圆周运动.

（3）合外力是怎样改变速度方向的

因为速度方向时刻发生变化，因而合外力与速度方向不在同一直线上．我们可把合外力分解为垂直于速度方向上的分力和平行于速度方向上的分力，平行于速度方向上的分力F_x改变速度的大小，垂直于速度方向上的分力F_y改变速度的方向．如图所示.



【例1】 一个物体在光滑水平面上以初速度 v 做曲线运动，已知物体在运动过程中只受到水平恒力的作用，其运动轨迹如图所示，那么，物体在由 M 点运动到 N 点的过程中，速度大小的变化情况是（　　）

A 逐渐增大.　　B 逐渐减小.

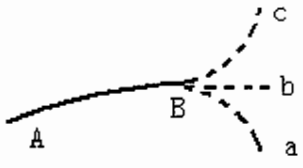
C 先增大后减小.　　D 先减小后增大.



<答案>：C

【例2】 如图所示，物体在恒力作用下沿曲线从 A 运动到 B，这时它所受的力突然反向。大小不变。在此力作用下，物体以后的运动情况中，可能的是　　（　　）

A．沿曲线 Ba 运动　　B．沿曲线 Bb 运动



C.沿曲线 Bc 运动　　D．沿曲线由 B 返回 A

<答案>：C



二、匀速圆周运动

1．定义：质点沿圆周运动，如果在相等的时间里通过的圆弧长度相等，这种运动就叫做匀速圆周运动．

2．说明：（1）匀速圆周运动是曲线运动，存在加速度，所受合力一定不为零．（2）匀速圆周运动是圆周运动中最基本、最特殊的圆周运动．（3）匀速圆周运动中质点的路程与时间成正比．

3．匀速圆周运动与匀速直线运动的异同

相同点：（1）质点的路程均与时间成正比．（2）速率均不变．

不同点：（1）匀速圆周运动是曲线运动，合外力不为零，加速度不为零，速度大小虽然不变，但速度方向在时刻改变；匀速直线运动是直线运动，合外力为零，加速度为零，是速度不变的运动．（2）匀速圆周运动的描述必须用多个物理量，比如快慢要用线速度、角速度、周期、频率、转速等；而匀速直线运动只用速度即可以．

4．描述匀速圆周运动的物理量

（1）线速度

①定义：做圆周运动的物体，转过的弧长 s 跟所用时间 t 的比值，就是匀速圆周运动的线速度的大小，用符号 v 表示，则 $v=\frac{s}{t}$．线速度的方向就在圆周该点的切线方向上．

②说明：

a．线速度就是物体做圆周运动的即时速度，描述做圆周运动的质点运动的快慢，是为了相对角速度便于区分而命名的．

b．对于匀速圆周运动来说，线速度的大小是恒定的．因此是匀速率圆周运动，简称为匀速圆周运动．

c．对于一般的圆周运动，线速度的大小，是不断变化的．

（2）角速度

①定义；在圆周运动过程中，连接物体和圆心的半径转过的角度 φ 和所用时间 t 的比值，叫做匀速圆周运动的角速度，用符号 ω 表示，则有 $\omega=\frac{\varphi}{t}$．

②说明：

a．角速度是描述质点绕圆心转动快慢的，对于匀速圆周运动来说，角速度是不变的．

b．角速度与线速度没有必然联系，同一转动物体，各点的角速度是一样的，而同一半径上的各点线速度是不同的．

c．计算角速度时，角度需用弧度制．

（3）周期和频率：

①周期：做圆周运动的物体运动一周所用的时间，叫做周期，用符号 T 表示．

频率：做圆周运动的物体单位时间内沿圆周绕圆心转过的圈数，叫做频率，用符号 f 表示．

②说明：

a．匀速圆周运动是一种周期性运动，可以用周期和频率描述运动的快慢．

b．周期和频率都是标量，周期国际单位是秒，频率国际单位是赫兹，角速度大的转动物体周期短，频率高．

c．周期可以由频率算出，二者互为倒数关系，即 $f=\frac{I}{T}$．

5．匀速圆周运动中 v、ω、T、f 的关系：

说明：T、f、ω 三个量中任一个确定，其余两个也就确了．

$$T=\frac{1}{f};\quad \omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi f;\quad v=\frac{2\pi}{T}r=2\pi fr=\omega r$$

6．非匀速圆周运动

质点沿圆周运动，如果在相等的时间里通过的弧长不相等，这种运动就是非匀速圆周运动．

说明：对于非匀速圆周运动，线速度v和角速度ω要随物体位置的变化而变化，但公式$v=r\omega$仍然成立，体现的是一种瞬时对应关系．

三、向心力和向心加速度

1．向心力

（1）定义：作用于物体只改变线速度方向，不改变线速度大小，使物体做圆周运动的力．

（2）向心力的大小：$F=ma=m\frac{v^2}{r}=mr\omega^2$

（3）向心力的方向：总是沿半径指向圆心，方向时刻在改变，因此向心力是变力．

2．对向心力的进一步理解

（1）公式$F=\frac{mv^2}{r}=m\omega^2r$适用于任何形式的圆周运动，该公式实质上是牛顿第二定律在曲线运动中的应用．在匀速圆周运动中向心力大小恒定，在非匀速圆周运动中，式中各量取瞬时值，利用的是牛顿第二定律的瞬时对应关系．

（2）向心力是根据力的作用效果命名的，不是某种特殊性质的力，它可以由重力、弹力、摩擦力等提供．总之，它是由物体所受各力沿半径方向上分力的合力来提供．

（3）向心力的作用效果：只改变速度的方向，不改变速度的大小．向心力指向圆心，而物体的运动方向沿圆周上该处的切线方向，两者相互垂直，物体在运动方向上所受的合外力为零，在这个方向上无加速度，速度大小不会改变，所以向心力只改变速度的方向．

（4）向心力与质量、转动半径、角速度均有关．向心力大小与多个变量有关，因此在分析问题时，一定要利用控制变量的方法来处理，即在设定其他变量不变的条件下，来分析所需向心力与某一变量的关系，向心力F跟T、ω（或v）是瞬时对应关系．

（5）在匀速圆周运动中，合外力不改变线速度大小，向心力即为物体所受的合外力；在变速圆周运动中，合外力一方面要改变线速度的大小，另一方面要改变线速度的方向，所以向心力不一定等于物体所受的合外力，并且由于变速圆周运动线速度大小不恒定，所以变速圆周运动中向心力大小不恒定．

3．向心加速度

（1）定义：描述圆周运动中线速度方向改变的快慢．

（2）大小：$a=\frac{v^2}{r}=\omega^2r$，由公式可以看出，向心加速度大小与$r$、$\omega$（或$v$）有关，对于匀速圆周运动来说，向心加速度大小不变，方向改变，因而向心加速度是变化的，匀速圆周运动是变加速度运动；对于非匀速圆周运动，向心加速度大小、方向都发生变化．

（3）方向：方向总是指向圆心．所以不论a的大小是否变化，它都是个变化的量．

（4）对向心加速度的理解

①向心加速度是由向心力产生的，向心力与向心加速度具有瞬时对应关系，即向心力改变时，向心加速度随即改变．

②在匀速圆周运动中指向圆心的向心加速度即为物体的合加速度；对于非匀速圆周运动，加速度不指向圆心，其沿半径方向指向圆心的分量改变线速度的方向，此分量即为向心加速度，另一分量沿圆周切线方向，改变线速度的大小．

③与重力加速度的比较

相同点：a．均为描述速度变化快慢的物理量；b．均为矢量．

不同点：a．向心加速度虽然一直指向圆心，大小不变，但方向时刻发生变化，因此向心加速度是变量；重力加速度方向始终竖直向下，且大小不变，是恒量．b．重力加速度是重力产生的；向心加速度是向心力产生的，对于匀速圆周运动来说，向心加速度一定是合外力产生的．c．向心加速度对于不同的圆周运动来说大小可以不同；而重力加速度（只要是同一地区）均相同，均为9.8m/s^2．



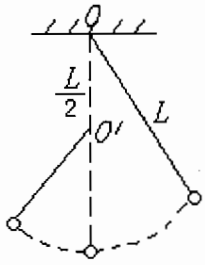
【例3】 时针和分针转动时（ ）

（A）分针的角速度是时针的 12 倍

（B）时针的周期是 12 小时，分针的周期是 60 秒

（C）如果分针的长度是时针的 1.5 倍，则分针端点的向心加速度是时针端点的 216 倍

（D）如果分针的长度是时针的 1.5 倍，则分针端点的线速度是时针的 18 倍

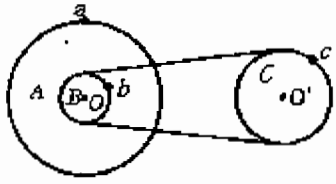


<答案> **ACD**

【例4】 一小球质量为 **m**，用长为 **L** 的悬线固定于 **O** 点，在 **O** 点正下方 **L/2** 处钉有一根长钉，把悬线沿水平方向拉直后无初速度地释放小球，当悬线碰到钉子的瞬时（ ）

（A）小球的向心加速度突然增大，　　（B）小球的角速度突然增大

（C）小球的速度突然增大　　（D）悬线的张力突然增大

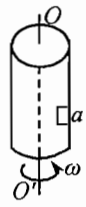


<答案> **ABD**

【例5】 如图所示，轮 A，B 同轴转动，轮 C，B 间通过皮带传动，皮带不打滑，已知 A，B，C 三轮半径之比 R_a：R_b：R_c=3：1：2. 求三轮边缘上三点 a，b，c 的线速度之比、角速度之比、向心加速度之比。

<答案> **3：1：1　　2：2：1　　6：2：1**

【例6】 如图所示，半径为 r 的圆筒，绕竖直中心轴 ω 转动，小物块 a 靠在圆筒的内壁上，它与圆筒的摩擦因数为 μ，现要使 a 不下滑，则圆筒转动的角速度 ω 至少为（ ）

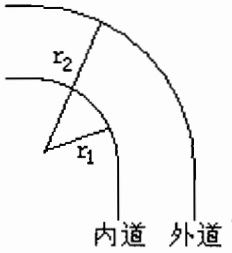


A. $\sqrt{\frac{\mu g}{r}}$　　**B.** $\sqrt{\mu g}$　　**C.** $\sqrt{\frac{g}{r}}$　　**D.** $\sqrt{\frac{g}{\mu r}}$

<解析> **要使 a 不下滑，则 a 受筒的最大静摩擦力作用，此力与 a 的重力平衡，筒壁对 a 的支持力提供向心力，则 $N=mr\omega^2$，而 $f_m=mg=\mu N$，$\therefore mg=\mu mr\omega^2$，$\therefore \omega=\sqrt{\frac{g}{\mu r}}$．$a$ 刚好不下滑时筒壁对 a 施加一个最大静摩擦力作用，此时圆筒角速度最小．**

<答案> **D**

【例7】 如图所示，赛车在水平赛道上作 90° 转弯，其内、外车道转弯处的半径分别为 r_1 和 r_2，车与路面间的动摩擦因数和静摩擦因数都是 μ．试问：竞赛中车手应选图中的内道还是外道转弯?



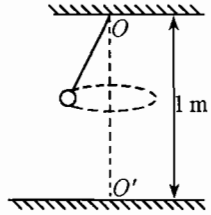
<解析> **地面能提供的向心加速一定，取决于摩擦因数，所以在外道能够以更大的速度拐弯。**

不过外道走的距离多:(

【例8】 如下图所示，质量是1kg的小球用长为0.5m的细线悬挂在O点，O点距地面高度为1m，如果使小球绕OO'轴在水平面内做圆周运动，若细线最大承受拉力为12.5N，求：

（1）当小球的角速度为多大时，线将断裂；

（2）断裂后小球落地点与悬点的水平距离.（$g=10\text{m/s}^2$）



<解析> 小球受到重力mg和线的拉力T作用，在水平面内做匀速圆周运动（即圆锥摆运动），设线与竖直方向的夹角为θ.

（1）由牛顿第二定律得$T\sin\theta=m\omega^2r=m\omega^2L\sin\theta$

所以$\omega=\sqrt{\dfrac{T}{mL}}\text{rad/s}=\sqrt{\dfrac{12.5}{1\times0.5}}=5\text{rad/s}$.

（2）绳被拉断后小球沿圆周的切线方向飞出，做平抛运动，其初速度

$v_0=\omega L\sin\theta$ .....①

又因为$T\cos\theta=mg$ .....②

由②得$\cos\theta=\dfrac{mg}{T}=\dfrac{10}{12.5}=0.8$，所以$\sin\theta=0.6$，代入①式得

$v_0=5\times0.5\times0.6=1.5\text{m/s}$.

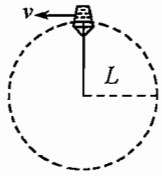
抛出点离地面的高度$h=1-L\cos\theta=0.6\text{m}$.

又根据平抛运动的规律$\begin{cases}h=\dfrac{1}{2}gt^2\\x=v_0t\end{cases}$

得$x=v_0\sqrt{\dfrac{2h}{g}}=(1.5\times\sqrt{0.12})\text{m}=(0.3\times\sqrt{3})\text{m}$.

落点到悬点的水平距离$x'=\sqrt{x^2+(L\sin\theta)^2}=0.6\text{m}$.

【例9】 杂技演员表演“水流量”，在长为1.6m的细绳的一端，系一个总质量为$m=0.5\text{kg}$的盛水容器，以绳的一端为圆心，在竖直平面内做圆周运动，如图所示，若“水流星”通过最高点的速度为$v=4\text{m/s}$，则下列说法正确的是（　）



A．“水流星”通过最高点时，有水从容器中流出

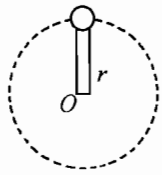
B．“水流星”通过最高点时，绳的张力及容器底受到的压力均为零

C．“水流星”通过最高点时，处于完全失重状态，不受力的作用

D．“水流星”通过最低点时，绳的张力及容器底受到的压力最大

<答案> BD.

【例10】 如图所示，一轻杆一端固定质量为m的小球，以另一端O为圆心，使小球做半径为r的圆周运动，以下说法正确的是（　）



A．小球通过最高点时，杆所受的弹力可以等于零

B．小球通过最高点时的最小速度为$\sqrt{gr}$

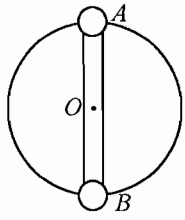
C．小球通过最高点时，杆对球的作用力可以与球所受重力方向相反，此时重力一定大于杆对球的作用力

D．小于通过最高点时，杆对球的作用力一定与小球所受重力方向相反

<解析> 因为小球用轻杆支持，所以过最高点的$v_{临界}=0$，故B错误，当$v=\sqrt{rg}$时，$N=0$，所以A正确，当$0<v<\sqrt{rg}$时，$mg>N>0$，N为支持力，故C正确；当$v>\sqrt{rg}$时，$N>0$，N为拉力，所以D错误.

<答案> AC

【例11】 轻杆长为$2l$，水平转轴装在中点O，两端分别固定着小球A和B．A球质量为m、B球质量为$2m$，在竖直平面内做圆周运动．



（1）当杆绕O转动到某一速度时，A球在最高点，如图所示，此时杆OA恰不受力，求此时轴O的受力大小和方向．

（2）保持（1）问中的速度，当B球运动到最高点时，求轴O的受力大小和方向．

（3）在杆的转速逐渐变化的过程中，能否出现轴O不受力的情况?此时A和B的状态如何?

<解析> 杆已不能看作是一个整体，它是OA和OB两部分组成的，轴O所受的力应是OA和OB对O作用的合力．

（1）OA恰不受力，重力提供向心力$mg=\frac{mv^2}{l}$，$v=\sqrt{gl}$，B球受二力．重力$2mg$和杆向上的拉力F，$F-2mg=\frac{2mv^2}{l}$，$F=4mg$，根据牛顿第三定律，轴O受力大小为$4mg$，方向向下．

（2）B球在最高点，$2mg+F_1=\frac{2mv^2}{l}$，将$v=\sqrt{gl}$代入得$F_1=0$；A球受二力；重力mg和杆向上的拉力F_2，$F_2-mg=\frac{mv^2}{l}=mg$，所以$F_2=2mg$；根据牛顿第三定律，O轴受力大小为$2mg$，方向向下．

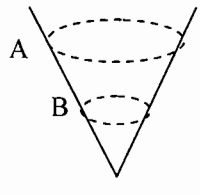
（3）要使O轴不受力，由$m_B>m_A$，所以B球必在上面，A在下面．B球受二力，重力$2mg$和杆的向下拉力$F_1'\cdot F_1'+2mg=\frac{2mv^2}{l}$，$F_1'=\frac{2mv^2}{l}-2mg$．$A$球受二力，重力$mg$和杆的向上拉力$F_2'$，$F_2'-mg=\frac{mv^2}{l}$，$F_2'=mg+\frac{mv^2}{l}$，轴$O$不受力时，$F_1'=F_2'$，$\frac{2mv^2}{l}-2mg=mg+\frac{mv^2}{l}$，得$v=\sqrt{3gl}$，即$A$、$B$的速度$v=\sqrt{3gl}$时，$O$轴恰不受力．

<答案> （1）$4mg$ 方向向下

（2）$2mg$ 方向向下

（3）轴O不受力 $v_A=v_B=\sqrt{3gl}$

【例12】 内壁光滑的圆锥筒固定不动，其轴线竖直，如图所示，有两个质量相同的小球A和B紧贴内壁分别在图所示的水平面内做匀速圆周运动，则



A．A球线速度必定大于B球线速度

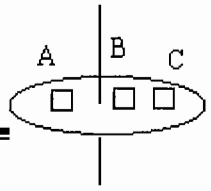
B．A球角速度必定小于B球角速度

C．A球运动周期必定大于B球运动周期

D．A球对筒壁的压力必定大于B球对筒壁的压力

<答案> ABC

【例13】 如图所示，水平转台上放着A、B、C三物，质量分别为2m、m、m，离转轴距离分别为R、R、2R，与转台动摩擦因数相同，转台旋转时，下列说法正确的是



A．若三物均未滑动，C 物向心加速度最大

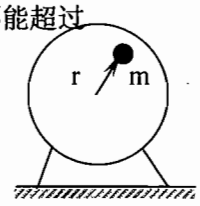
B．若三物均未滑动，B 物受摩擦力最大

C．转速增加，A 物比 B 物先滑动

D．转速增加，C 物先滑动

<答案>　AD

【例14】　在质量为 M 的电动机的飞轮上，固定着一个质量为 m 的重物，重物到转轴的距离为 r，如图所示，为了使放在地面上的电动机不会跳起，电动机飞轮的角速度不能超过



A．$\sqrt{\frac{M+m}{mr}g}$　　B．$\frac{M+m}{mr}g$　　C．$\sqrt{\frac{M-m}{mr}g}$　　D．$\sqrt{\frac{Mg}{mr}}$

<答案>　A

贝尔实验室

将科学技术成果直接转化为生产力，是世界上诸多大公司内设研究机构的一大特色，贝尔实验室就是如此。贝尔实验室的全称是贝尔电话实验室，始建于 1925 年，总部在美国纽约。它是一个在全球享有极高声誉的研究开发机构。贝尔实验室对通信技术的研究成果为美国电报电话公司(前身为贝尔电话公司)所采用，在世界上占据重要地位。

贝尔实验室的科学家们从事着许多方面的探索研究，很多成果对我们的生活产生了重要的影响。有声电影就是 1926 年在贝尔实验室诞生的。1947 年，贝尔实验室的巴丁、布喇顿、肖克莱研制成功晶体管，打破了电子管在体积、功耗、寿命等方面的局限性，使电子技术跃入一个新的阶段。他们也因此共同获得 1956 年诺贝尔物理学奖。1964 年，贝尔实验室的科学家彭齐亚斯和威尔逊发现在广阔无边的宇宙空间，从各个方向都传来强度相同的微波辐射(后被称为 3K 宇宙背景辐射)。经过研究，认定这是宇宙最初起源时“大爆炸”的遗迹。由于这一发现有力地支持了“大爆炸”理论，因而被誉为 20 世纪 60 年代天文学的四大发现之一，它的两位发现者为此获 1978 年诺贝尔物理学奖。

贝尔实验室自成立以来，共获专利 26000 多项(平均每天一项)，其中重大科研成果 50 多项，除以上所举外，还有如通讯数学理论(后称为信息论)、激光理论、可视电话、磁泡器件、光通信、UNIX、C/C++、数字计算机等的研究成果。在这里每年都要发表上千篇学术论文，造就了一大批优秀科学家，有 7 人获诺贝尔奖，7 人获美国国家科学奖，9 人获美国国家技术奖。正是由于贝尔实验室产生了许多科学研究的突出成就，人们把它看作世界上最具权威性的研究机构之一。

1997 年 5 月，贝尔实验室总裁史德杨博士被上海交通大学授予名誉教授职位，同时他宣布在中国建立两个贝尔实验室分支机构，一个在北京，一个在上海，用于通信技术的研究和开发。

第7讲 万有引力与航天

知识精讲

一．万有引力定律

1．人类对天体运动的认识过程

公元150年，希腊天文学家托勒密提出了地心说．他认为地球是静止不动的，太阳、月亮及其他行星都绕地球运动，地球是宇宙的中心．到了公元1543年，波兰科学家哥白尼发表了《天体运行论》，否定了地心说，提出了日心说．

由于地心说比较符合人们的日常经验（太阳从东边升起，在西边落下，好像太阳绕地球运动），同时也符合宗教神学关于地球是宇宙中心的说法，所以地心说统治了人们很长时间．但是随着人们对天体运动的不断研究，发现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、绕太阳运动的行星的位置，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．因此日心说逐渐被越来越多的人所接受，真理最终战胜了谬误．

日心说虽然比地心说更进一步，但还需要发展．因为地球、太阳都在不停地运动，不可能静止．太阳与九大行星组成太阳系，只不过是宇宙中的一个小星系，太阳系本身也在宇宙中不停地运动着．

2．开普勒三定律

（1）内容：

①开普勒第一定律：又称轨道定律，所有行星围绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳处在椭圆的一个焦点上．

②开普勒第二定律：又称面积定律，对于每一个行星而言，太阳和行星的连线在相等的时间内扫过的面积相等．

③开普勒第三定律：又称周期定律，所有行星轨道半长轴的三次方跟公转周期的二次方的比值相等．用公式表示：$\frac{R^3}{T^2}=k$，其中比例常数k与行星无关只与太阳有关．

（2）对开普勒三定律的理解

①开普勒三定律是实验定律，都是从观察行星运动所取得的资料中总结出来的，主要是从运动学的角度描述了行星绕太阳的运动规律．

②开普勒三定律否定了天体运行的圆轨道想法，建立了正确的行星轨道理论，而且准确地给出了太阳的位置；它还指出行星绕太阳运行时离太阳较远速率小，离太阳较近速率大；开普勒第三定律提示了周期和轨道半径的关系，该定律具有普遍性，后面将学到的人造卫星也涉及相似的常数，此常数与卫星无关，只与地球质量有关．

（3）天体运动与地面上物体匀速圆周运动的比较：

①天上、地上的物体都遵循牛顿运动定律，当天体轨道近似圆周时，天体运动可看成是匀速圆周运动，与地面上物体的匀速圆周运动遵循的圆周运动规律是相同的．

②向心力来源不同．天体做圆周运动的向心力是天体间的万有引力（即将学到）提供的，地面上圆周运动的向心力可以由任何性质的力充当．

③天体运动时圆周运动的周期都较长，角速度都很小．

④天体运动都较复杂，一般是既有自转，又有公转．

3．万有引力定律的发现历程

在开普勒等科学家的努力下，人们已经清楚行星如何运动，行星运动的轨道怎样，太阳与行星的位置关系，人们又开始探讨一个新的问题：行星为什么这样运动？

17 世纪前，人们思考这类问题后认为：圆周运动是最完美的，因而神圣和永恒的天体必然应该做匀速圆周运动，无需什么动因.

当时的人知识比较缺乏，又受到迷信思想的影响，多数人都赞同这样的观点，这种想法被后来的一些观点所取代，很多科学家的意见不一致.

（1）伽利略：认为一切物体都有合并的趋势，这种趋势导致物体做圆周运动.

（2）开普勒：行星绕太阳运动着，一定是受到了来自太阳的类似于磁力的作用.

（3）笛卡儿：认为行星的运动是因为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.

（4）胡克、哈雷；行星围绕太阳运动是因为受到了太阳对它的引力，甚至证明了如果行星的轨道是圆形的，它所受的引力大小跟行星到太阳的距离的二次方成反比.

（5）牛顿：在前人研究的基础上，凭借他超凡的数学能力证明了，如果太阳和行星问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.

4. 万有引力定律

（1）推导过程：

①简化轨道：把实际的椭圆轨道看成是圆形轨道，天体做匀速圆周运动.

②圆周运动条件：$F_{引力}=F_{向}$，即 $F=m\dfrac{v^2}{r}$.

③开普勒定律的运用由于 $v=\dfrac{2\pi r}{T}$，则 $F=m(\dfrac{2\pi r}{T})^2\dfrac{1}{r}=4\pi^2 m\cdot\dfrac{r}{T^2}$

$=4\pi^2(\dfrac{r^3}{T^2})\dfrac{m}{r^2}=4\pi^2 k\dfrac{m}{r^2}=k'\dfrac{m}{r^2}$，其中 $k=\dfrac{r^3}{T^2}$，$k'=4\pi^2 k$，所以 $F\propto=\dfrac{m}{r^2}$.

④牛顿第三定律的结论

太阳对行星的引力与行星质量成正比，与距离平方成反比，而根据牛顿第三定律可知太阳对行星的引力与行星对太阳的引力大小相等，性质相同. 因此行星对太阳的引力一定与太阳质量成正比，因此 $F\propto\dfrac{m'm}{r^2}$.

（2）定律内容：

把上面的结论写成等式 $F=G\dfrac{mm}{r^2}$，此式即为万有引力定律的公式表达形式.

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，跟它们距离的二次方成反比.

公式中的 G 叫做引力常量，$G=6.67\times10^{-11}\mathrm{N\cdot m^2/kg^2}$.

物理意义：对于任何物体来说，G 值都是相同的，它在数值上等于质量为1kg 的两个物体，相距1m 时的相互作用力.

5. 对万有引力定律的理解

（1）适用条件：

①当两个物体间的距离远远大于每个物体的尺寸时，物体可以看成质点，直接使用万有引力定律计算.

②当两物体是质量分布均匀的球体时，它们之间的引力也可直接用公式计算，但式中 r 是指两球心间距离.

③当研究物体不能看成质点时，可以把物体假想分割成无数个质点，求出两个物体上每个质点与另一物体上所有质点的万有引力，然后求合力.

（2）万有引力的性质

①普遍性：万有引力存在于任何两个有质量的物体之间.

②相互性：万有引力的作用是相互的，符合牛顿第三定律.

③一般物体之间虽然存在万有引力，但是很小，天体与物体之间或天体之间的万有引力才比较显著. 因此在涉及天体运动时，才考虑万有引力.

例题精讲

【例1】 已知月球质量是地球质量的$\frac{1}{81}$，月球半径是地球半径的$\frac{1}{3.8}$．

（1）在月球和地球表面附近，以同样的初速度分别竖直上抛一个物体时，上升高度之比是多少？

（2）在距月球和地球表面相同高度处（此高度较小），以同样的初速度分别水平抛出一个物体时，物体的水平射程之比为多少？

<解析> （1）在月球和地球表面附近竖直上抛的物体都做匀减速直线运动，其上升的最大高度分别为$h_{月}=\frac{v_0^2}{2g_{月}}$，$h_{地}=\frac{v_0^2}{2g_{地}}$

式中$g_{地}$和$g_{地}$分别是月球表面和地球附近的重力加速度，根据万有引力定律得

$g_h=\frac{GM_{月}}{R_{月}^2}$，$g_{地}=\frac{GM_{地}}{R_{地}^2}$

于是得上升高度之比为$\frac{h_{月}}{h_{地}}=\frac{g_{地}}{g_{月}}=\frac{M_{地}R_{月}^2}{M_{月}R_{地}^2}=81\times(\frac{1}{3.8})^2=5.6$

（2）设抛出点的高度为H，初速度为v_0，在月球和地球表面附近的平抛物体从抛出到落地所用时间分别为

$t_{月}=\sqrt{\frac{2H}{g_{月}}}$，$t_{地}=\sqrt{\frac{2H}{g_{地}}}$

其水平的射程之比为

$\frac{s_{月}}{s_{地}}=\frac{vt_{月}}{vt_{地}}=\sqrt{\frac{g_{地}}{g_{月}}}=\frac{R_{月}}{R_{地}}\sqrt{\frac{M_{地}}{M_{月}}}=\frac{9}{3.8}=2.37$

【点评】 本题综合了万有引力定律、竖直上抛、平抛运动规律．解题应该注意到这一点，关键是求出地球、月球的重力加速度之比，然后由上抛最大高度公式及水平射程公式即可求出．

【例2】 已知地球质量M，万有引力常数G，一人造地球卫星围绕地球做半径为r的匀速圆周运动，推导卫星的周期，角速度，线速度的表达式。

【例3】 人类发射了一探测器探测一神秘行星，当探测器被该行星的引力俘获后，最终绕着该行星做圆周运动，已知其轨道离行星表面远远小于行星半径，测的其圆周运动周期为T，试计算该行星的平均密度

<解析> $\rho=\frac{M}{V}=\frac{4\pi r^3}{GT^2\times\frac{4\pi R^3}{3}}=\frac{3r^3}{GT^2R^3}$

式中r为行星的公转轨道半径，R为中心天体的半径，T为行星的公转周期．

若行星为中心天体的近地卫星，则$r\approx R$，中心天体的密度$\rho=\frac{3\pi}{GT^2}$．

知识点睛

二．人造地球卫星的发射、运行和宇宙速度

1．第一宇宙速度（环绕速度）

卫星绕地球做匀速圆周运动的最大环绕速度 $v_1 = 7.9\text{km/s}$，此值为人造卫星在地面附近做匀速圆周运动所必须具有的速度，叫第一宇宙速度．同时它也是发射卫星的最小速度，小于这个速度，不可能发射卫星．

2．第二宇宙速度（脱离速度）

卫星或飞船要想脱离地球的引力束缚，成为绕太阳运动的人造行星或飞到其他行星上去所必需的最小发射速度，称为第二宇宙速度，其大小为11.2km/s．

3．第三宇宙速度（逃逸速度）

地面上的物体发射出去，使之最后能脱离太阳的引力范围，飞到太阳系以外的宇宙空间所必需的最小发射速度，称为第三宇宙速度，其大小为16.7km/s．

4．注意区别人造卫星的发射速度和运行速度

人造卫星的发射速度和运行速度是两个不同的概念．所谓发射速度是指被发射物在地面附近离开发射装置时的初速度，并且一旦发射后就再无能量补充，被发射物仅依靠自己的初动能克服地球引力上升一定高度，进入运行轨道．注意：发射速度不是应用“多极运载火箭”发射时，被发射物离开地面发射装置时的初速度，这是因为多级火箭在高空还要消耗燃料，不断供应能量．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．若发射速度等于第一宇宙速度，卫星只能“贴着”地面近地运行．如果使人造卫星在距离地面较高的轨道上运行，就必须使发射速度大于第一宇宙速度．

所谓运行速度，是指卫星在进入运行轨道后绕地球做匀速圆周运动的线速度．当卫星“贴着”地面运行时，运行速度等于第一宇宙速度．根据 $v_{动}=\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 可知，人造卫星距地面越高（即轨道半径 r 越大），运行速度越小．实际上，由于人造卫星的轨道半径都大于地球半径，所以卫星的实际运行速度一定小于发射速度．人造卫星的发射速度与运行速度之间的大小关系是：$11.2\text{km/s} > v_{发射} \geqslant 7.9\text{km/s} > v_{运行}$．



【例4】 若已知太阳的一个行星绕太阳运转的轨道半径为 r，周期为 T，引力常量为 G，则可求得（　）

A．该行星的质量　　B．太阳的质量

C．该行星的平均密度　　D．太阳的平均密度

＜答案＞ B

【例5】 一艘宇宙飞船绕一个不知名的行星表面飞行，要测定该行星的密度，仅仅只需要测定（　）

A．运行周期　B．环绕半径　C．行星的体积　D．运动速度

＜答案＞ A

【例6】 关于人造地球卫星的向心力的大小与圆周运动半径的关系的下面说法中正确的是（　）

A．由公式 $F = m\omega^2 r$ 得向心力的大小和半径成正比

B．由公式 $F = m\frac{v^2}{r}$ 得向心力的大小和半径成反比

C．由公式 $F = m\omega v$ 得向心力的大小和半径无关

D．由公式 $F = G\frac{Mm}{r^2}$ 得向心力的大小和半径的平方成反比

＜答案＞ D

【例7】 关于第一宇宙速度，下列说法正确的是（　）

A．它是人造地球卫星绕地球飞行的最小速度

B．它是近地圆形轨道上人造地球卫星的运行速度

C．它是指使卫星进入近地圆形轨道的最小发射速度

D．它是卫星在椭圆轨道上运行时近地点的速度

＜答案＞ BC

【例8】 中子星是恒星演化过程的一种可能结果，它的密度很大，现有一中子星，观测到它的自转周期为$T=\frac{1}{30}$s．问该中子星的最小密度应是多少才能维持该星体的稳定，不致因自转而瓦解？计算时星体可视为均匀球体．（引力常数$G=6.67\times10^{-11}\mathrm{N\cdot m^2/kg^2}$）

＜解析＞ **考虑中子星赤道处一小块物质，只有当它受到的万有引力大于或等于它随星体一起旋转所需的向心力时，中子星才不会瓦解．**

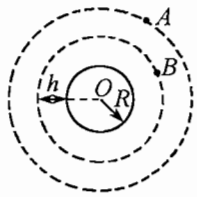
设中子星的密度为ρ，质量为M，半径为R，自转角速度为ω，位于赤道处的小块物质质量为m，则有$\frac{GMm}{R^2}=m\omega^2R$，$\omega=\frac{2\pi}{T}$，$M=\frac{4}{3}\pi R^3\rho$

由以上各式得$\rho=\frac{3\pi}{GT^2}$，**代入数据解得**$\rho=1.27\times10^{14}\mathrm{kg/m^3}$．

【例9】 如图所示，A是地球的同步卫星．另一卫星B的圆形轨道位于赤道平面内，离地面高度为h．已知地球半径为R，地球自转角速度为ω_0，地球表面的重力加速度为g，O为地球中心．

（1）求卫星B的运行周期；

（2）如卫星B的绕行方向与地球自转方向相同，某时刻A、B两卫星相距最近（O、B、A在同一直线上），则至少经过多长时间，它们再一次相距最近？



＜解析＞ **（1）由万有引力定律和向心力公式得**$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m\frac{4\pi^2}{T_B^2}(R+h)$……①

$G\frac{Mm}{R^2}=mg$ ……②

联立①②两式得$T_B=2\pi\sqrt{\frac{(R+h)^3}{gR^2}}$ ……③

（2）由题意得$(\omega_b-\omega_0)t=2\pi$ ……④

由③式得$\omega_B=\sqrt{\frac{gR^2}{(R+h)^3}}$

代入④式得$t=\frac{2\pi}{\sqrt{\frac{gR^2}{(R+h)^3}}-\omega_0}$．

知识点睛

地球同步卫星是位于赤道上方，相对于地面静止不动的一种人造卫星，主要用于全球通信和转播电视信号．

同步卫星在赤道上空一定高度环绕地球运动也属于“中心天体——环绕天体”模型．同步卫星具有四个一定：

① 定轨道平面：轨道平面与赤道平面共面；

② 定运行周期：与地球的自转周期相同，即$T=24\mathrm{h}$

③ 定运行高度：由关系式$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m(R+h)(\frac{2\pi}{T})^2$，可以得到同步卫星距离地面的高度为：

$h=\sqrt[3]{\dfrac{GMT^2}{4\pi^2}}-R\approx 3.6\times10^4\ \text{km}$；

④定运行速率 $v=\sqrt{\dfrac{GM}{r}}\approx 3.0\text{km/s}$

一颗同步卫星可以覆盖地球大约40%的面积，若在此轨道上均匀分布3颗通信卫星，即可实现全球通信（两极有部分盲区）. 为了卫星之间不相互干扰，相邻两颗卫星对地心的张角不能小于3°，这样地球的同步轨道上至多能有120颗通信卫星. 可见，空间位置也是一种资源.

典例精讲

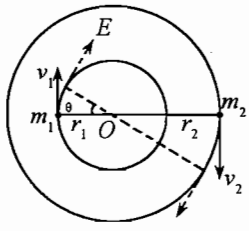
【例10】 地球半径为 R，地面重力加速度为 g，地球自转周期为 T，地球同步卫星离地面的高度为 h，则地球同步卫星的线速度大小为（ ）

A. $\sqrt{\dfrac{R^2g}{R+h}}$　　B. $\sqrt{(R+h)g}$　　C. $\dfrac{2\pi(R+h)}{T}$　　D. 无法计算

＜解析＞ 同步卫星做匀速圆周运动，万有引力充当向心力. 对于地面上的物体 $\dfrac{GMm}{R^2}=mg$，$GM=gR^2$，所以 $v=\sqrt{\dfrac{GM}{R+h}}=\sqrt{\dfrac{gR^2}{R+h}}$，由圆周运动一周可得 $v=\dfrac{2\pi r}{T}=\dfrac{2\pi(R+h)}{T}$，所以AC正确.

＜答案＞ AC

【例11】 在天文学上把两个相距较近，由于彼此的引力作用而沿轨道互相绕转的恒星系统称为双星. 已知两颗恒星质量分别为 m_1、m_2，两星之间的距离为 L，两星分别绕共同的中心做匀速圆周运动，求各个恒星的运转半径和角速度.



＜解析＞ 两恒星构成的系统能保持距离 L 不变，则两恒星转动的角速度（周期）相同，设它们的角速度为 ω，半径分别为 r_1、r_2，则 $r_1+r_2=L$　①

它们间的万有引力提供了它们做圆周运动的向心力，则

对恒星 m_1：$G\dfrac{m_1m_2}{L^2}=m_1r_1\omega^2$　②

对恒星 m_2：$G\dfrac{m_1m_2}{L^2}=m_2r_2\omega^2$　③

联立①、②、③式解得 $r_1=\dfrac{m_2L}{m_1+m_2}$，$r_2=\dfrac{m_1L}{m_1+m_2}$

将 $r_1=\dfrac{m_2L}{m_1+m_2}$ 代入②式得 $\omega=\sqrt{\dfrac{G(m_1+m_2)}{L^3}}$.

讨论：（1）当 $m_1=m_2$ 时，$r_1=r_2=\dfrac{L}{2}$，$\omega=\sqrt{\dfrac{2Gm_1}{L^3}}$；

（2）当 $m_1\gg m_2$ 时，$r_1\approx0$，$r_2\approx L$，$\omega=\sqrt{\dfrac{Gm_1}{L^3}}$. 这正是我们已熟知的人造地球卫星的运转模型.

第8讲
功与动能

一、功

（一）功的概念

1．定义：物体受到力的作用，并且在力的方向上发生一段位移，就叫做力对物体做了功．

2．做功的两个必不可少的因素：力和物体在力的方向上发生的位移．

3．功的种类：正功、负功和零功．做负功，也可以说成物体克服这个力做正功．

4．总功：当物体在几个力的作用下发生一段位移时，这几个力对物体所做的总功，等于这几个力的合力对物体所做的功，或者等于各个力做功的代数和．

（二）功的计算

1．功的公式

（1）力F与位移s同方向时：$W=F\cdot s$

（2）力F与位移s之间有夹角θ时：$W=F\cdot s\cos\theta$．可以理解为：$s\cos\theta$是位移s在力F方向上的分量；$F\cos\theta$是力F在位移s方向上的分量．

（3）注意：

①式中F应为恒力，即大小、方向不变．

②做功与物体运动形式（匀速或变速）无关，也就是说当F、s及其夹角θ确定后，功W就有确定值．

③计算功时，一定要明确是哪个力对物体做的功．

④公式中的单位，F——牛（N）；s——米（m）；W——焦（J）．

⑤实际计算时，不必生搬硬套公式$W=Fs\cos\theta$，一般通过分解力，或分解位移的方法求解．

2．总功的计算方法

可以先求合力，再求总功．$W=\sum F\cdot s$，如果各个力作用的位移不同，那么把各阶段力的功分别求出，再求功的代数和．$W=F_1\cdot s_1+F_2\cdot s_2+\cdots F_n\cdot s_n$（$s_n$为在力$F_n$方向上的位移）．

3．正功与负功

若$\theta=90°$，则F不做功，若$0°\leqslant\theta<90°$，则F做正功；若$90°<\theta\leqslant180°$，则力F做负功（或说物体克服F做了功）．

功的正、负表示是动力对物体对功还是阻力对物体做功，前者取正，后者取负．

（三）对功的概念理解

1．正功和负功是为了描述做功效果而引入的．功是标量，只有数值，没有方向．功的正负不是数量上的正与负，它们仅表示两种相反的做功效果，我们既不能说“正功和负功方向相反”，也不能说“正功大于负功”．

2．功与物体的运动状态及运动形式无关

力对物体做功，只与力的大小、位移的大小，以及两者之间的夹角有关，而与物体受力以后通过这段位移做什么运动没有关系．

3．功的公式中F和s必须具有同时性

计算力F做功时所发生的位移，必须是在同一个力F持续作用下发生的，如果力只在物体的一段位移中有作用，力消失后仍继续运动，那么力所做的功，就只跟力作用的那一段位移有关，而跟其余位移无关．

4．功是过程量．

二、功率

（一）功率的基本概念

1．定义：功跟完成这些功所用时间t的比值叫做功率.

2．公式

（1）定义式：$P=\dfrac{W}{t}$

（2）导出式：$P=F\cdot v\cdot\cos\alpha$

3．单位：在国际单位制中，功率的单位是瓦特，简称瓦，符号是W

4．物理意义：功率是表示物体做功快慢的物理量，它由物体的功与做这些功所需的时间决定，并不单纯由做功的多少决定．只是在做功时间相同的情况下，才能认为做功多则功率大.

（二）不同功率的比较

1．额定功率和实际功率：

（1）机械长时间正常工作时的最大输出功率叫做机械的额定功率，它是动力机械的性能指标之一，与机械是否做功无关，与机械实际做功的快慢也无关，它是提供人们对机械进行选择、配置的一个重要参数，它反映了机械的做功能力或机械所能承担的“任务”.

（2）机械工作时的实际输出功率叫做实际功率，实际功率不应大于额定功率，否则会缩短机械的使用寿命，甚至会损坏机械.

2．平均功率和瞬时功率

（1）平均功率是指一段时间内做功的平均快慢程度，对应一段过程，常用定义式来计算.

（2）瞬时功率则是反映某时刻力或机械做功的快慢程度，对应于某一运动状态，常用导出式来计算.

（三）对功率的理解

1．功率是描述做功快慢的物理量.

（1）功率是功W与完成这些功所用时间t的比值，定义式：$P=\dfrac{W}{t}$．此式是普遍适应的，不管是恒力做功还是变力做功，它都适用，它表示时间t内的平均功率，应注意功率的大小只与“比值”有直接联系，与做功多少和时间长短无直接联系．比较功率的大小，要比较功与完成这些功所用时间之“比值”．“比值”大，功率就大，做功就快；“比值”小，功率就小，做功就慢.

（2）导出式：$P=Fv\cos\alpha$，式中的α是F与v的夹角，此式不仅适用于求平均功率，也适用于求瞬时功率，若F为变力，v为某时刻的瞬时速度，则P为该时刻的瞬时功率；若F为恒力，v为t内的平均速度，则P表示时间t内的平均功率．在P一定时，F与v成反比；在F一定时，P与v成正比.

2．物体做功功率是描述物体做功的一个状态，做功的多少是一个过程，所以也不能说功率大，做功就多．物体做功是作用力在做功过程中的一个积累，做功时间越长，做功就越多，$W=Pt$，Pt就是一个积累的意思，即P在时间t上的积累就是物体做功的多少.

3．功率是标量，没有方向，但也存在正负，正值表示做功的力为动力，力对物体做正功；负值表示做功的力为阻力，力对物体做负功.

三、功和能

（一）能的概念

1．物体具有能量就能够对外做功，因此能是物体所具有的做功本领.

2．一切物体都具有能，只是能有不同形式．不同形式的能之间可以相互转化，且转化过程能量守恒.

（二）功与能的异同点

1．区别：功是过程量，能是状态量.

2．相同点：单位相同，国际单位制中功和能的单位都是焦耳（J）.

（三）功能关系

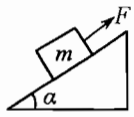
1．能的转化过程是由做功来实现的，做功的过程实质上就是能量的转化过程．做多少功，就有多少能量从一种形式转化为另一种形式．故：功是能量转化的量度.

2．对功能关系的理解：

（1）功是能量转化的量度，单位相同，都是标量.
（2）能量是状态量，功是过程量.
（3）做功可以使物体的能量发生变化，能量变化的多少由功来量度，但功和能之间无所谓转化.
（4）能量是物体的固有属性，而功只能在能量变化或转化过程中才能出现.

典型例题精讲

【例1】 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做的功.



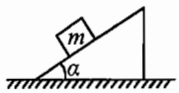
＜答案＞ **（1）拉力F对物体所做的功为：$W_F = mgL(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)$**

（2）重力mg对物体所做的功为：$W_G = -mgL\sin\alpha$

（3）摩擦力对物体所做的功为：$W_f = -\mu mgL\cos\alpha$

（4）支持力对物体所做的功为：0

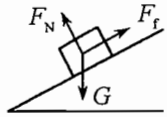
【例2】 质量为m的物块始终固定在顶角为α的斜面上，如图所示，下列说法中正确的是_____.



①若斜面向右匀速移动距离s，斜面对物块没有做功
②若斜面向上匀速移动距离s，斜面对物块做功mgs
③若斜面向左做加速度为a的加速运动，移动距离为s，斜面对物块做功mas
④若斜面向下做加速度为a的加速运动，移动距离为s，斜面对物体做功$m(g+a)s$

A．①②③　　B．②③④　　C．①③④　　D．①②④

＜解析＞ **以物块m为研究对象，物块受力情况如图所示，物块始终相对斜面静止，斜面对物块的作用力F实际是斜面对它的支持力F_N与摩擦力F_f的合力，根据题设物块的运动状态，据牛顿定律可求力F及其所做的功.**



若物块与斜面一起向右匀速运动，物块处于平衡状态，斜面对物块的作用力竖直向上，而物块的位移水平向右，所以斜面对物块没有做功.

若斜面向上匀速运动，斜面对物块作用力大小为mg，方向竖直向上，所以斜面对物块做功mgs.

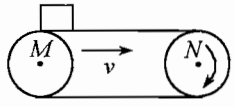
若斜面向左以加速度a运动，斜面对物块作用力的竖直分力与G平衡，水平向左分力产生物体的加速度a，所以有$W = F_x \cdot s = mas$.

若斜面向下以加速度a运动，有$mg - F = ma$，则$F = m(g-a)$，方向竖直向上，所以斜面对物体做功$W = -Fs = -m(g-a)s$

综上所述，正确选项为A.

