

2006年

福建省

2006NIAN FUJIANSHENG
GAOKAO ZIZHU MINGTI
FUXI GANGYAO

高考自主命题

复习纲要

主编 林应基 王云生 严隐石

理科综合

福建教育出版社

2006年

福建省

2006NIAN FUJIANSHENG
GAOKAO ZIZHU MINGTI
FUXI GANGYAO

高考自主命题

复习纲要

主编 林应基 王云生 严隐石

理科综合

福建教育出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

2006 年福建省高考自主命题复习纲要. 理科综合/主编:
林应基、王云生、严隐石. - 福州: 福建教育出版社,
2004. 1 (2005.12 重印)
ISBN 7-5334-3096-4

I. 2... II. ①林...②王...③严... III. 理科 (教育)
- 课程 - 高中 - 升学参考资料 IV. G634

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 141872 号

2006 年福建省高考自主命题复习纲要

理科综合

主编 林应基 王云生 严隐石

福建教育出版社出版

(福州梦山路 27 号 邮编: 350001)

电话: 0591-83725592 83726971

传真: 83726980 网址: www.fep.com.cn

福建省新华书店发行

福州华彩印务有限公司印刷

(福州新店南平路鼓楼工业小区 邮编: 350012)

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 13.75 字数 436 千

2005 年 12 月第 3 版 2005 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 7-5334-3096-4/G·2483 定价: 13.70 元

如发现本书印装质量问题, 影响阅读,
请向出版科 (电话: 0591-83786692) 调换。

出版说明

根据福建省高考自主命题这一新情况,为了更好地帮助指导准备参加“3+X”高考的高中毕业生提高应考能力,打下坚实的基础,经过对2005年福建省自主命题情况的全面研究,我们编写了这套《2006年福建省高考自主命题复习纲要》(以下简称《纲要》)。

《纲要》结构与高考科目设置改革相适应,由《语文》《数学》《英语》《思想政治》《历史》《地理》《文科综合》《物理》《化学》《生物》《理科综合》组成,并配有《数学解答与分析》《英语听力训练与测试(录音带)》。

《纲要》具有如下特点:一、全面覆盖各学科高考所要求的知识点,全面总结各学科高考的能力要求,全面精细地梳理与高考相关的知识内容。二、归纳突出各学科的重点,注重总结规律,指导如何灵活掌握运用。对各重点(要点)、难点进行细致的剖析解释,注重指引思路,教给方法、技巧。三、在大量搜集全国各类考题的基础上,结合本省实际,筛选并设计精粹的富有创意的针对性训练题,以期让考生能举一反三。四、分类指导和综合联系并重。对各类知识能力既进行条分缕析,又把各类知识能力进行综合融会,注重应用、综合、提高、创新能力的养成。让学生在充分的训练后,成竹在胸。五、有精确、细致的参考答案。

参加本书编写的本省名师有:林杰、林立灿、林伟庆、张滨、林应基、张安、陶鸿飞、林英、张德耀、林铠、陈熙、王云生、吴同燕、陈鑫、陈文辉、林聘、郭刚、严隐石。本书由林应基、王云生、严隐石统稿。

福建教育出版社

福建人民出版社

2006年1月

目 录

物 理

专题一	动力学问题的解题基本方法和思路	[3]
专题二	带电粒子在电、磁场中的运动	[8]
专题三	研究对象的选择	[13]
专题四	物理过程的分析	[17]
专题五	图像法	[22]
专题六	图解法	[27]
专题七	守恒问题	[30]
专题八	动态过程分析方法	[36]
专题九	临界状态和极值	[41]
专题十	等效法在物理解题中的应用	[44]
专题十一	物理实验设计	[49]
能力训练一	.....	[54]
能力训练二	.....	[58]
参考答案	.....	[62]

化 学

专题一	化学反应分析	[73]
专题二	化学中的动态平衡	[79]
专题三	电化学基础知识的应用	[84]
专题四	无机物的推断	[89]
专题五	无机物的性质与制备	[94]
专题六	有机化合物的组成与结构的推断	[99]
专题七	有机化合物的合成	[105]
专题八	物质的检验与分离	[112]
专题九	化学综合计算	[118]
能力训练一	.....	[122]
能力训练二	.....	[126]
参考答案	.....	[130]

生 物

■ 专题一	细胞是生物体结构与功能的基本单位	[139]
专题二	生物的营养与代谢	[145]
专题三	从细胞到个体	[154]
专题四