＜答案＞ **A**

【例3】 如图所示，水平的传送带以速度$v=$ 6m/s顺时针运转，两传运轮M、N之间的距离为$L_1 = 10$m，若在M轮的正上方，将一质量为$m = 3$kg的物体轻放在传送带上，已知物体与传送带之间的动摩擦因数$\mu = 0.3$，在将物体从M处传送到N处的过程中，传送带对物体的摩擦力做了多少功？（g取10m/s^2）



＜解析＞ **物体放在M处时初速度为零，与传送带之间有相对滑动，物体在水平向右的滑动摩擦力**

F_μ 下做匀加速运动，根据牛顿第二定律，物体运动的加速度为：

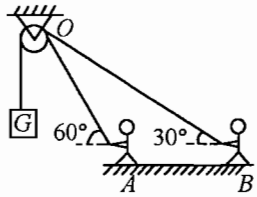
$$a=\frac{F_f}{m}=\frac{\mu mg}{m}=\mu g=3\text{m/s}^2$$

设一段时间后物体的速度增大到 $v=6\text{m/s}$，此后物体与传送带速度相同，二者之间不再相对滑动，滑动摩擦力随之消失，可见滑动摩擦力的作用时间为：$t=\frac{v}{a}=2\text{s}$

在 2s 内物体水平向右运动的位移为：$s=\frac{1}{2}at^2=6\text{m}$

滑动摩擦力对物体做的功为：$W=F_f s=\mu mgs=54\text{J}$

【例4】 人在 A 点拉着绳通过一定滑轮吊起质量 $m=50\text{kg}$ 的物体，如图所示，开始时绳与水平方向夹角为 60°，当人匀速提起重物由 A 点沿水平方向运动 $s=2\text{m}$ 而到达 B 点，此时绳与水平方向成了 30° 角，求人对绳的拉力做了多少功？



＜解析＞ 设 O 点的高度为 h，则有 $\frac{h}{\tan 30°}-\frac{h}{\tan 60°}=2\text{m}$，得 $h=\sqrt{3}\text{m}$．

物体上升的高度等于绳子被拉长的长度，有 $\Delta L=\frac{h}{\sin 30°}-\frac{h}{\sin 60°}=1.464$，人对绳子的作用力等于物体受到的重力，所以 $W=mg\cdot\Delta L=50\text{kg}\times 10\text{N/kg}\times 1.464\text{m}=732\text{J}$．

＜答案＞ 732J

【例5】 列车提速的一个关键技术问题是提高机车发动机的功率．已知匀速运动时，列车所受阻力与速度的平方成正比，即 $f=kv^2$．设提速前速度为 80km/h，提速后速度为 120km/h，则提速前与提速后机车发动机的功率之比为（　）

A. $\frac{2}{3}$　　B. $\frac{4}{9}$　　C. $\frac{8}{27}$　　D. $\frac{16}{81}$

＜解析＞ 列车做匀速运动时，牵动 F 与阻力 f 大小相等，即 $F=kv^2$，由功率的定义可知，机车发动机的功率 $P=Fv=kv^3$，故 $\frac{P_1}{P_2}=(\frac{v_1}{v_2})^3=(\frac{80}{120})^3=\frac{8}{27}$．

＜答案＞ C

【例6】 水流从高处落下，对水轮机做 $3\times10^8\text{J}$ 的功，这句话的正确理解为（　）

A．水流在对水轮机做功前，具有 $3\times10^8\text{J}$ 的能量

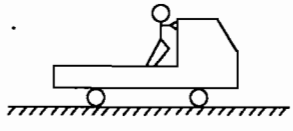
B．水流在对水轮机做功时，具有 $3\times10^8\text{J}$ 的能量

C．水流在对水轮机做功后，具有 $3\times10^8\text{J}$ 的能量

D．水流在对水轮机做功的过程中，能量减少了 $3\times10^8\text{J}$

＜答案＞ D

【例7】 如图所示，站在汽车上的人用手推车的力为 F，脚对车向后的静摩擦力为 F'，对下列说法正确的是（　）



A．当车匀速运动时，F 和 F' 所做的总功为零

B．当车加速运动时，F 和 F' 的总功为负功

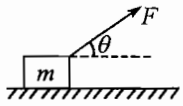
C．当车加速运动时，F 和 F' 的总功为正功

D．不管车做何种运动，F 和 F' 的总功都为零

<解析> 可以分析人推车的力 F 和人的脚对车的摩擦力 F' 的反作用力．这两个力的反作用力即是车对人在水平方向上的作用力．当车匀速时，人也处于匀速运动状态，故人受到车的这两个力大小相等方向相反，所以他们的反作用力也是大小相等方向相反，做的总功为零．当车加速运动时，人也处于加速状态，所以人脚受到的摩擦力大于手受到的推力，即 F 小于 F'，而 F' 做负功，F 做正功，故总功为负．

<答案> AB

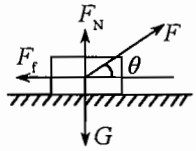
【例8】 如图所示，质量 $m=2\text{kg}$ 的物体置于粗糙的水平面上，物体与平面间的动摩擦因数为0.5，在力大小为20N与水平方向夹角 $\theta=37°$ 的恒力 F 作用下由静止开始运动4s（g 取 10m/s^2），求：



（1）力 F 对物体做的功．

（2）物体克服摩擦力做的功．

<解析> 对物体受力分析如图所示，水平方向上由牛顿第二定律：$F\cos\theta-F_f=ma$，竖直方向上，受力平衡 $F_N+F\sin\theta-mg=0$，又有 $F_f=\mu F_N$，联立以上各式，解得 $F_f=4\text{N}$，$a=6\text{m/s}^2$．



又由 $s=\frac{1}{2}at^2$，得 $s=48\text{m}$

即有：$W_F=Fs\cdot\cos\theta=20\times48\times\cos37°\text{J}=786\text{J}$

$W_{F_f'}=|W_{F_f}|=F_f\cdot s=4\times48\text{J}=192\text{J}$

【例9】 用同样的水平力沿光滑水平面和粗糙水平面推动一辆相同的小车，都使它们移动相同的距离，两种情况下推力分别为 W_1、W_2，小车最终获得的能量分别为 E_1、E_2，则（　）

A．$W_1=W_2$，$E_1=E_2$　　B．$W_1\neq W_2$，$E_1\neq E_2$

C．$W_1=W_2$，$E_1\neq E_2$　　D．$W_1\neq W_2$，$E_1=E_2$

<答案> C

四、动能

1．定义：物体由于运动而具有的能量叫做动能．

2．表达式：$E_k=\frac{1}{2}mv^2$，即：物体的动能与质量成正比，与速度的平方成正比．

3．对动能的理解：

（1）动能的单位和功的单位一样，也是焦耳（J）．

（2）动能是标量，只有大小，没有方向，动能的大小与速度方向也无关．

（3）像所有的能量一样，动能也是相对的，同一物体，对不同的参考系会有不同的动能．没有特别指明时，都是以地面为参考系相对地面的动能．

五、动能定理

1．内容：作用在物体上的合外力的功等于物体动能的变化

2．表达式：$W_{合}=E_{k2}-E_{k1}=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$

3．对动能定理的理解：

（1）动能定理涉及一个过程（做功过程）、两个状态（初、末状态），应用动能定理时必须明确是哪些力在哪一个过程中做功，以及这一过程初、末状态的物体的速度．

（2）动能的变化：初状态动能 E_{k1}，末状态动能 E_{k2}，那么动能变化为 $\Delta E_k=E_{k2}-E_{k1}$．动能为标量，动能的变化也为标量．

（3）$W_{合}$ 是所有外力对物体做的总功，等于所有外力对物体做功的代数和．即

$W_{合}=W_1+W_2+W_3\cdots$

若物体所受外力为恒力．$W_{合}=F_{合}s\cos\alpha$

（4）$W_{合}>0$，则表示合外力作为动力对物体做功．物体的动能增加，$\Delta E_k>0$；$W_{合}<0$，则表示合外力作为阻力对物体做功．物体的动能减少，$\Delta E_k<0$．

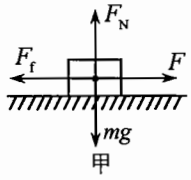
（5）动能定理适用于物体的直线运动，也适用于曲线运动；适用于恒力做功，也适用于变力做功，力可以是各种性质的力，既可以同时作用，也可以分段作用．

（6）若物体运动包含几个不同过程，应用动能定理时，可以分段应用，也可以全过程应用．

（7）涉及单个物体（或可看成单个物体的物体系）的受力与位移问题时优先考虑动能定理．

（8）动能定理的计算式为标量式．v、s一般选地面为参照系．

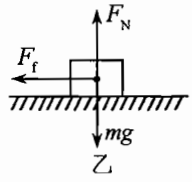
【例10】 一物体质量为10kg，放在粗糙水平面的A位置处，物体与粗糙水平面间的动摩擦因数为$\mu=0.1$，现在用$F=30\text{N}$的水平力作用于物体上，使物体由静止开始运动，经过一段时间后撤去此力F，物体继续运动到位置B才停下来，测量AB间距离为30m，求物体在水平力F的作用下运动的距离为多少？$(g=10\text{m/s}^2)$



甲

＜解析＞ **解法一：撤去水平F之前，物体沿水平面做匀加速直线运动，该过程中初速度及物体的受力情况已知，由动能定理知，只要知道末速度就可以求出该过程中位移，而撤去水平力F后物体做匀减速直线运动，其末速度为零，受力情况也已知，且该段过程的初速度刚好等于刚撤去水平力F时的速度．设物体在水平力F作用下的位移为s，撤去水平力F时物体的速度为v．撤去力F前，物体受力如图甲所示，由动能定理得**

$$(F-\mu mg)s_1=\frac{1}{2}mv^2\cdots\cdots\cdots\cdots①$$



乙

撤去水平力F后直到物体停下来前物体受力如图乙所示，由动能定理得：

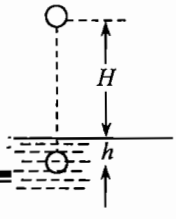
$$-\mu mg(s-s_1)=0-\frac{1}{2}mv^2\cdots\cdots②$$

解①②方程组可得：$s_1=10\text{m}$，$v=2\sqrt{10}\text{m/s}$．

解法二：物体开始运动到最终停止全过程中，初末速度已知，且撤去水平力F前后，物体的受力情况已知，故可对从开始运动到停止全过程列出方程求解，设物体在水平力F作用下的运动位移为s_1，对全过程由动能定理得：$F_{s_1}-f_s=0$，其中$f=\mu mg$

解得：$s_1=\dfrac{\mu mgs}{F}=\dfrac{0.1\times10\times10\times30}{30}\text{m}=10\text{m}$．

【例11】 物体从高出地面H处由静止自由落下，不考虑空气阻力，落至沙坑表面进入沙坑h停止，如图所示．求物体在沙坑中受到的平均阻力是其重力的多少倍．



＜解析＞ **解法1：选物体为研究对象，先研究自由落体过程，只有重力做功，设物体质**

量为 m，落到沙坑表面时速度为 v，根据动能定理有

$$mgH=\frac{1}{2}mv^2-0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots①$$

再研究物体在沙中的运动过程，重力做正功，阻力 F_f 做负功，根据动能定理有

$$mgh-F_fh=0-\frac{1}{2}mv^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots②$$

由①②两式解得 $\frac{F_f}{mg}=\frac{H+h}{h}$

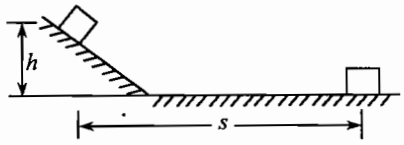
可见物体在沙坑中受到的平均阻力是其重力的 $\frac{H+h}{h}$ 倍．

解法 2：研究物体运动的全过程，根据动能定理有 $mg(H+h)-F_fh=0$

解得 $\frac{F_f}{mg}=\frac{H+h}{h}$ ．

可见物体在沙坑中受到平均阻力是其重力的 $\frac{H+h}{h}$ 倍．

【例12】 一个物体从斜面上高 h 处由静止滑下并紧接着在水平面上滑行一段距离后停止，量得停止处对开始运动处的水平距离为 s，不考虑物体滑至斜面底端的碰撞作用，并认为斜面与水平面对物体的摩擦因数相同，求摩擦因数 μ．



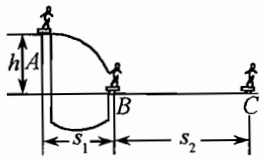
＜解析＞ 以物体为研究对象，它从静止开始运动，最后又静止在平面上，整个过程中物体的动能没有变化，即 $E_{k2}-E_{k1}=0$ ．可以根据全过程中功与物体动能的变化上找出联系．设斜面倾角为 α，斜坡长 l，物体沿斜面下滑时，重力和摩擦力对物体做功（支持力不做功）分别为：$W_G=mgl\sin\alpha$，$W_{f1}=-\mu mgl\cos\alpha$ ．

在平面上滑行时仅有摩擦力做功（重力和支持力不做功），设平面上滑行距离为 s_2，则：$W_{f2}=-\mu mgs_2$

整个运动过程中所有外力的功为：$W=W_G+W_{f1}+W_{f2}=mgl\sin\alpha-\mu mgl\cos\alpha-\mu mgs_2$ ．

根据动能定理：$W=E_{k2}-E_{k1}$，即 $mgl\sin\alpha-\mu mgl\cos\alpha-\mu mgs_2=0$，得 $h-\mu s_1=\mu s_2-0$ ．式中 s_1 为斜面底端与物体初位置间水平距离，故：$\mu=\frac{h}{s_1+s_2}=\frac{h}{s}$ ．

【例13】 某滑板爱好者在离地 $h=1.8\text{m}$ 高的平台上滑行，水平离开 A 点后落在水平地面的 B 点，其水平位移 $s_1=3\text{m}$．着地时由于存在能量损失，着地后速度为 $v=4\text{m/s}$，并以此为初速沿水平地面滑行 $s_2=8\text{m}$ 后停止，已知人与滑板的总质量 $m=60\text{kg}$．求：



（1）人与滑板在水平地面滑行时受到的平均阻力大小；

（2）人与滑板离开平台时的水平初速度．（空气阻力忽略不计 $g=10\text{m/s}^2$）

＜解析＞ （1）设滑板在水平地面滑行时受到的平均阻力为 F_f，根据动能定理有

$$-F_fs_2=0-\frac{1}{2}mv^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots①$$

由①式解得 $F_f=\frac{mv^2}{2s_2}=\frac{60\times4^2}{2\times8}\text{N}=60\text{N}$ ……②

（2）人和滑板一起在空中做平抛运动，设初速为 v_0，飞行时间为 t，根据平抛运动规律有

$$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots③$$

$$v_0=\frac{s_1}{t}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots④$$

由③、④两式解得 $v_0=\dfrac{s_1}{\sqrt{\dfrac{2h}{g}}}=\dfrac{3}{\sqrt{\dfrac{2\times1.8}{10}}}\text{m/s}=5\text{m/s}$

【点评】　人与滑板平抛运动的初速度与着地后的水平速度并不相等，因为着地过程有能量损失．

发电机史话

19 世纪初期，科学家们研究的重要课题，是廉价地并能方便地获得电能的方法。

1820 年，奥斯特成功地完成了通电导线能使磁针偏转的实验后，当时不少科学家又进行了进一步的研究：磁针的偏转是受到力的作用，这种机械力，来自于电荷流动的电力。那么，能否让机械力通过磁，转变成电力呢？著名科学家安培是这些研究者中的一个，他实验的方法很多，但犯了根本性错误，实验没有成功。

另一位科学家科拉顿，在 1825 年做了这样一个实验：把一块磁铁插入绕成圆筒状的线圈中，他想，这样或许能得到电流。为了防止磁铁对检测电流的电流表的影响，他用了很长的导线把电表接到隔壁的房间里。他没有助手，只好把磁铁插到线圈中以后，再跑到隔壁房间去看电流表指针是否偏转。现在看来，他的装置是完全正确的，实验的方法也是对头的，但是，他犯了一个实在令人遗憾的错误，这就是电表指针的偏转，只发生在磁铁插入线圈这一瞬间，一旦磁铁插进线圈后不动，电表指针又回到原来的位置。所以，等他插好磁铁再赶紧跑到隔壁房间里去看电表，无论怎样快也看不到电表指针的偏转现象。要是他有个助手，要是他把电表放在同一个房间里，他就是第一个实现变机械力为电力的人了。但是，他失去了这个好机会。

又过了整整 6 年，到了 1831 年 8 月 29 日，美国科学家法拉第获得了成功，使机械力转变为电力。他的实验装置与科拉顿的实验装置并没有什么两样，只不过是他把电流表放在自己身边，在磁铁插入线圈的一瞬间，指针明显地发生了偏转。他成功了。手使磁铁运动的机械力终于转变成了使电荷移动的电力。

法拉第迈出了最艰难的一步，他不断研究，两个月后，试制了能产生稳恒电流的第一台真正的发电机。标志着人类从蒸汽时代进入了电气时代。

一百多年来，相继出现了很多现代的发电形式，有风力发电、水力发电、火力发电、原子能发电、热发电、潮汐发电等等，发电机的构造日臻完善，效率也越来越高，但基本原理仍与法拉第的实验一样：少不了运动着的闭合导体，少不了磁铁。

第9讲 机械能守恒定律

一、势能

（一）势能的概念

1．定义：由物体间的相互作用和物体间的相对位置决定的能量叫做势能．

2．分类：重力势能、弹性势能、分子势能、电势能等．

（二）重力势能

1．定义：物体由于被举高而具有的能量叫做重力势能．

2．表达式：$E_p=mgh$，其中h是物体的重心到参考平面（即高度取为零，零势能面）的高度．在参考面以上，$h>0$；在参考面以下，$h<0$．

3．特点：重力势能是状态量，是标量，可正可负．

单位：同功的单位相同，国际单位制中为焦耳，符号为J．

4．对重力势能的理解

（1）重力势能的相对性：

重力势能$E_p=mgh$是相对的，为了确定物体的重力势能，预先规定一个水平面的高度为零，处于此平面的物体重力势能为零，此平面叫做参考平面，也叫做零势面．选择哪个水平面为参考平面，可视研究问题的方便而定，通常选择地面作为参考平面．参考平面不同，重力势能值不同，因而重力势能具有相对性．

（2）重力势能的变化量是绝对的，具有绝对性：

我们所关心的往往不是物体具有多少重力势能，而是重力势能的变化量，虽然重力势能具有相对性，但重力势能的变化$\Delta E_p=mg\Delta h$却是绝对的，与参考平面的选取无关．

（3）系统性：重力势能是地球与物体共同具有的，是由地球和地面上物体的相对位置决定的，即$E_p=mgh=\dfrac{GMm}{R^2}h$．没有地球，物体的重力势能就不存在．

5．重力做功的特点

（1）由功能关系$W_G=-\Delta E_p$可知重力所做的功只跟初位置的高度h_1和末位置的高度h_2有关，跟物体运动的路径无关．只要起点和终点的位置相同，不论是沿着直线路径由起点到终点，或是沿着曲线路径由起点到终点，做功结果均相同．

（2）重力做功只与物体初、末位置的高度差有关，与路径无关．

（3）重力做功可以使物体的重力势能发生变化．

6．重力势能的变化与重力做功的关系

重力对物体做多少正功，物体的重力势能就减少多少，重力对物体做多少负功，物体的重力势能就增加多少．即$W_G=\Delta E_p$．

（三）弹性势能

1．定义：物体由于发生弹性形变，各部分之间存在着弹性力的相互作用而具有的势能叫做“弹性势能”．被压缩的气体、拉弯了的弓、卷紧了的发条、拉长或压缩了的弹簧都具有弹性势能．

2．理解：

（1）弹性势能是状态量，标量，单位是焦耳．

（2）确定弹性势能的大小需选取零势能的状态，一般选取弹簧未发生任何形变而处于自由状态的情况下其弹性势能为零，被压缩或伸长的弹簧具有的弹性势能等于弹簧的劲度系数与



弹簧长度改变量 x 的平方乘积的一半，即 $E_p=\frac{1}{2}kx^2$.

（3）弹力对物体做功等于弹性势能增量的负值，即弹力所做的功只与弹簧在初状态和末状态的伸长量有关，而与弹簧形变过程无关.

（4）弹性势能是以弹力的存在为前提，所以弹性势能是在发生弹性形变时，各部分之间有弹性作用的物体所具有的. 如果两物体相互作用都发生形变，那么每一物体都有弹性势能，总弹性势能为二者之和.

（5）动能、重力势能和弹性势能之间可以相互转化.

二、机械能

1. 定义：物体的动能和势能（重力势能和弹性势能）的总称为机械能.

2. 理解：

（1）状态量：机械能可以表示物体或物体系统在某一状态下的机械运动的能量或做功本领的大小，机械能大的物体往往做功能力强，机械能是标量，单位是焦耳.

（2）相对性、系统性：机械能是相对的，参考系一定，零势面一定，物体或物体系的机械能才能确定，当存在重力势能、弹性势能时机械能属于物体与地球及弹簧整体具有的.

（3）机械能的变化：$\Delta E=E_2-E_1$，末状态的机械能减去初状态的机械能.

三、机械能守恒定律

1. 内容：在只有重力（或系统内弹力）做功的情形下，物体的重力势能（或弹性势性）和动能发生相互转化，但总的机械能保持不变.

2. 表达式：$E_k+E_p=E_k'+F_p'$（要选零势能参考平面）或 $\Delta E_k=\Delta E_p$（不用选零势能参考平面）或 $\Delta E_{A增}=\Delta E_{B减}$（不用选零势能参考平面）

3. 机械能守恒的条件及其含义：

（1）条件：只有重力（或弹簧弹力）做功.

（2）含义：

其一：只发生机械能内部的相互转化（即只发生动能、重力势能和弹性势能的相互转化），前提是只有重力或弹力做功.

其二：不发生机械能与其他形式能的相互转化，前提是其他力不做功.

（3）只有重力做功可作如下三层解释：

1）只受重力作用：例如在不考虑空气阻力的情况下的各种抛体运动，自由落体，竖直球平抛、斜抛等.

2）受其他力，但其他力不做功，只有重力做功.

3）除重力和弹力之外，还有其他力做功，但其他力做功总和为零，物体的机械能不变，但不守恒.

4. 机械能是否守恒的判断

（1）用做功来判断：分析物体或物体系的受力情况（包括内力和外力），明确各力做功的情况，若对物体或系统只有重力或弹力做功，没有其他力做功，则机械能守恒；

（2）用能量转化来判定：若物体系中只有动能和势能的相互转化而无机械能与其他形式的能的转化，则物体系机械能定恒；

（3）对一些绳子突然绷紧，物体间碰撞等问题，机械能一般不守恒. 除非题目特别说明或暗示，完全非弹性碰撞过程机械能不守恒.

5. 机械能守恒的理解

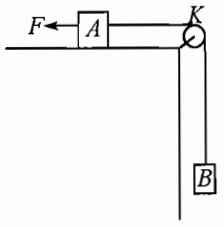
机械能守恒的对象可以是某一物体，也可是某个物体系组成的系统.

（1）机械能守恒即为物体（系统）在初状态的总机械能 E_1 等于末状态的总机械能 E_2.

（2）机械能守恒意味着在此过程中，物体（或系统）减少的势能 ΔE_p 等于增加的动能 ΔE_k，反之亦然，即 $\Delta E_p=-\Delta E_k$.

（3）若系统内只有 A、B 两个物体，则 A 减少的机械能 ΔE_A 等于 B 增加的机械能 ΔE_B，反之亦然，即 $\Delta E_A=-\Delta E_B$.

【例1】 如图所示，在水平桌面的边角处有一轻质光滑的定滑轮 K，一条不可伸长的轻绳绕过 K 分别与物块 A、B 相连，A、B 的质量分别为 m_A、m_B. 开始时系统处于静止状态. 现在一水平恒力 F 拉物块 A，使物块 B 上升. 已知当 B 上升距离为 h 时，B 的速度为 v. 求此过程中物块 A 克服摩擦力所做的功. 重力加速度为 g.



＜解析＞ 在此过程中，B 的重力势能的增量为 m_Bgh，A、B 动能的增量为 $\frac{1}{2}(m_A+m_B)v^2$，恒力 F 所做的功为 Fh，用 W 表示 A 克服摩擦力所做的功，根据功能关系有 $Fh-W=\frac{1}{2}(m_A+m_B)v^2+m_Bgh$，

即 $W=Fh-\frac{1}{2}(m_A+m_B)v^2-m_Bgh$.

【例2】 某人用手将 5kg 的铅球水平掷出，落到 3.6m 远处地上，铅球在空中运动 0.6s（g 取 10m/s^2），则下列说法中正确的是（　）

A. 手对铅球做功 90J　　B. 铅球落地时动能为 180J

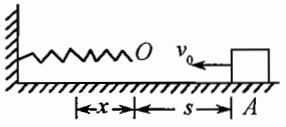
C. 铅球落地时动能为 90J　　D. 重力做功 90J

＜解析＞ 由平抛运动可知，铅球水平初速度 $v_0=\frac{3.6}{0.6}=6\text{m/s}$，初动能 $E_k=\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}\times5\times6^2\text{J}=90\text{J}=W_{人}$，A 对；

又 $v_\perp=gt=6\text{m/s}$. $W_G=mgh=\frac{1}{2}mv_\perp^2=90\text{J}$，D 对；落地动能 $E_k=90\text{J}+90\text{J}=180\text{J}$，B 对.

＜答案＞ A、B、D

【例3】 如图所示，质量为 m 的物体以初速度 v_0 沿水平面向左运动，起始点 A 与轻弹簧 O 端的距离为 s，物体与水平面间的动摩擦因数为 μ，物体与弹簧相撞后，弹簧的最大压缩量为 x，则弹簧被压缩最短时，弹簧具有的弹簧势能为_____.



＜解析＞ 根据能量转化与守恒定律可知物体具有的动能全部转化为弹性势能和内能，即 $\frac{1}{2}mv_0^2=E_p+Q=E_p+\mu mg(s+x)$，∴ $E_p=\frac{1}{2}mv_0^2-\mu mg(s+x)$.

＜答案＞ $\frac{1}{2}mv_0^2-\mu mg(s+x)$

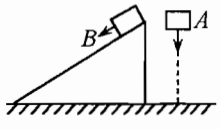
【例4】 如图所示，两个质量相同的物体 A 和 B，在同一高度处，A 物体自由落下，B 物体沿光滑斜面下滑，则它们到达地面时（空气阻力不计）（　）

A. 速率相同，动能相同

B. B 物体的速率大，动能也大

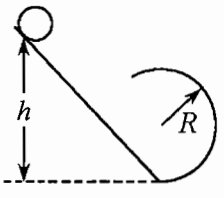
C. A、B 两物体在运动过程中机械能都守恒

D. B 物体重力所做的功比 A 物体重力所做的功多



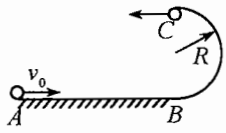
＜答案＞ A、C

【例5】 小钢球质量为 m，沿光滑的轨道由静止滑下，轨道形状如图所示，与光滑轨道相接的圆形轨道的半径为 R，要使小球沿光滑圆轨道恰能通过最高点，物体应从离轨道最低点多高的地方开始滑下?



＜答案＞ $\frac{5}{2}R$

【例6】 如图所示，光滑的水平轨道与光滑半圆轨道相切．圆轨道半径 $R=0.4\text{m}$，一小球停放在光滑水平轨道上，现给小球一个 $v_0=5\text{m/s}$ 的初速度，求小球从 C 点抛出时的速度．



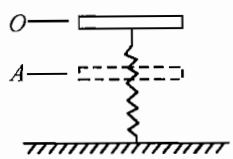
<解析> 选取地面为零势面，那么由机械能守恒定律得：

$$\frac{1}{2}mv_C^2+mg\cdot 2R=\frac{1}{2}mv_0^2\ ,$$

$$v_C=\sqrt{v_0^2-4gR}=\sqrt{5^2-4\times 10\times 0.4}\text{m/s}=3\text{m/s}\ .$$

<答案> 7.3m/s

【例7】 如图所示，一根轻弹簧竖直放置在水平地面上，上端为 O 点．某人将质量为 m 的物体放在弹簧上端 O 处，让它缓慢下落到 A 处，放手后物块处于平衡，在此过程中物块克服人的作用力做功为 W．如果将物体从距弹簧上端 O 点为 H 高处自由释放，物块落到弹簧上端 O 后继续下落将压缩弹簧，物块压缩弹簧的过程中，物块的最大速度是多少？



<解析> 物块由 O 处缓慢下降到 A 处，整个过程中，物块受三个力，即重力 mg、弹簧向上的弹力 $F_{弹}$ 和人手向上的拉力 F．其中 mg 是恒力，$F_{弹}$ 和 F 是变力．

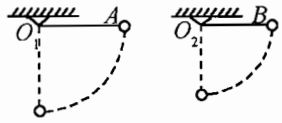
设从 O 到 A 下降的距离为 h．在这过程中，重力做功 $W_G=mgh$；弹力做负功，设为 $W_{弹}$；拉力 F 做负功，大小为 W，初动能和末动能都是零，根据动能定理 $mgh-W_{弹}-W=0$，则

$$W_{弹}=mgh-W\ \cdots\cdots\cdots\cdots①$$

从离 O 为 H 高度释放物块，在平衡位置 A 有最大速度，在这过程中，重力做功 $W_G'=mg(H+h)$，弹力做负功，大小仍为 $W_{弹}$，初动能为零，末能动为 $\frac{1}{2}mv^2$，是在 A 点的速度，根据动能定理 $mg(H+h)-W_{弹}=\frac{1}{2}mv^2\ \cdots\cdots\cdots\cdots②$

①代入②得 $v=\sqrt{2gH+\frac{2W}{m}}$．

【例8】 如图所示，质量相同的小球 A 和 B 分别用线悬在等高的 O_1 和 O_2 点，A 球的悬线比 B 球的长，把球的悬线拉至水平后将小球无初速释放，则小球经过最低点时（　　）



A．A 球的速度大于 B 球的速度
B．A 球的动能大于 B 球的动能
C．A 球的机械能大于 B 球的机械能
D．A 球的机械能等于 B 球的机械能

<解析> 比较速度应用动能定理比较方便，比较机械能应由初状态出发才能得出结论．

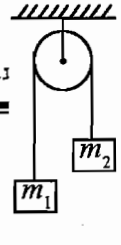
小球由最高点运动到最低点时，由动能定理得 $F_{合}s=\Delta E_k$

$$\Delta E_k=E_{k2}-E_{k1}=E_{k2}-0=E_{k2}$$

所以 $E_{k2}=mgl$

所以 $\frac{1}{2}mv_2^2=mgl$，$v_2=\sqrt{2gl}$

说明 l 越大，v 越大，E_k 越大．



对于机械能，可选 A 球的最低点为零势面，那么 A、B 两球的最初机械能相等，由机械能守恒，运动到最低点机械能不变，可得 $v_A > v_B$，$E_{kA} > E_{kB}$，$E_A = E_B$．

<答案> A、B、D

【例9】 如图所示，一轻绳跨过滑轮悬挂质量为 m_1、m_2 的两物体，滑轮质量及轴之间的摩擦不计，$m_2 > m_1$，系统由静止开始运动的过程中（　）

A．m_1、m_2 各自的机械能分别守恒

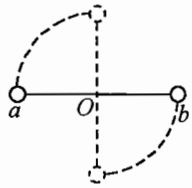
B．m_2 减少的机械能等于 m_1 增加的重力势能

C．m_2 减少的重力势能等于 m_1 增加的重力势能

D．m_1、m_2 的机械能之和保持不变

<答案> D

【例10】 如图所示，在两个质量分别为 m 和 $2m$ 的小球 a 和 b 之间，用一根长为 L 的轻杆连接（杆的质量可不计），两小球可绕过轻杆的中心 O 的水平轴无摩擦转动，现让轻杆处于水平位置，然后无初速释放，重球 b 向下，轻球 a 向上，产生转动，在杆转至竖直的过程中（　）



A．b 球的重力势能减少，动能增加

B．a 球的重力势能增加，动能减少

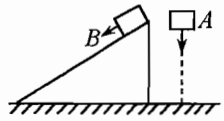
C．a 球和 b 球的总机械能守恒

D．a 球和 b 球的总机械能不守恒

<解析> 两球组成的系统，在运动中除动能和势能外，没有其他形式的能转化，所以系统的机械能守恒．

<答案> A、C

【例11】 如图所示，两个质量相同的物体 A 和 B，在同一高度处，A 物体自由落下，B 物体沿光滑斜面下滑，则它们到达地面时（空气阻力不计）（　）



A．速率相同，动能相同

B．B 物体的速率大，动能也大

C．A、B 两物体在运动过程中机械能都守恒

D．B 物体重力所做的功比 A 物体重力所做的功多

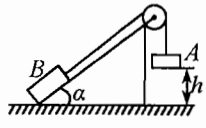
<答案> A、C

【例12】 如图所示，在倾角 $\alpha = 30°$ 的光滑斜面上通过滑轮连结着质量 $m_A = m_B = 10\text{kg}$ 的两个物体，开始时用手托住 A，A 离地面高 $h = 5\text{m}$，B 位于斜面底端，撤去手后，求：

（1）A 即将着地时，A 的动能和系统的总势能（以地面为零势能）各为多少？

（2）设 A 着地后不反弹，物体 B 势能的最大值和离开斜面底端的最远距离是多少？（$g = 10\text{m/s}^2$）

<解析> （1）即将着地时，B 在斜面上上滑高度为 $h\sin\alpha$，设此时 A、B 共同速度为 v，则由 A、B 系统机械能守恒得：$m_A gh = \frac{1}{2}(m_A + m_B)v^2 + m_B gh\sin\alpha$，因为 $m_A = m_B$



所以 $v = \sqrt{gh(1-\sin\alpha)} = 5\text{m/s}$，$E_{kA} = \frac{1}{2}m_A v^2 = \frac{1}{2}\times 10\times 25\text{J} = 125\text{J}$

$E_p = m_B gh\sin\alpha = 250\text{J}$



（2）设 B 上升高度为 h'，则有：$m_B gh\sin\alpha+\frac{1}{2}m_B v^2=m_B gh'$，$h'=\frac{gh\sin\alpha+\frac{1}{2}v^2}{g}=3.75\text{m}$

$E_{pB}=m_B gh'=375\text{J}$，$B$ 离底端最远距离 $L=\frac{h'}{\sin\alpha}=7.5\text{m}$．

<答案>　（1）125J，250J；（2）375J，7.5m

案>　$T=6.0\text{N}$，$h=0.32\text{m}$

激光器的发明

物理学家在研究原子结构时发现了激光。激光器问世以来，激光的应用已经遍及工、农、科研、国防各个领域，激光科学技术成为当代发展最快的科技领域之一。

1913 年，丹麦物理学家玻尔提出，原子能够以一系列能级不同的状态存在，并且只能从一个能级跳跃到另一个能级。一个低能级的原子吸收能量之后可以变成高能级；高能级的原子变为低能级时，会以辐射的形式把多余的能量放出来（自发辐射）。

1917 年爱因斯坦提出，原子从较高的能级跳跃到低能级时可以通过自发辐射或受激辐射两种不同的方式来实现。普通光源的发光主要就是自发辐射；处在激发态的原子在其他某种作用之下，例如光照，引起原子跃迁，原子受迫发光，原子的这种发光方式称为受激辐射。

受激辐射理论提出来之后，并不受人重视，30 年之后，直到 1951 年，美国物理学家汤斯对此发生兴趣。一天他散步之后，坐在长凳上默默思考这一问题，突然间他产生一种新的想法：在正常情况下，物质的多数分子均处于低能态，能否改变这一状况，数分子处于高能态，然后用微波照射这些分子，使其受激而发射能量，这就产生了放大作用。这种使一个容器里的原子或分子大部分转入高能量的过程叫作粒子数反转，它是量子放大器和激光器必要条件。他当即在一个信封的背面勾画出一些基本的设计要求，经过 3 年的多次实验，微波受激放大器（量子放大器）终于研制成功。早期的微波受激放大器是一个金属小盒，盒里充进处于激发态的氨分子。当微波射入这个充满了受激态氨分子的盒子时，就发出一束纯而强的高频微波射束。

苏联科学家巴索夫和普罗克哈罗大也独立地进行过类似的工作，并取得成功。1964 年，汤斯、巴索夫、曾罗克哈罗夫同获诺贝尔物理学奖。

随着量子放大器的发展，人们开始考虑将这些原理从微波波段扩展到光波波段的可能性。

1958 年汤斯和肖洛提出了激光器的第一个理论方案。他们建议，用具有放大作用的物质制成一根细长的柱体，它的两端有互相平等的反射镜。其中一面反射镜为全反射镜，另一面为部分反射镜，光就沿着柱体来回地反射，形成一个光频共振腔。

世界上第一台激光器是 1960 年由美国的梅曼博士研制成功的。他用红宝石单品作为工作物质，两个端面磨平并镀银。红宝石的主要成分是氧化铝，其晶格中有一小部分铝原子被铬原子所替代，当作为激励源的氙灯发出强光照射红宝石时，红宝石中的铬原子吸收绿光和蓝光，由基态跃迁到激发态，造成粒子数反转。第一台激光器，输出功率为 10000 瓦，其晶棒十分纯净，是用人工方法生产的，发出的激光强度为阳光的 1000 万倍。

第10讲
动量守恒简介

本讲导学

由于动量的内容对初学的同学来说实在太容易和能量弄混，所以我们在本次课程弱化了动量的思维，只对概念体系进行介绍。

本讲单理解其实很容易，动量定理其实就是牛顿第二定律的过程式。

知识点睛

一、冲量的概念

冲量是过程量，是力对时间的积累效应，表达式$I=Ft$．冲量存在于力作用的某段时间过程中，方向为力F的方向，是矢量．物体受到力的作用立即产生加速度，然而要改变物体的运动状态，必须经过一段时间的作用才能实现，冲量正是描述这一物理过程的．

二、动量

1．动量概念

动量是描述运动特征的物理量，表达式$p=mv$，是矢量，方向为该状态速度的方向．物体的动量总是指物体在某一时刻的动量，计算时相应的速度应取这一时刻的瞬时速度．由于物体的运动速度与参考系的选取有关，所以物体的动量具有相对性．

2．动量的变化Δp

动量的变化是指某段过程（或时间间隔）末状态的动量p'跟初状态的动量p的差．即$\Delta p=p'-p$．由于动量是矢量，求动量变化时，应利用矢量运算定则——平行四边形定则，如果物体在同一直线上运动，那么选定正方向后，动量的方向可以用正、负号表示，将矢量运算化为代数运算．

三、动量定理

1．动量定理表达式的理解

动量定理描述的是物体所受合外力的冲量与动量变化量的关系．表达式$I=\Delta p$或$F_{合}t=mv'-mv$，上述公式为矢量式，合外力的冲量方向与物体动量变化的方向相同．

合外力冲量的方向可以跟初动量方向相同，也可以相反，例如，匀加速直线运动合外力冲量方向与初动量方向相同，匀减速直线运动合外力冲量方向与初动量方向相反．

2．动量定理的适用范围

（1）成立条件：动量定理在惯性参考系中成立，一般在没有特别说明时，以地面为惯性参考系

（2）动量定理的应用范围广阔：尽管动量定理是根据牛顿第二定律和运动学公式在恒定外力的情况下沿直线运动时推导出来的，但可以证明：

①动量定理不但适用于恒力，也适用于随时间变化的变力，对于变力情况，动量定理中的F应理解为变力在作用时间内的平均值．

②动量定理不仅可以解决匀变速直线运动的问题，还可以解决曲线运动中的有关问题，将较难的计算问题转化为较易的计算问题．

③动量定理不仅适用于宏观低速物体，也适用于微观现象和变速运动问题．

3．应用动量定理解题的一般步骤

（1）确定研究对象和物理过程，并对研究对象做出受力分析．

（2）选定正方向，确定在物理过程中研究对象所受合外力的冲量和动量的变化.

（3）由动量定理列等式，统一单位后代入数据求解.

精讲精练

【例1】 某物体在运动过程中，下列说法中正确的是（ ）

A．在任何相等时间内，它受到的冲量都相同，则物体一定做匀变速运动

B．如果物体的动量大小保持不变，则物体一定做匀速运动

C．只要物体的加速度不变，物体的动量就不变

D．只要物体的速度不变，物体的动量就不变

＜答案＞ AD

【例2】 斜面倾角为$\theta=37°$，有一物体质量为2kg放在斜面上，它和斜面间的动摩擦因数为$\mu=0.2$，物体沿斜面下滑2s，求这段时间内物体所受各力的冲量和合外力的冲量.

＜解析＞ $I_G=mg\cdot t=40\text{N}\cdot\text{s}$，**竖直向下**

$I_{F_N}=mg\cos\theta\cdot t=32\text{N}\cdot\text{s}$ **垂直斜面向上**

$I_f=\mu mg\cos\theta\cdot t=6.4\text{N}\cdot\text{s}$ **沿斜面向上**

$I_{合}=(mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta)\cdot t=17.6\text{N}\cdot\text{s}$ **沿斜面向下**

【例3】 质量为m的钢球自高处落下，以速率v_1碰地，竖直向上弹回，碰撞时间极短，离地的速率为v_2，在碰撞过程中，地面对钢球的冲量的方向和动量变化的大小为（ ）

A．向下，$m(v_1-v_2)$ B．向下，$m(v_1+v_2)$

C．向上，$m(v_1-v_2)$ D．向上，$m(v_1+v_2)$

＜解析＞ **由受力分析知，地面对钢球的弹力方向向上，故冲量的方向向上；取向上为正方向，则初动量为$-mv_1$，末动量为mv_2，故$\Delta p=mv_2-(-mv_1)=mv_1+mv_2$.**

＜答案＞ D

【例4】 玻璃杯从同一高度自由下落，掉落到硬质水泥地板上易碎，掉落到松软地毯上不易碎，这是由于玻璃杯掉到松软地毯上（ ）

A．所受合外力的冲量小

B．动量的变化量小

C．动量的变化率小

D．地毯对杯子的作用力小于杯子对地毯的作用力

＜解析＞ **杯子从同一高度自由下落，与地面相碰前的瞬间速度、动量都是一定的，碰后静止，动量的变化量一定，$\Delta p=\sqrt{2gh}$，合外力的冲量大小相等．由$F=\dfrac{\Delta p}{\Delta t}$可知，玻璃杯掉到地毯上$\Delta t$大，$F$小，因此不易破碎，C正确.**

【例5】 一个笔帽竖立于放在水平桌面的纸条上，将纸条从笔帽下抽出时，如果缓慢拉动纸条笔帽必倒；若快速拉纸条，笔帽可能不倒，以下说法中正确的是（ ）

A．缓慢拉动纸条时，笔帽受到的冲量小

B．缓慢拉动纸条时，纸对笔帽水平作用力大，笔帽必倒

C．快速拉动纸条时，笔帽受到的冲量小

D．快速拉动纸条时，纸条对笔帽水平作用力小

＜解析＞ **不管快拉还是慢拉，可认为摩擦力相同，时间长，摩擦力的冲量大，动量变化大，故笔帽倒下.**

<答案> C

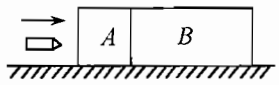
【例6】 小华做“蹦极”运动，用原长15m的橡皮绳拴住身体从高空跃下，若小华质量50kg，从50m的高处由静止下落，到运动停止所用时间为4s，则橡皮绳对人的平均作用力约为_____.（g取10m/s^2）

<解析> 人自下落到橡皮绳全部伸直过程的时间 $t_1=\sqrt{\frac{2h_1}{g}}=\sqrt{\frac{2\times15}{10}}\text{s}=\sqrt{3}\text{s}=1.7\text{s}$，可知从橡皮绳开始产生弹力到人的速度变为零，经历的时间 $t_2=t-t_1=4\text{s}-\sqrt{3}\text{s}=2.3\text{s}$，以向下为正方向，设橡皮绳对人的作用力的大小为 F，由动量定理得：$mg\cdot t-F\cdot t_2=0$．故

$$F=\frac{mgt}{t_2}=\frac{50\times10\times4}{2.3}\text{N}=870\text{N}.$$

<答案> 870N

【例7】 如图所示，滑块A和滑块B紧靠在一起放置于光滑水平面上，一子弹以某一速度射入滑块A，最后从滑块B穿出，已知滑块A的质量$m_A=1\text{kg}$，滑块B的质量$m_B=2\text{kg}$，子弹在滑块中所受的阻力恒为$f=3000\text{N}$，若子弹穿过A的时间$t_A=0.1\text{s}$，穿过B的时间$t_B=0.2\text{s}$，求：



（1）滑块A对滑块B的推力多大?

（2）两滑块的最终速度各多大?

<解析> （1）对子弹穿过A的过程，以A和B为研究对象，由动量定理得：$ft_A=(m_A+m_A)v_A-0$，在这一过程中A、B不会分离，$v_B=v_A$，对B物体由动量定理得 $F_{AB}\cdot t_A=m_B\cdot v_B$，所以 $F_{AB}=\frac{m_B\cdot f}{m_A+m_B}=\frac{2\times3000}{1+2}\text{N}=2000\text{N}$.

（2）子弹穿过A后，A以 $v_A=\frac{ft_A}{m_A+m_B}=\frac{3000\times0.1}{1+2}\text{m/s}=100\text{m/s}$，向右做匀速直线运动．子弹穿过$B$的过程，对$B$由动量定理得：$ft_B=m_Bv_B'-m_Bv_B$，解得$B$的最终速度 $v_B'=\frac{ft_B}{m_B}+v_B=\frac{3000\times0.2}{2}\text{m/s}+100\text{m/s}=400\text{m/s}$，方向向右．

<答案> （1）2000N

（2）100m/s，向右，400m/s，向右

四．动量守恒定律

多物体构成的一个系统，如果只有它们之间的相互作用，或者外界对这些物体的总作用相互抵消，则这个系统总动量不变。

1. 理解动量守恒的条件

（1）系统不受外力或系统所受外力的合力为零.

（2）系统所受的外力的合力虽不为零，但系统外力比内力小得多，如碰撞问题中的摩擦力，爆炸过程中的重力等外力比起相互作用的内力来小得多，可以忽略不计.

（3）系统所受外力的合力虽不为零，但在某个方向上的分量为零，则在该方向上系统的总动量的分量保持不变.

2. 动量守恒定律公式的理解

（1）常用的三种表达式

①$p'=p$，其中p'、p分别表示系统的末动量、初动量.

②$m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$

③$\Delta p_1=\Delta p_2$，其中Δp_1、Δp_2分别表示系统两物体动量的变化量.

（2）应用上述公式处理问题时应注意“四性”

①矢量性：动量守恒方程是一个矢量方程，对于作用前后物体的运动方向都在同一直线上的问题，应选取统一的正方向，凡是与选取的方向相同的动量为正，相反为负．若方向未知，可设与正方向相同列动量守恒方程，通过求得结果的正负，判定未知量的方向.

②瞬时性：动量是一个瞬时量，动量守恒定律是系统任一瞬时的动量恒定，列方程$m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$时，等号左侧是作用前（某一时刻）各物体的动量和，等号右侧是作用后（或另一时刻）各物体的动量和，不同时刻的动量不能相加.

③相对性：由于动量大小与参考系的选取有关，因此应用动量守恒定律时，应注意各物体的速度必须是相对同一惯性系的速度，一般以大地为参考系.

④普适性：它不仅适用于两个物体所组成的系统，也适用于多个物体组成的系统，不仅适用于宏观物体组成的系统，也适用于微观粒子组成的系统.

3. 动量守恒定律解题的基本思路

（1）确定研究对象并进行受力分析，过程分析；

（2）判断系统动量在研究过程中是否守恒；

（3）明确过程的初、末状态的系统动量的量值；

（4）选择正方向，根据动量守恒定律建立方程.

【例8】 在下列几种现象中，所选系统动量守恒的有（　）

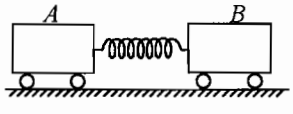
A．原本静止在光滑水平面上的车，从水平方向跳上一个人，人和车为一系统

B．运动员将铅球加速推出，运动员和铅球为一系统

C．重物竖直下落到静止于地面的车厢中，重物和车厢为一系统

D．斜面放在光滑水平面上，滑块沿光滑的斜面下滑，滑块和斜面为一系统

【例9】 在光滑水平面上A、B两小车中间有一弹簧，如图所示，用手抓住小车并将弹簧压缩后使小车处于静止状态．将两小车及弹簧看作一个系统，当弹簧伸长过程中，下面说法正确的是（　）



A．两手同时放开后，系统总动量始终为零

B．先放开左手，再放开右手后，动量不守恒

C．先放开左手，后放开右手，总动量向左

D．无论何时放手，两手放开后，系统总动量都保持不变，但系统的总动量不一定为零

【例10】 质量为M的小船以速度v_0行驶，船上有两个质量皆为m的小孩a和b，分别静止站在船头和船尾，现小孩a沿水平方向以速度v（相对于静止水面）向前跃入水中，然后小孩b沿水平方向以同一速率v（相对于静止水面）向后跃入水中，求出小孩b跃出后小船的速度.

＜解析＞ 由于船在水中匀速行驶，所以人船组成的系统动量守恒，设小孩跃出后的速度为v_1，规定初速度的方向为正方向，则$(M+2m)v_0=Mv_1+mv-mv$，解得$v_1=\dfrac{M+2m}{M}v_0$

＜答案＞ $\dfrac{M+2m}{M}v_0$

【总结】动量守恒特别适合研究力的细节未知或者变化诡异的相互作用问题。

【例11】 “草船借箭”中，若草船的质量为M，箭的质量为m，草船以速度v逃回时，若曹兵万箭齐发，n支箭同时射中草船，箭的速度均为v_0，方向与船相同．由此草船的速度有可能增大到多少？（不计水的阻力）

＜解析＞ 以草船和n支箭为研究系统，取草船开始运动方向为正方向，由动量守恒定律得

$Mv+nmv_0=(M+nm)v_x$得$v_x=\dfrac{Mv+nmv_0}{M+nm}$.

<答案> $\dfrac{Mv+nmv_0}{M+nm}$

【例12】 在高速公路上发生一起交通事故，一辆质量为1500kg向南行驶的长途客车迎面撞上了一质量为3000kg向北行驶的卡车，碰后两车接在一起，并向南滑行了一小段距离停止.根据测速仪的测定，长途客车碰前以20m/s的速度行驶，由此可判断卡车碰前的行驶速率（ ）

A．小于10m/s　　B．大于10m/s小于20m/s

C．大于20m/s小于30m/s　　D．大于30m/s小于40m/s

<解析> **根据碰后两车连接在一起，且向南滑行的情况，说明系统的总动量方向向南（无论碰前还是碰后）.因此碰前的客车动量（方向向南）应该大于卡车的动量（方向向北），即** $m_{客}\cdot v_{客}>m_{卡}\cdot v_{卡}$ **，代入数据** $1500\text{kg}\cdot 20\text{m/s}>3000\text{kg}\cdot v_{卡}$ **，解得** $v_{卡}<10\text{m/s}$ **.**

<答案> **A**

【例13】 一只小船静止在平静的湖面上，一个人从小船的一端走到另一端，不计水的阻力，下列说法正确的是（ ）

A．人在船上行走时，人对船的冲量比船对人的冲量小，所以人向前运动得快，船后退得慢

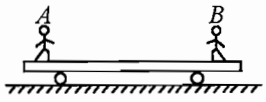
B．人在船上行走时，人的质量比船的质量小，它们所受的冲量大小是相等的，所以人向前走得快，船后退得慢

C．当人停止走动时，因船的惯性大，所以船将继续后退

D．当人停止走动时，因系统的总动量守恒，所以船也停止后退

<答案> **BD**

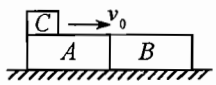
【例14】 如图所示，在光滑的水平地面上有一辆平板车，车的两端分别站着人A和B，A的质量为m_A，B的质量为m_B，$m_A>m_B$，最初人和车都处于静止状态，现在，两人同时由静止开始相向而行，A和B相对地面的速度大小相等，则车（ ）



A．静止不动　　B．向右运动　　C．向左运动　　D．左右往返运动

<答案> **C**

【例15】 如图所示，A、B、C三木块的质量分别为$m_A=0.5\text{kg}$，$m_B=0.3\text{kg}$，$m_C=0.2\text{kg}$，A和B紧靠着放在光滑的水平面上，C以$v_0=25\text{m/s}$的水平初速度沿A的上表面滑行到B的上表面，由于摩擦最终与B的共同速度为8m/s，求C刚脱离A时，A的速度和C的速度.



<解析> **C在A的上表面滑行时，A和B的速度相同，C在B的上表面滑行时，A和B脱离．A做匀速运动，对A、B、C三物组成的系统，总动量守恒.**

对C滑上A至C与B以共同速度运动这一整个过程有： $m_Cv_0=m_Av_A+(m_B+m_C)v$ **代入数据得：** $0.2\times 25=0.5v_A+(0.3+0.2)\times 8$ **，** $v_A=2\text{m/s}$ **.**

对C刚滑到A表面时有： $m_Cv_0=(m_A+m_B)v_A+m_Cv_C'$ **，代入数据得：** $0.2\times 25=(0.5+0.3)\times 2+0.2v_C'$ **，** $v_C'=17\text{m/s}$ **.**

<答案> **C刚脱离A时，A的速度为2m/s．C的速度为17m/s.**

望远镜的发明

1590年伽利略在比萨成功的做完著名的自由落体运动实验，极大的刺激了亚里士多德的信徒们，他们恨死了伽利略，欲除之而后快。过了不久，他们终于找了一个机会。

这比萨城所在的佛罗萨公国公爵是柯斯摩，他有一个私生子，学识不深，却好出风头。有一天，这人花巨资制成了一架挖泥机械，要去疏通海港。伽利略看了他的机器，说："这怕是行不通的。"这一句话得罪了公爵，别人又乘机说了许多坏话，于是伽利略被赶出了比萨大学，教授的饭碗也没了。

伽利略有不少朋友，靠着大家的帮忙，他来到了威尼斯的帕多瓦大学任教。而威尼斯早被教会摒弃，不受什么宗教裁判所的限制。意大利不少学者都逃来这里，自由地讨论学问。伽利略一来便广招门徒，积极社交。他从父亲那里学来的一手好琵琶常常成了晚会上最吸引人的节目。这伽利略风流倜傥，才华横溢，在他周围很快形成一个热闹活跃的圈子。这时期，他进行了关于地球磁力的研究，发明了复杂的指南针，还有温度计。成果累累，多不胜数。我们现在印象最深的是伽利略发现的那些基本定律，实际上当时人们最崇拜的是他的那些小发明。他玩弄这些东西有如变魔术一般，直把那些凡夫俗子弄的神魂颠倒，叹为观止。他爱吃喝，好交际，要搞试验，常感钱不够花。于是他又开了一个小铺子，出售自己发明的天秤、脚规、摆锤等，生意极好。他真是名满威尼斯。

1609年8月21日上午，天气晴朗，海风习习。伽利略拿着一个一尺来长的圆筒，身后簇拥着一群人，登上威尼斯城的钟楼。跟在后面的人们都知道十九年前伽利略登高做了一个有名的斜塔实验，今天大约又要出奇，所以谁也不说话，只是拾级而上。这时他们已到楼顶，极目望去，只见亚德里亚海湾里碧波万顷，水天一色，这正是观海的好天气。伽利略将那圆筒架在眼上说："诸位，可曾看到海上有什么船只？"大家齐声说："海上干开净净，并无一帆一船。"伽利略说："天边正有两只三桅大商船向我们驶来。"说着他将那筒递给大家。果然，人们从筒中望见两艘大商船鼓满风帆，破浪而来，把那些人都惊呆了。他们又将圆筒转向西边的市区，透过开着的窗户，一般人家正在吃饭、下棋、干活，都看得清清楚楚。一个跟随伽利略前来的小官僚看此情景，忙将圆筒放下，大叫道："这个可怕的魔筒，威尼斯城有了它真不可设想，我要回去告诉我的妻子，叫她千万不要到阳台上去洗澡了。"大家一阵哄笑。说话间，刚才在筒里看到的那两只商船已渐渐在海天之际显示出来，人们又是惊叹一番。原来，前些日子，伽利略听说荷兰一个眼镜商将两片凸凹镜片叠在一起，制成了一个能放大三倍的望远镜，他很快便明白了这其中的道理，又重新作了改进，现在这个望远镜已能望远30倍了，今天他特地到钟楼上来，向人们演示一番。演示完后，他将这宝物献给了威尼斯公爵。公爵大喜，随即下令聘请他为帕多瓦大学的终身教授，年薪五千元。

其实，伽利略发明望远镜绝不是为了玩玩新奇。在暗地里，他早就是一个哥白尼学说的拥护者，只是他还没有得到更多的观察数据。现在他发明了望远镜后，便可把镜头直指天空，好去验证哥白尼讲的是否正确。1610年1月10日晚上，天气格外晴朗，他

第 11 讲
电场力

知识点睛

一、电荷、电荷守恒定律

1．电荷

自然界存在两种电荷：正电荷、负电荷

2．元电荷： $e=1.6\times10^{-19}\mathrm{C}$，任何带电体的电荷量都为元电荷的整数倍．

3．电荷守恒定律

（1）物体有三种起电方式，分别是①摩擦起电；②接触起电；③感应起电．

（2）电荷守恒定律

①内容：电荷既不能被创造，也不能被消灭，它只能从一个物体转移到另一个物体，或从物体的一部分转移到另一部分，在转移的过程中，电荷总量不变．

②意义：电荷守恒定律是自然界的普遍定律，既适用于宏观系统，也适用于微观系统．

4．点电荷

（1）点电荷是一种理想化的模型．若带电体之间的距离比它们自身的尺寸大得多，以致带电体的大小和形状对它们相互作用力的影响可以忽略不计，这样的带电体可以看成点电荷．

（2）点电荷只具有相对意义，能看做点电荷的物体不一定很小，另外，对点电荷的带电量不作限制．

5．正确区分几种电荷的概念

（1）正电荷：用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷是正电荷．

（2）负电荷：用毛皮摩擦过的硬橡胶棒所带的电荷是负电荷．

（3）元电荷：电荷量为$1.6\times10^{-19}\mathrm{C}$的电荷叫做元电荷．质子和电子均带元电荷电量，但其内部的夸克带电量可以比元电荷小．

（4）场源电荷：电场是由电荷产生的，我们把产生电场的电荷叫做场源电荷．

（5）试探电荷（检验电荷）：研究电场的一个基本方法之一就是放入一个带电量很小的点电荷，考查其受力情况和能量情况，这样的电荷叫做试探电荷或检验电荷．

二、库伦定律

1．内容：在真空中的两个点电荷之间的作用力跟它们两电荷量的乘积成正比，跟它们间的距离的平方成反比，作用力的方向在它们的连线上．

2．公式： $F=k\dfrac{Q_1Q_2}{r^2}$，F 叫库伦力或静电力，也叫电场力．F 可以是引力，也可以是斥力，k 是静电力恒量，其数值与单位的选取有关，公式中各量都取国际单位制单位时，$k=9\times10^9\,\mathrm{N\cdot m^2/C^2}$．

3．适用条件：①真空；②点电荷．

4．理解和应用库伦定律时应注意的问题：

（1）库伦力具有力的一切性质，相互作用的两个点电荷之间的作用力满足牛顿第三定律.

（2）在使用公式 $F=k\frac{Q_1Q_2}{r^2}$ 时，Q_1、Q_2 可只代入绝对值计算库伦力的大小，相互作用力的方向根据同种电荷相互排斥、异种电荷相互吸引来判断.

（3）当多个带电体同时存在时，任两个带电体之间的相互作用仍遵守库仑定律，任一个带电体同时受到多个库伦力的作用，可利用力的合成的平行四边形定则求出合力.

（4）在具体问题中，两个均匀带电体或带电球壳之间的库伦作用力可以将电荷看成集中在球心处产生的作用力.而实际情况下带电体带电并不均匀，这时带点球之间库伦力可用公式定性分析.若用 r 表示两球心之间的距离，则当两球带同种电荷时，$F<k\frac{Q_1Q_2}{r^2}$；反之，当两球带异种电荷时，$F>k\frac{Q_1Q_2}{r^2}$.

三、电场，电场强度，电场线

1．电场：带电体周围存在一种物质，是电荷间相互作用的介质，只要电荷存在，在其周围空间就存在电场，电场具有力的性质和能的性质.

2．电场强度

（1）定义：放入电场中的某点的试探电荷所受电场力和它电荷量的比值叫做该点的电场强度，它描述电场力的性质.

（2）定义式：$E=\frac{F}{q}$.

（3）单位：N / C

（4）方向：规定放在电场中某点正电荷所受电场力的方向就是该点电场强度的方向.

（5）点电荷电场的场强

①公式：$E=k\frac{Q}{r^2}$，式中的 Q 是场源电荷的电荷量.

②正点电荷的电场，场强沿离它而去的方向；负点电荷的电场，场强沿向它而来的方向.

③ $E=\frac{F}{q}$ 是定义式，适用于任何电场；$E=k\frac{Q}{r^2}$ 只适用于真空中的点电荷的电场.

④电场强度与电场力的比较

电场强度 E	电场力 F
反映电场中各点的力的性质的物理量．定义式：$E=\frac{F}{q}$	反映电荷所受电场力的大小．电场对放入其中的电荷的作用力的计算式：$F=qE$
E 的大小只决定于电场本身，与电荷 q 无关．在电场中不同的点，E 的大小一般是不同的	F 的大小由放在电场中的某点的点电荷 q 和该点的场强共同决定，F 与 q 成正比
单位：V / m 、N / C	单位：N

⑤场强的三个表达式的比较

	定义式	决定式	关系式
表达式	$E=\frac{F}{q}$	$E=\frac{kQ}{r^2}$	$E=\frac{U}{d}$
适用范围	任何电场 E 的大小	真空中的点电荷	匀强电场

	及方向，与检验电荷的电荷量大小和存在与否无关	Q：场源电荷量 r：研究点到场源电荷的距离	U：电场中两点的电势差　d：两点沿电场线之间的距离
附注	检验电荷q：带电量很小的电荷，放入场源电荷电场后，不影响原电场的分布.		

（6）场强叠加原理：当空间中有几个点电荷同时存在时，它们的电场就相互叠加，形成合电场，这时的电场就等于各个点电荷单独存在时在该点场强的矢量和.

（7）匀强电场：在电场的某一个区域，若在各点的场强大小和方向均相同时，这个区域的电场就叫匀强电场.

3．电场线

（1）电场线：是用于描述电场的假想曲线，不是电荷的运动轨迹.

（2）电场线的性质

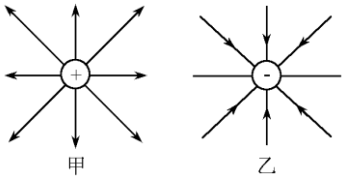
①电场线越密的地方，电场强度越大；越稀的地方，电场强度越小.

②电场线上各点的切线方向与该点处的场强方向相同.

③电场线从正电荷出发到负电荷终止，任两条电场线不相交，也不相切.

④沿电场线方向电势降落.

⑤电场线与等势面垂直.



（3）几种典型电场的电场线分布

①正点电荷的电场如图甲所示：由正电荷出发，到无穷远处终止.

②负点电荷的电场如图乙所示：由无穷远处出发到负电荷终止.

说明：点电荷产生的电场

a．离点电荷越近，电场线越密，场强越大.

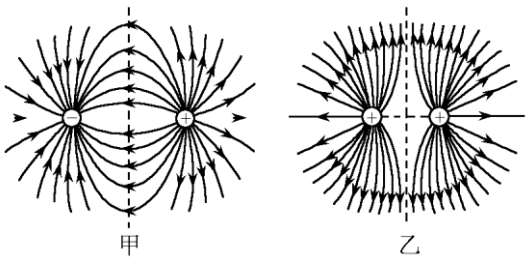
b．在点电荷形成的电场中，不存在场强相等的点.

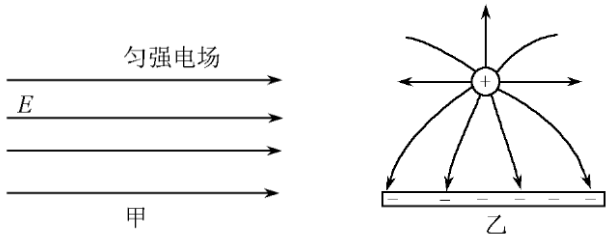
c．若以点电荷为球心作一个球面，电场线处处与球面垂直，在此球面上场强大小处处相等，方向各不相同.

③等量异种点电荷形成的电场中的电场线的分布情况如图甲所示，其特点有：

a．两点电荷连线上的各点场强的方向从正电荷指向负电荷，沿电场线方向场强先变小再变大.

b．两点电荷连线的中垂面（中垂线）上，电场线方向均相同，即场强方向均相同，且总与中垂面（中垂线）垂直.





c．在中垂面（中垂线）上，与两点电荷连线的中点O等距离的各点的场强相同.

④等量同种点电荷形成的电场中的电场线的分布情况如图乙所示，其特点是：

a．两点电荷连线中点O处场强为零，此处无电场线.

b．两点电荷连线中点O附近的电场线非常稀疏，但场强并不为零.

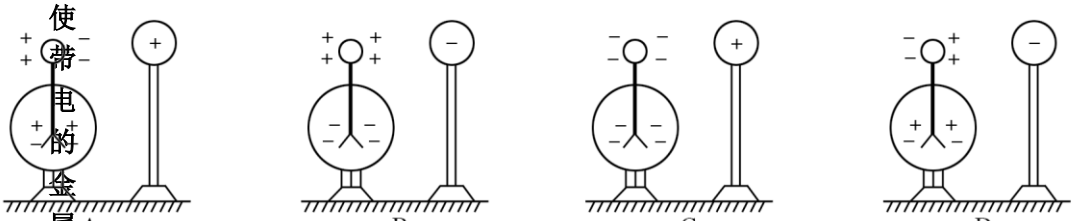
c．从两点电荷连线中点O沿中垂面（中垂线）到无限远，电场线先变密后变疏，即场强先变大后变小．

⑤匀强电场及点电荷与带电平板间的电场线分布（如上图所示）

例题精讲

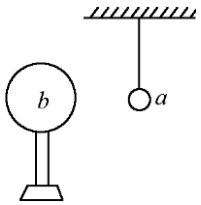
知识点 1：静电基础

【例1】 使带电的金属球靠近不带电的验电器，验电器的箔片会张开。下图中，验电器上感应电荷的分布情况正确的是 （ ）



＜答案＞ B

【例2】 （全国高考试题）绝缘细线上端固定，下端悬挂一轻质小球a，a的表面镀有铝膜；在a的近旁有绝缘金属球b，开始时，a、b都不带电，如图所示，现使b带电，则（ ）



A．a、b之间不发生相互作用

B．b将吸引a，吸住后不放开

C．b立即把a排斥开

D．b先吸引a，接触后又把a排斥开

＜答案＞ **D**

【例3】 关于电荷量，下列说法中正确的是

A．带电体所带电荷量的最小值是1.6×10^{-19}C

B．带电体所带的电荷量可以为任意实数

C．带电体所带的电荷量只能是某些值

D．带电体所带电荷量为1.6×10^{-9}C，这可能是因为失去了1.0×10^{10}个电子

＜答案＞ ACD

知识点 2：库伦定律

【例4】 （2004 天津）对于库仑定律，下面说法正确的是（ ）

A．凡计算真空中两个点电荷间的相互作用力，就可以使用公式$F=k\frac{Q_1Q_2}{r^2}$

B．两个带电小球即使相距非常近，也能用库仑定律

C．相互作用的两个点电荷，不论它们的电荷量是否相同，它们之间的库仑力大小一定相等

D．当两个半径为r的带电金属球中心相距为$4r$时，对于它们之间的静电作用力大小只取决于它

们各自所带的电荷量

＜答案＞ AC

【例5】 （2003 北京海淀模拟）两个半径为R，所带电荷量分别为$+q_1$，$+q_2$的导电球体，当两球心相距$50R$时，相互作用的库仑力大小为F_0，当两球心相距$5R$时，相互作用的库仑大小为（ ）

A．$F=\frac{F_0}{25}$ B．$F>\frac{F_0}{25}$ C．$F=100F_0$ D．$F<100F_0$

＜答案＞ D

【例6】 两个带电量分别为$-Q$和$+3Q$的相同金属小球（均可视为点电荷），固定在相距为r的两处，它们间的库仑力的大小为F。现将两小球接触后并将距离变为$\frac{r}{2}$，此时两球间库仑力的大小变为

A．$\frac{1}{12}F$ B．$\frac{3}{4}F$ C．$\frac{4}{3}F$ D．$12F$

＜答案＞ C

知识点 3：电场强度 电场线

【例7】 （2005 临沂）在电场中某点放一试探电荷，电荷量为q，试探电荷受到的电场力为F，则该点电场强度为$E=\frac{F}{q}$，那么下列说法正确的是（ ）

A．若移去试探电荷q，该点的电场强度就变为零

B．若在该点放一个电荷量为$2q$的试探电荷，该点的场强就变为$\frac{F}{2}$

C．若在该点放一个电荷量为$-2q$的试探电荷，该点的场强大小仍为E，但场强的方向变为原来相反的方向

D．若在该点放一个电荷量为$-\frac{q}{2}$的试探电荷，则该点的场强大小仍为E，场强的方向还是原来的场强方向

＜答案＞ D

【例8】 （2004 广东模拟）点电荷M电荷量为Q，在其电场中的P点放置另一电荷量为q的试探电荷N，下面关于P点场强的判断正确的是（ ）

A．若将M的电荷量加倍，则P点的场强加倍

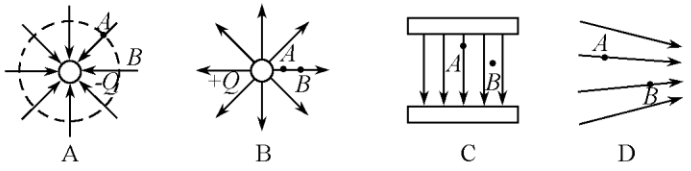
B．若将N的电荷量加倍，则P点的场强加倍

C．若改变M的电性，则P点的场强反向

D．若改变N的电性，则P点的场强反向

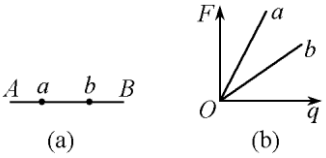
＜答案＞ AC

【例9】 （2003．黄冈检测）如图所示各电场中，A、B两点电场强度相等的是（ ）



＜答案＞ C

【例10】 （2004 南宁）如图（a）中AB是一个点电荷电场中的电场线，图（b）则是放在电场线上a、b处的检验电荷的电荷量与所受电场力数量间的函数图线．由此可以判定（ ）

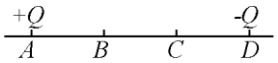


(a) (b)

A．场源是正电荷，位于 A 点
B．场源是正电荷，位于 B 点
C．场源是负电荷，位于 A 点
D．场源是负电荷，位于 B 点

＜答案＞　AC

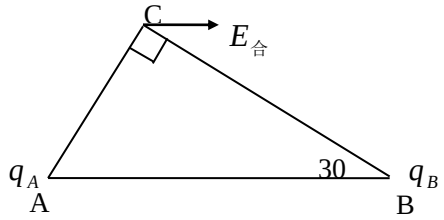
【例11】　（2004 烟台模拟）如图所示，真空中有四点 A、B、C、D 在一条直线上，$AB=BC=CD$，如只在 A 点放一电荷量为 $+Q$ 的点电荷时，B 点的场强为 E，若再将等量异号的点电荷 $-Q$ 放在 D 点，则（　　）



A．B 点的场强为 $\frac{3E}{4}$，方向水平向右
B．B 点的场强为 $\frac{5E}{4}$，方向水平向右
C．BC 段的中点场强为零
D．B、C 两点的场强相同

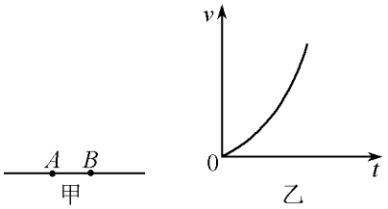
＜答案＞　BD

【例12】　如图所示，带电量分别为 q_A，q_B 两个点电荷在 C 点产生的合场强方向水平向右，求 q_A，q_B 分别带何种电荷；q_A：q_B = _____；



＜答案＞（q_A正；q_B负；$\sqrt{3}:9$）

【例13】　（2004 天津）如图甲所示，AB 是电场中的一条电场线，一带正电粒子沿直线从 A 运动到 B 的 $v-t$ 图象如图乙所示，则关于 A、B 两点的电场强度 E_A 和 E_B 的下列说法正确的是（　　）

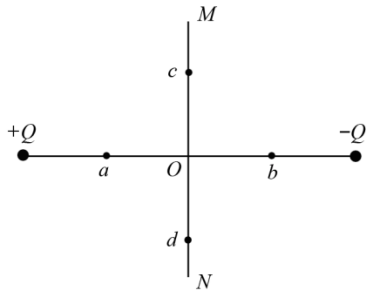


A．$E_A>E_B$ 电场方向从 A 向 B
B．$E_A<E_B$，电场方向从 A 向 B
C．$E_A=E_B$，电场方向从 A 向 B
D．无法确定

＜答案＞　B

【例14】　如图所示，在真空中有两个固定的等量异种点电荷 $+Q$ 和 $-Q$，直线 MN 是两点电荷连线

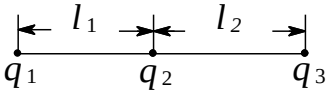
的中垂线，O 是两点电荷连线与直线 MN 的交点，a 、b 是两点电荷连线上关于 O 点对称的两个点，c 、d 是直线 MN 上的两个点，下列说法中正确的是



A．a 点的场强大于 b 点的场强；将一检验电荷沿 MN 由 c 移动到 d，电场力先增大后减小
B．a 点的场强小于 b 点的场强；将一检验电荷沿 MN 由 c 移动到 d，电场力先减小后增大
C．a 点的场强等于 b 点的场强；将一检验电荷沿 MN 由 c 移动到 d，电场力先增大后减小
D．a 点的场强等于 b 点的场强；将一检验电荷沿 MN 由 c 移动到 d，电场力先减小后增大

＜答案＞C

【例15】 如图所示，q_1、q_2、q_3 分别表示在一条直线上的三个点电荷，已知 q_1 与 q_2 之间的距离为 l_1，q_2 与 q_3 之间的距离为 l_2，且每个电荷都处于平衡状态；



（1）如 q_2 为正电荷，则 q_1 为_____电荷，q_3 为_____电荷.

（2）q_1、q_2、q_3 三者电荷量大小之比_____：_____:_____.

＜解析＞ （1）若 q_2 为正电荷，且三个电荷都处于平衡状态，q_1、q_3 均带负电才能满足要求；

（2）由于三个点电荷都处于平衡状态，由共点力平衡、库伦定律可得

$k\frac{q_1q_2}{l_1^2}=k\frac{q_1q_3}{(l_1+l_2)^2}$，$k\frac{q_1q_2}{l_1^2}=k\frac{q_2q_3}{l_2^2}$，$k\frac{q_1q_3}{(l_1+l_2)^2}=k\frac{q_2q_3}{l_2^2}$，联立以上三式得:

$q_1:q_2:q_3=(\frac{l_1+l_2}{l_2})^2:1:(\frac{l_1+l_2}{l_1})^2$.

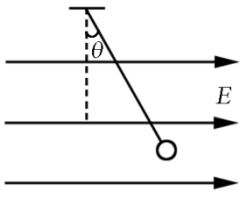
＜答案＞ （1）负　负　（2）$(\frac{l_1+l_2}{l_2})^2:1:(\frac{l_1+l_2}{l_1})^2$

【例16】 用一条绝缘细绳悬挂一个带点小球，小球质量为 $1.0\times10^{-2}kg$，所带电荷量为 $+2.0\times10^{-8}C$。现加一水平方向的匀强电场，平衡时绝缘线与铅垂线成 30°角，

（1）分析小球的带电性质

（2）求匀强电场的电场强度

（3）求细线的拉力



＜答案＞ 1）正电荷

2）三分之十五倍的根号三乘 10 的六次方牛顿每库伦

3）十五分之根号三牛顿



物理实验室的典范

——卡文迪什实验室

在现代物理学的发展中，实验室的建设更具有重要意义。卡文迪什实验室作为 20 世纪物理学的发源地之一，它的经验具有特殊的意义。

卡文迪什实验室相当于英国剑桥大学的物理系。剑桥大学建于 1209 年，历史悠久，与牛津大学遥相对应。卡文迪什实验室创建于 1871 年，1874 年建成，是当时剑桥大学校长 W．卡文迪什（WilliamCavendish）私人捐款兴建的（他是 H．卡文迪什的近亲），这个实验室就取名为卡文迪什实验室。当时用了捐款 8450 英镑，除盖成一座实验室楼馆外，还采购了一些仪器设备。

英国是 19 世纪最发达的资本主义国家之一。把物理实验室从科学家私人住宅中扩展为研究单位，适应了 19 世纪后半叶工业技术对科学发展的要求，促进了科学技术的开展。随着科学技术的发展，科学研究工作的规模越来越大，社会化和专业化是必然趋势。剑桥大学校长的这一做法是有远见的。

当时委任著名物理学家麦克斯韦负责筹建这所实验室。1874 年建成后他当了第一任实验室主任，直到他 1879 年因病去世。在他的主持下，卡文迪什实验室开展了教学和科学研究，工作初具规模。按照麦克斯韦的主张，物理教学在系统讲授的同时，还辅以表演实验，并要求学生自己动手。表演实验要求结构简单，学生易于掌握。麦克斯韦说过：“这些实验的教育价值，往往与仪器的复杂性成反比，学生用自制仪器，虽然经常出毛病，但他们却会比用仔细调整好的仪器，学到更多的东西。仔细调整好的仪器学生易于依赖，而不敢拆成零件。”从那时起，使用自制仪器就形成了卡文迪什实验室的传统。实验室附有工间，可以制作很精密的仪器。麦克斯韦很重视科学方法的训练，也很注意前人的经验。例如：他在整理一百年前 H．卡文迪什留下的有关电学的论著之后，亲自重复并改进卡文迪什做过的一些实验。同时，卡文迪什实验室还进行了多种实验研究，例如：地磁、电磁波的传播速度、电学常数的精密测量、欧姆定律、光谱、双轴晶体等等，这些工作为后来的发展奠定了基础。

麦克斯韦去世后，瑞利（即 J．W．斯特拉特）继任卡文迪什实验室主任。瑞利在声学和电学方面很有造诣。在他的主持下，卡文迪什实验室系统地开设了学生实验。1884 年，瑞利因被选为皇家学院教授而辞职，由 28 岁的 J．J．汤姆生继任。

J．J．汤姆生对卡文迪什实验室的建设有卓越贡献。在他的建议下，从 1895 年开始，卡文迪什实验室实行吸收外校及国外的大学毕业生当研究生的制度，一批批优秀的年轻学者陆续来到这里，在 J．J．汤姆生的指导下进行学习和研究。卡文迪什实验室建立了一整套培养研究生的管理体制，树立了良好的学风。他培养的研究生中，有许多后来成了著名科学家，例如卢瑟福、朗之万、W．L．布拉格、C．T．R．威尔逊、里查森、巴克拉等人，其中多人获得了诺贝尔奖，对科学的发展有重大贡献，有的成了各研究机构的学术带头人。

J．J．汤姆生领导的 35 年中间，卡文迪什实验室的研究工作取得了如下成果：进行了气体导电的研究，从而导致了电子的发现；放射性的研究，导致了 α 、β 射线的发现；进行了正射线的研究，发明了质谱仪，从而导致了同位素的研究；膨胀云室的发明，为核物理和基本粒子的研究准备了条件；电磁波和热电子的研究导致了真空管的发明和改善，促进了无线电电子学的发展和应用。这些引人注目的成就使卡文迪什实验室成了物理学的圣地，世界各地的物理学家纷纷来访，把这里的经验带回去，对各地实验室的建设起了很好的指导作用。1919 年 J．J．汤姆生的职位由卢瑟福继任。卢瑟福更重视对年轻人的培养。在他的带领下，查德威克发现了中子；考克拉夫特和沃尔顿发明了静电加速器；布拉开特观测到核反应；奥里法特发现氚；卡皮查在高电压技术、强磁场和低温等方面取得硕果。

1937 年卢瑟福去世，由 W．L．布拉格继任卡文迪什实验室教授。在他的领导下，卡文迪什实验室的主攻方向由核物理改为晶体物理学、生物物理学和天体物理学，在新的形势下实现了战略转折。以后是固体物理学家莫特和皮帕德主持。70 年代以后，古老的卡文迪计实验室大大扩建，仍不失为世界著名实验室之一。

第 12 讲
电势 电势能

知识点睛

一、电势差

1．定义：电荷 q 在电场中由 A 点移动到 B 点时，电场力所做的功 W_{AB} 跟它的电荷量 q 的比值，叫做这两点间的电势差，即 $U_{AB}=\dfrac{W_{AB}}{q}$ ．

2．理解：电势差是标量，与电荷移动的路径无关，只决定于 A、B 两点在电场中的位置．U_{AB} 在数值上等于单位正电荷从 A 移到 B 电场力所做的功，表示在电场中从 A 到 B 电势降低的数值．若 U_{AB} 是负值，则电势从 A 到 B 是升高的．

3．定义式 $U_{AB}=\dfrac{W_{AB}}{q}$ **适用于一切电场．**

（1）W_{AB}/q 从能量角度反映了电场的性质．

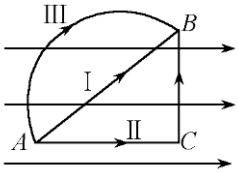
电场力做功 W_{AB} 与 q 成正比，与 A 到 B 的路径无关，所以 W_{AB}/q 既与 q 无关，又与 A、B 间的路径无关．因此 W_{AB}/q 从能的角度反映了电场的性质．

（2）决定式：$U_{AB}=Ed$，适用于匀强电场．

（3）U_{AB} 的单位为 V，$1\text{V}=1\text{J/C}$ ．

二、电场力做功的特点与计算

1．电场力做功的特点：在匀强电场中，将一点电荷从 A 点移到 B 点，如图所示，设 A、B 两点沿场强方向相距为 d，现将 q 分别沿三条不同的路径由 A 移到 B．可以证明电场力做的功 $W_{AB}=qEd$．即电场力做功跟移动电荷的路径无关．



2．电场力做功的计算方法

（1）由公式 $W=F\cdot s\cdot\cos\theta$ 计算．此公式只适合于匀强电场中，可变形为 $W=qE\cdot s\cdot\cos\theta$ ．

（2）由 $W=qU$ 来计算，此公式适用于任何形式的静电场．利用 $W=qU$ 计算电场力的功时可将 q、U 的正负号一起代入，计算出 W 的正、负，也可只代入 q、U 的绝对值，然后根据电荷的性质，电场力方向和移动方向判断功的正负．

（3）由动能定理来计算：$W_{\text{电场力}}+W_{\text{其他力}}=\Delta E_k$ ．

（4）由电势能的变化计算：$W=E_1-E_2$ ．

三、电势

1．定义：电场中某点的电势，等于单位正电荷从该点移动到零电势点时电场力所做的功．

2．理解：

（1）电势差与电势的关系为$U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B$，且$U_{AB}=-U_{BA}$

（2）定义式：$U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B=\frac{W_{AB}}{q}$，取$\varphi_B=0$则$\varphi_A=\frac{W_{AB}}{q}$普遍适用．决定式：$\varphi=k\frac{Q}{r}$，适用点电荷电场．(本公式不作计算要求)

（3）电势是标量，只有大小和正负，没有方向．空间某处的电势若由几个电荷共同产生，则该点的电势就等于各电荷单独在该点产生的电势的代数和．电势的正负代表大小，$\varphi_A=+3\text{V}$，$\varphi_B=-5\text{V}$，则$\varphi_A>0>\varphi_B$

（4）电场中某点的电势与零电势的位置选取有关，一般情况下选取大地或无限远处为零电势位置．这样，正电荷产生的电势为正，负电荷产生的电势为负，电势的正、负和数值与放入的电荷无关．

3．电势高低的判断

（1）沿电场线方向电势越来越低．

（2）由$U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}$，若$U_{AB}>0$则$\varphi_A>\varphi_B$，$U_{AB}<0$，$\varphi_A<\varphi_B$．

（3）正电荷在电势高处电势能大，负电荷在电势高处电势能小．

（4）取无穷远处电势为零，正电荷周围电势为正，靠近正电荷处电势高；负电荷周围电势为负值，靠近负电荷处电势低．

4．电场强度与电势比较

	电场强度E	电势φ
1	描述电场的力的性质	描述电场的能的性质
2	电场中某点的场强，等于放在该点的电荷所受的电场力F跟它的电荷量q的比值，即$E=\frac{F}{q}$，E在数值上等于单位电荷受到的电场力	电场中某点的电势，等于单位正电荷由该点移动到零电势点的电场力所做的功，φ在数值上等于单位正电荷所具有的电势能
3	矢量	标量
4	单位符合：N / C；V / m	单位符号：V(1V = 1J / C)
5	联系：①在匀强电场中$U_{AB}=Ed$（d为A、B间沿电场线方向的距离）；②电势沿着电场强度的方向降落	

四、电势能

1．定义：电荷在静电场中具有的由位置所决定的能．大小是由点电荷q和该点电势φ共同决定的，$E=q\varphi$．

2．理解：

（1）电势能的数值是相对的，与电势零点的选取有关．

（2）电势能不能作为描述电场性质的物理量，因为电势能的大小、正负都与检验电荷有关．

（3）电势能与电场力做功的关系：电场力对电荷做正功，电势能减少；电场力对电荷做负功，电势能增加，且电势能的改变量等于电场力做功的多少，即$W_{AB}=qU_{AB}=E_A-E_B$．

3．电势能与电势的关系

物理量 / 项 目	电势φ	电势能E
物理意义	反映电场能性质的物理量	电荷在电场中的某点时所具有的电势能

大小决定因素	电场中某一点的电势 φ 的大小，只跟电场本身有关，跟点电荷 q 无关	电势能是由点电荷 q 和该点电势 φ 共同决定的
与相关量的关系	电势差 U 是指电场中的两点间的电势之差，$U=\varphi_A-\varphi_B$，当 $\varphi_B=0$ 时，$\varphi_A=U$	电势能差是指点电荷在电场中两点间的电势能之差
正、负意义	电势沿电场线逐渐降低，取定零电势点后，某点的电势高于零者，为正值；某点的电势低于零者，为负值	正点电荷（$+q$）：电势能正负跟电势的正负相同. 负点电荷（$-q$）：电势能的正负跟电势的正负相反
单位	V	J

4．电势能大小的比较方法

（1）场源电荷判断法

①场源电荷为正，离场源电荷越近，正检验电荷电势能越大，负检验电荷电势能越小.

②场源电荷为负，离场源电荷越近，正检验电荷电势能越小，负检验电荷电势能越大.

（2）电场线法

①正电荷顺着电场线方向移动，电势能逐渐减小，逆着电场线方向移动，电势能逐渐增大.

②负电荷顺着电场线方向移动，电势能逐渐增大，逆着电场线方向移动，电势能逐渐减小.

应特别注意，在电场中沿相同的方向移动正电荷和负电荷，电势能的变化是相反的.

（3）做功正负判断法

无论正、负电荷在什么样的电场中，只要电场力做正功，电荷的电势能一定减小，电场力做负功，即电荷克服电场力做功，电荷的电势能一定增加.

五、等势面

1．定义：电场中电势相等的点构成的面叫等势面.

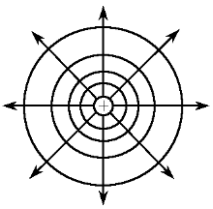
2．特点：

（1）电场线总是与等势面垂直，且从高等势面指向低等势面.

（2）电场线越密的地方，等势面越密.

（3）沿着等势面移动电荷电场力不做功.

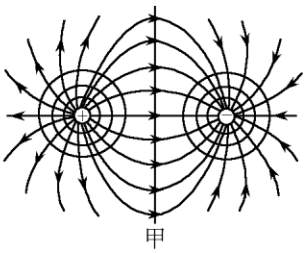
（4）两个电势不等的等势面不能相交.



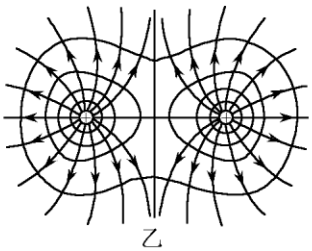
3．常见电场等势面的形状

（1）点电荷的电场：等势面是一系列同心圆球，如图.

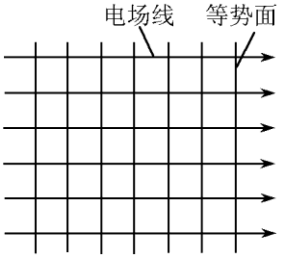
（2）等量异种、同种点电荷的电场的等势面比较．如图甲乙.



甲



乙



（3）匀强电场：等势面是相互平行、间隔相等的一族平面，如图.

六、静电屏蔽

1．静电感应：把不带电的导体放在外加的电场中，导体中的电荷将重新分配，导体两端将出现等量异种电荷，这种现象叫静电感应.

2．静电平衡：静电感应时，导体中没有电荷定向移动的状态，叫做静电平衡状态.

3．静电平衡特征

（1）导体内部的场强处处为零.

（2）导体是等势体，表面是等势面.

（3）导体表面上任一点的场强方向跟该点的表面垂直.

（4）导体所带的静电荷分布在导体表面上.

4．静电屏蔽

（1）导体空腔内部不受腔外电场的影响.

（2）接地的导体空腔外部电场不受腔内电场的影响.

例题精讲

【例1】 有一电荷量$q=-3\times10^{-6}C$的点电荷，从电场中的 A 点移到 B 点时，克服静电力做功$6\times10^{-4}J$，求：

（1）电荷的电势能怎么变化？变化了多少？

（2）以 B 点为零势能点，电荷在 A 点的电势能是多少？

＜答案＞ 1）变多了$6\times10^{-4}J$

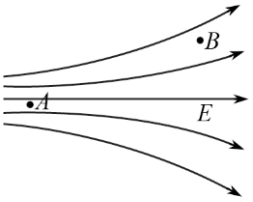
2）$-6\times10^{-4}J$

【例2】 点电荷 Q 周围有一点 A

（1）把 q=2C 的正电荷从无穷远处移至 A 点，如果电场力做功为 10J，则 q 在 A 点的电势能为_____J； 电势为_____V；

（2）如果把 q=3C 的正电荷放在 A 点，则电势能为_____J，电势为_____V

【例3】 如图所示，把电荷量为-5×10^{-9}C 的电荷，从电场中的 A 点移到 B 点，其电势能___（选填“增大”、“减小”或“不变”）；若 A 点的电势$\varphi_A=15$V，B 点的电势$\varphi_B=10$V，则此过程中电场力做的功为___J。



＜答案＞ 增大，-2.5×10^{-8}

【例4】 将一个电荷量为$-2\times10^{-8}C$的点电荷从从 A 点移到 B 点克服电场力做功$4\times10^{-8}J$，再从 B 点移动到 C 点电场力做功$14\times10^{-8}J$，则 AC 间的电势差为多少？

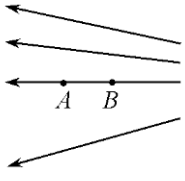
【例5】 静电场中，带电粒子电场力作用下从电势为φ_a的 a 点运动至电势为φ_b的 b 点．若带电粒子在 a、b 两点的速率分别为v_a、v_b，不计重力，则带电粒子的比荷 q/m 为（ ）

A．$\dfrac{v_a^2-v_b^2}{\varphi_b-\varphi_a}$ B．$\dfrac{v_b^2-v_a^2}{\varphi_b-\varphi_a}$

C．$\dfrac{v_a^2-v_b^2}{2(\varphi_b-\varphi_a)}$ D．$\dfrac{v_b^2-v_a^2}{2(\varphi_b-\varphi_a)}$

＜答案＞ C

【例6】 （2004 太原检测）有一电场的电场线如图所示，场中 A、B 两点电场强度的大小和电势分别用E_A、E_B和φ_A、φ_B表示，则（ ）

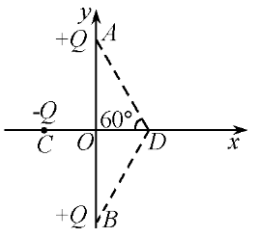


A．$E_A>E_B,\varphi_A>\varphi_B$　　**B**．$E_A>E_B,\varphi_A<\varphi_B$

C．$E_A<E_B,\varphi_A>\varphi_B$　　**D**．$E_A<E_B,\varphi_A<\varphi_B$

＜答案＞　**D**

【例7】　（**2008** 山东理综）如图所示，在 y 轴上关于 O 点对称的 A、B 两点有等量同种电荷 $+Q$，在 x 轴上 C 点有点电荷 $-Q$，且 $CO=OD$，$\angle ADO=60°$．下列判断正确的是（　　）



A．O 点电场强度为零

B．D 点电场强度为零

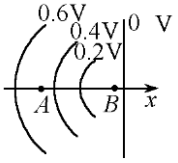
C．若将点电荷 $+q$ 从 O 移向 C，电势能增大

D．若将点电荷 $-q$ 从 O 移向 C，电势能增大

＜解析＞　A、B 两点电荷在 O 点的合场强为零，但 A、B、C 三点在 O 点合场强不为零．设 $\overline{OD}=r$，则 $\overline{AD}=\dfrac{\overline{OD}}{\cos 60°}=2r$，则 A、B 两点电荷在 D 点的合场强大小为 $\dfrac{kQ}{4r^2}$，方向沿 x 轴正方向，所以 D 点合电场强度为零．点电荷 $-q$ 从 O 移向 C 要克服电场力做功，电势能增大．

＜答案＞　BD

【例8】　（**2004** 汕头）如图所示，实线表示一簇关于 x 轴对称的等势面，在轴上有 A、B 两点，则（　　）



A．A 点场强小于 B 点场强

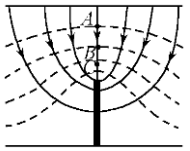
B．A 点场强方向指向 x 轴负向

C．A 点场强大于 B 点场强

D．A 点电势高于 B 点电势

＜答案＞　**AD**

【例9】　（**2008** 江苏）如图所示，实线为电场线，虚线为等势线，且 $AB=BC$，电场中 A、B、C 三点的场强分别为 E_A、E_B、E_C，电势分别为 φ_A、φ_B、φ_C，AB、BC 间的电势差分别为 U_{AB}、U_{BC}，则下列关系中正确的有（　　）



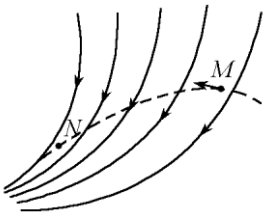
A．$\varphi_A>\varphi_B>\varphi_C$　　**B**．$E_C>E_B>E_A$

C．$U_{AB}<U_{BC}$　　**D**．$U_{AB}=U_{BC}$

＜解析＞　沿电场线电势降低，所以 $\varphi_A>\varphi_B>\varphi_C$，由图可以看出，$C$ 点附近等势线最密，A 点附近等势线最疏，所以 $E_C>E_B>E_A$，$U_{AB}<U_{BC}$．

＜答案＞　ABC

【例10】　图中的实线表示电场线，虚线表示只受电场力作用的带正电粒子的运动轨迹．粒子先经过 M 点，再经过 N 点．可以判定（　　）



A．M 点的电势大于 N 点的电势

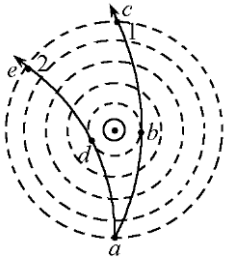
B．M 点的电势小于 N 点的电势

C．粒子在 M 点受到的电场力大于在 N 点受到的电场力

D．粒子在 M 点受到的电场力小于在 N 点受到的电场力

＜解析＞　由电势与电场的关系可知，沿电场线方向电势降低，所以 M 点的电势高于 N 点的电势，电场线的疏密表示电场的强弱，N 点位置的电场线比 M 点位置的密集，所以同一个带电粒子在 N 点受到的电场力比在 M 点受到的电场力大，由此可知选项 **AD** 正确．

＜答案＞　AD



【例11】 （2004·上海八校联考）如图所示，虚线为某点电荷电场的等势面，现有两个荷质比相同的粒子（不计重力）以相同的速率从同一等势面上的 a 点进入电场后沿不同的轨迹 1 和 2 运动，则下列判断中正确的是（　　）

A．两个粒子所带的电荷为同种电荷

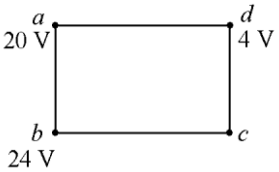
B．经过 b、d 两点时，两粒子的速率相同

C．经过 c、e 两点时，两粒子的速率相同

D．经过 b、d 两点时，两粒子的加速度大小相同

＜答案＞ CD

【例12】 （2007 全国Ⅰ理综）a、b、c、d 是匀强电场中的四个点．它们正好是一个矩形的四个顶点．电场线与矩形所在平面平行．已知 a 点的电势为 20V，b 点的电势为 24V，d 点的电势为 4V，如图所示．由此可知 c 点的电势为（　　）

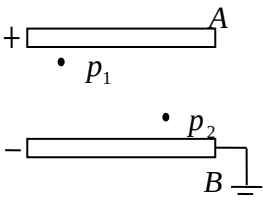


A．4V　　**B**．8V　　**C**．12V　　**D**．24V

＜解析＞ 在匀强电场中，沿任何方向电势都是均匀降落的，所以 $U_{ba}=U_{c}$，即 $\varphi_b-\varphi_a=\varphi_c-\varphi$，故 c 点的电势 $\varphi_c=8\text{V}$．

＜答案＞ B

【例13】 平行金属板 A、B 带点后，板间产生匀强电场，如图所示，两板间距 5m，两板间电压为 60V，求：



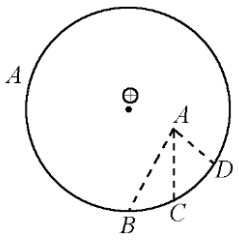
（1）两板间场强；

（2）P_1 离 A 板 0.5m，P_2 点离 B 板也是 0.5m，P_1、P_2 两点间的电势差多大？

（3）若将 B 板接地，P_1、P_2 两点的电势各是多大？电势差多大？

（4）若将 A 板接地，P_1、P_2 两点的电势各是多大？电势差多大？

【例14】 如图所示，B、C、D 三点都在以点电荷 $+Q$ 为圆心的某同心圆弧上，将一检验电荷从 A 点分别移到 B、C、D 各点时，电场力做功大小比较（　　）



A．$W_{AB}>W_{AC}$　　**B**．$W_{AD}>W_{AB}$

C．$W_{AC}=W_{AD}$　　**D**．$W_{AB}=W_{AC}$

＜答案＞ CD

在开动的车上怎样喝水

旅游车或者长途车在公路上行驶着，车上的人难免想喝水，看起来这有什么难处呢?于是你拧开了一瓶纯净水的瓶盖子，将瓶口放入口中，可是在你刚开口喝水时，一股水流已经直接冲向喉咙，一下子你根本咽不下这么多的水，于是你感到很呛，水从你的口中冒出来，弄得满身都是，场面很狼狈，第二次乃至以后几次，你小心地去喝，但是情况依旧，无可奈何，你只好拧紧瓶盖，成了“惹不起躲得起”。

在行驶的汽车上，尽管是在人并不感到颠簸时，你若观察瓶中的水，也可以发现它在剧烈地前后晃动着，为什么呢?这是因为，静止时，在水的内部不具有剪应力，所以，沿液面方向，水不具有抵抗运动的阻力，于是，对于不时变化的车速，水容易沿前后方向不停地晃动。

由于你面向前方坐着，所以喝水时，或者被呛或者喝不上。那怎么办呢?只要把头扭动一个直角的角度，或者把身子转个直角的角度就可以了，这时，水尽管也晃荡，但是它不再对着你的口腔，水的晃动方向与水向你口中的流动方向是垂直的，前一运动不影响后一运动，所以，水的晃荡对你的喝水已不构成妨碍。你之所以能够正常地喝到水，是因为你借助了运动的独立性原理。

第 13 讲
带电粒子在电场中运动

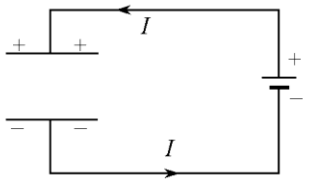
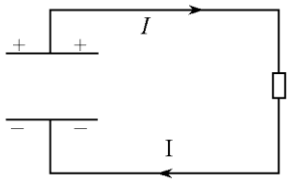
知识点睛

一、电容器

1．电容器

（1）定义：两块彼此绝缘且又相互靠近的导体就组成一个电容器，电容器可以容纳电荷．

（2）充放电过程：

	充电过程	放电过程
示意图		
特点	（1）电流的方向为逆时针方向，强度由大到小 （2）极板所带电量增多 （3）两极板间电压增高 （4）两极板间电场强度增强 （5）充电过程从电源获取能量转化为电场能	（1）电流方向由电容器正极板流出，强度由大到小 （2）电容器的电荷量减少 （3）两极板间电压降低 （4）两极板间电场强度减小 （5）放电过程由电场能转化为其他形式的能（如内能）

2．击穿电压、额定电压

（1）击穿电压是电容器的极限电压，超过这个电压，电容器内的介质将被击穿．

（2）额定电压是电容器长期工作时所承受的电压，它低于击穿电压，电容器在不高于额定电压下工作都是安全可靠的，不要误认为电容器只有在额定电压下工作才是正常的．

3．电容

（1）定义：电容器所带的电荷量（是指一个极板所带电荷量的绝对值）与电容器两极板间电压的比值．

（2）公式：$C=Q/U$，单位：法拉；$1\text{F}=10^{6}\mu\text{F}=10^{12}\text{PF}$．

（3）物理意义：电容反映电容器容纳电荷的本领的物理量，和电容器是否带电无关．

（4）制约因素：电容器的电容与 Q、U 的大小无关，是由电容器本身情况决定，对一个确定的电容器，它的电容是一定的，与电容器是否带电及带电多少无关．

注意：由 $C=\dfrac{Q}{U}$ 知，对确定的电容器，Q 与 U 成正比，比值不变；对不同的电容器，U 相同时，Q 越

大，则 C 越大，因此说 C 是反映电容器容纳电荷本领的物理量.

二、平行板电容器的电容

1. 决定因素：C 与极板正对面积、介质的介电常数成正比，与极板间距离成反比.

2. 公式：$C=\dfrac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，式中 k 为静电力常量.

3. $C=\dfrac{Q}{U}$ 与 $C=\dfrac{\varepsilon S}{4\pi kd}$ 的比较

（1）公式 $C=\dfrac{Q}{U}=\dfrac{\Delta Q}{\Delta U}$ 是电容的定义式，对任何电容器都适用. 对一个确定的电容器其电容已确定，不会随其带电量的改变而改变，电容大小由电容器本身的因素决定，是用来表示电容器容纳电荷本领的物理量.

（2）公式 $C=\dfrac{\varepsilon S}{4\pi kd}$ 是平行板电容器电容的决定式，只对平行板电容器适用. 电容 C 随 ε、S、d 等因素的变化而变化.

三、平行板电容器的动态分析

1. 平行板电容器变化的两种模式

（1）电容器两极板电势差 U 保持不变（与电源连接）.

（2）电容器的带电量 Q 保持不变（与电源断开）.

2. 进行讨论的物理依据主要是三个

（1）平行板电容器的电容与极板距离 d，正对面积 S，电介质的介电常数 ε 间的关系 $C\propto\dfrac{\varepsilon S}{d}$.

（2）平行板电容器内部是匀强电场，$E=\dfrac{U}{d}$

（3）电容器所带电量 $Q=CU$

3. 平行板电容器动态分析的基本步骤

（1）认清分析的前提是 Q 与 U 中的哪个量恒定不变：一是电容器两板间的电势差 U 保持不变（与电源连接）；二是电容器所带的电荷量 Q 保持不变（与电源断开）.

（2）用决定式 $C=\dfrac{\varepsilon S}{4\pi kd}$ 判断电容 C 的变化趋势.

（3）由定义式 $C=\dfrac{Q}{U}$ 判断 Q 与 U 中会发生变化的那个量的变化趋势.

（4）由 $E=\dfrac{U}{d}$（常用于 U 不变时）或 $E\propto\dfrac{Q}{S}$（常用于 Q 不变时）分析场强的变化.

（因为 $E=\dfrac{U}{d}=\dfrac{Q}{Cd}=\dfrac{4\pi kQ}{\varepsilon S}$，所以 $E\propto\dfrac{Q}{S}$）

（5）由 $F=qE$ 分析电场中的点电荷受力变化，进一步分析其运动状态. 例如：合力为零时，带电体将处于静止或匀速直线运动状态；合力方向与初速度方向在同一直线上时，带电体将被加速或减速（初速为零必加速）；合力恒定且方向与初速度方向垂直时，带电体将做类平抛运动等.

（6）选定某一极板为零电势，用 $U=\pm Ed'$ 计算场中某点的电场以及判断其变化，其中 d' 为该点到零电势极板的垂直距离，当该点垂直指向零电势极板的方向与电场方向相同时取“$+$”，反之取“$-$”. 进一步判断场中任意两点间的电势差 $U_{ab}=\varphi_a-\varphi_b$，由 $E=q\varphi$ 确定点电荷 q 在该点的电势能 E 的变化，此时要注意 E、q 和 φ 都有正负之分.

四、带电粒子在电场中的运动

1. 平衡：带电粒子在电场中处于静止状态，设匀强电场两极板电压为 U，板间距离为 d，则 $mg=qE$，

$$q=\frac{mg}{E}=\frac{dmg}{U}.$$

2．带电粒子在电场中的加速

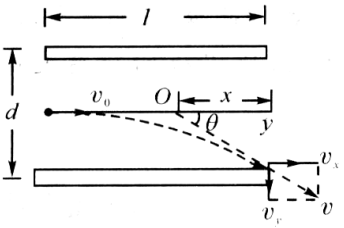
（1）运动状态的分析：带电粒子沿与电场线平行的方向进入匀强电场，受到的电场力与运动方向在同一条直线上，做加（减）速直线运动．

（2）用功能观点分析：电场力对带电粒子做的功等于带电粒子动能的增量．即 $qU=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$

此方法既适用于匀强电场，也适用于非匀强电场．

3．带电粒子在电场中的偏转：带电粒子以垂直匀强电场的场强方向进入电场后，做类平抛运动（如图所示）．

（1）运动状态分析：带电粒子以速度 v_0 垂直于电场线方向飞入匀强电场时，受到恒定的与初速度方向成 $90°$ 角的电场力作用而做匀变速曲线运动．



（2）偏转问题的分析处理方法：类似于平抛运动的分析处理，应用运动的合成和分解的知识

①沿初速度方向为匀速直线运动，运动时间：$t=\frac{l}{v_0}$ ．

②沿电场力方向为初速度为零的匀加速直线运动：$a=\frac{F}{m}=\frac{qE}{m}=\frac{qU}{md}$

③离开电场时的偏移量：$y=\frac{1}{2}at^2=\frac{ql^2U}{2mv_0^2d}$

④离开电场时的偏转角：$\tan\theta=\frac{v_\perp}{v_0}=\frac{qlU}{mv_0^2d}$

（3）两个重要结论

①不同的带电粒子从静止经过同一电场加速后进入同一偏转电场后，它们在电场中的偏转角度，偏转距离总相同，即其轨迹将重合．

②粒子从偏转电场中射出时，速度的反向延长线与初速度延长线的交点平分沿初速度方向的位移，即粒子好像从该中点处沿直线飞离电场一样．

4．带电粒子在匀强电场和重力场的复合场中的运动的解题基本思路：一是，按照研究力学问题的基本方法，从力和运动或能量转换两条途径展开讨论；二是，把该物体看作处于各种场同时存在的复合场中．

（1）用力的观点处理带电粒子的运动．

由于带电粒子在匀强电场中所受电场力与重力都是恒力，因此其处理方法有两种．

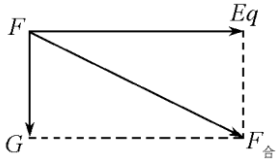
①正交分解法或化曲为直法

将复杂的运动分解为两个互相正交的比较简单的直线运动，而这两个直线运动的规律是我们可以处理的，然后再按运动合成的观点去求出复杂运动的相关物理量．

②等效“重力”法：将重力与电场力进行合成，如图所示，则 $F_{合}$ 等效于“重力”．

$a=\frac{F_{合}}{m}$ 等效于“重力加速度”．

$F_{合}$ 的方向等效于“重力”的方向即在重力场中的竖直向下方向．



（2）用功能观点处理带电粒子的运动．

首先对物体进行受力分析，分析物体的运动状态，进而根据题目选择恰当的规律来解题．

如选用动能定理，则要分清有多少个力做功，是恒力还是变力做功，以及初态和末态的动能增量；

如选用能量守恒定律，则要分清有多少种形式的能在转化，哪种能量是增加的，哪种能量是减少的．

5．在处理带电粒子在电场中的运动是否考虑重力的问题．

基本粒子：如电子、质子、α 粒子、离子等除有说明或明确的暗示以外，一般都不考虑重力（但并不忽略质量）．

带电颗粒：如液滴、油滴、尘埃、小球等，除有说明或明确的暗示外，一般都不忽略重力．但如果

重力远小于它在电场中受到的电场力，则其重力可忽略不计．但两力相差不多甚至重力更大时，就不能忽略重力了．

例题精讲

【例1】　关于电容器和电容，下列说法中正确的是（　）

（3）电容器的电容越大，则所带电荷量越多

（4）电容器不带电荷时，其电容为零

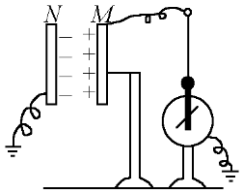
（5）对一个确定的电容器来说，其电容与带电情况无关，是个定值

（6）由 $C=\frac{Q}{U}$ 可知 C 与 Q 成正比，C 与 U 成反比

＜解析＞　电容是电容器本身的性质，与电容器的带电量和电压无关，故 C 对，B、D 错；对某个电容器来说，带电量和极板间的电压成正比，与电容无关，A 错

＜答案＞　C

【例2】　利用静电计研究平行板电容器的电容与哪些因素有关的实验装置如图所示，则下面哪些叙述符合实验中观察到的结果（　）



A．N 板向左平移，静电计指针偏角变大

B．N 板向上平移，静电计指针偏角变大

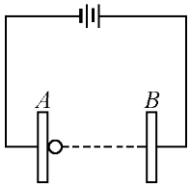
C．保持 N 板不动，在 M、N 间插入一块绝缘介质板，静电计指针偏角变大

D．保持 N 板不动，在 M、N 间插入一块金属板，静电计指针偏角变大

＜解析＞　题图中，静电计测得是电容器 M、N 两极板间的电压，并由题意知，电容器所带电荷量 q 不变．由公式 $C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$ 知 N 向左平移时，C 变小，由 $C=\frac{Q}{U}$ 知，U 变大，所以静电计指针偏角变大；当 N 板向上平移时，正对面积 S 减小，C 变小，U 变大，静电计偏角变大；当在 M、N 之间插入电解质时，ε 变大，C 变大，U 变小；当在 M、N 间插入金属板时，两板间相对距离减小，C 变大，U 变小，所以静电计指针变小．

＜答案＞　AB

【例3】　(2004 沈阳调研)如图所示，电子由静止开始从 A 板向 B 板运动，当到达 B 板时速度为 v，保持两板间的电压不变则(　　)



A．当增大两板间距离时，v 增大

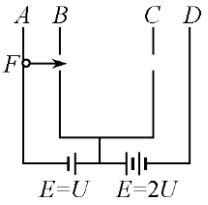
B．当减小两板间距离时，v 增大

C．当改变两板间距离时，v 不变

D．当增大两板间距离时，电子在两板间运动的时间增大

＜答案＞　CD

【例4】　(2004 青岛质量检测)在图装置中，从 A 板释放一个无初速的电子(各板间距相等)向 B 板方向运动，下列选项对电子的描述正确的是(　　)



A．电子到达 B 板时动能为 eU

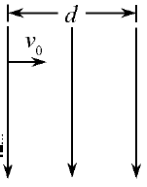
B．电子从 B 到 C 动能变化为零

C．电子到 D 板时动能为 $3eU$

D．电子在 A 板与 D 板间往复运动

＜答案＞　ABD

【例5】　(2005 太原模拟)如图所示，一宽度为 d、范围足够大的匀强电场，场强为 E，



一带电荷量为$+q$的粒子以不同的初速度从一侧垂直进入电场，从另一侧飞出电场(不计重力)，则(　　)

A．初速度越大，该粒子飞出电场时的速度越小

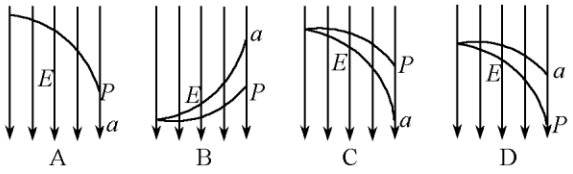
B．初速度越小，该粒子飞出电场时的速度越小

C．不同初速度的粒子飞经电场的时间相同

D．该粒子飞出电场时的动能最小值为Eqd

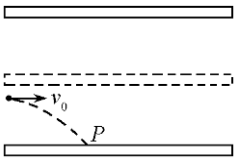
＜答案＞　**A**

【例6】　(2005·日照模拟)一个质子P和一个α粒子，从同一位置垂直电场方向以相同的动量射入匀强电场，它们在电场中的运动轨迹是如图中的(　　)



＜答案＞　**C**

【例7】　如图所示，一水平放置的平行板电容器充电后与电源断开，一带电小球以初速度v_0水平的飞入电场，落到下极板的P点．若在断开电源以后将上极板下移一些以减小两极板间的距离（下极板不动），此带电小球仍以v_0从原处飞入，则小球将落在P点的（　）



A．左侧　　**B**．右侧

C．仍在P点　　**D**．因不知小球带电的正负，故无法判断小球落在P点的左侧还是右侧

＜解析＞　因为$C=\dfrac{Q}{U}$，又$C=\dfrac{\varepsilon S}{4\pi kd}$得$U=\dfrac{4\pi kdQ}{\varepsilon S}$，故$E=\dfrac{U}{d}=\dfrac{4\pi kQ}{\varepsilon S}$．由于电容器充电后与电源断开可知$Q$不变，$E$不变，故带电粒子的轨迹不变，仍落在$P$．

＜答案＞　**C**

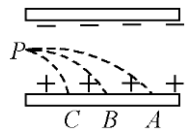
【例8】　(2004·临沂模拟)如图所示，有三个质量相等，分别带正电、负电和不带电小球，从平行板电场中的P点以相同的初速度垂直于E进入电场，它们分别落到A、B、C三点(　　)

A．落到A点的小球带正电，落到B点的小球不带电

B．三个小球在电场中运动的时间相等

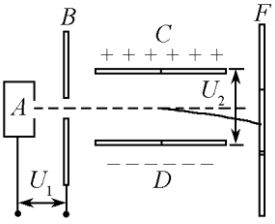
C．三个小球到达正极时动能关系：$E_{kA}>E_{kB}>E_{kC}$

D．三个小球在电场中运动的加速度关系：$a_A>a_B>a_C$



＜答案＞　**A**

【例9】　(2004·北京海淀模拟)如图所示，A为粒子源，F为荧光屏．在A和极板B间的加速电压为U_1，在两水平放置的平行导体板C、D间加有偏转电压U_2．现分别有质子和α粒子(氦核)由静止从A发出，经加速后以水平速度进入C、D间，不计粒子的重力，它们能打到F的同一位置上吗?



＜解析＞　设粒子质量为m电荷量为q，偏转电场极板长为L，板间距为d．在加速过程中由动能定理$qU_1=\dfrac{1}{2}mv_0^2$

在偏转电场中，粒子的运动时间$t=\dfrac{L}{v_0}$

加速度$a=\dfrac{qE}{m}=\dfrac{U_2q}{dm}$

沿电场方向上的速度$v'=at$

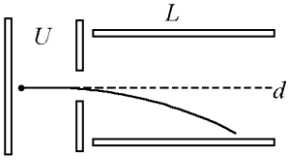
粒子射出电场时速度的偏向角为α，$\tan\alpha=\dfrac{v'}{v_0}$，偏移量$y=\dfrac{1}{2}at^2$.

由以上各式解得：$\tan\alpha=\dfrac{U_2L}{2U_1d}$，$y=\dfrac{U_2L^2}{4U_1d}$.

可见y，$\tan\alpha$与带电粒子的m、q无关，只由加速电场和偏转电场来决定，所以质子和α粒子能打到F上的同一位置上.

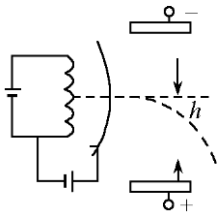
＜答案＞ 能打到F的同一位置.

【例10】 如图所示，一束电子流在经$U=5000\text{V}$的加速电压加速后，在距两极板等距处垂直进入平行板间的匀强电场，若两板间距$d=1.0\text{cm}$，板长$L=5.0\text{cm}$，那么要使电子能从平板间飞出，两个极板最多能加多大电压？



＜解析＞ 在加速电压一定时，偏转电压越大，电子在极板间的偏转距离就越大，当偏转电压大到使电子刚好擦着极板边缘飞出时达到最大.加速过程由动能定理得，$eU=\dfrac{1}{2}mv_0^2$，进入偏转电场，电子在平行板面的方向上做匀速运动，有$L=v_0t$，在垂直于板面的方向上做匀加速直线运动，有$y=\dfrac{1}{2}at^2=\dfrac{eU_1L^2}{2mdv_0^2}$，电子能飞出的条件为$y\le\dfrac{1}{2}d$；由以上各式，可得$U_1\le\dfrac{2Ud^2}{L^2}=400\text{V}$，即要使电子从平行板间飞出，所加电压最大为$400\text{V}$.

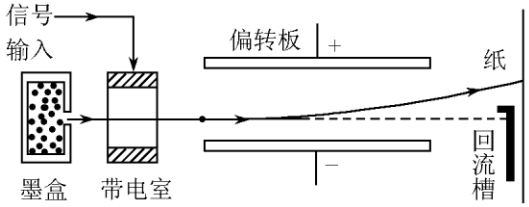
【例11】 如图所示是一个说明示波管工作的原理图，电子经加速电场(加速电压为U_1)加速后垂直进入偏转电场，离开偏转电场时偏转量是h，两平行板间的距离为d，电压为U_2，板长为l，每单位电压引起的偏移$\dfrac{h}{U_2}$叫做示波管的灵敏度，为了提高灵敏度，可采用下列哪些方法(　　)



A．增大U_2　　**B**．减小l

C．减小d　　**D**．增大U_1

【例12】 图是喷墨打印机的结构简图，其中墨盒可以发出墨汁微滴．此微滴经过带电室时被带上负电，带电多少由计算机按字体笔画高低位置由输入信号控制．带电后的微滴进入偏转板间，在电场力的作用下偏转，沿不同方向射出，打到纸上即显示出字体．无信号输入时，微滴径直通过偏转板区域注入回流槽再流回墨盒．设一个墨汁微滴的质量为$1.5\times10^{-10}\text{kg}$，经过带电室后带上了$-1.4\times10^{-13}\text{C}$的电荷量，随后以$20\text{m/s}$的速度进入偏转板间．已知偏转板的长度为$1.6\text{cm}$，板间电场强度为$1.6\times10^6\text{N/C}$，那么此微滴离开偏转板时在竖直方向将偏转多大距离?



＜解析＞ 墨汁微滴的重力比其电场力小得多，可忽略重力的影响.

$$y=\frac{1}{2}at^2=\frac{qEL^2}{2mv_0^2}=\frac{1.4\times10^{-13}\times1.6\times10^6\times(1.6\times10^{-2})^2}{2\times1.5\times10^{-10}\times20^2}\text{m}=4.8\times10^{-4}\text{m}$$

电子计算机

电子计算机包括模拟计算机和数字计算机两大类，都具有度量和计算的简单观念。然而通常所指的计算机，都指数字计算机而言。实际上，每架大型的数字计算机，包括有成千个恒温器，求积计和小型模拟计算机，这些仪器都是以度量他量，来计算某量的。电子计算机的构造极为复杂，通常可分为输入、输出、记忆、计算及控制五大部分。又记忆、计算及控制三大部分称之为“中央处理机”。电子计算机的计算，是有一定的法则。通常它在作计算或逻辑运算时，已有一部分的法则储存于电子计算机中，其余的法则如数目字或指令，则由外界输入。因此，电子计算机在作运算时，必须将许多输入资料事先存储于记忆单位，然后再根据需要，依次自储存单位取出，进行计算。记忆单位与计算单位是相互沟通的，记忆单位所存储的资料，送入计算单位中，经过运算后的结果，再送回记忆单位储存。此外，指令执行的先后次序，必须根据需要而且有一定的规则，因此电子计算机除了以上两单位外，必须有一控制单位，来执行所需要的指令。经由计算的结果，并不能永远储存于记忆单位，必须取出，而用数目字或字母表达于报表或卡片上。电子计算机的功能，除了可以预测变幻无常的气象、进行医疗诊断，帮助引导人们到月球去，加强各大城市之间的通讯等。电子计算机还有绘制建筑图样和商业图表的能力，并被用来绘制各种美术图案。现在电子计算机已成为现代化办公室不可缺少的手段，在发达的国家电子计算机已进入家庭和生活中。

第 14 讲
稳恒电流

知识点睛

一、电流

1． 定义：电荷的定向移动形成电流．

注：此处的电荷指自由电子、正电荷、负电荷．

电荷的无规则运动形不成电流，只有定向运动才能形成电流．

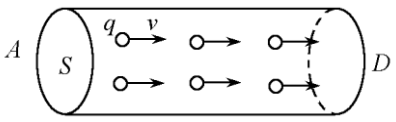
2． 形成电流的条件：导体两端存在电压；存在可以自由移动的电荷．

3． 电流的方向：规定正电荷定向移动的方向为电流的方向．

若电流是靠自由电子的定向移动形成，则电流的方向与自由电子的定向移动的方向相反．

4． 电流的定义式：$I=\dfrac{Q}{t}$，其中 Q 是通过导体截面的电荷量．在国际单位制中电流的单位是安培．$1\text{mA}=10^{-3}\text{A}$，$1\mu\text{A}=10^{-6}\text{A}$．

5． 电流的微观本质：如图所示，AD 表示粗细均匀的一段导体 l，两端加一定的电压，导体中的自由电荷沿导体自由移动的速率为 v，设导体的横截面积为 S，导体每单位体积内的自由电荷数为 n，每个自由电荷的电荷量为 q．



AD 导体中的自由电荷数：$N=nlS$，总电荷量：$Q=Nq=nlSq$．所有这些电荷都通过横截面 D 所需要的时间：$t=\dfrac{l}{v}$，导体 AD 中的电流：$I=\dfrac{Q}{t}=\dfrac{nlSq}{l/v}=nqSv$．

由此可见，从微观上看，电流决定于导体中单位体积内的自由电荷数、电荷量、定向移动速度，还与导体横截面积有关．

二、电阻、电阻定律

1． 电阻

（1） 定义：导体两端的电压与导体中的电流的比值叫导体的电阻．

（2） 定义式：$R=\dfrac{U}{I}$

（3） 单位：欧姆，国际符号 Ω

注：对给定的导体，它的电阻是一定的，因此，不管导体两端有无电压，电压大小如何，电阻是一定的；不管导体内是否有电流流过，电流强弱如何，电阻是一定的，所以不能说电阻与电压成正比，与电流大小成反比．

2． 电阻定律

（1）公式：$R=\rho\dfrac{l}{S}$

注意：电阻是导体本身的属性，跟导体两端的电压和通过的电流无关.

（2）电阻率

①计算公式：$\rho=\dfrac{RS}{l}$ 与物体的长度l、横截面积S无关，由物体的材料决定，与温度有关.

②物理意义：反映了材料对电流的阻碍作用，在数值上等于用这种材料制成长1m、截面积为$1m^2$的导线的电阻值.

③与温度的关系：有些材料（如金属）的电阻率随温度的升高而增大，有些材料（如绝缘体、半导体）的电阻率随温度升高而减小，也有些材料（如锰钢、康铜）的电阻率几乎不受温度的影响. 当温度降低到绝对零度附近时，某种材料的电阻率突然减小到零，这种现象是超导材料，处于这种状态的导体叫超导体.

三、部分电路欧姆定律及串、并联电路的特点

1. 部分电路的欧姆定律及串并联电路的特点

（1）内容：导体中的电流跟它两端的电压成正比，跟它的电阻成反比. 公式为$I=\dfrac{U}{R}$或写成$U=IR$.

（2）适用范围：只适用于金属、电解液导体，不适用于气体导电，只适用于纯电阻电路，不适用于非纯电阻电路.

（3）伏安特性：线性电学元件的伏安特性在$I-U$图上是过原点的直线，而非线性电学元件的$I-U$图线不是直线.

①电阻恒定不变的导体，它的伏安特性曲线是直线，如图中a、b两直线所示，直线的斜率等于电阻的倒数，斜率大的电阻小.

②电阻因外界条件变化而变化的导体，它的伏安特性曲线是曲线，如图中c所示，曲线c随电压的增大，曲线上的任一点与原点的连线的斜率变大，则对应的导体电阻减小.

2. 串、并联电路的特点

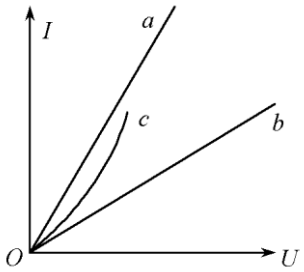
（1）串联电路的特点

①各处的电流强度相等：$I=I_1=I_2=\cdots=I_n$

②分压原理：$\dfrac{U_1}{R_1}=\dfrac{U_2}{R_2}=\cdots=\dfrac{U_n}{R_n}$

③电路的总电阻：$R=R_1+R_2+\cdots+R_n$

④电路两端的电压：$U=U_1+U_2+\cdots+U_n$



（2）并联电路的特点：

①各支路电压相等：$U=U_1=U_2=\cdots=U_n$

②分流原理：$I_1R_1=I_2R_2=\cdots=I_nR_n$

③电路的总电阻：$\dfrac{1}{R}=\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}+\cdots+\dfrac{1}{R_n}$

④电路中的总电流：$I=I_1+I_2+\cdots+I_n$

3. 电路图的简化

（1）原则

①无电流的支路除去

②电势相等的各点合并.

③理想导线任意长短.

④理想电流表可以认为短路、理想电压表认为断路.

⑤电容器稳定时认为断路.

（2）方法

①电流分支法：先将各节点用字母标上，判定各支路元件的电流方向（若无电流可假设在总电路两端加上电压后判定），按电流流向，自左到右将各元件结点、分支逐一画出，加工整理即可.

②等势点排列法：标出节点字母，判断处各节点电势的高低（电路无电压时可先假设加上电压），将各节点按电势高低自左向右排列，再将各节点的支路画出，然后加工整理即可.

注意以上方法往往结合适用. 在画等效电路时，可将理想Ⓐ和Ⓥ先摘除，画好后再安上. 在分析电路结构时也经常用到对称性分析问题.

例题精讲

【例17】 关于电流的方向，下面叙述中正确的是（　　）

A．金属导体电流的方向是自由电子定向移动的方向

B．在电解液中有自由的正离子和负离子，电流方向不能确定

C．不论何种导体，电流的方向规定为正电荷定向移动的方向

D．电流的方向有时与正电荷定向移动方向相同，有时与负电荷定向移动方向相同

＜答案＞ **C**

【例18】 如果电路中每分钟有 **60** 万亿个自由电子通过导体的横截面，那么电路中的电流是（　　）

A．0.016μA　　**B**．1.6μA　　**C**．16μA　　**D**．0.16μA

＜答案＞ **D**

【例19】 电子绕核运动可以看作为一环形电流．设氢原子中的电子以速度 v 在半径为 r 的轨道上运动，用 e 表示电子的电荷量，则其等效电流等于_____.

＜解析＞ 氢原子的核外电子只有一个，电子绕核做圆周运动，圆轨道周长为 $2\pi r$，电子运动速度为 v，则每秒钟电子绕核转动的圈数为 $n=\dfrac{v}{2\pi r}$

电流为每秒钟通过某横截面的电荷量，对电子绕核运动形成的等效电流而言，其等效电流为 $I=ne=(\dfrac{v}{2\pi r})e$.

【例20】 北京正负电子对撞机的储存环为周长 240m 的圆形轨道．当环中电流为10mA 时，若电子的速度是光速的十分之一，则在整个环中运动的电子数目为多少？

＜解析＞ 根据电流的定义式 $I=\dfrac{q}{t}$，若设环中电子数目为 n，则在时间 $t=\dfrac{L}{c/10}=\dfrac{240}{3\times10^7}$s 内都可绕环运动一周，即通过环某横截面电量 $q=ne=n\times1.60\times10^{-19}$C 而形成电流 $I=10\text{mA}$. 所以，$n=\dfrac{10IL}{ce}=5\times10^{11}$ 个.

＜答案＞ 5×10^{11} 个

【例21】 （**2005** 威海四月模拟）根据欧姆定律，下列说法正确的是（　　）

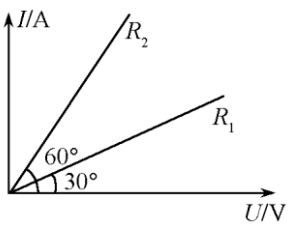
A．从 $R=U/I$ 可知，导体的电阻跟加在导体两端的电压成正比，跟导体中的电流成反比

B．从 $R=U/I$ 可知，对于某一确定的导体，通过的电流越大，说明导体两端的电压越大

C．从 $I=U/R$ 可知，导体中的电流跟导体两端的电压成正比，跟导体的电阻成反比

D．从 $R=U/I$ 可知，对于某一确定的导体，所加电压跟通过导体的电流之比是个恒量

＜答案＞ **BCD**

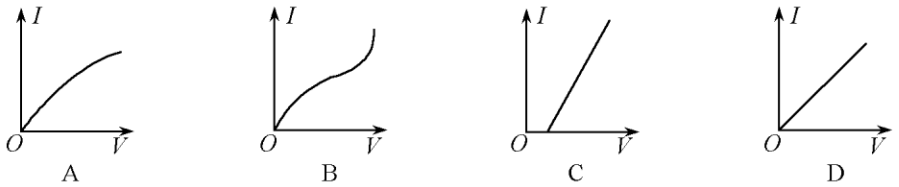


【例22】 （2003 海南五月模拟）两电阻 R_1、R_2 的电流 I 和电压 U 的关系图线如图所示，可知两电阻的的大小之比 $R_1:R_2$ 等于（　　）

A．$1:3$　　**B**．$3:1$　　**C**．$1:\sqrt{3}$　　**D**．$\sqrt{3}:1$

＜答案＞　**B**

【例23】 在下图中，能正确表示出线性元件的伏安特性曲线的是（　　）



＜答案＞　**D**

【例24】 关于电阻率的正确说法是（　　）

A．电阻率与导体的长度 L 和横截面积 S 有关

B．电阻率表征了导体材料的导电能力的强弱，由导体的材料决定，且与温度有关

C．电阻率大的导体，电阻一定很大

D．有些合金的电阻率几乎不受温度变化的影响，可用来制成电阻温度计

＜答案＞　**B**

【例25】 （2005 海淀区五月模拟）一只“220V,100W”的灯泡正常发光时电阻为 484Ω，拿一只这种灯泡来测量它不工作时的电阻应是（　　）

A．等于 484Ω　　**B**．大于 484Ω　　**C**．小于 484Ω　　**D**．无法确定

＜答案＞　**C**

【例26】 一根阻值为 R 的均匀电阻丝，长为 l，横截面积为 S，设温度不变，在下列哪些情况下其电阻值仍为 R（　　）

A．当 l 不变，S 增大一倍时

B．当 S 不变，l 增大一倍时

C．当 l 和 S 都减为原来的 $\frac{1}{2}$ 时

D．当 l 和横截面积的半径都放大一倍时

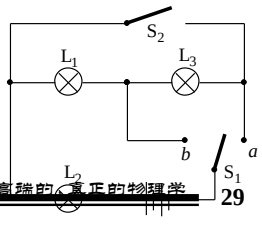
＜答案＞　**C**

【例27】 （2005 沈阳五月模拟）一根圆柱状导体加上电压 U 后，导体中电流为 I，若将导体均匀拉长至截面半径为原来的 $\frac{1}{2}$ 时，再加上电压 U，求此时电流.

＜解析＞　设导体原长 L，截面半径为 r，则横截面积 $S=\pi r^2$，导体被均匀拉长至 $r'=\frac{r}{2}$，横截面积 $S'=\pi(\frac{r}{2})^2=\frac{S}{4}$，导线被拉长体积不变，导体被均匀拉长至 l'，$S\,l=S'$，$l'=4l$．由 $R=\rho\frac{L}{S}$，后来的电阻 $R'=\rho\frac{L'}{S'}=\rho\frac{4l}{\frac{S}{4}}$，所以 $R'=16R$．导体拉长后电流 $I'=\frac{U}{R'}=\frac{U}{16R}=\frac{1}{16}I$．

【例28】 某实验小组用三只相同的小灯泡，连线如图所示电路研究串并联电路的特点，实验中观察到的现象是（　　）

A．S_2 断开，S_1 与 a 连接，三只灯泡都熄灭



B．S_2断开，S_1与b连接，三只灯泡亮度相同

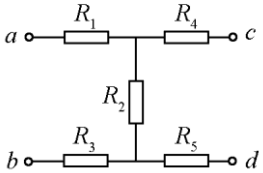
C．S_2闭合，S_1与a连接，三只灯泡都发光，L_1、L_2亮度相同

D．S_2闭合，S_1与b连接，三只灯泡都发光，L_3亮度小于L_2的亮度

＜解析＞ 当S_2断开，S_1接a，三灯串联，不会熄灭，故**A**错；当S_2断开，S_1接b，L_1、L_2串联、L_3断路，故**B**错；当S_2闭合，S_1接a，只有L_2亮，L_1、L_3短路，故**C**错；当S_2闭合，S_1接b，L_1、L_3并联再与L_2串联，由$P=I^2R$知L_3的功率小于L_2的功率，即L_3的亮度小于L_2的亮度，故**D**正确．

＜答案＞ **D**

【例29】 （2005济宁五月模拟）如图所示的电路中，电阻R_1、R_2、R_3均为1Ω，R_4、R_5的阻值都是0.5Ω，ab端输入电压$U=6\text{V}$，当cd端接伏特计时，其示数是_____V．



＜解析＞ 当电阻中无电流通过时，电阻仅相当于导线，本题中R_4和R_5就起导线作用．所以$U_{cd}=\dfrac{R_2}{R_1+R_2+R_3}U=\dfrac{1}{1+1+1}\times 6=2\text{V}$．

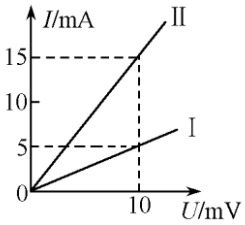
＜答案＞ 2V

【例30】 （2005·太原五月模拟）如图所示的伏安特性图线中，

（1）电阻之比$R_1:R_2=$_____；

（2）若两个导体中电流相等（不为零）时，电压之比$U_1:U_2=$_____；

（3）若两个导体的电压相等时，电流之比为_____。



＜解析＞ 明确$I-U$图象的物理意义，在$I-U$图象中，电阻的大小等于图线斜率的倒数。

（1）$R_1=\dfrac{\Delta U_1}{\Delta I_1}=\dfrac{10\times10^{-3}}{5\times10^{-3}}\Omega=2\Omega$，$R_2=\dfrac{\Delta U_2}{\Delta I_2}=\dfrac{10\times10^{-3}}{15\times10^{-3}}\Omega=\dfrac{2}{3}\Omega$

即$R_1:R_2=2:\dfrac{2}{3}=3:1$。

（2）由欧姆定律，对两个不同的导体，I相同，$U\propto R$，故$U_1:U_2=R_1:R_2=3:1$。

（3）由欧姆定律，对两个不同的导体，U相同，$I\propto\dfrac{1}{R}$，故$I_1:I_2=R_2:R_1=1:3$。

＜答案＞（1）3:1 （2）3:1 （3）1:3

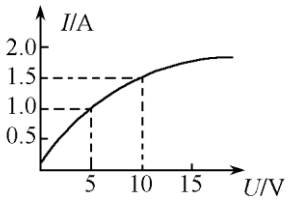
【例31】 （2005黄冈五月模拟）某导体的电流随电压的变化如图所示，则下列说法中正确的是（ ）

A．加5V电压时，导体的电阻约是5Ω

B．加10V电压时，导体的电阻约是0.15Ω

C．由图可知，随着电压的增大，导体的电阻不断减小

D．由图可知，随着电压的减小，导体的电阻不断减小



＜解析＞ 由欧姆定律$I=\dfrac{U}{R}$可得$R=\dfrac{U}{I}$，当电压为5V时，导体电阻$R=\dfrac{5\text{V}}{1\text{A}}=5\Omega$，当电压为10V时，电阻$R'=\dfrac{10\text{V}}{1.5\text{A}}=6.6\Omega$，所以**AD**正确，此导体为非线性元件．

＜答案＞ **AD**

【例32】 （2005郑州五月模拟）某电压表的量程是15V，一导体通以2mA电流时，两端电压是

1.6V，现给此导体通以20mA电流时，能否用这个电压表去测量导体两端的电压？

＜解析＞ 由欧姆定律$I=\frac{U}{R}$，得$R=\frac{U}{I}$，则该通电导体的电阻为：

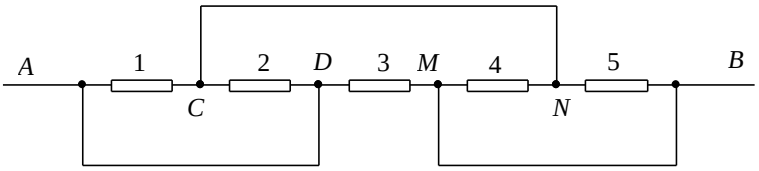
$R=\frac{U}{I}=\frac{1.6}{2\times10^{-3}}=800\Omega$.

当通过20mA的电流时，导体两端的电压U'为：

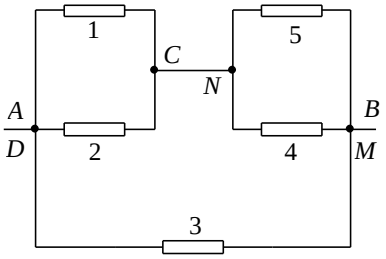
$U'=I'R=20\times10^{-3}\times800\text{V}=16\text{V}$

此时导体两端的电压为16V，大于电压表的量程15V，所以不能再用这个电压表测导体两端的电压.

【例33】 由5个1Ω电阻连成的如图所示的电路，导线的电阻不计，则A、B间的等效电阻为_____Ω.



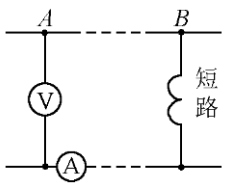
＜解析＞ 本题采用结点法，就是将图示电路中的结点找出来后，凡是用导线相连的结点可认为是同一结点，然后假设电流从A端流入，从B端流出的原则来分析电流经过电路时的各电阻连接形式就表现出来了.



按从A到B的顺序把5个电阻分成1、2、3、4、5，由于结点A、D间是用导线相连，这两点是等势点，当电流从A点流入时可以同时流向电阻1、2、3，从电阻1和电阻2流出的电流汇合于C点，到达N点，结点M和B点间是导线相连，也是等势点，电流再从电阻4和电阻5经B流出，而流向电阻3的电流则直接经MB流出，其等效电路如图所示. 故A、B间总电阻为0.5Ω.

＜总结＞ 在分析电路时，首先应找出各个结点，凡是用导线相连的两结点是等势点（当两结点间连线电阻可以忽略或理想的电流表时），可以等效为一个结点（如图中的A与D，M与B），连在两个相邻的结点间的电阻是并联的（如上图中的电阻1和电阻2，电阻4和电阻5），当把最基本的电路等效后，再对高一级电路进一步分析，即电阻1、2并联后与电阻4、5并联后串联，之后再与电阻3并联，这中逐级分析的方法在分析等效电路中是很有效的.

【例34】 （2005东城区五月模拟）相距40km的A、B两地架两条输电线，电阻共为800Ω，如果在A、B间的某处发生短路，这时接在A处的电压表示数为10V，电流表示数为40mA，求发生短路处距A有多远？如图所示.



＜解析＞ A与短路处的距离，可以认为等于A与短路处单根导线的长度. 而如果能够求得A与短路处单根导线的电阻，就可以由电阻定律求出导线的长度，也就求出了短路处到A端的距离.

A、B间距离$l=40\text{km}$，导线总长$2l$，总电阻R_x；

由欧姆定律：$R_x=\frac{U}{I}=\frac{10}{40\times10^{-3}}\Omega=250\Omega$.

由电阻定律：$R=\rho\frac{2l}{S}, R_x=\rho\frac{2x}{S}$.

得：$x=\frac{R_x}{R}l=\frac{250}{800}\times 40\text{km}=12.5\text{km}$．

即短路处距 A 端 12.5km．

＜点评＞　①输电线总长度是输电距离的两倍，输电线总阻值为两根导线电阻之和．②对同一输电线，ρ 和 S 相同，根据 $R=\rho\frac{L}{S}$ 可知 R 与 L 成正比．

超导体

在温度和磁场都小于一定数值的条件下，许多导电材料的电阻和体内磁感应强度都突然变为零的性质。具有超导性的物体叫做“超导体”。1911 年荷兰物理学家卡曼林-昂尼斯（1853～1926 年）首先发现汞在 4.173K 以下失去电阻的现象，并初次称之为“超导性”。现已知道，许多金属（如锡、铝、铅、钽、铌等）、合金（如铌—锆、铌—钛等）和化合物（如 Nb3Sn、Nb3Al 等）都是可具有超导性的材料。物体从正常态过渡到超导态是一种相变，发生相变时的温度称为此超导体的“转变温度”（或“临界温度”）。现有的材料仅在很低的温度环境下才具有超导性，其中以 Nb3Ge 薄膜的转变温度最高（23.2K）。1933 年迈斯纳和奥森费耳德又共同发现金属处在超导态时其体内磁感应强度为零，即能把原来在其体内的磁场排挤出去；这个现象称之为迈斯纳效应。当磁场达到一定强度时，超导性就将破坏，这个磁场限值称为“临界磁场”。目前所发现的超导体有两类。第一类只有一个临界磁场（约几百高斯）；第二类超导体有下临界磁场 Hc1 和上临界磁场 Hc2。当外磁场达到 Hc1 时，第二类超导体内出现正常态和超导态相互混合的状态，只有当磁场增大到 Hc2 时，其体内的混合状态消失而转化为正常导体。现在已制备上临界磁场很高的超导材料（如 Nb3Sn 的 Hc2 达 22 特斯拉，Nb3Al0.75Ge0.25 的 Hc2 达 30 特斯拉），用以制造产生强磁场的超导磁体。超导体的应用目前正逐步发展为先进技术，用在加速器、发电机、电缆、贮能器和交通运输设备直到计算机方面。1962 年发现了超导隧道效应即约瑟夫逊效应，并已用于制造高精度的磁强计、电压标准、微波探测器等。近两年来，中国、美国、日本在提高超导材料的转变温度上都取得了很大的进展。1987 年研制出 YBaCuO 体材料转变温度达到 90～100K，零电阻温度达 78K，也就是说过去必须在昂贵的液氦温度下才能获得超导性，而现在已能在廉价的液氮温度下获得。1988 年又研制出 CaSrBiCuO 体和 CaSrTlCuO 体，使转变温度提高到 114～115K。近两三年来，超导方面的工作正在突飞猛进。

第 15 讲
全电路欧姆定律

知识点睛

一、电功 电功率

1．电功

①定义：导体中的自由电荷在电场力作用下定向移动电场力做的功称为电功.

②公式:$W=Uq=UIt$

③意义：电功是电流做功的过程中电能转化为其他形式的能的多少的量度.

2．焦耳定律：电流流过导体时，导体上产生的热量记为Q，则$Q=I^2Rt$

焦耳定律适用于一切导体或用电器，但只能用来求电热.

3．电功和电热的关系

（1）在纯电阻电路中，$W=Q$，此时$UIt=I^2Rt$，$U=IR$，故$UIt=I^2Rt=\dfrac{U^2}{R}t$.

（2）在非纯电阻电路中，$W>Q$，此时$UIt>I^2Rt$，$U>IR$，故$\dfrac{U^2}{R}t$无意义，$E_{其他}=W-Q$.

4．正确理解有关电功和电功率的几个公式

（1）$W=UIt$普遍适用于计算任何一段电路上的电功，$P=UI$普遍适用于计算任何一段电路上消耗的电功率

（2）$Q=I^2Rt$，只用于计算电热

（3）对纯电阻电路来说，由于电能全部转化为内能，所以有关电功、电功率的所有公式和形式都适用，即$W=IUt=I^2Rt=\dfrac{U^2}{R}t$，$P=UI=I^2R=\dfrac{U^2}{R}$.

（4）在非纯电阻电路中，总电能中的一部分转化为热能，另一部分转化为其他形式的能，电热仍用$Q=I^2Rt$计算，这时$W_{总}=IUt>Q=I^2Rt$，同理$P_{总}>P_{热}$.

5．用电器的额定功率和实际功率

用电器正常工作条件下所加的电压叫额定电压，额定电压下消耗的功率叫额定功率，即$P_{额}=I_{额}\cdot U_{额}$.

实际功率是指用电器在实际电压下消耗的功率，即$P_{实}=I_{实}\cdot U_{实}$，$P_{实}$不一定等于$P_{额}$，若$U_{实}>U_{额}$，则$P_{实}>P_{额}$，用电器可能烧坏.

二、电动势

1．物理意义：电动势是描述电源把电能以外的其他形式的能转化为电能的本领的物理量.

2．定义式： $E=W/Q$．**数值上等于电源能够为单位电量（C）的电荷提供的电势能（J），单位为V．**

3．理解要点

（1）电动势等于电源开路时正、负极的电压．

（2）电动势等于内、外电路电压之和．

（3）电动势和电压的异同：

①电动势是表示电源内非静电力做功，将其他形式的能转化为电能的本领的物理量，在数值上等于非静电力在电源内部将单位正电荷从负极移到正极所做的功．而电压是描述电能转化为其他形式能的物理量，在数值上等于电场力在外电路移送单位正电量做的功．

②电动势是由电源本身的性质决定，与外电路的结构无关，电路两端的电压不仅与电源有关，还与电路的具体结构有关．

三、闭合电路的欧姆定律

1．内容：闭合电路的电流，跟电源的电动势成正比，跟整个电路中的电阻成反比．

2．表达式： $I=\dfrac{E}{R+r}$ **①，或** $E=U_{外}+Ir$ **②，** $E=U_{外}+U_{内}$ **③**

注意①式只适用于纯电阻电路的情形．②式、③式对外电路无限制，适用一切电路．

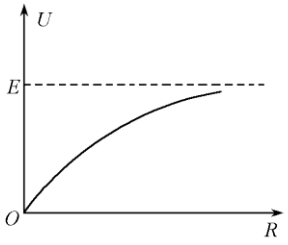
3．路段电压与外电阻的关系

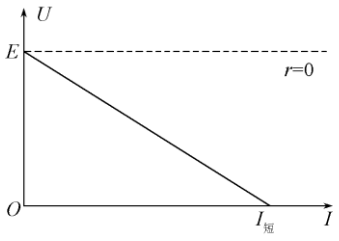
（1）当外电阻 R **增大时，路段电压** U **增大，当外电阻** R **减小时，** U **减小．**

（2）当外电路断开时， $R\to\infty$，$I=0$，$U=E$．

（3）当外电路短路时， $R\to 0$，$I=\dfrac{E}{r}$，$U=0$．

路端电压 U **随外电阻** R **的变化关系，如图所示．**





（4）电源的外特性曲线即 $U-I$ **图线**

①因为 $U=E-Ir$，**故** U **随** I **的增大而减小，它们的关系曲线如图所示．**

②直线斜率的绝对值表示电源的内电阻 r，**纵轴的截距为电源的电动势** E，**横轴的截距为短路电流．**

③在图线上的每一点的坐标的乘积为电源的输出功率．

4．电源的有关功率和电源的效率

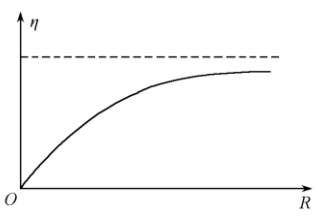
（1）电源的总功率： $P_{总}=IE$

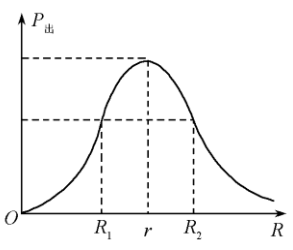
（2）电源的输出功率： $P_{出}=IU$

（3）电源的内部发热功率： $P'=I^2r$

（4）电源的效率： $\eta=\dfrac{IU}{IE}=\dfrac{R}{R+r}$，**外电阻** R **越大，电源的效率越高（但不超过100%）**

电源的效率随外电阻的变化关系如图所示．





（5）在闭合电路中，若电源内阻恒定，且外电路是纯电阻电路，当内、外电阻相等时电源输出最大功率，此时 $\eta=50\%$，当 $R\to\infty$ 时，$\eta\to100\%$，但此时 $P\to0$，故无实际意义．电源的输出功率随外电阻 R 变化关系如图所示．由图可知某一非最大电源输出功率总与两个不同的外电阻值对应，且一个大于内阻 r，一个小于内阻 r，存在关系式 $r=\sqrt{R_1R_2}$．

四、全电路的分析与计算

1．全电路的动态分析

根据欧姆定律及串、并联电路的性质，来分析电路中某一电阻的变化引起的电路中各部分电学量的变化情况，常见方法如下：

（1）程序法：基本思路是“部分 $\to$ 整体 $\to$ 部分”，即从阻值变化的部分入手，由串、并联的规律判断 $R_{总}$ 的变化情况，再由欧姆定律判断 $I_{总}$ 和 $U_{端}$ 的变化情况，最后再由部分电路的欧姆定律和各部分量的变化情况．即

$$R_{局}\ \overset{\text{增大}}{\longrightarrow}\ R_{总}\ \overset{\text{增大}}{\to}\ I_{总}\ \overset{\text{减小}}{\to}\ U_{端}\ \overset{\text{增大}}{\to}\ \begin{cases}I_{分}\\U_{分}\end{cases}$$

（2）直观法：即直接应用“部分电路中 R、I、U 的关系”中的两个结论．

①任一电阻 R 阻值增大，必引起该电阻中的电流 I 的减小和该电阻两端的电压 U 的增大．

②任一电阻 R 阻值增大，必将引起与之并联的支路中电流 $I_{并}$ 的增大和与之串联的各电阻电压 $U_{串}$ 的减小．

（3）极端法：即因变阻器滑动引起电路变化的问题，可将变阻器的滑动端分别滑至两各极端去讨论．

（4）特殊值法：对于某些双臂环路问题，可以采取代入特殊值取判断，从而找出结论．

2．电路的故障分析

电路故障一般是断路或短路，常见的情况有导线断芯、灯泡断丝、灯座短路、电阻内部烧断，接触不良等现象，检查故障的方法有两种：

（1）仪表检查法（一般检查故障用电压表）：如果电压表示数为零，说明电压表上无电流通过，可能在并联路段之外有断路，或并联路段内有短路；如果电压表有示数，说明电压表上有电流通过，则在并联路段之外无断路，或并联路段内无短路．

（2）假设法：已知电路发生某种故障，寻找故障发生在何处时，可将整个电路划分为若干部分，然后逐一假设某部分电路发生的故障，运用电流定律进行正向推理，推理结果若与题述物理现象不符合，则故障不是发生在此部分电路；若推理结果与题述物理现象符合，则故障可能发生在这部分电路；直到找出故障的全部可能为止，亦称排除法．

3．含电容器电路的分析

电容器是一个存储电能的元件，在直流电路中，当电容器充、放电时，电路有充电、放电的电流，一旦电流达到稳定状态，电容器在电路中就相当于一个阻值无限大（只考虑电容器是理想不漏电的情况）的元件，在电容器处电路可认为是断路，简化电路时可去掉它，简化后若要求电容器带电量时，可在相应的位置上补上.

分析和计算含有电容器的直流电路时，关键是准确的判断和求出电容器两端的电压，其具体方法：

（1）确定电容器和哪个电阻并联，该电阻两端的电压即为电容器两端的电压.

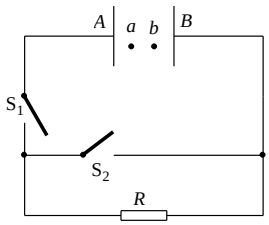
（2）当电容器与某一电阻串联后接在某一电路两端时，此电路两端的电压即为电容器两端的电压.

（3）当电容器与电源直接相连，则电容器两极板的电压即等于电源电动势大小.

（4）对于复杂电路，需要将电容器两端的电势与基准点的电势比较后才能确定电容器两端的电压，并根据电势判断极板带电性质；若电路电压变化，还要判断电压是升高还是降低，从而确定电流的方向.

例题精讲

【例15】 如图所示，A、B为电源的正、负极，a、b是电源内部非常靠近正负极的两点．电源内阻$r=2\Omega$，$R=10\Omega$．当S_1闭合，S_2断开时，通过R的电流为2A，则下列答案中正确的是（ ）



A．电源的电动势为24V

B．当S_1和S_2都断开时，$U_{AB}=U_{ab}$

C．当S_1和S_2都闭合时，$U_{AB}=U_{ab}$

D．当S_1闭合、S_2断开时，$U_{AB}=U_{ab}$

＜解析＞ 当S_1闭合，S_2断开时，由$E=I(R+r)=2\times(10+2)$V＝．a、b是电源内部非常靠近电源正负极的两点，U_{ab}为电源内电压，U_{AB}为电源路端电压，则$U_{AB}=IR=20$V，$U_{ab}=Ir=4$V．当S_1和S_2都断开时，外电路断路，$U_{AB}=E$，$U_{ab}=0$．当S_1和S_2都闭合时，外电路短路，$U_{AB}=0$，$U_{ab}=E$．则正确选项为**A**.

＜答案＞ **A**

【例16】 关于电动势的下列说法中正确的是（ ）

A．对于给定的电源，移动正电荷非静电力做功越多，电动势越大

B．电动势越大，说明非静电力在电源内部从负极向正极移动的单位电荷量做功越多

C．电动势、电压和电势差虽名称不同，但物理意义相同，所以单位也相同

D．在电源内部把正电荷从负极移动到正极，非静电力做功，电能增加

＜解析＞ 由电动势公式$E=\dfrac{W_{非}}{q}$知，E等于非静电力将单位正电荷从负极移动到正极所做功的值，$W_{非}$越大，非静电力将其他形式的力转化为电能越多，E也越大，**A**错；因从负极向正极移送的是单位“正”电荷，**B**错；电压和电动势的物理意义不同，**C**错、**D**对.

＜答案＞ **D**

【例17】 两个电阻$R_1=8\Omega$，$R_2=2\Omega$，并联在电路中，欲使两个电阻消耗的电功率相等，可行的方法是（ ）

A．用一个阻值为2Ω的电阻与R_1串联

B．用一个阻值为6Ω的电阻与R_1串联

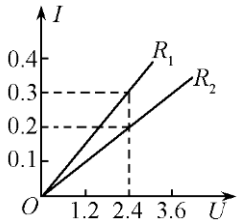
C．用一个阻值为6Ω的电阻与R_2串联

D．用一个阻值为2Ω的电阻与R_2串联

＜解析＞　并联电阻两端的电压相同，从公式 $P=\dfrac{U^2}{R}$ 可知电阻较小的电阻消耗的功率较大，故应在小电阻所在的支路串联一个电阻，选项 A 和选项 B 都是错误的；若串联一个 6Ω 的电阻，则两个支路的电阻相等，两个支路消耗的电功率必然相等，则显然不符合题目的要求，选项 C 也错误；若用 2Ω 电阻与 R_2 串联，由于两电阻的阻值相同，串联时通过的电流也相同，所以两电阻消耗的功率相等，由于串联后的电阻等于 R_1 的一半，因此两个电阻的总功率等于 R_1 消耗功率的 2 倍，则每个电阻消耗的功率都相等，选项 D 正确．

＜答案＞　D

【例18】　已知两电阻 R_1、R_2 的 IU 图线如图所示，把 R_1、R_2 并联接到一电源上，R_1 消耗的功率为 6W，则电源输出的功率是（　　）



A．8W　　B．10W　　C．15W　　D．22W

＜答案＞　B

【例19】　（2005 天津五月模拟）有一台电风扇的铭牌上标有“220V,50W”的字样，其线圈的直流电阻为 0.4Ω，如果把它接入 220V 的电路中，则下列求电风扇每分钟产生的热量的四种解法中，正确的是（　　）

A．$I=\dfrac{P}{U}=\dfrac{50}{220}\text{A}=\dfrac{5}{22}\text{A}$，$Q=UIt=220\times\dfrac{5}{22}\times 60\text{J}=3000\text{J}$

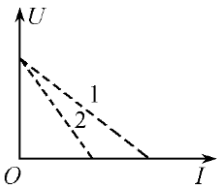
B．$Q=Pt=50\times 60\text{J}=3000\text{J}$

C．$I=\dfrac{P}{U}=\dfrac{50}{220}\text{A}=\dfrac{5}{22}\text{A}$，$Q=I^2Rt=(\dfrac{5}{22})^2\times 0.4\times 60\text{J}=1.24\text{J}$

D．$Q=\dfrac{U^2}{R}t=\dfrac{220^2}{0.4}\times 60\text{J}=7.26\times 10^6\text{J}$

＜答案＞　C

【例20】　（2005 太原五月模拟）如图所示，为两个不同电源的外特性曲线，下列判断正确的是（　　）



A．电动势 $E_1=E_2$，发生短路时 $I_1>I_2$

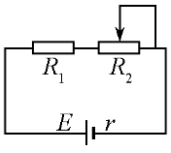
B．电动势 $E_1=E_2$，且 $r_1>r_2$

C．电动势 $E_1>E_2$，内阻 $r_1<r_2$

D．当两电源的工作电流变化量相同时，电源 2 的路端电压变化大

＜答案＞　AD

【例21】　（2005 济南五月模拟）如图所示，已知电源内阻 $r=2\Omega$，定值电阻 $R_1=0.5\Omega$，求：



（1）当滑动变阻器 R_2 的阻值为多少时，电阻 R_1 消耗的最大？

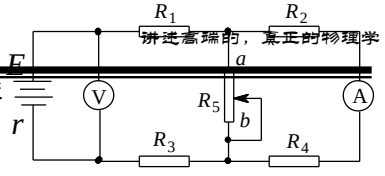
（2）当变阻器的阻值为多大时，变阻器消耗的功率最大？

（3）当变阻器的阻值为多大时，电源的输出功率最大？

＜解析＞　（1）由 $I=\dfrac{E}{R_1+R_2+r}$，R_1 消耗的功率为，$P_1=I^2R_1=\dfrac{E^2R_1}{(R_1+R_2+r)^2}$，要使 P_1 有最大值，必须 $R_2=0$．所以当 R_2 为零时，R_1 消耗的功率最大．

（2）要使变阻器消耗的功率最大，可以把 R_1 等同于内阻看待，即把 R_1+r 看成电源的内阻．当 $R_2'=R_1+r$，即 $R_2'=0.5\Omega+2\Omega=2.5\Omega$．变阻器上消耗的功率最大．

（3）电源的输出功率最大时，应是 $R_{外}=r$，即 $R_1+R_2''=r$，



$R_2''=r-R_1=1.5\Omega$

【例22】 在如图所示的电路中R_1、R_2、R_3和R_4皆为定值电阻，R_5为可变电阻，电源的电动势为E，内阻为r．设电流表A的读数为I，电压表V的读数为U．当R_5的滑动触头向图中a端移动时（ ）

A．I变大 U变小　　**B**．I变大 U变大

C．I变小 U变大　　**D**．I变小 U变小

＜解析＞ 当滑动头向a移动时，R_5的阻值变小，使R_2、R_4、R_5的总阻值R_{ab}变小，从而引起总的外阻$R_{外}$变小．由$I_{总}=\dfrac{E}{R_{外}+r}$知$I_{总}$变大．由$U=E-I_{总}\cdot r$得U变小．

因$U=U_1+U_3+U_{ab}=I_{总}R_1+I_{总}R_3+U_{ab}$得到$U_{ab}$变小，所以Ⓐ的数值变小．

＜答案＞ **D**

【例23】 一直流电动机线圈内阻一定，用手握住转轴使其不能转动，在线圈两端加电压为0.3V，电流为0.3A．松开转轴，在线圈两端加电压为2V时，电流为0.8A，电动机正常工作，求该电动机正常工作时，输入的电功率是多少，电动机的机械功率是多少？

＜解析＞ 电动机不转动时，其消耗的电功全部转化为内能，故可视为纯电阻电路，由欧姆定律得电动机线圈电阻：$r=\dfrac{U}{I}=\dfrac{0.3}{0.3}\Omega=1\Omega$

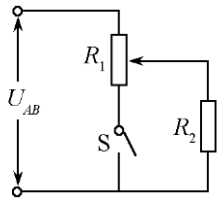
电动机转动时，消耗的电能转化为内能和机械能，其输入的电功率为

$P_{入}=I_1U_1=0.8\times2\text{W}=1.6\text{W}$

电动机的机械功率$P_{机}=P_{入}-I_1^2r=1.6\text{W}-0.8^2\times1\text{W}=0.96\text{W}$

＜点评＞ 非纯电阻电路中，注意区别电功$W=UIt$和电热$Q=I^2Rt$，同时应用能量守恒定律$W=Q+E$，E为其他形式的能量．

【例24】 （2005烟台五月模拟）如图所示，滑动变阻器R_1的最大阻值为200Ω，电阻$R_2=200\Omega$，电路电压$U_{AB}=8\text{V}$．试分别计算开关S断开和闭合两种情况下，移动滑片，R_2两端获得电压的范围，R_2上获得功率的范围．



＜解析＞ （1）当S断开时，R_1起到降压限流的作用，当滑片位于R_1的最上端时，R_2上的电压最大，$U_{\max}=U_{AB}=8\text{V}$；当滑片移到$R_1$的最下端时，$R_2$上获得的电压最小，$U_{\min}=\dfrac{U_{AB}}{2}=4\text{V}$，两种情况下电阻$R_2$上的功率分别为：

$P_{\min}=\dfrac{U_{\max}^2}{R}=\dfrac{8^2}{200}\text{W}=0.32\text{W}$，$P_{\min}=\dfrac{U_{\min}^2}{R}=\dfrac{4^2}{200}\text{W}=0.08\text{W}$．

（2）当S闭合，R_1起到分压的作用，当滑片位于R_1的最上端时，R_2上的电压最大，$U_{\max}=U_{AB}=8\text{V}$；当滑片移到$R_1$的最下端时，$R_2$上获得的电压最小，$U_{\min}=0$，两种情况下电阻$R_2$上的功率分别为：$P_{\max}=\dfrac{U_{\max}^2}{R}=\dfrac{8^2}{200}\text{W}=0.32\text{W}$,$P_{\min}=0$．

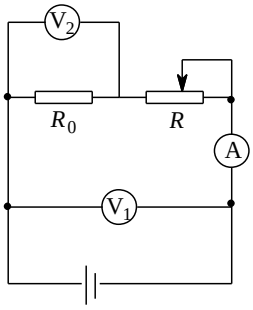
【例25】 如图甲所示的电路，不计电表内阻的影响，改变滑动变阻器的滑片位置，测得电压表V_1和V_2随电流表A的示数变化的实验图像，如图乙所示．关于这两条实验图像，有（ ）

A．图线b的延长线不一定过坐标原点O

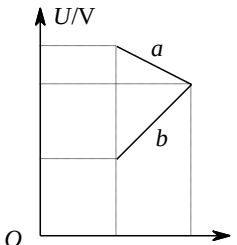
B．图线a的延长线与纵轴交点的纵坐标值等于电源的电动势

C．图线a、b交点的横坐标和纵坐标的乘积等于电源的输出功率

D．图线a、b交点的横坐标和纵坐标的乘积等于电阻R_0消耗的功率



甲

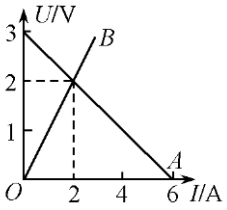


乙

＜解析＞ 电压表 V_1 所测为电路的路端电压，电流表 A 所测为电源的总电流，故图线 a 为电源的外特性曲线，所以 **B、C** 正确．电压表 V_2 所测为 R_0 的电压，电流表 A 所测也可以说是流过 R_0 的电流，故 b 是 R_0 的伏安特性曲线，它的延长线应过原点 O，**A** 错，**D** 对．

＜答案＞ **BCD**

【例26】 （**2005** 威海三月模拟）如图所示，直线 A 为电源的 $U-I$ 图线，直线 B 为电阻 R 的 $U-I$ 图线，用该电源和该电阻组成闭合电路时，电源的输出功率和电源的效率分别是（　　）



A．电源的输出功率为 4W

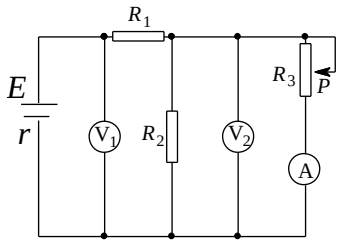
B．电源的输出功率为 2W

C．电源的效率为 33.3%

D．电源的效率为 50%

＜答案＞ **A**

【例27】 如图所示，当滑动变阻器的滑片 P 向上移动时，则各电表示数的变化情况是（　　）



A．V_1 减小，V_2 增大，A 增大

B．V_1 增大，V_2 减小，A 增大

C．V_1 增大，V_2 增大，A 减小

D．V_1 减小，V_2 减小，A 减小

＜解析＞ 首先弄清楚 V_2 表测量是 R_2 和 R_3 并联支路上的电压，V_1 表测量的是路端电压，再利用闭合电路的欧姆定律判断主干电路上物理量的变化：P 向上滑，R_3 的有效电阻变大，外电阻 $R_{外}$ 增大，干路电流 I 减小，路端电压增大，从而判定 V_1 表示数增大．再进行支路上物理量变化的情况分析：由于 I 减小，引起内电压 $U_{内}$ 及电阻 R_1 上的电压 U_{R_1} 减小，而 $U_{并}=E-(U_{内}+U_{R_1})$．由此可知，并联电阻 R_2 和 R_3 上的电压 U_2 增大，则 V_2 表示数增大；由于 U_2 增大，R_2 所在支路上的电流 I_2 增大，通过 R_3 的电流 $I_3=I-I_2$，因 I 减小，I_2 增大，故 I_3 减小，则电流表 A 的示数减小．

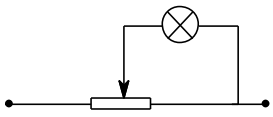
＜答案＞ **C**

＜提示＞ 直流电路动态分析的一般思路：

①确定电路的外电阻 R 如何变化

a．当外电路的任何一个电阻增大（或减小）时，电路的总电阻一定增大（或减小）．

b．若开关的通断使串联的用电器增多时，总电阻增大；若开关的通断使并联的支路增多时，总电阻减小．



c. 在图所示的分压电路中，滑动变阻器可以视为由两端电阻构成，其中一段与用电器并联（以下简称并联段），另一段与并联部分相串联（以下简称串联段）；设滑动变阻器的总电阻为 R，灯泡的电阻为 $R_{灯}$，与灯泡并联的那一段电阻为 $R_{并}$，则分压器的总电阻为

$$R_{总}=R-R_{并}+\frac{R_{并}R_{灯}}{R_{并}+R_{灯}}=R-\frac{R_{并}^2}{R_{并}+R_{灯}}=R-\frac{1}{\frac{1}{R_{并}}+\frac{R_{灯}}{R_{并}^2}}$$

由上式可以看出当 $R_{并}$ 减小时，$R_{总}$ 增大；当 $R_{并}$ 增大时，$R_{总}$ 减小．由此可以得出结论：分压器总电阻的变化情况，与并联段电阻的变化情况相反，与串联段电阻的变化情况相同．

②根据闭合电路的欧姆定律 $I_{总}=\frac{E}{r+R}$ 确定电路的总电流如何变化

③由 $U_{内}=I_{总}\cdot r$ 确定电源的内电压如何变化

④由 $U_{外}=E-U_{内}$ 确定电源的外电压（路端电压）

⑤由部分电路的欧姆定律确定干路中某定值电阻两端的电压变化情况

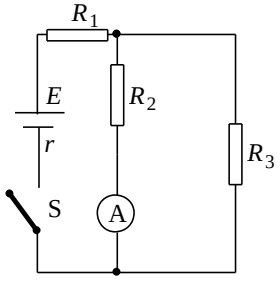
⑥确定各支路两端的电压如何变化以及通过各支路的电流如何变化（可利用节点电流关系）

【例28】 如图电路中，电阻 $R_1=9\Omega$，$R_2=15\Omega$，电源电动势 $E=12\text{V}$，内电阻 $r=1\Omega$．求：

（1）当电流表示数为 0.4A 时，变阻器 R_3 的阻值多大？

（2）R_3 阻值多大时，它消耗的电功率最大？

（3）R_3 阻值多大时，电源的输出功率最大？



＜解析＞ （1）设干路电流为 I，根据并联电路的分流原理有 $I_2=\frac{R_3}{R_2+R_3}\cdot I$ ①

外电路的总电阻 $R=R_1+\frac{R_2\cdot R_3}{R_2+R_3}$ ②

由全电路的欧姆定律 $I=\frac{E}{R+r}$ ③

由①②③式求得 $R_3=30\Omega$

（2）设阻值为 R_3' 时，它消耗的功率最大为 P_3，此时电路的总外电阻是 $R'=R_1+\frac{R_2R_3'}{R_2+R_3'}$ ④

干路电流 $I'=\frac{E}{R'+r}$ ⑤，$I_3'=\frac{R_2}{R_2+R_3}\cdot I'$ ⑥，$P_3=I_3'^2\cdot R$ ⑦，

由④⑤⑥⑦式得 $P_3=\frac{36^2\cdot R_3'}{25(R_3'^2+12R_3'+36)}=\frac{36^2}{25(R_3'+\frac{36}{R_3'}+12)}$，

当 $\frac{36}{R_3'}=R_3'$ 时消耗的功率最大，则 $R_3'=6\Omega$．

（3）设阻值为 R_3'' 时，电源的输出功率最大为 $P_m=(\frac{E}{R+r})^2R$．

当外电路的总电阻 $R=r$ 时，电源输出功率最大，因 $R>r$，所以，当 R 越接近 r 时输出功率最大．则只有当 $R_3''=0$ 时，R 接近 r，此时电源的输出功率最大．



射电望远镜

又名“无线电望远镜”。专门用来接收由天体发来的无线电波的仪器。主要由天线和接收机两部分构成。天线用来接收天体发射的无线电波，相当于光学望远镜的物镜。天线类型很多。由许多作为半波振子的金属棒构成的，称为“振子天线”，专用于米波波段无线电波的接收。有的天线则成抛物面形状，称为“抛物面天线”，无线电波的探测器就装在抛物面的焦点上。它主要用于分米、厘米和毫米波波段无线电波的接收。天线和接收机用传输线联接起来。接收机先把由天线传来的高频信号放大，然后加以检波，再把高频电信号变成可用仪表测量和记录的低频电信号，或变成直接进行照相的图形。因为无线电波可以穿过云雾和尘埃，因此用射电望远镜能不分晴雨昼夜连续进行观测；对于那些难以用光学望远镜观测的天体和宇宙空间，利用射电望远镜便可进行探测研究。



第 16 讲
安培力

知识点睛

一、磁场、磁现象的电本质

1．磁场：是存在于磁体、电流和运动电荷周围的一种物质．变化的电场也能产生磁场．

2．磁场的其本性质：磁场对放入其中的磁极和电流有磁场力作用（对磁极一定有力的作用；对电流只是可能有力的作用，当电流与磁感线平行时，不受磁场力的作用）．

3．磁场的方向：在磁场中的任意一点，小磁针北极所指的方向，即能够自由转动的小磁针静止时北极所指的方向，就是那一点的磁场方向．

4．磁现象的电本质

磁体、电流和运动电荷的磁场都产生于电荷的运动．

二、磁感线

用来形象的描述磁场中各点的磁场方向和强弱的曲线．

1．磁感线上每一点的切线方向就是这一点的磁场方向，也就是小磁针在该点静止时 N 极所指的方向．磁感线的疏密表示磁场的强弱．磁感线是闭合曲线（和静电场的电场线不同）．

2．对磁感线的认识，应注意以下几点：

（1）磁感线是为了研究磁场而人为假设的曲线，并不是客观存在于磁场中的真实的曲线．

（2）磁感线的疏密表示磁场的强弱．磁感线越密的地方磁场越强，磁感线越疏的地方磁场越弱．

（3）磁场对小磁针的 N 极的作用力的方向叫做磁场的方向．由于磁感线上任何一点的方向跟该点的磁场方向一致，所以磁感线方向、磁场方向、小磁针静止时 N 极所指的方向，三者是一致的．

（4）磁感线不相交、也不能相切．

（5）没有画磁感线的地方，并不表示那里没有磁场存在，通过磁场中任何一点总能画出而且只能画出一条磁感线．

（6）磁场中任何一条磁感线都是闭合曲线．例如:条形磁铁或通电螺线管的磁感线在外部都是从 N 极出来进入 S 极；在内部由 S 极回到 N 极，形成闭合曲线．

三、安倍定则

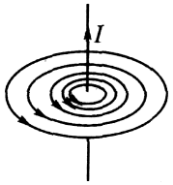
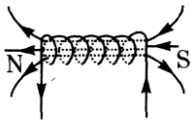
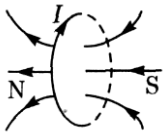
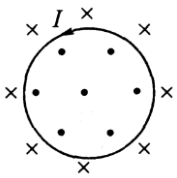
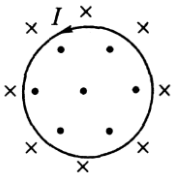
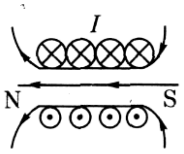
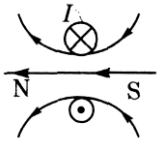
1．内容

（1）对于通电直导线，右手大拇指代表通电直导线的电流方向，弯曲的四指指向磁感线的环绕的方向．

（2）对于环形电流和通电螺线管，右手大拇指代表内部磁感线的方向，弯曲的四指指向电流的环绕的方向．

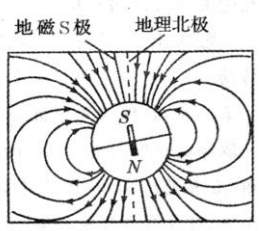
2．作用：解决电流的方向与它所产生的磁场方向之间的关系．

3．举例说明：

	直线电流的磁场	通电螺线管的磁场	环形电流的磁场
特点	无磁极、非匀强且距导线越远处磁场越弱	与条形磁铁的磁场相似，管内为匀强磁场且磁场最强，管外为非匀强磁场	环形电流的两侧为N极和S极，且离圆环中心越远，磁场越弱
立体图			
横截面图			
纵截面图			

四、地磁场

地球的磁场与条形磁铁相似，主要特点有以下三点：



1．地磁场的N极在地球南极附近，S极在地球北极附近，磁感线如图所示．

2．地磁场 B 的水平分量（B_x）总是从地球的南极指向地球的北极，而竖直分量（B_y）则南北相反，在南半球垂直地面向上，在北半球垂直地面向下．

3．在赤道平面上，距离地球表面相等的各点，磁感应强度相等，且方向水平向北．

五、磁感应强度

1．磁场的最基本的性质是对放入的电流有磁场力的作用，电流垂直于磁场时受磁场力最大，电流与磁场方向平行时，磁场力为零．

2．在磁场中垂直于磁场方向的通电导线，所受的安培力 F 跟电流 I 和导线长度 L 的乘积 IL 的比值叫做磁感应强度，即 $B=\dfrac{F}{IL}$．

（1）磁感应强度是矢量，其方向是小磁针静止时N极的指向，不是磁场中电流所受磁场力的方向．

（2）磁感应强度 B 是由磁场自身性质决定的，与磁场中是否存在电流即 IL 乘积大小无关．

（3）在国际单位制中，磁感应强度的单位是特斯拉（T）．$1\mathrm{T}=1\mathrm{N}/\mathrm{A}\cdot\mathrm{m}$

3．匀强磁场：磁感应强度的大小和方向处处相等，那么这个区域里的磁场叫做匀强磁场．

4．磁场的叠加：空间如果同时存在两个以上的电流或磁体在该点激发的磁场，某点的磁感应强度B是各电流或磁体在该点激发的磁场的磁感应强度的矢量之和，且满足平行四边形定则．

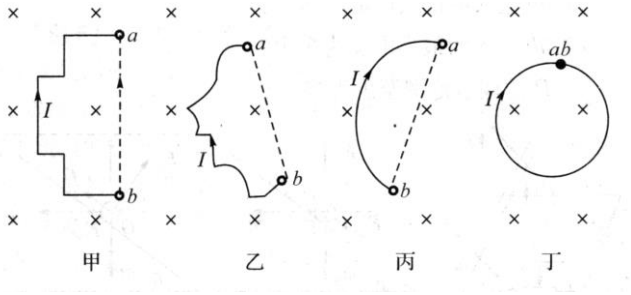
六、磁场对电流的作用——安培力

1．大小计算

（1）当B、I、L两两垂直时，$F=BLI$．若B与I的夹角为θ，则$F=BIL\sin\theta$．

（2）弯曲导线的有效长度L，等于两端点所连线段的长度；相应的电流方向，沿L由始端流向末端．因为任意形状的闭合线圈，其有效长度$L=0$，所以闭合通电线圈在匀强磁场中，受到安培力的矢量和一定为零．

如图所示，甲、乙、丙三段导线的形状和长度不等，但两端点a、b之间的有效直线距离相等，当通以相同的电流时，在同样的磁场中安培力大小相等，而丁图中导线圈闭合，则其安培力合力为零．



（3）公式的适用条件：一般只适用于匀强磁场．

2．方向判断

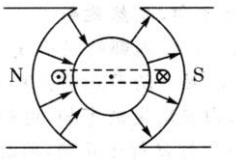
（1）用左手定则判断：伸出左手，使大拇指跟其余四个手指垂直，并且都跟手掌在同一个平面内，把手放入磁场中，让磁感线垂直穿入手心，并使伸开的四指指向电流的方向，那么，大拇指所指的方向就是通电导体在磁场中受到的安培力的方向．

（2）安培力的特点：$F\perp B$，$F\perp I$，即F垂直于B和I决定的平面．（注意：B和I可以有任意夹角）

（3）同向电流相互吸引，反向电流相互排斥．

七、磁电式电流表的工作原理

磁电式电流表的磁场为均匀大小的辐向磁场，电流对通电线圈的转矩为$M=NBIS$，同时有弹簧产生反向力距使线圈处于力矩平衡状态，则电流表指针偏角θ与通过的电流成正比，即$\theta=kI$．其原理示意图如图所示：



八、安培力作用下物体的运动方向的判断

1．电流元法：即把整段电流等效为多段直线电流元，先用左手定则判断出每小段电流元所受安培力的方向，从而判断出整段电流所受合力的方向，最后确定运动方向．

2．特殊位置法：把电流或磁铁转到一个便于分析的特殊位置后再判断安培力的方向，从而确定运动方向．

3．等效法：环形电流和通电螺线管都可以等效为条形磁铁，条形磁铁也可以等效为环形电流或通电螺线管，通电螺线管也可以等效成很多匝环形电流来分析．

4．利用结论法：两电流相互平行时无转动趋势，同向电流相互吸引，反向电流相互排斥；两电流不平行时，有转动到相互平行且电流方向相同的趋势．利用这些结论分析，可以事半功倍．

九、安培力与力学综合的问题

1．通电导体在磁场中平衡和加速运动问题．处理此类问题注意：

（1）变三维为二维，作出平面受力分析图，进行受力分析，安培力的方向切忌跟着感觉走，要用左手定则判断，注意 $F_{安} \perp B$、$F_{安} \perp I$．

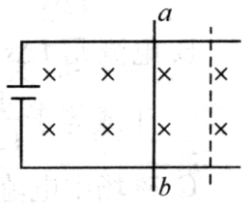
（2）受力分析完后，列平衡方程式，牛顿第二定律的方程式求解．

2．通电导线在磁场中与动量、能量相综合的问题

（1）注意安培力的冲量 $I = Ft = BILt = BIQ$，与通过导体的电量有着关系．

（2）安培力做功与路径有关，所以绕闭合回路一周，安培力做功可以为正，可以为负，也可以为零，不像重力和电场力做功一定为零．

（3）安培力做功的实质：起传递能量的作用，将电源的能量传递给通电导线，而磁场本身并不能提供能量．如图所示，导体 ab 在安培力作用下向右运动，安培力做功的结果是将电能转化为导体的动能．



例题精讲

【例1】　关于磁场和磁感线的描述，正确的是（　）

A．磁感线能形象的描述磁场的强弱和方向，它每一点的切线方向就是该点的磁场方向

B．磁感线是从磁铁的 N 极指向 S 极

C．磁极间的相互作用是通过磁场发生的

D．磁感线就是磁场中的废铁屑排列而成的曲线

＜解析＞　磁感线是人们研究磁场性质而采用的图示方法，也是法拉第为了研究磁场而引入的物理模型，客观上并不存在．由磁感线的重要特征知 A 正确；由于磁感线是闭合曲线，B 选项未明确是在磁铁内部还是磁铁外部，笼统的说磁感线的方向是由 N 极指向 S 极，显然是错误的,B 错；磁极与磁极之间的相互作用、磁极与电流之间的相互作用及电流与电流之间的相互作用都是通过磁场发生作用，故 C 正确；磁感线是人们假想的曲线，本身并不存在，不能够说废铁屑排列成的曲线就是磁感线，D 错．

＜答案＞　AC

【例2】　关于磁感应强度的下列说法中，正确的是（　）

A．放在磁场中的通电导线，电流越大，受到的磁场力也越大，表示该处的磁感应强度越大

B．磁感线的指向就是磁感应强度的方向

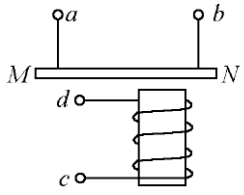
C．垂直磁场放置的通电导线受力方向就是磁感应强度的方向

D．磁感应强度的大小、方向与放入磁场的通电导线电流的大小、导线的长度、导线的取向等均无关

＜解析＞　磁感应强度是反映磁场性质的物理量，只跟磁场中的位置有关，与该位置所放置的导线的长度、取向、受力大小等均无关，A 错，D 对；磁感应强度的方向应是磁感线的切线方向，而不是磁感线指向，选项 B 错误；根据左手定则，导线所受安培力的方向与磁感应强度的方向垂直，C 错．

＜答案＞　D

【例3】　如图所示，一金属直杆 MN 两端接有导线，悬挂于线圈上方，MN 与



线圈轴线处于竖直平面内，为使 MN 垂直纸面向外运动，可以（　　）

A．将 a、c 端接在电源正极，b、d 端接在电源负极

B．将 b、d 端接在电源正极，a、c 端接在电源负极

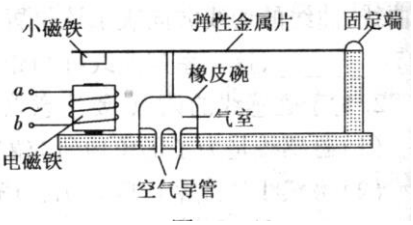
C．将 a、d 端接在电源正极，b、c 端接在电源负极

D．将 a、c 端接在交流电源的一端，b、d 接在交流电源的另一端

＜解析＞　**A** 选项，由安培定则知螺线管上端为 **N** 极，MN 中电流方向向右，由左手定则可知 MN 垂直纸面向外运动，**A** 正确．**B** 选项，螺线管上端为 **S** 极，MN 中电流方向向左，由左手定则知 MN 受力垂直向外．**B** 正确．**C** 选项中，螺线管上端为 **S** 极，MN 中电流向右，则 MN 受力垂直向里，**C** 错误．**D** 选项中，如果 a、c 为电源正极，b、d 为负极，即为 **A** 选项，如果 a、c 为电源负极，b、d 为正极，即为 **B** 选项．而 **A**、**B** 均正确，故 **D** 也正确，所以答案为 **A**、**B**、**D**．

＜答案＞　**ABD**

【例4】　如图所示是运用电磁原理制作的充气泵的结构示意图．其工作原理内似打点计时器．当电流从电磁铁的接线柱 a 流入，吸引小磁铁向下运动时，以下选项正确的是（　）



A．电磁铁的上端为 N 极，小磁铁的下端为 N 极

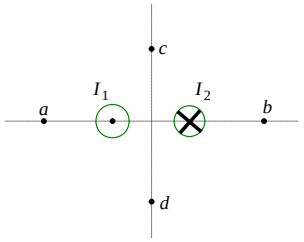
B．电磁铁的上端为 S 极，小磁铁的下端为 S 极

C．电磁铁的上端为 N 极，小磁铁的下端为 S 极

D．电磁铁的上端为 S 极，小磁铁的下端为 N 极

＜解析＞　当电流从电磁铁的 a 端流入时，由安培定则（右手螺旋定则），可判断出电磁铁等效为条形磁铁时上端为 S 极，因要使电磁铁吸引小磁铁，故小磁铁的下端为 N 极．

＜答案＞　**D**



【例5】　两根通电的长直导线平行放置，电流分别为 I_1 和 I_2，电流的方向如图所示，在与导线垂直的平面上有 a、b、c、d 四点，其中 a、b 在导线横截面连线的延长线上，c、d 在导线横截面连线的垂直平分线上．则导线中的电流在这四点产生的磁场的磁感应强度可能为零的是（　）

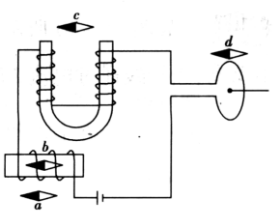
A．a 点　　**B**．b 点

C．c 点　　**D**．d 点

＜解析＞　由安培定则可知，直线电流的磁场是以导线为圆心的同心圆，I_1 产生的磁场方向为逆时针方向，I_2 产生的磁场为顺时针方向，则 I_1 在 a 处产生的磁场竖直向下，I_2 在 a 处产生的磁场竖直向上，则在 a 点的磁感应强度可能为零，此时需满足 $I_2 > I_1$；同理，在 b 处的磁感应强度也可能为零，此时需要满足 $I_1 > I_2$；I_1 在 c 点的磁场斜向左上方，I_2 在 c 点产生的磁场斜向右上方，则 c 点的磁感应强度不可能为零；同理，在 d 点的磁感应强度也不可能为零．本题考查了磁场的叠加．

＜答案＞　**AB**

【例6】　如图所示，螺线管、蹄形铁芯、圆导线三者相距较远；当开关闭合后小磁针 N 极（黑色的一端为 N）指向正确的是（　）



A．a　　**B**．b　　**C**．c　　**D**．d

＜解析＞　小磁针 N 极静止指向为该处的磁场方向，即磁感线切线方向，根据安培定则，蹄形铁芯磁化后右端为 N 极，左端为 S 极，c 指向正确；通电螺线管的磁场分布与条形磁铁相似，内部应向左，下方磁场向右，所以 b 正确，a 错误，此处要注意 b 的方向判断不能用同名磁极相排斥，异名磁极相吸引的规律，因为此规律适用于在外部时；圆形电流形成的磁场左侧应为 N 极，故 d 的指向错误．

＜答案＞　**BC**

【例7】　关于地磁场下列说法正确的是（　）

A．地理位置的南、北极即为地磁场的南、北极

B．地磁场的磁感线是不闭合的曲线

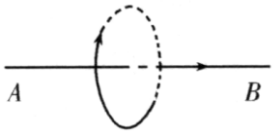
C．在赤道上的小磁针静止时 N 极指向地理的北极

D．在赤道上的小磁针静止时 N 极指向地理的南极

＜解析＞　根据地磁场的特点可知，地理的北极即为地磁场的南极，即 S 极；在地球表面的磁感线由地理的南极指向地理的北极，故 A、B、D 错，C 正确．

＜答案＞　**C**

【例8】　如图所示，一根长直导线穿过一通有稳恒电流的金属圆环的中心且垂直于环的平面，导线与环中的电流如图所示，那么金属环受到的磁场力为（　）



A．沿环的半径向外

B．沿环的半径向内

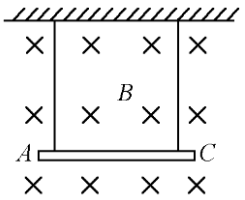
C．水平向左

D．等于零

＜解析＞　用右手定则判定出通电直导线周围的磁感线方向．金属圆环中的电流方向和磁感线的方向正好平行，故金属圆环不受安培力．

＜答案＞　**D**

【例9】　（2005 天津四月模拟）如图所示，一根质量为 m 的金属棒 AC，用软线悬挂在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，电流方向由 $A\rightarrow C$，此时悬线张力不为零，欲使悬线张力为零，必须（　）



A．改变电流方向，并适当增加电流强度

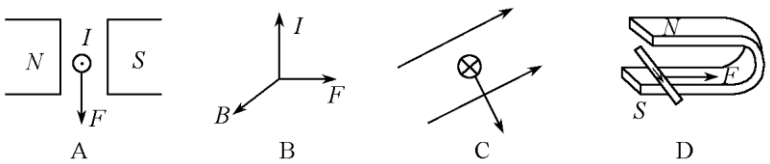
B．不改变电流方向，适当增加电流强度

C．改变磁场方向，并适当增大磁感应强度

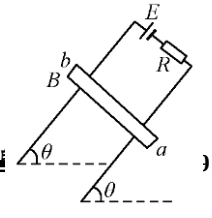
D．不改变磁场方向，适当减少磁感应强度

＜答案＞　**B**

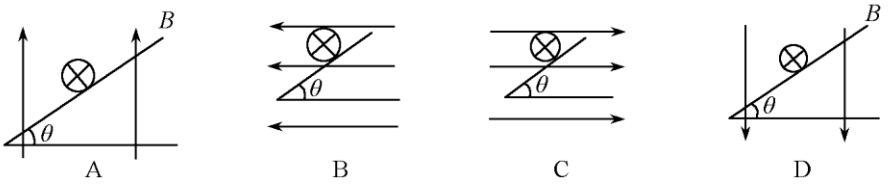
【例10】　（2004・潍坊三月模拟）在图中，表示电流 I、磁场 B 和磁场对电流作用力 F 三者的方向关系正确的是（　）



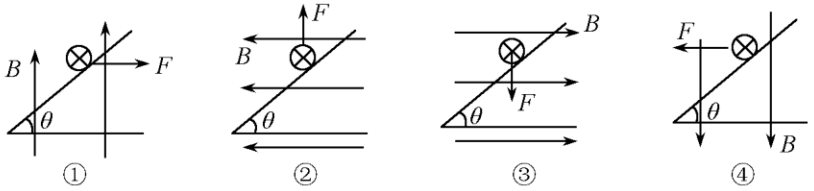
＜答案＞　**BCD**



【例11】 （2005 西城三月模拟）质量为 m 的通电细杆 ab 置于倾角为 θ 的平行导轨上，导轨宽度为 d，杆 ab 与导轨间的摩擦因数为 μ，有电流时 ab 恰好在导轨上静止，如图所示，下图是 $b\to a$ 方向观察时的四个平面图，标出四种不同的匀强磁场方向，其中杆与导轨间摩擦力可能为零的是（　　）

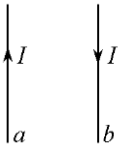


＜解析＞ 根据电流方向和所给定磁场方向的关系，可以确定通电导线所受安培力分别如图，导线一定受重力，安培力，根据力的平衡条件，若安培力 F 沿斜面向上有分力则有可能不受摩擦力，只有①②有这种可能，其中① $F=mg\tan\theta$ 时 $f=0$；②中 $F=mg$ 时 $f=0$．故 A、B 正确．



＜答案＞ AB

【例12】 （2004 石家庄五月模拟）如图所示，两根平行放置的长直导线 a 和 b 载有大小相同，方向相反的电流，a 受到的磁场力大小为 F_1．当加入一与导线所在平面垂直的匀强磁场后，a 受到的磁场力大小变为 F_2，则此时 b 受到的磁场力大小变为（　　）



A．F_2　　B．F_1-F_2　　C．F_1+F_2　　D．$2F_1-F_2$

＜解析＞ 根据安培定则和左手定则，可以判定 a 导线受 b 中电流形成的磁场的作用 F_1，方向向左．同理 b 受 a 磁场的作用大小也是 F_1，方向向右，新加入的磁场无论什么方向，a、b 受到这个磁场的作用力总是大小相等方向相反．如果 F 和 F_1 方向相同，则两导线受到的力大小都是 $F+F_1$．若 F 和 F_1 方向相反，a、b 受到的力的大小都是 $|F-F_1|$．因此当再加上磁场时，若 a 受到磁场力大小是 F_2，b 受的磁场力大小也是 F_2，所以 A 对．

＜答案＞ A

【例13】 下列说法正确的是（　　）

A．磁场中某一点的磁感应强度可以这样测定：把一小段通电导线放在该点时受到磁场力 F 与该导线的长度 L、通过的电流 I 乘积的比值即 $B=\dfrac{F}{IL}$

B．通电导线在某点不受磁场力的作用，则该点的磁感应强度一定为零

C．磁感应强度 $B=\dfrac{F}{IL}$ 只是定义式，它的大小取决于场源以及磁场中的位置，与 F、I、L 以及通电导线在磁场中的方向无关

D．通电导线的受磁场力的方向就是磁场的方向

＜答案＞ C

【例14】 （2004・宣武三月模拟）一根长 0.2 m、电流为 2A 的通电导线，放在磁感应强度为 0.5T

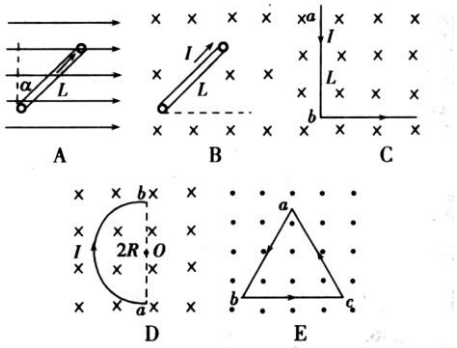
的匀强磁场中，受到磁场力的大小可能是（　　）

A．0.4N　　**B**．0.2N　　**C**．0.1N　　**D**．0

＜解析＞　通电导线所受安培力，当 $B/\!/I$，$F_{min}=0$；当 $B\perp I$ 时，$F_{max}=BI$．故通电导线所受安培力 F 的取值范围 $0\leqslant F\leqslant BI$，即 $0\leqslant F\leqslant 0.2$，故**B**、**C**、**D** 有可能．

＜答案＞　**BCD**

【例15】　如图所示，在匀强磁场中放入下列各种形状的通电导线，电流强度为 I，磁感应强度为 B，求各导线所受的安培力．



＜解析＞　本题考查对安培力大小计算公式的正确理解，$F=BIL\sin\theta=B_{\perp}IL$，$B_{\perp}$ 为磁场在垂直电流方向的分量，为有效磁场，或者 $F=BIL_{\perp}$，其中 $L_{\perp}$ 为垂直于磁场方向的有效长度．

A 图中 $F_A=BIL\cos\alpha$，这时不能死记公式而写成 $\sin\alpha$．要理解公式的本质是有效长度或有效磁场，正确分解．

B 图中，$B\perp I$，不论导线再怎么放，也在纸平面内，故 $F_B=BIL$．

C 图中是两根导线组成的折线 abc，整体受力实质上是两部分直导线分别受力的矢量和，其有效长度为 ac（即从 $a\to c$ 的电流），故 $F_C=\sqrt{2}BIL$．

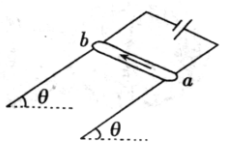
同理，**D** 图中从 $a\to b$ 的半圆形电流，分析圆弧上对称的每一小段电流，受力抵消合并后，其有效长度为 ab，$F_D=2BIR$．

E 图中，$F_E=0$．

＜点评＞　所以，$F=BIL\sin\theta$，可以推广到任意形状的导线在匀强磁场中的受力计算．

若在 **D** 图中，用导线将 ab 接通形成闭合线圈，则 ab 弧受力与 ba 直径电流受力方向刚好相反，故合力为零，所以，闭合的通电线圈受安培力为零．

【例16】　如图所示，通电直导线 ab 质量为 m、长为 L，水平的放置在倾角为 θ 的光滑斜面上，通以图示方向的电流，电流强度为 I，要求导线 ab 静止在斜面上．

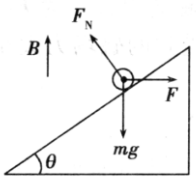


（1）若磁场的方向竖直向上，则磁感应强度为多大？

（2）若要求磁感应强度最小，则磁感应强度如何？

＜解析＞　本题考查了有关安培力的平衡，重在考查安培力的方向与磁感应强度之间的方向关系．

（1）若磁场方向竖直向上，从 a 向 b 观察，导线受力情况如图所示，由平衡条件得：



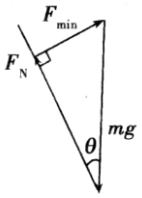
在水平方向上，$F-F_N\sin\theta=0$

在竖直方向上，$mg-F_N\cos\theta=0$

其中 $F=BIL$，联立可解得 $B=\dfrac{mg\tan\theta}{IL}$

（2）若要求磁感应强度最小，则一方面应使磁场方向与通电导线垂直，同时另一方面要调整磁场方向，与重力、支持力合力相平衡的安培力最小．

如图由力的矢量三角形讨论可知，当安培力方向与支持力垂直时，安培力最小，对应的磁感应强度最小，设其值为 $B_{\min}$，则



$B_{\min}IL=mg\sin\theta$，得 $B_{\min}=\dfrac{mg\sin\theta}{IL}$．

根据左手定则判定可知，该磁场方向垂直于斜面向上．

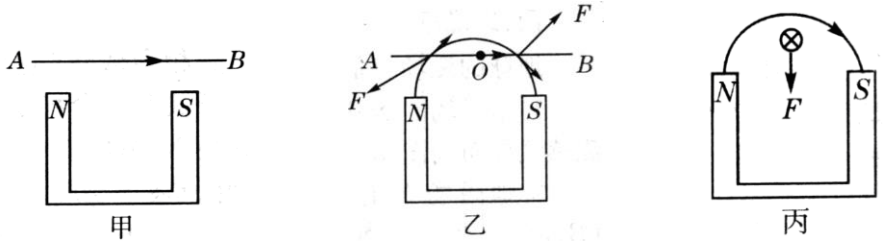
【例17】 如图甲所示，把一通电直导线放在蹄形磁铁磁极的正上方，导线可以自由移动．当导线通过电流 I 时，如果只考虑安培力的作用，则从上往下看，导线的运动情况（　）

A．顺时针方向转动，同时下降

B．顺时针方向转动，同时上升

C．逆时针方向转动，同时下降

D．逆时针方向转动，同时上升



＜解析＞ 第一步：电流元受力分析法：把直线电流等效为 OA　OB 两段电流元，蹄形磁铁的磁感线分布及两段电流元受的安培力方向相反，如图乙所示．可见从上往下看时，导线将逆时针转动．

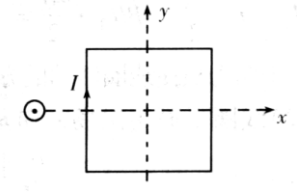
第二步：特殊位置分析法

取导线逆时针转过 $90°$ 的特殊位置来分析，如图丙所示．根据左手定则判断安培力的方向向下，故导线在逆时针转动的同时向下运动．

＜答案＞ C

＜点评＞ ①安培力的方向垂直于导线和磁感线所决定的平面，其方向判定遵循左手定则，在判断时要相应的改画平面图或者用实线代替导线思考．②通电直导线放进磁场中，若直导线所在的平面刚好是磁感线所在的平面，当这些磁感线为曲线时，导体都将在旋转的同时发生平动．③根据能量守恒定律，这类导体在发生转动时，要向磁场或电流靠近．

【例18】 如图所示，矩形线框中通有恒定电流 I，方向如图所示，x、y 是线框的两个对称轴．在 x 轴上某点固定一通电长直导线，导线与线框平面垂直，电流方向垂直于纸面向外，此刻通电线框在直线电流的磁场中可能运动的情况是（　）



A．沿 x 轴线方向平动

B．绕 x 轴线转动

C．沿 y 轴线方向平动

D．绕 y 轴线转动

＜解析＞　在纸面内画出直线电流磁场的磁感线，再由左手定则判断．

＜答案＞B

通讯卫星

火箭、飞弹、太空航具，或其他人造物体被置入绕地球公转之轨道上者，均称为人造卫星。而作为通讯用的卫星则称为“通讯卫星”。通讯卫星有两种，被动的和自动的。被动的通讯卫星仅仅是一具反射器。播送站向那卫星发射讯号，这讯号被传送到地面上另一个遥远的接收站。自动的通讯卫星接收讯号后，把它加强，再把它发送出去。它们包含有接收、加强和播送的设备，以特殊的电池或太阳能电池作动力。为了把通讯微波信号，传送得更远，经常采用同步通讯卫星。所谓同步卫星，是指卫星经发射后，它与地球某点的相关位置不变，实际上这些卫星并非在那里静止不动，因为要达到同步的目的，卫星必然要以和地球自转的角速度相同的速度围绕地球转动。根据开普勒第三定律，卫星绕地球的周期因其平均轨道高度增加而增长。故在某一定高度时可期望致使卫星的周期与地球自转周期相同，如此则卫星与地球某点之相关位置可以不变，这个高度大约是 35783 公里。此种高度的卫星称为同步卫星。严格说来，仅是高度这一要求还不够，而必须又是在赤道面中圆形轨道上的卫星才真正能与地球某点相关位置不变。需要正圆形轨道是根据开普勒第二定律而来，此定律说明卫星在椭圆轨道上时其速度永远在改变，在最低点时为最高速，最高点时为最低速，故在椭圆轨道上的同步卫星，因为速率不定的结果，对地球上某点时而偏东时而偏西。卫星在赤道面轨道运行时称之为赤道轨道，如果轨道平面与赤道面成一个角度时，这个同步卫星称之为倾斜同步卫星，这时卫星对地球上某一点来说会时而偏北时而偏南。以这样的同步卫星作为通讯用的卫星就称之为“同步通讯卫星”由于这种卫星和地球上的某一地区处于同步，如果在赤道上空 36000 公里以外的高处，设置三颗同步卫星，就可以把微波信号传到全世界的任何地区。

第 17 讲
磁场对运动电荷的作用

知识点睛

一、磁场对运动电荷的作用

1．洛伦兹力的大小和方向

（1）洛伦兹力大小的计算公式：$F = qvB\sin\theta$

其中 θ 为 v 与 B 之间的夹角，当 v 与 B 垂直时，$F = qvB$；当 v 与 B 平行时，$F = 0$，此时电荷不受洛伦兹力作用．

（2）洛伦兹力的方向：F、v、B 方向间的关系，用左手定则来判断．注意：四指指向为正电荷的运动方向或负电荷运动方向的反方向；洛伦兹力既垂直于 B 又垂直于 v，即垂直于 B 与 v 决定的平面．

（3）洛伦兹力的特征

①洛伦兹力与电荷的运动状态有关．当 $v = 0$ 时，$F = 0$，即静止的电荷不受洛伦兹力．

②洛伦兹力始终与电荷的速度方向垂直，因此，洛伦兹力只改变运动电荷的速度方向，不对运动电荷做功，不改变运动电荷的速率和动能．

2．洛伦兹力与安培力的关系

（1）洛伦兹力是单个运动电荷受到的磁场力，而安培力是导体中所有定向移动的自由电荷所受洛伦兹力的宏观表现．

（2）洛伦兹力永不做功，而安培力可以做功．

3．洛伦兹力和电场力的比较

	洛伦兹力	电场力
性质	磁场对其中运动电荷的作用力	电场对放入其中的电荷的作用力
产生条件	磁场中的静止电荷、沿磁场方向运动的电荷将不受到洛伦兹力	电场中的电荷无论静止、还是沿任何方向运动都受到电场力作用
方向	①方向由电荷正负、磁场的方向以及电荷运动的方向决定，各方向之间的关系遵循左手定则 ②洛伦兹力的方向一定垂直于磁场方向以及电荷运动方向（电荷运动方向与磁场方向不一定垂直）	①方向由电荷正负、电场方向决定 ②正电荷受力方向与电场方向相同，负电荷受力方向与电场方向相反

大小	$F=qvB(v\perp B)$	$F=qE$
做功情况	一定不做功	可能做正功，可能做负功，也可能不做功

二、带电粒子在匀强磁场中的运动

在带电粒子只受洛伦兹力作用、重力可以忽略的情况下，其在匀强磁场中有两种典型的运动

1．若带电粒子的速度方向与磁场方向平行时，不受洛伦兹力，做匀速直线运动．

2．若带电粒子的速度方向与磁场方向垂直，带电粒子在垂直于磁感线的平面内以入射速度 v 做匀速圆周运动，其运动所需的向心力即洛伦兹力．

几个重要的关系式：

（1）向心力公式：$qvB=m\dfrac{v^2}{r}$

（2）轨道半径公式：$r=\dfrac{mv}{Bq}$

（3）周期公式：$T=\dfrac{2\pi m}{Bq}$　　频率 $f=\dfrac{1}{T}=\dfrac{Bq}{2\pi m}$　　角频率 $\omega=\dfrac{2\pi}{T}=\dfrac{qB}{m}$

可见 T 与 v 及 r 无关，只与 B 及粒子的比荷有关．

荷质比 $\dfrac{q}{m}$ 相同的粒子在同样的匀强磁场中，T、f 和 ω 相同．

3．“电偏转”和“磁偏转”的区别

属性 比较项目	电偏转 （垂直进入电场，不计重力）	磁偏转 （垂直进入磁场，不计重力）
受力情况	恒力 $F=qE$	洛伦兹力 $F=qvB$，大小不变、方向始终与 v 垂直
运动规律	类平抛运动	匀速圆周运动
偏转程度	偏转角 $\theta=\arctan\dfrac{v_y}{v_x}<\dfrac{\pi}{2}$	偏转角不受限制
动能变化	动能增加	动能不变
处理方法	运动的合成与分解，类平抛运动的规律	结合圆的的几何关系及半径、周期公式

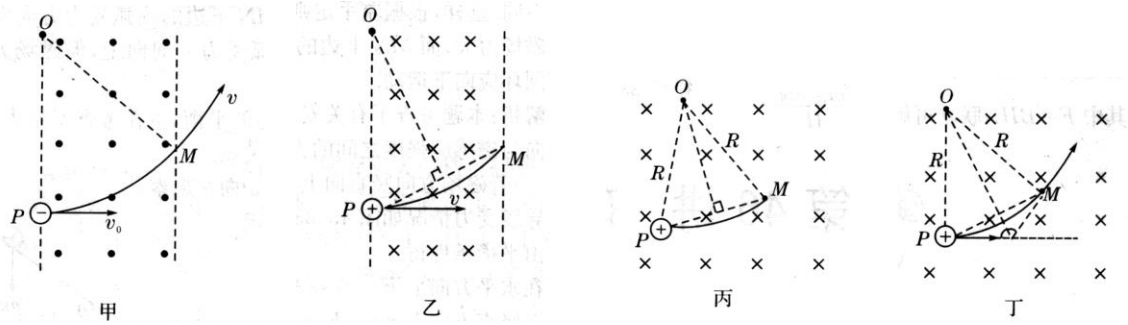
三、带电粒子在匀强磁场中的运动分析方法

1．在研究带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运规律时，关键是“定圆心”、“求半径”、“算周期或时间”．

（1）圆心的确定：因为洛伦兹力 F 指向圆心，根据 $F\perp v$，画出粒子轨迹运动中的任意两点（一般是射入和射出磁场中的两点）处 F 的方向，然后沿两个洛伦兹力 F 画其延长方向，两延长线的交点即为圆心．或利用圆心位置必在圆中一条弦的中垂线上，作出圆心位置．

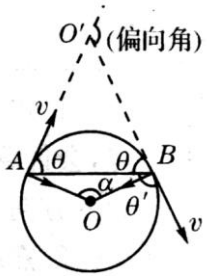
确定圆心位置常用的四种方法如下：

序号	条件	方法
1	已知粒子运动轨迹上的两点及在这两点时粒子的速度方向	分别过这两点在速度方向上作垂线，两条垂线交点即为圆心（如甲图）
2	已知粒子运动轨迹上的两点及在其中一点时的速度方向	连接轨迹上两点，做中垂线，并作已知速度 v 的垂线，则两线交点即为圆心（如乙图）
3	已知粒子运动轨迹上的两点及半径 R	连接轨迹上的两点，并作连线的中垂线，连线端点到中垂线的距离为半径 R 的点即为圆心（如丙图）
4	已知带电粒子的入射方向和出射方向，及粒子轨迹半径 R	延长两粒子的速度方向所在的直线，作两直线的角平分线，从角平分线到两直线的垂直距离等于半径 R 的点即为圆心（如丁图）



（2）半径的确定和计算：利用平面几何的关系，求出该圆的可能半径（或圆心角），并注意以下两个重要的几何特点：

①粒子速度的偏向角（φ）等于回旋角（α），并等于 AB 弦与切线的夹角（弦切角 θ）的 2 倍（如图），即 $\varphi=\alpha=2\theta=\omega t$.



②相对的弦切角（θ）相等，与相邻的弦切角（θ'）互补，即 $\theta+\theta'=180°$.

（3）运动时间的确定：利用回旋角（即圆心角 α）与弦切角的关系，或者利用四边形内角和等于 $360°$，计算出圆心角 α 的大小，由公式 $t=\dfrac{\alpha}{360°}T$ 可求出粒子在磁场中运动的时间.

此外还要灵活应用圆周运动中有关的对称规律：如从同一边界射入的粒子，从同一边界射出时，速度与边界的夹角相等；在圆形磁场区域内，沿径向射入的粒子，必沿径向射出.

2．带电粒子在有界磁场中的运动分析方法：分析带电粒子在有界磁场中运动的极值问题，注意下列结论，再借助数学方法分析.

（1）刚好穿出磁场边界的条件是带电粒子在磁场中运动的轨迹与边界相切.

（2）当速度 v 一定时，弧长（或弦长）越长，圆心角越大，则带电粒子在有界磁场中运动的时间越长.

（3）当速率 v 变化时，圆心角大的，运动时间长.

（4）带电粒子在磁场中运动的多解问题

①带电粒子的电性不确定形成多解

受洛伦兹力作用的带电粒子，可能带正电，也可能带负电，在相同的初速度下，正负粒子在磁场中的运动轨迹不同，导致形成双解.

②磁场方向不确定形成多解

有些题目只告诉了磁感应强度的大小，而未具体指出磁感应强度的方向，此时必须考虑因为磁感应强度方向不确定而形成的双解.

③临界状态不唯一形成多解

带电粒子在洛伦兹力作用下飞越有界磁场时，由于粒子的运动轨迹是圆弧状，因此，它可能穿过去了，也可能转过180°从入射界面这边反向飞出，于是形成多解

④运动的重复性形成多解

带电粒子在部分是电场、部分是磁场的空间中运动时，运动往往具有往复性，因而形成多解.

知识点睛

【例1】　关于电场力与洛伦兹力，以下说法正确的是：（　）

A．电荷只要处在电场中，就会受到电场力，而电荷静止在磁场中，也可能受到洛伦兹力

B．电场力对其在电场中的电荷一定做功，而洛伦兹力对磁场中的电荷却不会做功

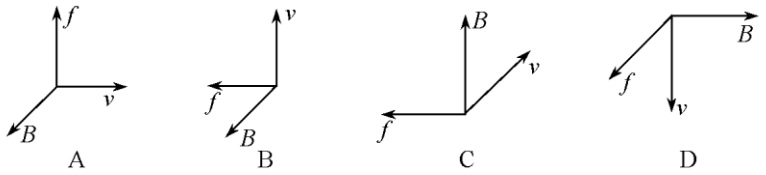
C．电场力与洛伦兹力一样，受力方向都在电场线和磁感线上

D．只有运动电荷在磁场中才可能受到洛伦兹力

＜解析＞　静止在磁场中的电荷不可能受到洛伦兹力，A 错；尽管电场力对电荷可以做功，如果电荷在电场中不动或者沿等势面运动，电场力做功为零，B 错；洛伦兹力的方向跟磁感线垂直，与运动方向垂直，C 错；只有电荷的运动方向与磁场有一定的夹角，才能受到洛伦兹力，D 正确.

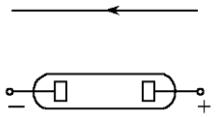
＜答案＞　D

【例2】　（2004 东城三月模拟）如图所示是表示磁场 B、负电荷运动方向 v 和磁场对电荷作用力 f 的相互关系图，这四个图中画得正确的是（B、f、v 两两垂直）（　　）



＜答案＞　ABC

【例3】　（2005·山西五月模拟）如图所示，在电子射线管上方平行放置一通电长直导线，则电子射线将（　　）



A．向上偏　　B．向下偏　　C．向纸内偏　　D．向纸外偏

＜答案＞　A

【例4】　一个电子穿过某一空间而未发生偏转，则（　　）

A．此空间一定不存在的磁场

B．此空间可能有磁场，方向与电子速度平行

C．此空间可能有磁场，方向与电子速度垂直

D．以上说法都不对

＜答案＞　B

【例5】　下列说法正确的是（　　）

A．运动电荷在磁感应强度不为零的地方，一定受到洛伦兹力的作用

B．运动电荷在某处不受洛伦兹力的作用，则该处的磁感应强度一定为零

C．洛伦兹力既不能改变带电粒子的运动，也不能改变带电粒子的动量

D．洛伦兹力对带电粒子不做功

＜答案＞　D

【例6】　电子以初速度v_0垂直进入磁感应强度为B的匀强磁场中，则（　　）

A．磁场对电子的作用力始终不变

B．磁场对电子的作用力始终不做功

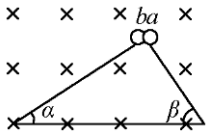
C．电子的动量始终不变

D．电子的动能始终不变

＜解析＞　力和动量都是矢量，动能是标量，垂直磁场运动的电子受洛伦兹力作用，洛伦兹力方向时刻跟电子速度方向垂直，所以洛伦兹力始终不做功，因此，电子的动能不变，而电子的速度方向却时刻改变，所以电子的动量一定发生变化，据$F=qvB$可知，电子受到的洛伦兹力仅是大小保持不变，方向随电子的速度方向而时刻变化．故B、D项正确．

＜答案＞　BD

【例7】　足够长的光滑“△”形绝缘槽，跟水平面的夹角分别为α和β（$\alpha<\beta$），加上垂直于纸面向里的匀强磁场，如图所示，分别将质量相等、带等量正、负电荷的小球a、b依次从两斜面的顶端由静止释放，关于两球在槽上运动的说法正确的是（　　）



A．在槽上a、b两球都做匀加速直线运动，有$a_a>a_b$

B．在槽上a、b两球都做匀加速运动，但总有$a_a<a_b$

C．a、b两球沿直线运动的最大位移是s_a、s_b，则$s_a<s_b$

D．a、b两球沿槽运动的时间为t_a和t_b，则$t_a<t_b$

＜解析＞　因两球所受洛伦兹力的方向垂直于其运动方向，不会改变运动的快慢，加速度和无磁场时相同，故$a_a>a_b$；又因二者所受洛伦兹力的方向均垂直斜面向上，当其速度足够大时会脱离斜面，因a球的加速度较大，且二者质量相同，a球必首先脱离斜面．

＜答案＞　ACD

【例8】　（2005合肥三月模拟）两个粒子电量相等，在同一匀强磁场中受磁场力而做匀速圆周运动（　　）

A．若速率相等，则半径必相等　　B．若动能相等，则周期必相等

C．若质量相等，则周期必相等　　D．若动量大小相等，则半径必相等

＜答案＞　CD

【例9】　两个电子以大小不同的初速度沿垂直于磁场的方向射入同一匀强磁场中，设r_1、r_2为这两个电子的运动轨道半径，T_1、T_2是它们的运动周期，则（　　）

A．$r_1=r_2,T_1\neq T_2$　　B．$r_1\neq r_2,T_1\neq T_2$　　C．$r_1=r_2,T_1=T_2$　　D．$r_1\neq r_2,T_1=T_2$

＜答案＞　D

【例10】　下列有带电粒子（不计重力）运动的说法中正确的是（　　）

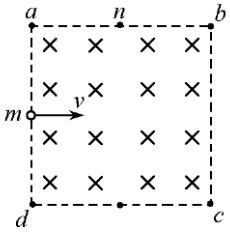
A．沿着电场线方向飞入匀强电场，动量、动能都变化

B．沿着磁感线方向飞入匀强磁场，动能、动量都不变

C．垂直于电场线方向飞入匀强电场，动量不变，动能改变

D．垂直于磁感线方向飞入匀强磁场，动量、动能都变化

＜答案＞　AB



【例11】 （2004年高考北京理综试题）如图所示，正方形区域$abcd$中充满匀强磁场，磁场方向垂直纸面向里，一个氢核从ad边的中点m沿着既垂直于ad边又垂直于磁场的方向，以一定速度射入磁场，正好从ab边中点n射出磁场．若将磁场的磁感应强度变为原来的2倍，其他条件不变，则这个氢核射出磁场的位置是（　　）

A．在b、n之间某点　　**B**．在n、a之间某点

C．a点　　**D**．在a、m之间某点

＜解析＞ 带电粒子第一次射入磁场时，可确定轨道半径$r=\dfrac{l}{2}$（l为正方形的边长）且$r=\dfrac{mv}{qB}$

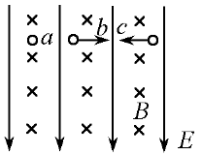
当带电粒子射入磁感应强度为$2B$的磁场时

轨道半径为$r'=\dfrac{mv}{qB'}=\dfrac{mv}{q\cdot 2B}=\dfrac{r}{2}=\dfrac{l}{4}$

故射出磁场的位置是a点，选项**C**正确．

＜答案＞ **C**

【例12】 （2004德州三月模拟）如图所示，在真空中匀强电场的方向竖直向下，匀强磁场的方向垂直纸面向里，三个油滴a、b、c带有等量同种电荷，其中a静止，b向右做匀速运动，c向左做匀速运动，比较它们的重力G_a、G_b、G_c的关系，正确的是（　　）



A．G_a最大　　**B**．G_b最大　　**C**．G_c最大　　**D**．G_b最小

＜解析＞ 据题意与题图可知，a不受洛伦兹力，只有重力与电场力的作用下做匀速直线运动．据$\sum=0$得：对a有：$G_a-Eq=0,G_a=Eq$；

对b有：$G_b+Bqv-Eq=0,G_b=Eq-Bqv$；

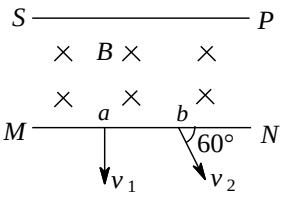
对c有：$G_c-Bqv-Eq=0,G_c=Eq+Bqv$；

所以有：$G_c>G_a>G_b$．

即本题的正确选项为**C**．

＜答案＞ **C**

【例13】 如图所示，有界匀强磁场边界$SP\parallel MN$，速度不同的同种带电粒子从S点沿SP方向同时射入磁场，其中穿过a点的粒子速度v_1与MN垂直，穿过b点的粒子，其速度方向与MN成$60°$角．设两粒子从S到a、b所需的时间分别t_1、t_2，则$t_1:t_2$为（　）



A．1:3　　**B**．4:3　　**C**．1:1　　**D**．3:2

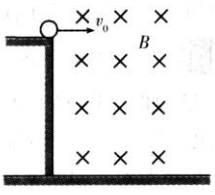
＜解析＞ 画出运动轨迹，过a点的粒子转过$90°$，过b点的粒子转过$60°$，故**D**正确．

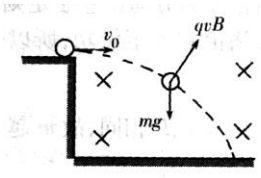
＜答案＞ **D**

【例14】 一带正电的小球以速度v_0沿光滑的水平绝缘桌面向右运动，飞离桌子边缘以后，通过匀强磁场区域，落在地板上，磁场方向垂直于纸面向里（如图所示），其水平射程为s_1，落地速度大小为v_1，撤去磁场后，其他条件不变，水平射程为s_2，落地速度的大小为v_2，则（　　）

A．$s_1=s_2$　　**B**．$s_1>s_2$

C．$v_1=v_2$　　**D**．$v_1>v_2$



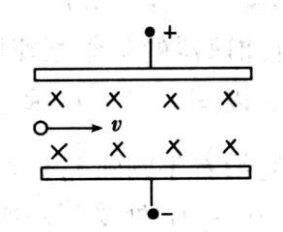


＜解析＞　由于小球运动过程中只有重力做功，洛伦兹力不做功，故机械能守恒.

由 $\frac{1}{2}mv_0^2+mgh=\frac{1}{2}mv^2$ 可知 $v_1=v_2$.但由于小球受到斜向上的洛伦兹力的作用,如图所示，使小球竖直方向的加速度小于 g，由竖直方向的运动可知，小球运动的时间 t 变长，而洛伦兹力的水平分力又使得小球水平方向加速，由 $s=v\cdot t$ 可知 $s_1>s_2$，故正确选项为 **BC**.

＜答案＞　**BC**

【例15】　如图一质子以速度 v 穿过一互相垂直的电场和磁场没有发生偏转，则（　　）



A．若电子以相同的速度 v 射入该区域，仍不会偏转

B．无论何种带电粒子，只要以相同的速度 v 射入，均不会偏转

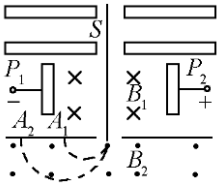
C．若质子的入射速度小于 v，它将向下偏转，做类平抛运动

D．若质子的入射速度大于 v，它将向上偏转，其轨迹既不是抛物线，又不是圆弧

＜解析＞　质子做直线运动时有 $qE=qv$，$v=\frac{E}{B}$，v 相同的任何带电粒子都能沿直线通过电磁场区域；若质子的入射速度小于 v，此时质子受到向下的电场力大于受到的向上的洛伦兹力，质子向下偏转，由于洛伦兹力方向随着速度方向的改变而改变，故质子做的并不是类平抛运动，**C** 错；同理 **D** 正确.

＜答案＞　**ABD**

【例16】　（2005·石家庄五月模拟）如图所示，有 a、b、c、d 四个离子，它们带同种电荷且电荷量相等，它们的速率关系为 $v_a<v_b=v_c<v_d$，质量关系为 $m_a=m_b<m_c=m_d$.进入速度选择器后，有两种离子从速度选择器射出，由此可以判定（　　）



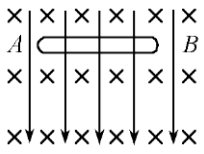
A．射向 P_1 的是 a 粒子　　**B**．射向 P_2 的是 b 粒子

C．射向 A_1 的是 c 粒子　　**D**．射向 A_2 的是 d 粒子

＜解析＞　能从速度选择器射出的粒子必须满足 $qE=qvB$ 即 $v=\frac{E}{B_1}$，因有两种粒子从速度选择器射出，这两种粒子必是 b 和 c，即 $v_b=v_c=\frac{E}{B_1}$.粒子 b 和 c 进入磁场 B_2 中做匀速圆周运动，由半径公式 $r=\frac{mv}{qB_2}$，因 $m_b<m_c$，所以 $r_b<r_c$，故射向 A_1 的是 b 粒子，射向 A_2 的是 c 粒子，选项 **C**、**D** 皆错.根据 b、c 粒子在磁场 B_2 中的偏转方向知，它们带有正电荷.因 $v_a<v_b=\frac{E}{B_1}$，所以 $qv_aB_1<qE$.即 a 粒子所受的洛伦兹力小于电场力，在速度选择器中将左偏射向 P_1 板，同理可判，d 粒子向右偏射向 P_2 板.选项 **A** 对而 **B** 错，答案为 **A**.

＜答案＞　**A**

【例17】　（2005·南通三月模拟）如图所示，某空间匀强电场竖直向下，匀强磁场垂直纸面向里，一金属标 AB 从高 h 处自由下落，则（　　）



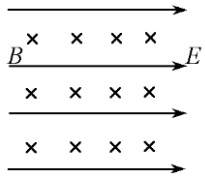
A．A 端先着地　　**B**．B 端先着地

C．两端同时着地　　**D**．以上说法均不正确

＜解析＞　金属杆中有许多自由电子，随杆一起向下运动，利用左手定则可以判断出这些自由电子因向下运动而受到向左的洛伦兹力，因此洛伦兹力将使电子向 A 端聚集，B 端因此而出现正电荷.A 端带负电，B 端带正电，杆 AB 的 A 端因受到向上的电场力而阻碍它向下运动，B 端因受到向下的电场力而加快运动，故 B 端先着地，答案为 **B**.

＜答案＞　**B**

【例18】 如图所示，某空间存在着正交的匀强电场和匀强磁场，匀强电场方向水平向右，匀强磁场方向垂直于纸面水平向里，$E=10\sqrt{3}\text{N/C}$，$B=1\text{T}$，现在有一个质量$m=2\times10^{-6}\text{ kg}$，$q=+2\times10^{-6}\text{C}$的液滴以某速度垂直于磁场方向进入该区域恰能做匀速直线运动，$g=10\text{m/s}^2$，这个速度的大小是_____，方向是_____.

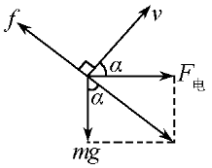


＜解析＞ 这个液滴受力如图所示，洛伦兹力与重力、电场力的合力大小相等、方向相反

$$f=\sqrt{(qE)^2+(mg)^2}=\sqrt{(2\times10^{-6}\times10\sqrt{3})^2+(2\times10^{-6}\times10)^2}=4\times10^{-5}\text{N}$$

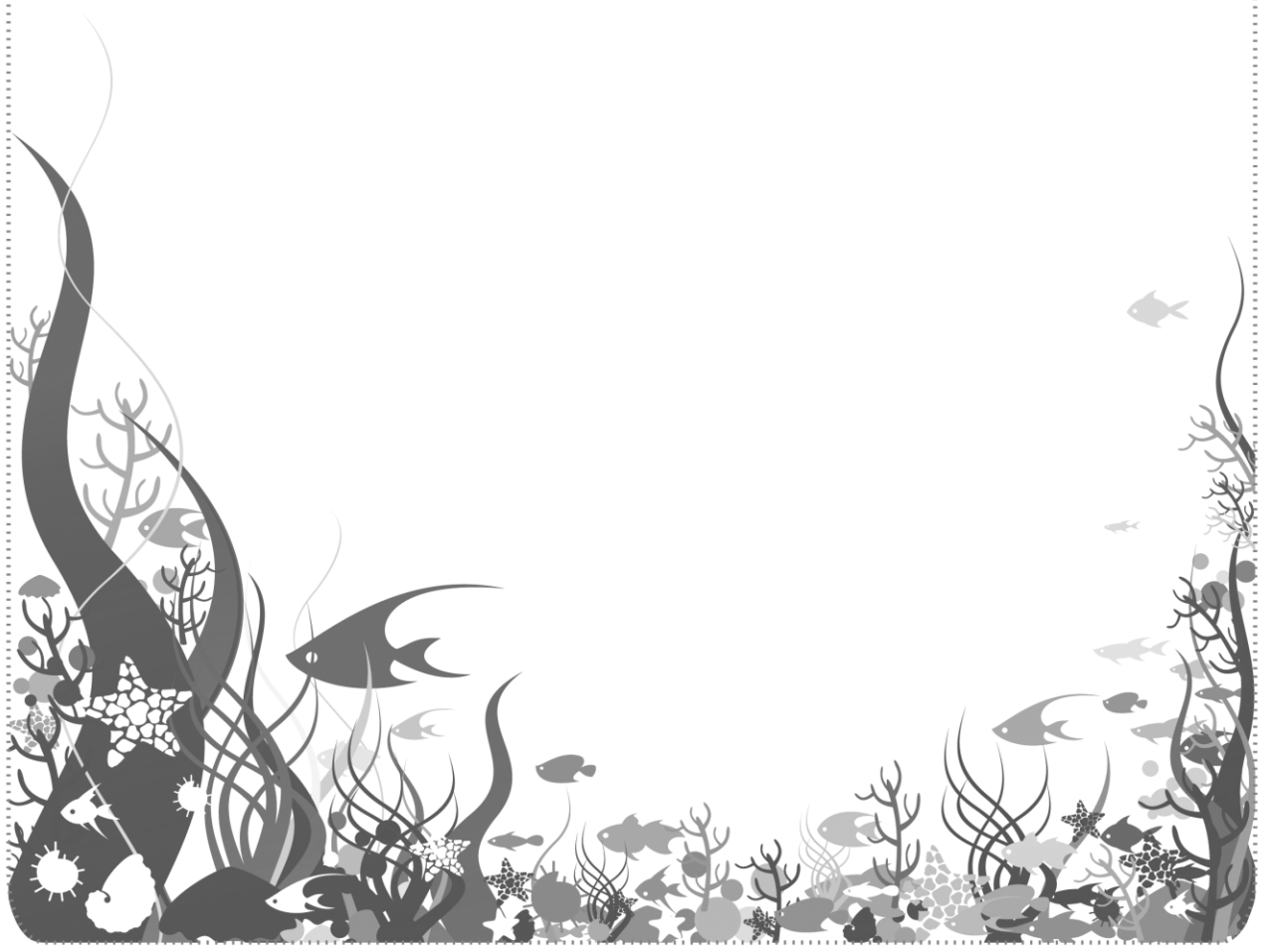
而 $f=qvB, v=\dfrac{f}{qB}=\dfrac{4\times10^{-5}}{2\times10^{-6}\times1}=20\text{m/s}$

与水平方向成α角，$\tan\alpha=\dfrac{qE}{mg}=\dfrac{2\times10^{-6}\times10\sqrt{3}}{2\times10^{-6}\times10}=\sqrt{3}$，$\alpha=60°$



人造地球卫星

凡火箭、太空航具，或其他人造物体经设计并置于绕地球运转之轨道上者，均称为“人造地球卫星”。人造卫星是牛顿在他《Principle》一书中所拟出来的理想实验。从一山顶射出来的子弹，当它们的初速度愈快，离山脚的距离就愈远。当速率足够高时，它将绕地球作圆周运动。人造地球卫星绕地球运行的轨道为圆形或椭圆形两种。若使卫星沿圆形轨道运行，必须注意发射方向一定要水平，发射速度必须等于圆轨道速度，如有稍许偏差，必不能成圆形轨道。椭圆轨道对发射角度与速度无上述限制，但其近地点应在 300 公里以上，远地点应在 2000 公里以上。若近地点在 300 公里以内会受稀薄大气阻力，而使卫星失速而坠落。据测试卫星的近地点如在 500 公里以上，运行时间可维持在一年以上。如近地点恰在 300 公里的高度，则只能维持半月之久。若其近地点只达 160 公里，恐运行不满一周，即因大气阻力而使之坠落。据资料判定，假定近地点在 500 公里高度，大约可维持 5～10 年，这需要用事实来判断。



第 18 讲
电磁感应（1）

例题精讲

【例 1】
＜答案＞ C

【例 2】
＜答案＞ D

【例 3】
＜解析＞ $\Phi = BS$ 成立的前提是磁感线垂直穿过 S，当 B 与 S 不垂直时，必须把 S 分解在垂直 B 的方向上或将 B 分解在垂直 S 的方向上，此外当线框转过 $180°$ 时，磁感线穿过 S 另一面，所以磁通量的方向也变化了.

①当线框转动 $60°$ 时，在垂直 B 的方向上 S 的分量为 $S' = S \cdot \cos 60° = \frac{1}{2}S$

$\therefore \Phi = BS' = \frac{1}{2}BS$

②初态磁通量 $\Phi_1 = BS$

转过 $180°$ 时，磁通量 $\Phi_2 = -BS$

∴磁通量的改变量 $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -2BS$

【例 4】
＜解析＞本题易产生误解，认为由 $\Phi = BS$ 知：$S_A < S_B$，所以，$\Phi_B > \Phi_A$，根本原因是对磁感线与磁通量概念理解不透．磁感线是闭合曲线，不仅在磁铁外部空间有，而且内部空间也有，因而穿过 A、B 圆环面的磁感线有磁体内部的全部磁感线(由 S 指向 N)和磁铁外部的部分磁感线(由 N 指向 S)，两者方向相反，因此穿过两圆环的磁通量应是两者抵消后的代数和，其磁感线方向由 S 指向 N．设在磁铁内部的全部磁感线条数为 Φ，均穿过 A、B 两圆环，方向向上，磁通量为正；磁铁外部空间穿过 A、B 两环的磁感线条数分别为 Φ_1 和 Φ_2，且 $\Phi_1 < \Phi_2$，方向向下，磁通量为负，∵$\Phi_A = \Phi - \Phi_1$，$\Phi_B = \Phi - \Phi_2$，所以，$\Phi_A > \Phi_B$，选 A.
＜答案＞ A

【例 5】
＜答案＞ B

【例 6】
＜解析＞对闭合电路而言，必须磁通量变化，闭合电路中才有感应电流，只有磁通量而不变化，不能产生感应电流，A 中磁通量不一定变化，故 A 不对，B 中螺线管不一定闭合，故 B 也不对，C 中线框不闭合，磁通量变化，虽有感应电动势，但无感应电流，故 C 正确.
＜答案＞ C、D

【例 7】
＜答案＞ D

【例 8】
＜答案＞ BC

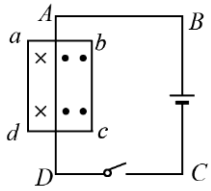
【例 9】
＜答案＞（1）a；顺　（2）大；大；大；快；正．

【例 10】
＜答案＞ C

【例 11】
＜答案＞ D

【例 12】
＜解析＞开关 S 闭合与断开时，Ⅰ线圈中的磁场变化，导致Ⅱ中出现感应电流．
＜答案＞ A

【例 13】
＜解析＞当 S 闭合的瞬间，穿过 $abcd$ 回路的磁感线如图所示，在线圈左右与 AD 对称的等面积内磁通为零，而右侧面积大，所以穿过回路 $abcd$ 的磁感线条数不为零．所以闭合 S 的瞬间 $abcd$ 回路的磁通量增加(原来为零)．所以其回路中一定有感应电流产生．



＜答案＞ A

【例 14】
＜解析＞只有圆环变速转动时，相当于环形电流的电流强度发生变化，小线圈磁通量发生变化，小线圈内才有感应电流，故 C 对，如果圆环匀速转动，相当于环形电流的电流强度恒定，其磁场也恒定，小线圈的磁通量不变，小线圈内无电流，故 D 对．
＜答案＞ C、D

【例 15】

＜答案＞ $\frac{d-l}{v}$；$\frac{l-d}{v}$

【例 16】

＜解析＞设线框 bc 边长为 L，整个线框的电阻为 R，进入磁场的速度为 v，此时感应电动势为 $E=BLv$，线框中的电流为 $I=\frac{BLv}{R}$，受到向上的安培力为：

$$F_{安}=\frac{B^2L^2v}{R}=\frac{B^2L^2}{R}\sqrt{2gh}$$

①如果 $F_{安}=mg$，线框将匀速进入磁场；

②如果 $F_{安}<mg$，线框将加速进入磁场，但随着速度的增大，$F_{安}$ 增大，加速度减小，故进入磁场的过程是变加速运动，且 $a<g$．

③如果 $F_{安}>mg$，线框将减速进入磁场；但随着速度的减小，$F_{安}$ 减小，加速度的值将减小，因此也变减速运动．由此可见，其运动特点是由其所处高度 h 决定（对于确定的线圈），A、B、C 三种情况均有可能，但第四种情况 D 绝无可能．试想想，线框进入磁场，才会受到向上的力，同时受到向上的力是因为有电流，可见已经有一部分机械能转化为电能，机械能不守恒，所以 A、B、C 正确．

＜答案＞ ABC

【例 17】

＜解析＞（1）金属 cd 段切割磁感线产生感应电动势

$E=Bhv=0.5\times0.1\times4.0\text{V}=0.2\text{V}$

回路中的总电阻

$R_{总}=R+hr_0=0.3\Omega+0.1\times2.0\Omega=0.5\Omega$

流过 R 中的电流

$I=\frac{E}{R_{总}}=\frac{0.2}{0.5}\text{A}=0.4\text{A}$

（2）cd 两端的电势差：$U_1=IR=0.4\times0.3\text{V}=0.12\text{V}$

＜答案＞ $I=0.4\text{A}$　$U=0.12\text{V}$

第 19 讲
电磁感应（2）

例题精讲

【例 1】
＜答案＞ BD

【例 2】
＜答案＞ B

【例 3】
＜答案＞ BCD

【例 4】
＜答案＞ C

【例 5】
＜答案＞ A

【例 6】
＜解析＞铜环的下落过程，并非仅受重力作用，由于“穿越”过程，电磁感应现象的发生，圆环出现的感应电流，其磁场与条形磁铁的磁场存在相互作用，根据“来拒去留”，所以圆环开始下落受斥力，离开磁体受引力作用，即时间小于 $\sqrt{\frac{2h}{g}}$，故选 C.

＜答案＞ C

【例 7】
＜答案＞A

【例 8】
＜解析＞ *ef* 向右运动，在闭合回路中产生感应电流，根据楞次定律，*ef* 棒受安培力将阻碍其向右运动，亦即 *ef* 要克服安培力做功而使动能减小，故 *ef* 是向右做减速运动．但值得注意的是：随速度 *v* 减小，杆受安培力减小，加速度减小，故不可能做匀减速运动．

＜答案＞ A

【例 9】

＜答案＞ C

【例 10】

＜解析＞图中的两个通电的电磁铁之间的磁场方向总是水平的，当滑动变阻器 R 的滑片 P 自左向右滑动的过程中，电路中的电流是减小，闭合导体线圈中的磁通量是减小的，线圈在原磁场中所受的磁场力肯定使线圈向磁通量增大的方向运动，显然只有顺时针方向的运动才能使线圈中的磁通量增大，所以 C 正确.

＜答案＞ C

【例 11】

＜解析＞ B 环中如图所示电流，则感应电流的磁场方向向外，而引起感应电流的原磁场应向外减弱或向里增强. 若 A 带正电，其顺时针转动方向即为电流方向，转速增大，相当于电流增大，故 A 错，B 对；若 A 带负电，其顺时针转动方向为等效电流的反方向，转速减小相当于电流减小，磁场减弱. B 环则产生如图所示电流，故 C 对 D 错.

＜答案＞ BC

【例 12】

＜答案＞ C

【例 13】

＜解析＞根据麦克斯韦理论，变化的磁场产生电场，处在其中的导体，其内部的自由电荷在电场力作用下定向移动形成电流。

＜答案＞ AC

【例 14】

＜答案＞ D

【例 15】

＜解析＞当闭合开关，接通电路时，电路中的电流要增大，线圈 L 上产生自感电动势阻碍电流的增大，所以 L 与 A_1 支路中的电流由零逐渐变大，最后达到稳定状态．因此，灯 A_1 从闭合开关到正常发光需经稍长一点的时间，而 A_2 支路在开关接通后的瞬间（这段时间可忽略），电流立刻达到正常值．所以，闭合开关接通电路时，A_1 慢慢亮起来最后正常发光，而 A_2 则立即正常发光．

在断开电键，切断电路时，A_2 支路原来的电流立刻消失，而 A_1 所在支路，由于在自感作用下，不会马上减小为零，仍继续流动，此时，A_1、A_2、L 组成闭合电路，所以虽然 A_2 上原来由电源提供的电流消失了，但立刻又有 A_1 支路的电流通过 A_2，故 A_1、A_2 均要过一会儿才熄灭．故选 A、D．

【例 16】

＜解析＞S 刚闭合时，由于线圈产生了一个较大的反向自感电动势，L 支路上没有电流，相当于断路，D_1 和 D_2 是串联关系．由于 D_1 和 D_2 完全相同，故此时应有二者同时亮且同样亮，A 项正确．闭合 S 达到稳定时，线圈相当于一根导线将 D_1 短路，故此时只有 D_2 灯亮．又由于此时外电路仅由 D_2 组成，流过 D_2 的电流比 S 刚闭合时流过 D_2 的电流更大，所以，D_2 灯比原来要更亮一些，C 项正确．断开开关 S 的瞬间，流过 L 的电流要减小，线圈将产生一个与原电流同向的自感电动势．L 与 D_1 灯构成闭合回路，所以 D_1 灯将亮一下再熄灭，而 D_2 灯则立即熄灭．本题，正确选项为 A、C、D．

＜答案＞ ACD

第 20 讲
交流电

例题精讲

【例 1】

【答案】CD

【例 2】

【解析】由图可知，线圈中的 ab 边和 cd 边不切割磁感线，不产生感应电动势，而 ad 边和 bc 边切割磁感线运动，产生的感应电动势各为 $e_{ad}=B\overline{ad}v\sin\omega t$ 和 $e_{bc}=B\overline{bc}v\sin\omega t$，线圈中的总感应电动势 $e=e_{ad}+e_{bc}=2B\overline{ad}v\sin\omega t=2B\overline{ad}\cdot(\frac{\overline{ab}}{2}\cdot\omega)\sin\omega t=BS\omega\sin\omega t$．选项 C 正确.

【答案】C

【例 3】

【解析】由图可知，$T=0.250\text{s}$，$f=\frac{1}{T}=4\text{Hz}$，故 A、B 错；电路中的有效电流 $I=\frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}=\frac{\sqrt{2}}{10}\text{A}$，C 错；交变电流的最大值为 $I_{\max}=\frac{2}{10}=0.2\text{A}$，D 正确.

【答案】D

【例 4】

【解析】由电流的热效应，$\frac{U^2}{R}T=\frac{(U_{\max}/\sqrt{2})^2}{R}\times\frac{T}{2}$，则 $U=\frac{U_{\max}}{2}$，B 正确.

【答案】B

【例 5】

【解析】从图像中可以看出交流电的最大值、周期、频率等物理量，由此出发，其他问题都可解决了.

（1）由图像中得 $E_{\max}=300\text{V}$，因为为正弦交流电，所以，$E=\frac{E_{\max}}{\sqrt{2}}=212.2\text{V}$

（2）由图像中知周期 $T=0.02\text{s}$，频率 $f=\frac{1}{T}=50\text{Hz}$，角速度 $\omega=2\pi f=314\text{rad/s}$

（3）因为 $E_{\max}=NBS\omega$．所以 $B=\frac{E_{\max}}{NS\omega}=\frac{300}{100\times100\times10^{-4}\times314}\text{T}=0.955\text{T}$

（4）$e=E_{\max}\sin\omega t=300\sin100\pi t$

当 $\theta=30°$ 时，即 $100\pi t=30°$，此时电动势瞬时值为 $e=E_{\max}\sin30^{\circ}=150\text{V}$

当 $t=0.005\text{s}$ 时，此时电动势的瞬时值

$$e=E_{\max}\sin 100\pi t=300\times\sin 100\pi\times 0.005=300\times\sin\frac{\pi}{2}\text{V}=300\text{V}$$

（5）求热量应该用有效值．$Q=I^2Rt=\frac{E^2}{R}t=(\frac{E_{\max}}{\sqrt{2}})^2\cdot\frac{1}{R}\cdot t=4.5\times10^3\text{J}$

【例 6】

【解析】在交流电路中，当频率增加时，容抗减小，感抗增大，而电阻是与频率无关的，在电路中电源的电动势最大值不变，即 a、b 间的电压不变，所以当频率增加时，A_1 读数增大，A_2 不变，A_3 读数要变小．

【答案】C

【例 7】

【解析】$U_1=\frac{220\sqrt{2}}{\sqrt{2}}=220\text{V}$，由 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，得 $U_2=100\text{V}$，$I_2=\frac{100\text{V}}{10\Omega}=10\text{A}$；

$P_{出}=I_2^2R=(10\text{A})^2\times10\Omega=1000\text{W}$，故只有 D 正确．

【答案】D

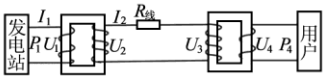
【例 8】

【解析】当副线圆中 S 断开后，副线圈中总电阻增大，干路的电流减小，故 I_2 减小，U_2 不变，I_3 增大，I_1 减小，故答案为 B、C．

【答案】BC

【例 9】

【解析】先按“发电→升压→输电线→降压→用户”的顺序逐级分析，画出示意图，如图所示．



（2）对升压变压器，由公式 $\frac{U_2}{U_1}=\frac{n_2}{n_1}$，有 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1=\frac{25}{1}\times250\text{V}=6250\text{V}$

$I_2=\frac{P_2}{U_2}=\frac{P_1}{U_2}=\frac{100000}{6250}\text{A}=16\text{A}$

（3）因为 $P_{耗}=I^2R_{线}$，$P_{耗}=0.04P_1$，所以 $R_{线}=\frac{0.04P_1}{I_2^2}=\frac{4000}{16^2}\Omega=15.6\Omega$

因为 $\Delta U=U_2-U_3=I_2R_{线}$，所以 $U_3=U_2-I_2R_{线}=(6250-16\times15.6)\text{V}=6000\text{V}$

（4）$P_4=P_1-P_{耗}=0.96P_1=0.96\times100000\text{W}=96000\text{W}=96\text{kW}$

【例 10】

【解析】设 $P=44\text{kW}=4.4\times10^4\text{W}$，$U=220\text{V}$，$R=0.5\Omega$

（1）直接输电电压损失：$U_{损}=IR=\frac{P}{U}\cdot R=\frac{4.4\times10^4}{220}\times0.5\text{V}=100\text{V}$

功率损失为：$P_{损}=I^2R=(\frac{P}{U})^2R=(\frac{4.4\times10^4}{220})^2\times0.5\text{W}=2\times10^4\text{W}$

故用户得到的电压$U_{用}=U-U_{损}=120\text{V}$

用户得到的功率$P_{用}=P-P_{损}=2.4\times10^4\text{W}$

（2）用高压输电先用升压变压器，由$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$有：$U'=\frac{n_2}{n_1}U=\frac{10}{1}\times220\text{V}=2200\text{V}$

则损失功率$P'_{损}=I'^2R=(\frac{P}{U'})^2R=(\frac{4.4\times10^4}{2200})^2\times0.5\text{W}=200\text{W}$

电压损失$U'_{损}=I'R=\frac{P}{U'}\cdot R=10\text{V}$

那么，加到降压变压器上的$U_3=U'-U'_{损}=2190\text{V}$

由$\frac{U_3}{U_4}=\frac{n_3}{n_4}$有$U_4=\frac{n_4}{n_3}U_3=\frac{1}{10}\times2190\text{V}=219\text{V}$

用户得到的功率$P'_{用}=P-P'_{损}=4.38\times10^4\text{W}$

第 21 讲
热力学

例题精讲

【例 1】

＜解析＞ 热力学第一定律表达式：$\Delta U = W + Q$

（1）ΔU 为内能变化量，$\Delta U = U_{末} - U_{初}$，$\Delta U > 0$，内能增加；$\Delta U < 0$，内能减少.

（2）外界对物体做正功，W 为正值；外界对物体做负功，W 为负值.

（3）物体吸收热量，Q 为正值；物体放出热量，Q 为负值.

＜答案＞ C

【例 2】

＜答案＞ C

【例 3】

＜解析＞ 由已知标准大气压 p 可求出地球表面大气的质量，即 $p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{mg}{4\pi R^2}$，

$m = \frac{p \times 4\pi R^2}{g} = \frac{1.0 \times 10^5 \times 4\pi \times (6.4 \times 10^6)^2}{10}\text{kg} \approx 5 \times 10^{18}\text{ kg}$，$V = \frac{m}{M} \times 22.4 \times 10^{-3}\text{ m}^3 \approx 4 \times 10^{18}\text{ l}$.

＜答案＞ B

【例 4】

＜解析＞ （1）由 $p_0 = \frac{mg}{S} = \frac{mg}{4\pi R^2}$ 得

$$m = \frac{4\pi R^2 p_0}{g} = \frac{4 \times 3.14 \times \left(6.4 \times 10^6\right)^2 \times 1 \times 10^6}{9.8}\text{kg} = 5.2 \times 10^{18}\text{kg}$$

空气分子数为 $n = \frac{m}{M} N_A = \frac{5.2 \times 10^{18}}{2.9 \times 10^{-2}} \times 6 \times 10^{23} = 1 \times 10^{44}$ 个

（2）不同液体的密度是不同的，水银为 $13.6 \times 10^3\text{kg/m}^3$，水为 $1.0 \times 10^3\text{kg/m}^3$，酒精为 $0.8 \times 10^3\text{kg/m}^3$，可看出液体密度的数量级为 10^3kg/m^3.用水的密度来代表液化空气的密度，则

液化空气的体积 $V = \frac{m}{\rho} = \frac{5.2 \times 10^{18}}{10^3}\text{m}^3 = 5.2 \times 10^{15}\text{m}^3$

设大气变为液体分布在地球表面，半径增加 y，则有

$$\frac{4}{3}\pi\left(R + y\right)^3 - \frac{4}{3}\pi R^3 = V$$

$$3R^2y+3Ry^2+y^3=\frac{3}{4\pi}V$$

考虑到 y 远小于 R，忽略 y 的二次项和三次项，得

$$y=\frac{V}{4\pi R^2}=\frac{5.2\times10^{15}}{4\times3.14\times\left(6.4\times10^{6}\right)^2}\text{m}\approx10\text{m}$$

＜答案＞ （1）1×10^{44} 个 （2）10m

【例 5】

＜解析＞ 因分子力的作用范围在 10^{-10} m 数量级，阻止玻璃板拉出水面的分子力主要来自玻璃板的下表面玻璃分子与水分子间的相互吸引力，也可以近似的认为等于水分子间的吸引力，所以只要将对玻璃板的拉力分摊到每一个水分子上，当拉力超过了总的分子间的引力时，玻璃板就被拉出水面.

水的摩尔质量是 18×10^{-3} kg/ mol .

它的体积为 $V=\frac{M}{\rho N_A}=\frac{18\times10^{-3}}{1.0\times10^{3}\times6.02\times10^{23}}\text{m}^3=2.99\times10^{-29}\text{m}^3$

水分子直径 $D=\sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}}=\sqrt[3]{\frac{6\times2.99\times10^{-29}}{3.14}}\text{m}=3.85\times10^{-10}\text{m}$

分子球的最大面积 $S=\frac{\pi D^2}{4}=1.16\times10^{-19}\text{m}$

因为玻璃板的面积 $S'=0.01\text{m}^2$，所以玻璃板下面的水分子数为

$N=\frac{S'}{S}=\frac{0.01}{1.16\times10^{-19}}$ 个 $=8.62\times10^{16}$ 个

所以每个水分子间的最大吸引力为 $F_{分}=\frac{F-mg}{N}=\frac{10.8-0.3\times9.8}{8.62\times10^{16}}\text{N}=9.1\times10^{-17}\text{N}$

【例 6】

＜答案＞ A

【例 7】

＜解析＞ 1cm^3 水中的分子个数为 $n=\frac{m}{M_0}N_{\text{A}}=\frac{\rho V}{M_0}N_{\text{A}}=\frac{1\times10^{3}\times1\times10^{-6}}{18\times10^{-3}}\times6.02\times10^{23}=3.3\times10^{22}$ 个

设相邻两个水分子间距为 d，视水分子为球形，则 $\frac{V}{n}=\frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3$

所以 $d=\sqrt[3]{\frac{6V}{\pi n}}=\sqrt[3]{\frac{6\times1\times10^{-6}}{3.14\times3.3\times10^{22}}}\text{m}=3.9\times10^{-10}\text{m}$

1cm^3 的水蒸气中含有的分子个数

$n'=\frac{V}{22.4\times10^{-3}}N_{\text{A}}=\frac{1\times10^{-6}}{22.4\times10^{-3}}\times6.02\times10^{23}=2.7\times10^{19}$ 个

设相邻水蒸气分子间距为 d'，视水蒸气分子所占据的空间为正方体，则 $d'^3=\frac{V}{n'}$，故

$d'=\sqrt[3]{\frac{V}{n'}}=\sqrt[3]{\frac{1\times10^{-6}}{2.7\times10^{19}}}=3.3\times10^{-9}\text{m}$

＜答案＞ 水：3.3×10^{22} 个，3.9×10^{10} n. 水蒸气：2.7×10^{19} 个，3.3×10^{-9}m

【例 8】

＜解析＞ 在阳光下曝晒时吸收热量，使温度升高，车胎内气体压强增大，当超过外胎能够承受的最

大压强时就会“爆胎”.

＜答案＞ A

【例 9】

＜解析＞ 锅内气体的最大压强为：$p=p_0+\frac{mg}{S}$，$m=0.1\text{kg}$，$S=\frac{\pi d^2}{4}=7.1\times10^{-6}\text{m}^2$

取 $p_0=10^5\text{Pa}$，解得 $p=\left(10^5+\frac{0.1\times9.8}{7.1\times10^{-6}}\right)\text{Pa}=2.4\times10^5\text{Pa}$

压强变化 $\Delta p=p-p_0=1.4\times10^5\text{Pa}$，故水的沸点增加 $\Delta t=\frac{1.4\times10^5}{3.6\times10^3}\times1℃=39℃$

锅内的最高温度可达 $139℃$.

＜答案＞ $2.4\times10^5\text{Pa}$，$139℃$

【例 10】

＜解析＞ 本题用 $p-T$ 图象表示气体的状态变化过程. ab 段是等容过程，A 错. 连接 Ob、Oc 和 Od，则 Oba、Oc、Od 都是定质量理想气体的等容线，比较这几条图线的斜率，可得 $V_a=V_b>V_d>V_c$，同理可判断 bc、cd、da 线段上各点所表示的状态的体积大小关系.

＜答案＞ BCD

【例 11】

＜解析＞ 气体体积增大，气体对外界做功. 气缸壁的导热性能很好，气体总与外界保持相同温度，气体分子的平均动能不变. 因体积增大，单位体积内的分子数减小，且 T 不变，所以气体压强减小.

＜答案＞ BD

＜点评＞ 利用单缸或双缸等器件考查对三个状态参量关系的理解，从内能、吸热、做功等角度考查综合运用知识的能力.

【例 12】

＜解析＞ a 气体受热膨胀，通过活塞压缩气体 b，对 b 做功，由热力学第一定律知，b 内能增加，温度升高，则 b 气体压强增大，最终达到平衡时，a 气体和 b 气体压强相等，由于 a 气体体积变大，所以 a 气体的温度高于 b 气体的温度.

＜答案＞ BCD

【例 13】

＜答案＞D

【例 14】

＜解析＞ A、B 气体开始时的合重心在中线以下，混合均匀后在中线处，所以系统重力势能增大. 由能量守恒知，吸收的热量一部分增加气体内能，另一部分增加重力势能，故 $\Delta U<Q$.

＜答案＞ B

【例 15】

＜解析＞

14. 标准状态下气体单位体积的分子数为 2分

$$n_0=\frac{N_A}{V_{mol}} \quad ①$$

分子间的平均距离为

$$\bar{l}=(\frac{1}{n_0})^{1/3} \quad ②$$

设液氮分子的边长为 d，质量为 m，单位体积的分子数为 n，由此可估算氮分子的大小。

由 $$\rho=nm=n\frac{M_{mol}}{N_A} \quad ③$$

且 $$\frac{1}{n}=d^3 \quad ④$$

联立③④式得

$$d=(\frac{M_{mol}}{\rho N_A})^{1/3} \quad ⑤$$

联立①②⑤式并代入相关数据，得

$$\bar{l}\approx 8.7d \quad ⑥$$

即分子平均距离约为分子大小的 8.7 倍，气体分子本身的大小可忽略。

评分参考：本题 11 分。①式 2 分 ②式 4 分

第 22 讲
机械振动

例题精讲

【例 1】

【解析】在简谐运动中，在一个周期内有两次通过同一位置，所经历的时间并非一个周期．在一个周期内，有两个位置，它的速度大小和方向都相同，两次经过同一位置时加速度相同，故选项 A，B，C 都不正确．

【答案】D

【例 2】

【解析】由 $F=-k\cdot x$ 和 $F=ma$ 可得：$a=\dfrac{-kx}{m}$，即简谐运动是一种变速运动，位移 x、回复力 F、加速度 a、速度 v 的大小和方向都随时间做周期性变化．在位移最大的两个“端点”处，回复力最大，加速度最大，是运动的转折点，速度必定为 0．在平衡位置（$x=0$），回复力为 0，加速度为 0，速度最大．物体从“端点”处向平衡位置运动时，位移逐渐减小，回复力逐渐减小，加速度逐渐减小．由于加速度与速度方向相同，速度是逐步增大的．

【答案】ACD

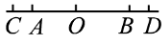
【例 3】

【解析】简谐运动是一种周期性的往复运动，具有时间与空间上的对称性，由图可知：在 t_1 和 t_2 时刻质点的位移等大反向，则在 t_1 到 t_2 时间内质点先靠近平衡位置，后远离平衡位置，且位置上关于平衡位置对称，其速度大小和方向均相同，位移大小相等，方向相反，回复力及加速度也是等大反向．

【答案】D

【例 4】

【解析】根据题意，由振动的对称性可知：AB 的中点（设为 O）为平衡位置，A、B 两点对称分布于 O 点两侧；质点从平衡位置 O 向右运动到 B 的时间应为 $t_{OB}=\dfrac{1}{2}\times 0.5\text{s}=0.25\text{s}$．所以，质点从 O 到 D 的时间：



$t_{OD}=\dfrac{1}{4}T=0.25\text{s}+0.25\text{s}=0.5\text{s}$．　　所以 $T=2\text{s}$

【答案】C

【例 5】

【答案】BD

【例 6】

【解析】（1）垂直纸面内外摆动时，摆动圆弧的圆心在 O 处，故等效摆长为

$$l_1+l_2\sin\alpha+\frac{d}{2} \qquad T=2\pi\sqrt{\frac{l_1+l_2\sin\alpha+\frac{d}{2}}{g}}$$

（2）当在纸面内左右摆动时，摆动的圆弧的圆心在 O 处，等效摆长为 $l_1+\frac{d}{2}$

$$T'=2\pi\sqrt{\frac{l_1+\frac{d}{2}}{g}}$$

【例 7】

【答案】由于拉开角度小所以可看成是简谐运动，它们到竖直位置的时间都是四分之一个周期，则两小球同时到达平衡位置。选择 C、D

【例 8】

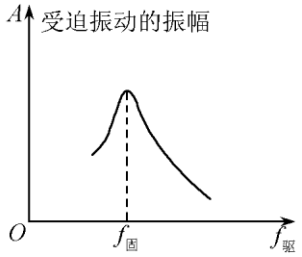
【解析】小球Ⅰ可看成简谐运动，运动的时间为四分之一个周期为 $t_1=\frac{2\pi}{4}\sqrt{\frac{l}{g}}$

小球Ⅱ是做自由落体运动，时间为 $t_2=\sqrt{\frac{2l}{g}}$

很明显 t_1 大于 t_2，则Ⅱ球先落下。

【例 9】

【解析】受迫振动的振幅 A 与驱动力的频率 f 的关系如图所示，当 $f_{驱}$ 为定值时，受迫振动的振幅也为定值，当 $f_{受}=f_{驱}=f_{固}$ 时，受迫振动的振幅有最大值.



【答案】D

【例 10】

【解析】筛子的周期为 1.5s，偏心轮提供的周期为 $\frac{60}{36}\text{s}=\frac{5}{3}\text{s}$．要使筛子振幅增大，应使两个周期接近或相等．可增大输入电压，提高偏心轮转速，减小其周期，也可增加筛子质量以增大其固有周期.

【答案】AC

【例 11】

【解析】火车经过接轨处发生振动的周期$T_1=\frac{L}{v}$，车厢的弹簧系统固有周期$T_2=1.5\text{s}$，振动最为强烈时$T_1=T_2$，即$\frac{L}{v}=1.5\text{s}$，$v=\frac{L}{1.5}=8.53\text{m/s}$.

【答案】8.53m/s

第 23 讲
机械波

例题精讲

【例 1】

【解析】机械波产生的条件为有介质和波源，两者缺一不可．有机械波必有介质和波源，但只有介质或波源却产生不了机械波．故 A 对 B 错．振动速度和传播速度是截然不同的两个概念，两者之间没有联系，故 C 错．振源停止振动后，波的能量和振动形式继续向下传播，所以不会立即停止，故 D 错．

【答案】A

【例 2】

【答案】BC

【例 3】

【解析】机械振动在介质中的传播形成机械波．介质中各质点的相互作用越强，振动在介质中传播的越快．波速的大小仅仅由介质的性质决定，与波源的振动频率无关，所以选项 C，D 都是错误的．选项 A 混淆了单个质点运动的速度和波的传播速度，也是错误的．

【答案】B

【例 4】

【答案】ACD

【例 5】

【解析】由题设条件得知 D 点的运动方向向上，而 D 点是紧跟它前一点运动的，它比前一点迟一些开始运动，所以它的前一点应在它的上方，从图上看到 D 点右侧的质点应是它的前一点，从而可以判定波是从右方传向左方的，即沿 x 轴的负方向传播，所以选项 A 是错误的．知道了波的传播方向，就可以进一步确定 E,G 的运动方向是相反的，选项 B 是错误的．B 点直接向平衡位置运动，而 A 点由于运动方向向下，它要先向下运动到达最大位移处后再向上返回平衡位置，故 B 比 A 先到达平衡位置，选项 C 是正确的．质点 F 此时处在最大位移处，其加速度最大，所以选项 D 错误．

【答案】C

【例 6】

【解析】从图中可直接确定波长和振幅，即 A、C 两选项正确．由于不知波的传播方向，则波速和周期就是不确定的，BD 两选项错误．

【答案】AC

【例 7】

【解析】（1）若波向右传播，$\Delta x_1 = 2\text{m}$，$\Delta t = t_2 - t_1 = 0.5\text{s}$，则 $v_1 = \frac{\Delta x_1}{\Delta t} = 4\text{m/s}$；

若波向左传播，$\Delta x_2 = 6\text{m}$，$\Delta t = t_2 - t_1 = 0.5\text{s}$，则 $v_2 = \frac{\Delta x_2}{\Delta t} = 12\text{m/s}$

（2）若波向右传播，$\Delta x_3 = (2+8n)\text{m}(n = 1,2,3,\cdots)$

$\Delta t = t_2 - t_1 = 0.5\text{s}$，则 $v_3 = \frac{\Delta x_3}{\Delta t} = (4+16n)\text{m/s}(n = 1,2,3,\cdots)$

若波向左传播，$\Delta x_4 = (6+8n)\text{m}(n = 1,2,3,\cdots)$，$\Delta t = t_2 - t_1 = 0.5\text{s}$，

则 $v_4 = \frac{\Delta x_4}{\Delta t} = (12+16n)\text{m/s}(n = 1,2,3,\cdots)$

（3）当波速为 92m/s 时，波向前传播的距离为 $\Delta x = vt = 46\text{m} = (5+\frac{3}{4})\lambda$，由图可知波向左传播.

【例 8】

【解析】衍射是一切波特有的现象，所以选项 A 对 C 错．发生明显的衍射现象是有条件的，只有缝、孔的宽度或障碍物的尺寸跟波长差不多或比波长更小时，才能观察到明显的衍射现象，所以选项 B 是正确的．声波的波长在 1.7 cm 到 17 m 之间，一般常见的障碍物或孔的大小可与之相比，正是由于声波波长较长，声波容易发生衍射现象，所以选项 D 也是正确的．

【答案】A、B、D.

【例 9】

【解析】从图知水波波长跟小孔尺寸相差不大，此时能明显观察到波的衍射现象，如果孔 AB 扩大到比波长大得多，就不能产生明显的衍射现象，所以 A，B 均正确，波绕过障碍物后，即发生衍射现象时，波的特征并未发生改变，即波的波长，频率和波速不变．故 C 选项正确，当波的频率增大，波速不变，波长 $\lambda = \frac{v}{f}$ 变小，有可能比不变的孔宽小得多，衍射现象就会不明显．故 D 选项错误．

【答案】ABC

【例 10】

【解析】两列波叠加产生稳定干涉现象是有条件的，不是任意两列波都能产生稳定的干涉现象．两列波叠加产生稳定干涉现象的一个必要条件是两列波的频率相同，A 错，B 对；在振动减弱的区域里，只是两列波引起质点振动始终是减弱的，质点振动的振幅等于两列波的振幅之差，如果两列波的振幅相同，质点振动的振幅就等于零，也不可能各质点都处于波谷，所以选项 C 是错误的．在振动加强的区域里，两列波引起质点振动始终是加强的，质点振动的最剧烈，振动的振幅等于两列波的振幅之和．但这些点始终是振动着的，因而有时质点的位移等于零，所以选项 D 是正确的．

【答案】B、D

第 24 讲
几何光学

例题精讲

【例 1】

【解析】由反射定律可知 L_2 和 L_3 其中 L_3 为入射光，则 MM' 为法线，NN' 为界面，由折射定律可知 L_3 为入射光线，L_2 为反射光线，L_1 为折射光线，由折射定律得 $n=\dfrac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ}=\sqrt{3}$，

由 $n=\dfrac{c}{v}$ 得 $v=\dfrac{c}{n}=\dfrac{3\times10^8}{\sqrt{3}}\text{m/s}=1.732\times10^8\text{ m/s}$

【例 2】

【解析】（1）点光源在球心处，故其发出的光与玻璃砖两表面都垂直，传播方向不变，由几何知识可得：$R=(0.5+0.5)\cdot\tan 30^\circ=\dfrac{\sqrt{3}}{3}\text{m}$.

（2）被照亮部分的面积将变大，如图所示，以 SA 光线为例，在外侧面为球面时，射在光屏上的 C 点；外侧面为平面是，SA 光线在界面上将发生折射，由于从玻璃砖射向空气，折射角大于入射角，故折射光线 AD 在 AC 的上方，被照亮面积变大.

【例 3】

【解析】$n=\sqrt{2}$，临界角为 $C=\arcsin\dfrac{1}{n}=\arcsin\dfrac{1}{\sqrt{2}}=45^\circ$.

因光源 S 发出的光经狭缝沿半径方向射入玻璃的圆面，故不改变传播方向，射至圆心 O 时，若入射角 i 小于临界角 C 时，有折射光线 OA 和反射光线 OB 同时存在，随着圆形面的不断旋转，入射角 i 不断增大，这时反射光不断增强，而折射光不断减弱，当 $i=45^\circ$ 时，折射光线完全消失，全部光线在玻璃砖的圆心 O 处反射回来.

【答案】ACD

【例 4】

【解析】（1）$\sin C=\dfrac{1}{n}=\dfrac{\sqrt{2}}{2}$，$\therefore C=45^\circ$

（2）光线经平面镜向右上方以临界角射向液面刚好发生全反射，如图甲有 $2\theta=90^\circ+C=135^\circ\therefore\alpha_1=90^\circ-\theta=90^\circ-\dfrac{135^\circ}{2}=22.5^\circ$. 当 $\alpha_1=225^\circ$，光线射向液面时，刚好发生全反射，而当 $\alpha>22.5^\circ$ 时，光线经平面镜反射再射向液面时，才能从反射点的右上方射出，所以必须满足 $\alpha>22.5^\circ$.

同理，光线经平面镜向左上方以临界角射向液面，刚好发生全反射，如图乙有 $2\theta'=90^\circ-C=45^\circ$，$\therefore\alpha_2=90^\circ-\theta'=67.5^\circ$. 若 $\alpha<67.5^\circ$ 时，光线能从反射点的左上方

射出．综合上述两种情况，若使光线能从液体表面射出，应满足$22.5°<\alpha<67.5°$．

【例 5】

【解析】光路图如图所示，由几何知识$\sin\theta_2=\dfrac{r}{\sqrt{l^2+r^2}}$，由折射定律$\sin\theta_1=n\sin\theta_2$得：$\sin\theta_1=\dfrac{nr}{\sqrt{l^2+r^2}}$，所以$\theta_1=\arcsin\dfrac{nr}{\sqrt{l^2+r^2}}$，所以答案选 B.

【答案】B

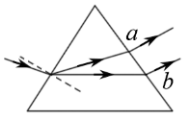
【例 6】

＜解析＞ 由$\sin C=\dfrac{1}{n}$可得，在MN曲面上发生全反射的临界角为$37°$，由于$\sin C=\dfrac{d}{R}$，故从曲面射出的光线在OM上的入射点到O点的最大距离为$d=R\sin C=0.6R$，光线只能从圆弧NG_1射出．

＜答案＞ B

【例 7】

【解析】如图所示，由$n_{紫}>n_{红}$，所以紫光偏得最厉害，所以从a点射出的是紫光，从b点射出的是红光．



【答案】B

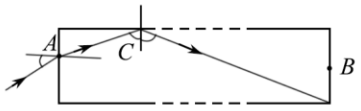
【例 8】

【解析】由题中的已知条件可知，要使光线从光导纤维的一端面射入，然后从它的另一端面全部射出，必须使光线在光导纤维中发生全反射现象．要使光线在光导纤维中经历的时间最长，就必须使光线的路径最长，即光对光导纤维的入射角最小．光导纤维的临界角为$C=\arcsin\dfrac{1}{n}$．

光在光导纤维中传播的路程为$d=\dfrac{L}{\sin C}=nL$．

光在光导纤维中传播的速度为$v=\dfrac{c}{n}$．

所需最长时间为$t_{\max}=\dfrac{d}{v}=\dfrac{nL}{\dfrac{c}{n}}=\dfrac{n^2L}{c}$．



【例 9】

【解析】AB面上进入三棱镜的折射光线的折射角为θ，则$\sqrt{2}=\dfrac{\sin 45°}{\sin\theta}$，$\therefore\theta=30°$．若平行光射到$AB$面上的入射点偏向$A$端，则折射光线将射到$AC$面上．入射点偏向$B$端，则折射光线将射到$BC$面上．三棱镜材料的临界角为$C$ $\therefore\sin C=\dfrac{1}{n}=\dfrac{1}{\sqrt{2}}$，$\therefore C=45°$．由几何关系知，折射到$AC$面上的光线入射角为$60°>C$，所以发生全反射，没有光线透出，然后垂直射到$BC$面上，射出

三棱镜．如图所示．由几何关系知，折射到 BC 面上的光线入射角为 $60°>C$，所以发生全反射，然后垂直 AC 面射出，如图所示．

【例 10】

【解析】由于黄光的折射率 n 小于紫光的折射率 n，由全反射公式 $\sin C=\frac{1}{n}$，所以紫光的临界角 C 小，更易实现全反射。由图可知，一种光发生了全反射，一种光刚好发生全反射，则已发生全反射的一定是紫光，而黄光既有折射光线 OA，又有反射光线 OB，所以 OB 为复色光，所以答案选 C。

【答案】C

【例 11】

＜解析＞ 当线光源上某一点发出的光线射到未被遮光板遮住的液面上时，射到遮光板边缘 O 的那条光线的入射角最小．若线光源底端在 A 点时，望远镜内刚好可以看到此光源底端．设过 O 点液面的法线为 OO_1，则 $\angle AOO_1=\alpha$，其中 α 为此液体到空气的全反射临界角．

由折射规律有 $\sin\alpha=\frac{1}{n}$

同理，若线光源顶端在 B_1 点时，通过望远镜刚好可以看到此光源顶端，则 $\angle B_1OO_1=\alpha$．设此时线光源底端位于 B 点．由图中几何关系可得 $\sin\alpha=\frac{\overline{AB}}{\overline{AB_1}}$

解得 $n=\frac{\sqrt{\overline{AB}^2+\overline{BB_1}^2}}{\overline{AB}}$，又 $\overline{AB}=8.0\,\text{cm}$，$\overline{BB_1}=6.0\,\text{cm}$

得到 $n=1.25$．

＜答案＞ 1．2

【例 11】

该时刻 a 质点振动最弱，b、c 质点振动最强，这不难理解．但是 d 既不是波峰和波峰叠加，又不是波谷和波谷叠加，如何判定其振动强弱?由于 S_1、S_2 是两个相干波源且它们振动同步，所以某点到两波源的路程之差是波长的整数倍时，该点振动最强，从图中可以看出，d 是 S_1、S_2 连线的中垂线上的一点，到 S_1、S_2 的距离相等，所以必然为振动最强点．描述振动强弱的物理量是振幅，而振幅不是位移．每个质点在振动过程中的位移是在不断改变的，但振幅是保持不变的，所以振动最强的点无论处于波峰还是波谷，振动始终是最强的．故②③正确，选 C.

【答案】C

【例 12】

（1）该图表示的是多普勒效应．选项 D 正确．

（2）从波长变化情况来看，波源正在移向 A 点，所以 A 正确．

（3）由于波源远离 B 点，所以，观察到波的频率最低的点是 B 点．B 正确．

【答案】（1）D　（2）A　（3）B

第 25 讲
物理光学

例题精讲

【例 1】

【解析】由 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$，式中 L 为缝到屏的距离，d 为两缝间的距离，又因 $v=\lambda\cdot f$，$n=\frac{c}{v}$，$\Delta x=\frac{L}{d}\cdot\frac{c}{f\cdot n}$，在双缝干涉实验中，若 λ、L 不变，双缝间距 d 减小，条纹间距变大，故 A 项错．若 L、d 不变，λ 变小条纹间距变小，故 B 项错．在 L、d 不变，条纹间距随入射光频率而变，故 C 项正确．在 $\Delta x=\frac{L\cdot c}{d\cdot f\cdot n}$ 式中，若 L、d、f 不变，Δx 与 n 有关，故 D 项正确．

【答案】CD

【例 2】

【解析】缺陷处干涉条纹向气隙较薄处弯曲，表明该处气隙偏厚，即被检平面有凹下．

【答案】B

【例 3】

【解析】偏振片的作用是只允许一个振动方向的光通过，如果两个偏振片的透振方向互相垂直，则没有光能同时通过两块偏振片，所以选项 A、C 正确，选项 B 错误，灯泡钨丝发光时，不同时刻、不同地点发出的光的振动方向不一定相同，所以转动灯泡是不起作用的．选项 D 错误．

【答案】AC

【例 4】

【答案】D

【例 5】

【解析】紫光频率大于锌板极限频率，用紫光照射锌板时能发生光电效应，放出光电子，锌板带正电荷，与锌板相连的验电器也带正电荷，验电器因带正电荷使指针发生偏转，故 A、D 正确，C 错误．用红色光照射锌板，不发生光电效应，故 B 错误．

【答案】AD

【例 6】

【解析】某种金属在光的照射下发生光电效应，它放出光电子的最大初动能，只与这种金属的逸出功和入射光子的频率有关．当金属确定后，便只与入射光子的频率有关，光子能量 $E=h\nu$，ν 越大，光子的能量越大．由 $\frac{1}{2}mv^2=h\nu-W_0$ 知，光电子的最大初动能随入射光的频率增大而增大，与照射光的照射时间无关．

【答案】BD

【例 7】

【解析】量变达到一定程度会发生质的变化，同学们不要用宏观的知识来认识光子，光子和别的物体作用时是一份一份的．一定要注意到这一点．它具有波粒二象性．

【答案】C

第 26 讲
原子与原子核

例题精讲

【例 1】

【解析】卢瑟福α粒子散射实验结果是绝大多数α粒子穿过金箔后仍沿原来的方向前进，故选项 A 错误．α粒子被散射时只有少数发生了较大偏转，并且有极少数α粒子偏转角超过了 90°，有的甚至被弹回，偏转角几乎达到180°．故选项 B 正确．根据α粒子散射实验结果可知选项 C、D 错误．

【答案】B

【例 2】

【解析】处于基态的原子要发光，必须先吸收一定的能量E，如果是用照射来提供这个能量，则$E=h\nu$，使之处于激发态，由于激发态能量高，原子不稳就会向低能级跃迁，从而发出一系列频率的光子，但这些光子的频率决不会大于ν，且必有一种频率等于ν，由题意知，该氢原子受激后只能发出频率为ν_1、ν_2、ν_3的三种光，且$\nu_1<\nu_2<\nu_3$，即最高频率是ν_3，那么照射光频率必是ν_3，光子能量是$h\nu_3$．

【答案】C

【例 3】

【解析】（1）B

（2）根据玻尔的原子能级理论，原子在不同能级的能量大小为$E_n=\frac{E_1}{n^2}$，所以$E_2=\frac{E_1}{4}$，又根据玻尔的跃迁理论，当原子从高能级向低能级跃迁时，会释放能量，即$E_2-E_1=h\nu$，而$\nu=\frac{c}{\lambda}$，所以有$h\frac{c}{\lambda}=E_2-E_1=-\frac{3}{4}E_1$，$\lambda=\frac{4\times6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{3\times13.6\times1.6\times10^{-19}}=1.2\times10^{-7}\ \mathrm{m}$

【例 4】

＜解析＞　这群氢原子能发出光子的频率数为$\frac{n(n-1)}{2}=3$．氢原子从$n=3$跃迁到$n=1$时产生的光子能量最大$\Delta E=E_3-E_1=12.09\mathrm{eV}$，此光子的频率最高，波长最短，用它照射金属钠，产生的光电子的初动能最大值为$E_k=\Delta E-W=12.09\mathrm{eV}-2.49\mathrm{eV}=9.60\mathrm{eV}$．

＜答案＞　D

【例 5】

【解析】α射线是不稳定原子核放出的两个中子和两个质子组成的粒子流，它的电离本领最大，穿透能力最弱，A 错．β射线是原子核内一个中子转化为一个质子时放出的高速电子流，其穿透

能力和电离能力都居中，B 错．γ 射线是处于激发态的原子核向低能级跃迁时放出的光子，常伴随 α 或 β 衰变产生，γ 射线的穿透力最强，C 对，D 错．

【答案】C

【例 6】

【解析】衰变过程遵守质量数守恒和电荷数守恒，因 $^{90}_{36}\mathrm{Kr}$ 衰变成 $^{90}_{40}\mathrm{Zr}$ 过程中，质量数没有改变，因此没有发生 α 衰变；发生一次 β 衰变，质量数不变，电荷数增加一，所以共进行了 4 次 β 衰变，正确选项为 B.

【答案】B

【例 7】

【解析】（1）此核的反应中的质量亏损和放出的能量分别为

$$\Delta m=(2\times 2.0136-3.0156-1.0073)\mathrm{u}=0.0043\mathrm{u}$$

$$\Delta E=\Delta mc^2=0.0043\times 931.5\mathrm{MeV}=4.005\mathrm{MeV}$$

（2）因碰前两氘核动能相同，相向正碰，故碰前的总动量为零，因核反应中的动量守恒，故碰后质子和氚核的总动量也为零，设其动量分别为 p_1，p_2，必有 $p_1=-p_2$，设碰后质子和氚核的动能分别为 E_{k1} 和 E_{k2}，质量分别为 m_1 和 m_2，

则 $\dfrac{E_{k1}}{E_{k2}}=\dfrac{m_1v_1^2}{m_2v_2^2}=\dfrac{p_1^2/m_1}{p_2^2/m_2}=\dfrac{m_2}{m_1}=\dfrac{3}{1}$，

故新生的氢核的动能为 $E_{k1}=\dfrac{3}{4}(\Delta E+E_{k0})=\dfrac{3}{4}(4.005+2)\mathrm{MeV}=4.5\mathrm{MeV}$

【例 8】

【答案】B

【例 9】

【答案】由聚交、裂变、衰变的定义可知 D 项错误．

【例 10】

＜解析＞ 写出核反应方程 $^{222}_{86}\mathrm{R}\rightarrow{}^{218}_{84}\mathrm{Po}+{}^{4}_{2}\mathrm{He}$，可知，放出的粒子是 α 粒子，因此可排除 C、D 选项，根据半衰期公式 $m=m_0\left(\dfrac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ 可以计算得到 1 g 氡经过两个半衰期还剩 0.25g 没有发生衰变，所以发生衰变的是 0.75g，故 B 选项正确．

【例 11】

＜解析＞ （1）$^{222}_{86}\mathrm{Rn}\rightarrow{}^{218}_{84}\mathrm{Po}+{}^{4}_{2}\mathrm{He}$

（2）设钋核的反冲速度大小为 v，由动量守恒定律，得 $0=mv_0-Mv$，则 $v=\dfrac{mv_0}{M}$

（3）衰变过程中产生的机械能 $\Delta E=\dfrac{1}{2}mv_0^2+\dfrac{1}{2}Mv^2=\dfrac{(M+m)mv_0^2}{2M}$

由爱因斯坦质能方程 $\Delta E=\Delta mc^2$ 得

产生这些机械能需要亏损的质量 $\Delta m=\dfrac{\Delta E}{c^2}=\dfrac{(M+m)mv_0^2}{2Mc^2}$

＜答案＞ （1）$^{222}_{86}\mathrm{Rn}\rightarrow{}^{218}_{84}\mathrm{Po}+{}^{4}_{2}\mathrm{He}$ （2）$\dfrac{mv_0}{M}$ （3）$\dfrac{(M+m)mv_0^2}{2M_c^2}$

第 27 讲
力学复习（1）

【例 1】

＜解析＞ 解法一：逆向思维法

物体向上匀减速冲上斜面，相当于向下匀加速滑下斜面.

故 $x_{BC}=at_{BC}^2/2$， $x_{AC}=a(t+t_{BC})^2/2$，又 $x_{BC}=x_{AC}/4$ 解得：$t_{BC}=t$

解法二：比例法

对于初速度为零的匀变速直线运动，在连续相等的时间内通过的位移之比为 $x_1:x_2:x_3:\cdots x_n=1:3:5:\cdots:(2n-1)$，现在 $x_{BC}:x_{BA}=1:3$.

通过 x_{AB} 的时间为 t，故通过 x_{BC} 的时间 $t_{BC}=t$.

解法三：中间时刻速度法

利用教材中的推论：中间时刻的瞬时速度等于这段位移的平均速度.

$\bar{v}_{AC}=(v_t+v_0)/2=(v_0+0)/2=v_0/2$

又 $v_0^2=2ax_{AC}$ .....①

$v_B^2=2ax_{BC}$ .....②

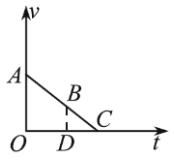
$x_{BC}=x_{AC}/4$ .....③

解①②③得：$v_B=v_0/2$.

可以看出 v_B 正好等于 AC 段的平均速度，因此 B 点是中间时刻的位置即 $t_{BC}=t$.

解法四：面积法

利用相似三角形面积之比，等于对应边平方比的对应边平方比的方法，作出 $v-t$ 图象，如图所示.



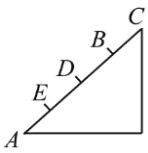
$S_{AOC}/S_{\triangle BDC}=CO^2/CD^2$

且 $S_{\triangle AOC}=4S_{\triangle BDC}$， $OD=t$， $OC=t+t_{BC}$.

所以 $4/1=(t+t_{BC})^2/t_{BC}^2$，得 $t_{BC}=t$.

解法五：性质法

对于初速度为 0 的匀加速直线运动，通过连续相等的各段位移所用的时间之比：$t_1:t_2:t_3:\cdots:t_n=1:(\sqrt{2}-1):(\sqrt{3}-\sqrt{2}):(\sqrt{4}-\sqrt{3}):\cdots:(\sqrt{n}-\sqrt{n-1})$. 现将整个斜面分成相等的四段，如图所示：设通过 BC 段的时间为 t_x，那么通过 BD、DE、EA 的时间分别为：$t_{BD}=(\sqrt{2}-1)t_x$， $t_{DE}=(\sqrt{3}-\sqrt{2})t_x$，$t_{EA}=(\sqrt{4}-\sqrt{3})t_x$. $t_{BD}+t_{DE}+t_{EA}=t$，



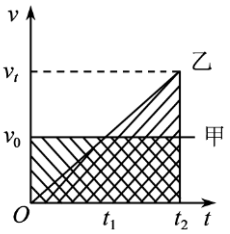
又 $t_{BD}+t_{DE}+t_{EA}=(\sqrt{2}-1)t_x+(\sqrt{3}-\sqrt{2})t_x+(\sqrt{4}-\sqrt{3})t_x$，得 $t_x=t$.

＜答案＞ $t_{BC}=t$

【例 2】

＜解析＞ 如图所示为两辆汽车所做的速度——时间图象，由图象可知，当乙车追上甲车时，即为甲、乙两车的速度——时间图线与时间轴所围成的面积（阴影部分）相等. 可以看出，当乙车追上甲车时，$v_t=2v_0$，$t_2=2t_1$. 由于乙车加速度 a 未知，故 t_2 和 t_1 均不可求，位

移 x 也不可求．故答案选 **A**．



＜答案＞ **A**

【例 3】

＜解析＞ 解法一：把竖直上抛运动过程分段研究．设重物离开气球后，经过 t_1 时间上升到最高点，则 $t_1=\dfrac{v_0}{g}=\dfrac{10}{10}\text{s}=1\text{s}$，

上升的最大高度 $h_1=\dfrac{v_0^2}{2g}=\dfrac{10^2}{2\times10}\text{m}=5\text{m}$，

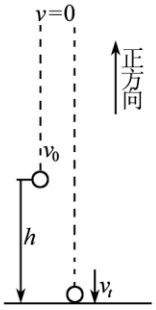
故重物离地面的最大高度为 $H=h_1+h=5\text{m}+175\text{m}=180\text{m}$．

重物从最高处自由下落，落地时间和落地速度分别为 $t_2=\sqrt{\dfrac{2H}{g}}=\sqrt{\dfrac{2\times180}{10}}\text{s}=6\text{s}$，

$v_t=gt_2=10\times6\text{m/s}=60\text{m/s}$．

所以重物从气球上掉落至落地共历时 $t=t_1+t_2=7\text{s}$．

解法二：取全过程作一整体研究，从物体自气球上掉落计时，经时间 t 落地，规定初速度方向为正方向，画出运动草图如图所示，则物体在时间 t 内的位移 $h=-175\text{m}$．由位移公式 $h=v_0t-\dfrac{1}{2}gt^2$ 有 $-175=10t-\dfrac{1}{2}\times10t^2$，解得 $t=7\text{s}$ 和 $t=-5\text{s}$（舍去），所以重物落地速度 $v_t=v_0-gt=10\text{m/s}-10\times7\text{m/s}=-60\text{m/s}$，其中负号表示方向向下，与初速度方向相反．



＜答案＞ 7s　60 m/s

【例 4】

＜答案＞ 甲：沿斜面向上；乙：无静摩擦力；丙：水平向左；丁：水平指向转轴

【例 5】

＜解析＞ 设斜面的倾角为 α，对 A、B 整体进行受力分析，可求得 A、B 沿斜面上滑的加速度 $a=g\sin\alpha$，B 的加速度也是 $a=g\sin\alpha$．再对 B 受力分析，B 受到重力 G、A 对它的支持力 N 和摩擦力 F_f，将这三个力沿斜面方向分解可得 $F_f+mg\sin\alpha=ma$，而 $a=g\sin\alpha$，根据以上两式可知 $F_f=0$，即 A、B 间没有摩擦力．

＜答案＞ **C**

【例 6】

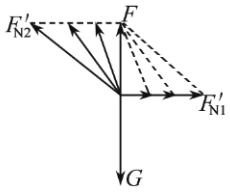
＜解析＞ 如图所示，先画一条有向线段 AB 表示力 F，过 F 的始端 A 画一条与 AB 成 $30°$ 角的射线（是力 F_1 的作用线，表示出力 F_1 的方向已知），过 F 的末端 B 作 F_1 所在射线的垂线交于 C．则由 $\text{Rt}\Delta ABC$ 可知，CB 的大小为 $\dfrac{F}{2}$，在 CB 两边对称地作两线段 DB 和 EB，使其大小均为 $\dfrac{\sqrt{3}}{3}F$（因为 $\dfrac{\sqrt{3}}{3}F>\dfrac{F}{2}$，所以这两条线都可以画出来）．在 $\text{Rt}\Delta EBC$ 中，因

$CB=\dfrac{F}{2}$，$EB=\dfrac{\sqrt{3}}{3}F$，$\angle CBE=\angle ABE=\theta=30°$，故$\Delta ABD$为直角三角形，利用直角三角形可知$E$为直角三角形$\Delta ADB$的斜边$AD$的中点，$AE=\dfrac{\sqrt{3}}{3}F$，$AD=\dfrac{2\sqrt{3}}{3}F$，则$F_1$的大小可能是$\dfrac{\sqrt{3}}{3}F$，也可能是$\dfrac{2\sqrt{3}}{3}F$.

＜答案＞ **AC**

【例 7】

＜解析＞ 此为一动态平衡问题，受力情况虽有变化，但球始终处于平衡状态．对球受力分析如图所示，受重力G、墙对球的支持力F'_{N1}和板对球的支持力F'_{N2}而平衡．作出F'_{N1}和F'_{N2}的合力F，它与G等大反向．当板BC逐渐放至水平的过程中，F'_{N1}的方向不变，大小逐渐减小，F'_{N2}的方向发生变化，大小也逐渐减小．如图所示，由牛顿第三定律可知：$F_{N1}=F'_{N1}$，$F_{N2}=F'_{N2}$，故答案 **B** 正确．



＜答案＞ **B**

【例 8】

＜解析＞ 拔去M瞬间，若小球的加速度方向向上，只受重力和下面弹簧的弹力F_1，且弹力一定向上，即处于压缩状态，有$F_1-mg=ma$，即$F_1=m(a+g)$

平衡时，上面弹簧的弹力为F_1'，则有

$F_1'=F_1-mg=ma$，方向向下，由此可知上面弹簧处于压缩状态．

若不拔去M而拔去N，小球受重力和上面弹簧向下的弹力F'，根据牛顿第二定律$F_1'+mg=ma_1'$，得$a_1'=\dfrac{F_1'+mg}{m}=a+g=22\,\mathrm{m/s^2}$，方向竖直向下．

拔去M瞬间，若小球加速度向下，只受重力和下面弹簧弹力F_2，因$a>g$，所以F_2方向一定向下，即下面弹簧处于伸长状态．按上面分析方法可得

$a_2'=\dfrac{F_2'-mg}{m}=a-g=2\,\mathrm{m/s^2}$方向竖直向上．

＜答案＞ **BC**

【例 9】

＜解析＞ 设系统的加速度为a，B对A的拉力为T，将A、C看成一个整体，有：$m_Bg-T=m_Ba$，$T-\mu(m_A+m_C)g=(m_A+m_C)a$

带入数据解得：$a=\dfrac{15}{4}\,\mathrm{m/s^2}$

隔离C进行研究，设A、C之间的拉力为T'，所以有：

$T'-\mu m_Cg=m_Ca$

带入数据解得：$T'=\dfrac{25}{4}\,\mathrm{N}$

【例 10】

＜解析＞ 木箱对地面的压力决定于木箱的重力及立杆受到小球的作用力．木箱静止，小球加速下

滑，二者没有共同的加速度，用“整体法”列方程解题对大多数同学则难以理解，如把小球隔离出来，以球为研究对象，由牛顿第二定律列方程则易于理解.

以小球 m 为研究对象，受重力 mg 及摩擦力 F_f，由牛顿第二定律得 $mg-F_f=ma$，以木箱 M 为研究对象，受重力 Mg、地面支持力 F_N 及小球给予的摩擦力 F_f'，木箱处于平衡状态，则有 $F_N-F_f'-Mg=0$，由牛顿第三定律得 $F_f'=F_f$，

由上述三式可得 $F_N=\dfrac{2M+m}{2}g$，

由牛顿第三定律可知木箱对地面的压力大小为 $F_N'=F_N=\dfrac{2M+m}{2}g$.

【例 11】

＜答案＞ **A**

【例 12】

＜解析＞ 设小球落到 B 点时速度的偏转角为 α，运动时间为 t. 则 $\tan 37°=\dfrac{h}{s}=\dfrac{gt^2}{2v_0t}=\dfrac{5}{6}t$，又因为 $\tan 37°=\dfrac{3}{4}$，解得 $t=0.9\text{s}$. A、B 两点间的水平距离 $s=v_0t=6\times0.9\text{m}=5.4\text{m}$，所以 $l=\dfrac{5}{4}s=6.75\text{m}$

在 B 点时，$\tan\alpha=\dfrac{v_y}{v_0}=\dfrac{gt}{v_0}=\dfrac{10\times0.9}{6}=\dfrac{3}{2}$，所以 $\alpha=\arctan\dfrac{3}{2}$

【例 13】

＜解析＞ $\dfrac{y_1}{y_2}=\dfrac{3}{5}$，说明 AE 和 EB 分别是第二、第三个单位时间内的位移，因此在第一个单位时间内有 $y_0=\dfrac{1}{3}y_1=5\text{cm}$. 以 A 点为原点建立坐标系如图所示，抛出点的坐标为 $(-10,5)$，

$v_0=\dfrac{s}{\sqrt{\dfrac{2H}{g}}}=\dfrac{0.1}{\sqrt{\dfrac{2\times0.5}{10}}}\text{m/s}=1\text{m/s}$.

＜答案＞ $(-10,5)$；1m/s

【例 14】

＜答案＞ **BD**

【例 15】

＜解析＞ 杆已不能看作是一个整体，它是 OA 和 OB 两部分组成的，轴 O 所受的力应是 OA 和 OB 对 O 作用的合力.

（1）OA 恰不受力，重力提供向心力 $mg=\dfrac{mv^2}{l}$，$v=\sqrt{gl}$，B 球受二力. 重力 $2mg$ 和杆向上的拉力 F，$F-2mg=\dfrac{2mv^2}{l}$，$F=4mg$，根据牛顿第三定律，轴 O 受力大小为 $4mg$，方向向下.

（2）B 球在最高点，$2mg+F_1=\dfrac{2mv^2}{l}$，将 $v=\sqrt{gl}$ 代入得 $F_1=0$；A 球受二力；重力 mg 和杆向上的拉力 F_2，$F_2-mg=\dfrac{mv^2}{l}=mg$，所以 $F_2=2mg$；根据牛顿第三定律，O

轴受力大小为 $2mg$，方向向下.

（3）要使 O 轴不受力，由 $m_B > m_A$，所以 B 球必在上面，A 在下面．B 球受二力，重力 $2mg$ 和杆的向下拉力 $F_1^{'}\cdot F_1^{'}+2mg=\dfrac{2mv^2}{l}$，$F_1^{'}=\dfrac{2mv^2}{l}-2mg$．$A$ 球受二力，重力 mg 和杆的向上拉力 $F_2^{'}$，$F_2^{'}-mg=\dfrac{mv^2}{l}$，$F_2^{'}=mg+\dfrac{mv^2}{l}$，轴 O 不受力时，$F_1^{'}=F_2^{'}$，$\dfrac{2mv^2}{l}-2mg=mg+\dfrac{mv^2}{l}$，得 $v=\sqrt{3gl}$，即 A、B 的速度 $v=\sqrt{3gl}$ 时，O 轴恰不受力.

＜答案＞ （1）$4mg$ 方向向下

（2）$2mg$ 方向向下 （3）轴 O 不受力 $v_A=v_B=\sqrt{3gl}$

第 28 讲
力学复习（2）

【例 1】

＜解析＞　物体受到万有引力作用的合力为零，由于是均匀球体，那么可认为 m_1、m_2 分别集中于两球各自的球心，小球可视为质点，可以直接用万有引力定律．设质量为 m 的小球到质量为 m_2 的小球的距离为 x．以 m 为研究对象，受力平衡，有：$\frac{Gm_1m}{(L-x)^2}=\frac{Gm_2m}{x^2}$，解得：

$$x=\frac{\sqrt{m_2}}{\sqrt{m_1}+\sqrt{m_2}}L$$

【例 2】

＜解析＞　对卫星 a，有 $G\frac{m_A}{R_A^2}=\frac{4\pi^2}{T_a^2}R_A$ ……①

$G\frac{m_B}{R_B^2}=\frac{4\pi^2}{T_b^2}R_B$ ……②

解得 $T_a:T_b=1:4$，故答案选 A.

＜答案＞　A

【例 3】

【答案】重力加速度小显然月球上扔的远,排除 BD,不知道扔的角度,不妨假设是 45 度,不计空气阻力,竖直水平初速度都是 v,可知飞行时间 $t=2v/g$,水平飞行距离 $l=vt=2v^2/g$ 反比于 g　为了达到同样的距离,初速度之比．　不计阻力最远距离抛射角度 45 度,这个抛射角跟 g 无关.

【答案】A.

【例 4】

【答案】选项 C 正确,这道题涉及了卫星的轨道问题,卫星的轨道的圆心必须是地球球心,所以,不可以和任一条纬线共平面,除了赤道；另外也不可能是经线共平面,因为随地球自转,经线的平面是运动的,卫星的轨道不能随之运动．所以选项 A、B 错误.

【答案】CD

【例 5】

【答案】　$\frac{GmM}{R^2}=m\left(2\pi/T\right)^2R$ 可以求出的只有中心天体的质量,所以选择 C

【答案】C

【例 6】解析请见视频

【例 7】

＜解析＞　物体沿水平面运动摩擦力做功 $W_1=F_fl=\mu mal$，沿斜面运动摩擦力做功

$W_2=\mu mg\cos\alpha\cdot s_1+\mu mg\cos\beta\cdot s_2=\mu mg(s_1\cos\alpha+s_2\cos\beta)=\mu mgl$

$\therefore W_1 = W_2$

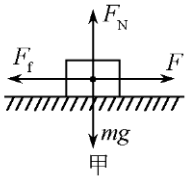
＜答案＞ A

【例 8】

＜答案＞ A

【例 9】

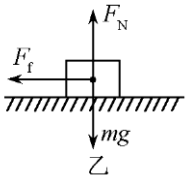
＜解析＞ 解法一：撤去水平 F 之前，物体沿水平面做匀加速直线运动，该过程中初速度及物体的受力情况已知，由动能定理知，只要知道末速度就可以求出该过程中位移，而撤去水平力 F 后物体做匀减速直线运动，其末速度为零，受力情况也已知，且该段过程的初速度刚好等于刚撤去水平力 F 时的速度．设物体在水平力 F 作用下的位移为 s，撤去水平力 F 时物体的速度为 v．撤去力 F 前，物体受力如图甲所示，由动能定理得



甲

$$(F-\mu mg)s_1=\frac{1}{2}mv^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots ①$$

撤去水平力 F 后直到物体停下来前物体受力如图乙所示，由动能定理得：$-\mu mg(s-s_1)=0-\frac{1}{2}mv^2$ ……②



乙

解①②方程组可得：$s_1=10\text{m}$，$v=2\sqrt{10}\text{m/s}$．

解法二：物体开始运动到最终停止全过程中，初末速度已知，且撤去水平力 F 前后，物体的受力情况已知，故可对从开始运动到停止全过程列出方程求解，设物体在水平力 F 作用下的运动位移为 s_1，对全过程由动能定理得：$F_{s_1}-f_s=0$，其中 $f=\mu mg$

解得：$s_1=\frac{\mu mgs}{F}=\frac{0.1\times10\times10\times30}{30}\text{m}=10\text{m}$．

【例 10】

＜解析＞ 物块由 O 处缓慢下降到 A 处，整个过程中，物块受三个力，即重力 mg、弹簧向上的弹力 $F_{弹}$ 和人手向上的拉力 F．其中 mg 是恒力，$F_{弹}$ 和 F 是变力．

设从 O 到 A 下降的距离为 h．在这过程中，重力做功 $W_G=mgh$；弹力做负功，设为 $W_{弹}$；拉力 F 做负功，大小为 W，初动能和末动能都是零，根据动能定理 $mgh-W_{弹}-W=0$，则

$$W_{弹}=mgh-W \quad \cdots\cdots\cdots\cdots ①$$

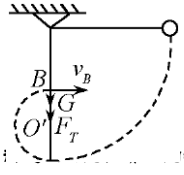
从离 O 为 H 高度释放物块，在平衡位置 A 有最大速度，在这过程中，重力做功 $W_G'=mg(H+h)$，弹力做负功，大小仍为 $W_{弹}$，初动能为零，末能动为 $\frac{1}{2}mv^2$，是在 A 点的速度，根据动能定理 $mg(H+h)-W_{弹}=\frac{1}{2}mv^2$ ……②

①代入②得 $v=\sqrt{2gH+\frac{2W}{m}}$．

【例 11】

＜解析＞ 小球运动过程中既满足功能关系，又要满足圆周运动规律，球到最高点时临界条件为重力充当向心力．

由题意确定 O' 的位置，即确定小球绕 O' 做圆周运动的轨道半径 r，$OO'=L-r$，设小球绕 O' 做圆周运动经过最高点 B 时的速度大小为



v_B，则小球从 A 到 B 只有重力做 $mg(L-2r)$.

小球在经过 B 点时维持圆周运动所满足的条件是 $mg=m\frac{v_B^2}{r}$

以小球为研究对象，小球从 A 到 B 由动能定理得 $mg(L-2r)=\frac{1}{2}mv_B^2$

解得 $r=\frac{2}{5}L$，所以 O' 的位置在 O 下方 $L-r=\frac{3}{5}L$ 处.

【例 12】

＜解析＞ （1）即将着地时，B 在斜面上上滑高度为 $h\sin\alpha$，设此时 A、B 共同速度为 v，则由 A、B 系

统机械能守恒得：$m_Agh=\frac{1}{2}(m_A+m_B)v^2+m_Bgh\sin\alpha$，因为 $m_A=m_B$

所以 $v=\sqrt{gh(1-\sin\alpha)}=5\text{m/s}$，$E_{kA}=\frac{1}{2}m_Av^2=\frac{1}{2}\times10\times25\text{J}=125\text{J}$

$E_p=m_Bgh\sin\alpha=250\text{J}$

（2）设 B 上升高度为 h'，则有：$m_Bgh\sin\alpha+\frac{1}{2}m_Bv^2=m_Bgh'$，$h'=\frac{gh\sin\alpha+\frac{1}{2}v^2}{g}=3.75\text{m}$

$E_{pB}=m_Bgh'=375\text{J}$，$B$ 离底端最远距离 $L=\frac{h'}{\sin\alpha}=7.5\text{m}$.

＜答案＞ （1）125J，250J；（2）375J，7.5m

【例 13】

＜答案＞ ABC

【例 14】

＜解析＞ A、B 两木块离开桌面后都做平抛运动，由平抛知识水平速度 $v_B=2v_A$，且 $t_A=t_B$. 在弹簧弹开的过程中，A、B 的动量守恒，$m_Av_A=m_Bv_B$，所以 $m_A=2m_B$，又弹力 $F_A=F_B$，故 $a_A:a_B=m_B:m_A=1:2$，$I_A:I_B=F_At_A:F_Bt_B=1:1$，$I_A':I_B'=m_Agt_A:m_Bgt_B=2:1$.

＜答案＞ BD

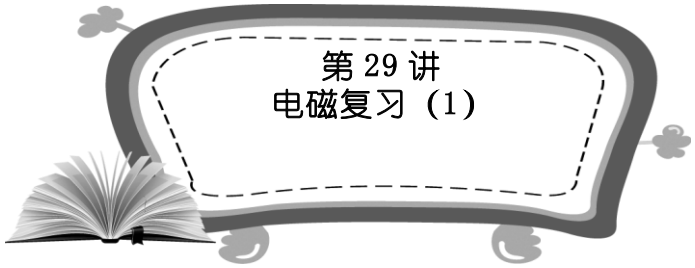
【例 15】

＜解析＞ 根据碰后两车连接在一起，且向南滑行的情况，说明系统的总动量方向向南（无论碰前还是碰后）. 因此碰前的客车动量（方向向南）应该大于卡车的动量（方向向北），即 $m_{客}\cdot v_{客}>m_{卡}\cdot v_{卡}$，代入数据 $1500\text{kg}\cdot20\text{m/s}>3000\text{kg}\cdot v_{卡}$，解得 $v_{卡}<10\text{m/s}$.

＜答案＞ A

【例 16】

＜解析＞ 由于船在水中匀速行驶，所以人船组成的系统动量守恒，设小孩跃出后的速度为 v_1，规定初速度的方向为正方向，则 $(M+2m)v_0=Mv_1+mv-mv$，解得 $v_1=\frac{M+2m}{M}v_0$



第 29 讲
电磁复习（1）

静电场：

一、电荷 库仑定律

＜答案＞①得失电子 ②$1.60\times10^{-19}$C ③$\frac{kQ_1Q_2}{r^2}$ ④电荷的总量 ⑤它们的连线

二、电场 电场强度 电场线

＜答案＞ ①力 ②放入电场中的试探电荷 ③$E=\frac{kQ}{r^2}$ ④正电荷 ⑤疏密
⑥切线 ⑦正电荷 ⑧负电荷 ⑨匀强电场

三、电势差 电势

＜答案＞①减少 ②能 ③降低 ④低 ⑤低 ⑥始、末位置

四、电势差与电场强度的关系

＜答案＞①垂直 ②沿电场线方向的距离 ③V/m ④电场强度

五、静电平衡

＜答案＞①电荷定向移动 ②垂直 ③外表面 ④等势面

恒定电流：

一、欧姆定律

＜答案＞①导体两端存在电势差 ②正电荷定向移动的方向 ③$I=\frac{U}{R}$ ④兆欧（MΩ） ⑤直线

二、电阻定律 电阻率

＜答案＞①$\rho\frac{L}{S}$ ②增大 ③标准电阻 ④减小 ⑤超导现象

三、电功和电功率

＜答案＞ ①电功 ②其他形式 ③电功 ④I^2Rt ⑤正常工作

四、闭合电路欧姆定律

＜答案＞①负极经电源内部指向正极 ②内电阻 ③反比 ④增大 ⑤E ⑥$\frac{E}{r}$ ⑦内电阻

五、电压表和电流表

＜答案＞ ①小量程电流表G ②分压 ③分流

六、电阻的测量

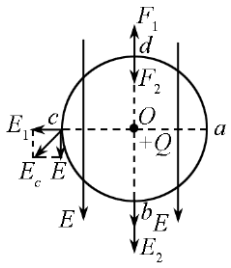
＜答案＞①$\frac{U}{I}$　②大　③小　④大　⑤大　⑥闭合电路欧姆定律



1.

＜解析＞由题意可知，试探电荷处在匀强电场和点电荷$+Q$产生的电场所组成的叠加场中．因此要求试探电荷在电场中某点所受的电场力，首先应确定该点的合场强，要确定合场强，就需要求匀强电场的场强．而题目已经告诉当试探电荷处在d点时恰好平衡，这恰恰是两电场共同作用的结果，据此则问题可解．

（1）由题意可知$F_1=k\frac{Qq}{r^2}$　①，　$F_2=qE$　②，因为$F_1=F_2$，所以$qE=k\frac{Qq}{r^2}$，　$E=k\frac{Q}{r^2}$，场强方向沿db方向．



（2）试探电荷放在c点$E_c=\sqrt{E_1^2+E^2}=\sqrt{2}E=\sqrt{2}k\frac{Q}{r^2}$，

所以$F_c=qE_c=\sqrt{2}k\frac{Qq}{r^2}$，方向与$ac$方向成$45°$角(如图所示)．

（3）试探电荷放在b点$E_b=E_2+E=2E=2k\frac{Q}{r^2}$，

所以$F_b=qE_b=2k\frac{Qq}{r^2}$，方向沿$bd$方向．

2.

＜解析＞一个下夸克在圆心O处产生的电场强度$E_1=k\frac{\frac{1}{3}e}{r^2}=k\frac{e}{3r^2}$，　B、C两个下夸克在圆心O处场强的叠加如图所示，合场强$E_{BC}=E_1$，方向沿AO．

而上夸克在圆心O处的电场强度$E_2=k\frac{\frac{2}{3}e}{r^2}=k\frac{2e}{3r^2}$，方向沿$AO$．故3个夸克在圆心处产生的电场强度$E_O=E_1+E_2=k\frac{e}{r^2}$．

＜答案＞ **A**

3.

＜解析＞导体处于静电平衡状态时，导体内部合场强为零，这是点电荷q所形成的电场与棒两端出现的感应电荷所形成的附加电场在棒中叠加的结果，即$E_{合}=E_1+E_2=0$．

因此可通过计算点电荷$+q$产生的电场E_1，来确定感应电荷的电场E_2的大小和方向．

点电荷$+q$在棒中点处产生的场强为$E_1=k\frac{q}{\left(R+\frac{L}{2}\right)^2}$，方向向右．

由该点合场强为零可知，感应电荷在该点产生的场强大小$E_2=E_1=k\frac{q}{\left(R+\frac{L}{2}\right)^2}$，方向向左．



＜答案＞ $k\dfrac{q}{\left(R+\dfrac{L}{2}\right)^2}$　　向左

\

4.

＜解析＞由图可知，该电场线为直线，在我们常接触的电场中，匀强电场的电场线是直线，但点电荷的电场线也是直线，故也可能是正电荷放在左端或负电荷放在右端时产生电场的电场线，另外也可能是正、负电荷之间的一条电场线，故 **A** 错．电势的高低可根据电场线由高电势指向低电势来判断，则 $\varphi_A>\varphi_B$，故 **B** 错．由于 $\varphi_A>\varphi_B$，故正电荷在 A 点的电势能大，而负电荷在 B 点的电势能大，因此 **C** 正确．也可假设负电荷由 A 移到 B，则该过程中电场力向左，与运动方向相反，故电场力做负功，电势能增加．负电荷在电场中所受电场力的方向与该点场强的方向相反，故 **D** 错．

＜答案＞ **C**

5.

＜答案＞**C**

6.

＜解析＞方法一：利用电场线方向来判断，由于电势能增加，电场力一定做负功，即电场力方向和电荷运动方向相反，从 b 指向 a，而负电荷受电场力的方向和场强方向相反，场强方向应是由 a 指向 b，因此电场线的方向是从 a 指向 b．顺着电场线的方向电势越来越低，a 点电势比 b 点电势高．

方法二：利用电场力做功公式来判断，由于电势能增加，电场力一定做负功，即 W_{ab} 为负值，而 q 是负电荷，即 q 为负值．由 $W_{ab}=q(\varphi_a-\varphi_b)$ 得 $\varphi_a>\varphi_b$

方法三：利用电势能判断，正电荷 q 为正值，在电势越高的地方电势能就越大，而对负电荷，q 为负值，在电势越高的地方电势能越小，而本题已知条件是负电荷在 a 点电势能较小，故 a 点电势高．

7.

＜答案＞ **AD**

8.

＜解析＞　电场力大小为 qE，且做负功，所以物体克服电场力做功 qEs，物体的电势能增加了 qEs；由于物体做匀减速直线运动，则合力做负功，$W_{合}=-mas=-0.8qEs$，物体动能减少了 $0.8qEs$．

＜答案＞　**ACD**

9.

＜解析＞

解法一：(用 $W=-\Delta E$ 计算)，电荷在 A、B 两点的电势能分别为

$E_A=q\varphi_A=(-2.0\times10^{-7})\times(-100)\text{J}=2.0\times10^{-5}\text{J},$

$E_B=q\varphi_B=(-2.0\times10^{-7})\times200\text{J}=-4.0\times10^{-5}\text{J}.$

根据 $W=-\Delta E$，电荷从 A 移动到 B 过程中电场力所做的功为

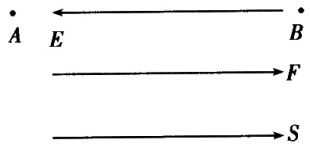
$W=-(E_B-E_A)=6.0\times10^{-5}\text{J}.$

因为 $W>0$，所以是电场力做正功．

解法二：(用$W_{AB}=qU_{AB}$计算)①带正、负号运算．电荷从A移动到B的过程中，电场力做的功为

$$W_{AB}=qU_{AB}=(-2.0\times10^{-7})\times[(-100)-200]\text{J}=6.0\times10^{-5}\text{J}.$$

由于计算得出的W为正值，所以是电场力做正功．②用绝对值运算．根据A点电势低于B点电势，可知始、终两点间的电场线的方向是由B至A，可画出表示电场线方向的矢量线E，根据负电荷所受的电场力方向与电场线方向相反，再画出表示电场力方向的矢量线F；最后画出表示电荷移动方向($A\to B$)的矢量线s，如图所示，因为F与s的方向相同，故电场力做正功．其大小为



$$W=|q|\cdot|U_{AB}|=|-2.0\times10^{-7}|\times|(-100)-200|\text{J}=6.0\times10^{-5}\text{J}.$$

＜答案＞　电场力做功6.0×10^{-5}J

10．

＜答案＞　**ABD**

11．

＜解析＞　只有电场力做功，由动能定理，得$qU_{ab}=\dfrac{1}{2}m(v_b^2-v_a^2)$

$$U_{ab}=\frac{1}{2q}m(v_b^2-v_a^2)=\frac{4\times10^{-15}}{2\times2\times10^{-9}}\left[(5\times10^4)^2-(4\times10^4)^2\right]=9\times10^2\text{V}$$

如图所示在b点．

$$v_y=\sqrt{v_b^2-v_x^2}\ \text{(勾股定理)}=\sqrt{(5\times10^4)^2-(4\times10^4)^2}\text{m/s}=3\times10^4\text{m/s}$$

12．

＜解析＞（1）极板间场强$E=\dfrac{U}{d}$①

（2）α粒子电荷为$2e$，质量为$4m$，所受电场力

$$F=2eE=\frac{2eU}{d}\ ②$$

α粒子在极板间运动的加速度$a=\dfrac{F}{4m}=\dfrac{eU}{2md}$③

（3）由$d=\dfrac{1}{2}at^2$，得$t=\sqrt{\dfrac{2d}{a}}=2d\sqrt{\dfrac{m}{eU}}$④

$$v_0=\frac{R}{t}=\frac{R}{2d}\sqrt{\frac{eU}{m}}\ ⑤$$

＜答案＞（1）$E=\dfrac{U}{d}$　　（2）$a=\dfrac{eU}{2md}$　　（3）$v_0=\dfrac{R}{2d}\sqrt{\dfrac{eU}{m}}$

13．

＜解析＞串联电池$E_{总}=2E$，$r_{总}=2r$，由闭合电路欧姆定律$I=\dfrac{E}{R+r}$知，$I_1=\dfrac{E}{R+r}$，$I_2=\dfrac{2E}{R+2r}$，

$\dfrac{I_1}{I_2}=\dfrac{(R+2r)}{R+r}\cdot\dfrac{E}{2E}$，而$\dfrac{I_1}{I_2}=\dfrac{3}{4}$，解得$R=r$，即$R:r=1:1$，**C**正确．

＜答案＞**C**

14．

＜解析＞设ρ表示AB、CD单位长度电阻丝的电阻，当EF处于图中位置时，设EB、FD两段电阻丝的长度皆为L．由于电压表是理想电压表，故电压表的读数就是EF两端的电压，由串联电路

分压关系，得$\frac{RE}{r+R+2\rho L}=U_1$，当$EF$由图中位置向左移动一段距离$\Delta L$后，$EB$、$FD$两段电阻丝的总电阻为$2\rho(L+\Delta L)$，由串联电路分压关系，得$\frac{RE}{r+R+2\rho(L+\Delta L)}=U_2$．当$EF$由图中位置向右移动一段距离$\Delta L$后，$EB$、$FD$两段电阻丝的总电阻为$2\rho(L-\Delta L)$，由分压关系，得$\frac{RE}{r+R+2\rho(L-\Delta L)}=U_3$．以上三式代人数值，得$U_3=6\text{V}$．

15.

＜解析＞“开路电压”就是外电路断开时的路端电压，所以电源电动势$E=800\text{mV}$．外电路短路时，外电阻$R=0$，路端电压$U=0$，$I=\frac{E}{r}$（短路电流），得$r=\frac{E}{I}=\frac{800\text{mV}}{40\text{mA}}=20\Omega$

当接20Ω电阻时，$U=\frac{E}{r+R}\cdot R=400\text{mV}=0.40\text{V}$．

＜答案＞ **D**

16.

＜解析＞由直线B知$R=1\Omega$，由直线A知$E=3\text{V}$，$r=\frac{3}{6}\Omega=0.5\Omega$．当两者组成电路后，电流

$I=\frac{E}{R+r}=\frac{3}{1+0.5}\text{A}=2\text{A}$，

故$P_{出}=I^2R=4\text{W}$，或$P_R=P_{出}=UI=2\times2\text{W}=4\text{W}$．$\eta=\frac{P_{出}}{P_{总}}=\frac{R}{R+r}=67\%$

＜答案＞4　67

17.

＜解析＞根据$EI=9\text{W}$，$I=3\text{A}$，得$E=3\text{V}$

$I^2r=9\text{W}$，$I=3\text{A}$，得$r=1\Omega$．

当$I=1\text{A}$时，$EI=3\times1\text{W}=3\text{W}$．

$I^2r=1\text{W}$．AB段表示的功率值：$EI-I^2r=3\text{W}-1\text{W}=2\text{W}$．故**C**选项正确．

＜答案＞**C**

18.

＜解析＞由图象可知，$E_1=E_2$，$r_1>r_2$．当$U_1=U_2$时，$I_1<I_2$，由$P_{总}=EI$可知，$P_1<P_2$，**A**错；当$U_1=U_2$时，则$I_1<I_2$，则$R_1>R_2$，**B**错；当$I_1=I_2$时，$U_1<U_2$，由$P=UI$知，电源输出功率$P_{出1}<P_{出2}$，**C**正确；当$I_1=I_2$时，由$P=I^2r$知，$P_{内1}>P_{内2}$，**D**错．

＜答案＞**C**

19.

＜解析＞由电功率的公式$P_{出}=I^2R=\left(\frac{E}{R+r}\right)^2R$可知，当$E$、$R$一定时，外电路得到的功率随着$r$的增大而减小，欲使外电路得到的功率最大，必有$r=1\Omega$，故应选**A**．

＜答案＞**A**

20.

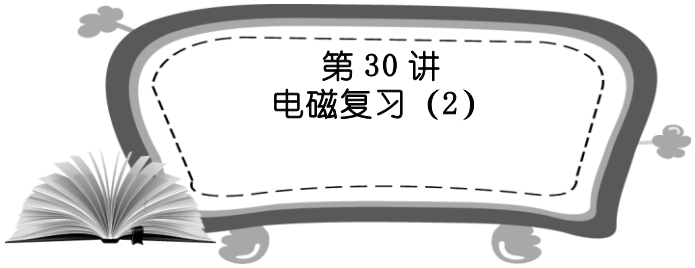
＜解析＞（1）由闭合电路欧姆定律 $E=U_1+\frac{U_1}{R_1}r$，$E=U_2+\frac{U_2}{R_2}r$

联立两式并代入数据解得 $E=6\text{V}$，$r=1\Omega$.

（2）由电功率表达式 $P=\frac{E^2}{\left(R+r\right)^2}R$

将上式变形为 $P=\frac{E^2}{\frac{\left(R-r\right)^2}{R}+4r}$

由上式可知 $R=r=1\Omega$ 时 P 有最大值 $P_{\text{m}}=\frac{E^2}{4r}=9\text{W}$.



第 30 讲
电磁复习（2）

磁场

一、磁场 磁感线

＜答案＞①吸引 ②排斥 ③磁场 ④右手螺旋定则

二、安培力 磁感应强度

＜答案＞① $F = BIL\sin\theta$ ② $B = \dfrac{F}{IL}$ ③该点的磁感应强度 ④分布均匀的同向直线

三、电流表的工作原理

＜答案＞①线圈 ②指针 ③强弱 ④方向

四、磁场对运动电荷的作用

＜答案＞①洛伦兹 ② $f = Bvq$ ③垂直 ④不做

电磁感应

一、法拉第电磁感应定律

＜答案＞①磁感应强度 ②穿过闭合回路的磁通量发生变化 ③磁通量的变化快慢 ④ $E = \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

⑤ $E = n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

二、楞次定律及其应用

＜答案＞①原磁通量的减少 ②阻碍 ③右手定则

三、自感现象

＜答案＞①自感②相反③形状 ④长短 ⑤越大⑥启动器⑦断开

针对练习

1.

＜解析＞通电矩形线框在长直导线形成的磁场中，受到磁场力的作用，对于 ad 和 bc 边，在磁场中位置相同，但电流方向相反，所以它们受的磁场力大小相同，方向相反，合力为零．而对于 ab 和 cd 边所处位置不同，ab 近且由左手定则知受力向左；cd 远且左手定则知受力向右，所以 ab、cd 边受合力方向向左，故 **B**、**C** 选项正确．

＜答案＞ **BC**

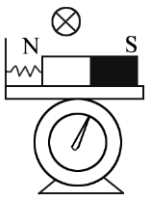
2.

＜解析＞（1）电流元法：把直线电流等效为 AO、OB 两段电流元，由左手定则可以判断出 AO 段受力

方向垂直纸面向外，OB 段受力方向垂直纸面向内，因此，从上向下看 AB 将以中心 O 为轴顺时针转动.

（2）特殊位置法：用导线转过 $90°$ 的特殊位置来分析，根据左手定则判得安培力的方向向下，故导线在顺时针转动的同时向下转动.

＜答案＞**A**



3.

＜解析＞通电后，磁铁对导线的作用力斜向右下方，由牛顿第三定律，导线对磁铁有斜向左上方的作用力，因此弹簧将压缩变形，$F_{N1}>F_{N2}$.

＜答案＞**B**

4.

＜解析＞直接研究通电导线对磁铁的作用力不方便，但是可以先研究磁铁对通电导线的作用力，根据牛顿第三定律，二力是等大反方向的，根据条形磁铁的磁感线分布特点，导线处的磁感线是垂直导线斜向右下方的，因此，根据左手定则，可以判断导线受的安培力斜向左下方，由牛顿第三定律可得出通电导线对条形磁铁的力斜向右上方，减小了磁铁对桌面的挤压并使磁铁相对桌面有向右滑动的趋势，故 **AC** 正确.

＜答案＞**AC**

5.

＜解析＞画出侧面受力如图乙所示，导体受重力 mg、支持力 F_N、和安培力 F，由牛顿第二定律：

$$mg\sin\theta - F\cos\theta = ma \text{ ①}$$

$$F = BIL \text{ ②}$$

$$I = \frac{E}{R+r} \text{ ③}$$

由①②③式可得

$$a = g\sin\theta - \frac{BLE\cos\theta}{m(R+r)}$$

＜答案＞ $g\sin\theta - \dfrac{BLE\cos\theta}{m(R+r)}$

6.

＜解析＞如图所示，为从 b 向 a 观察的侧视图，由题意，磁场有两个可能方向，即斜向右上方和右下方，由左手定则及平衡条件可判定 B 应斜向右下方. 当 B 取最小值时，安培力 F 最小，棒有下滑趋势，摩擦力向上，根据平衡条件可得：

$$G = F\sin 30° + F_f$$

$$F_N = F\cos 30°$$

$$F_f = \mu F_N$$

联立三式可得 $B_{min} = 2.95\text{T}$，当 B 取最大值时，安培力最大，棒有上滑趋势，摩擦力向下，和图中相反，同样根据平衡条件可以求出其值为 $B_{max} = 16.28\text{T}$.

＜答案＞ 斜向下， $2.95\text{T} \leqslant B \leqslant 16.28\text{T}$

7.

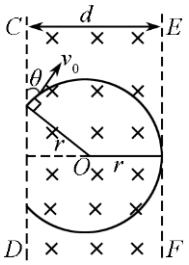
＜解析＞当入射速率 v_0 很小时，电子会在磁场中转动一段圆弧后又从 CD 一侧射出，速率越大，轨道半径越大．当轨道的边界与 EF 相切时，电子恰好不能从 EF 射出，如图所示．电子恰好射出时，由几何知识可得：

$r+r\cos\theta=d$ ①

又 $r=\dfrac{mv_0}{Be}$ ②

由①②得：$v_0=\dfrac{Bed}{m(1+\cos\theta)}$ ③

故电子要射出磁场时速率至少应为 $\dfrac{Bed}{m(1+\cos\theta)}$．



＜答案＞ $\dfrac{Bed}{m(1+\cos\theta)}$

8.

＜解析＞ 粒子初速 v 垂直于磁场，粒子在磁场中受洛伦兹方面做匀速圆周运动，设其半径为 R，由洛伦兹力公式和牛顿第二定律，有 $qBv=m\dfrac{v^2}{R}$，因粒子经 O 点时的速度垂直于 OP，故 OP 是直径，$l=2R$，由此得 $\dfrac{q}{m}=\dfrac{2v}{Bl}$。

9.

＜解析＞ 衰变方程为 ${}^{226}_{88}\mathrm{Ra}\rightarrow{}^{222}_{86}\mathrm{Rn}+{}^{4}_{2}\mathrm{H}$，放出 α 粒子．

垂直 MN 穿出磁场的 α 粒子在磁场中运动的径迹如题中所示，其轨迹半径 $R=OA=1.0\mathrm{m}$．

由 $qv_\alpha B=m\dfrac{{v_\alpha}^2}{R}$ 得 $v_a=\dfrac{qBR}{m}=\dfrac{3.2\times10^{-19}\times0.05\times1.0}{1.6\times10^{-27}\times4}\mathrm{m/s}=2.5\times10^{6}\mathrm{m/s}$

$E_{k\alpha}=\dfrac{1}{2}m_\alpha{v_\alpha}^2=\dfrac{1}{2}\times6.4\times10^{-27}\times\left(2.5\times10^{6}\right)^2\mathrm{J}=2.0\times10^{-14}\mathrm{J}$

衰变过程中动量守恒，即 $m_\alpha v_\alpha=m_{\mathrm{Rn}}v_{\mathrm{Rn}}$

所以 $\dfrac{v_{\mathrm{Rn}}}{v_\alpha}=\dfrac{m_a}{m_{\mathrm{Rn}}}$，$\dfrac{E_{k\mathrm{Rn}}}{E_{k\alpha}}=\dfrac{\frac{1}{2}m_{\mathrm{Rn}}{v_{\mathrm{Rn}}}^2}{\frac{1}{2}m_\alpha{v_\alpha}^2}=\dfrac{m_\alpha}{m_{\mathrm{Rn}}}$，得到 $E_{k\mathrm{Rn}}=\dfrac{m_\alpha}{m_{\mathrm{Rn}}}E_{k\alpha}$

由能的转化和守恒定律得，释放的核能为

$E=E_{k\alpha}+E_{k\mathrm{Rn}}=\left(1+\dfrac{m_\alpha}{m_{\mathrm{Rn}}}\right)E_{k\alpha}=\left(1+\dfrac{4}{226}\right)\times2.0\times10^{-14}\mathrm{J}=2.04\times10^{-14}\mathrm{J}$．

＜答案＞ ${}^{226}_{88}\mathrm{Ra}\rightarrow{}^{222}_{86}\mathrm{Rn}+{}^{4}_{2}\mathrm{H}$，$2.04\times10^{-14}$

10.

＜解析＞ （1）卢瑟福提出了原子的核式结构模型（或其他成就）．

玻尔把量子理论引入原子模型，并成功解释了氢光谱（或其他成就）.
查德威克发现了中子（或其他成就）.
射线 2 为 γ 射线，穿透力强，可用于金属探伤.（其他答案合理即可）

（2）设中子质量为 m_{n}，靶核质量为 m，由动量守恒定律得：$m_{\mathrm{n}}v_0 = m_{\mathrm{n}}v_1 + mv_2$

由能量守恒定律得：$\frac{1}{2}m_{\mathrm{n}}v_0^2 = \frac{1}{2}m_{\mathrm{n}}v_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2$

解得：$v_1 = \frac{m_{\mathrm{n}} - m}{m_{\mathrm{n}} + m}v_0$

在重水靶核质量：$m_{\mathrm{H}} = 2m_{\mathrm{n}}$，$v_{1\mathrm{H}} = \frac{m_{\mathrm{n}} - m_{\mathrm{H}}}{m_{\mathrm{n}} + m_{\mathrm{H}}}v_0 = -\frac{1}{3}v_0$

在石墨中靶核质量：$m_C = 12m_{\mathrm{n}}$，$v_{1C} = \frac{m_{\mathrm{n}} - m_C}{m_{\mathrm{n}} + m_C}v_0 = -\frac{11}{13}v_0$

与重水靶核碰后中子速度较小，故重水减速效果更好.

11.

＜解析＞（1）由图乙可得：$t = 4.0\mathrm{s}$ 时，$I = 0.8\mathrm{A}$.

根据 $I = \frac{E}{R + r}$

$E = Blv$

解得 $v = 2.0\mathrm{m/s}$

（2）由 $I = \frac{Blv}{R + r}$ 和题目所给图线 $I = 0.2t$ 可得 $v = 0.5\mathrm{t}$，所以金属棒做初速度为零的匀加速直线运动.

解得 $0 \sim 4.0\mathrm{s}$ 内金属棒的加速度大小 $a = 0.5\mathrm{m/s^2}$

对金属棒进行受力分析，根据牛顿第二定律得：

$F - mg\sin 30^\circ - F_{安} = ma$

又 $F_{安} = BIl$

由图乙得，$t = 3.0\mathrm{s}$ 时 $I = 0.6\mathrm{A}$　解得 $F_{安} = 0.3\mathrm{N}$　外力 $F = 0.85\mathrm{N}$

$t = 3\mathrm{s}$ 时　$v = 1.5\mathrm{m/s}$

根据　$P = Fv$ 解得　　$P = 1.3\mathrm{W}$

（3）根据焦耳定律：$Q = I^2Rt$　$Q' = I^2rt$

解得在该过程中金属杆上产生的热量 $Q' = 0.16\mathrm{J}$

电路中产生的总热量为：$Q_{总} = 0.80\mathrm{J}$

对金属棒，根据动能定理：

$W_F + W_{安} + W_G = \frac{1}{2}mv_t^2 - 0$

$W_G = -mgs\sin 30^\circ$

$s = \frac{1}{2}at^2$ 解得 $W_G = -2.0\mathrm{J}$

F 对金属棒所做的功为 $W_F = 3.0\mathrm{J}$

12.

＜解析＞（1）将电离气体等效为导体切割磁感线产生感应电动势

$E = Bhv$

内电阻　　$r = \rho\frac{h}{ld}$

根据欧姆定律　$I = \frac{Bhv}{R + r}$

解得 $I=\dfrac{Bhvld}{Rld+\rho h}$

电流方向为 M 到 N

（2）已知摩擦力与流速成正比，设比例系数为 k，取管道内全部气体为研究对象，根据力的平衡

无磁场时 $\Delta phd=kv_0$

有磁磁场时 $\Delta phd=kv+BIh$

解得 $\Delta p=\dfrac{B^2hvv_0l}{(Rld+\rho h)(v_0-v)}$

（3）输入功率 $P_{入}=\Delta phdv$

电源功率 $P=EI$ 发电效率 $\eta=\dfrac{P}{P_{入}}$ 解得 $\eta=1-\dfrac{v}{v_0}$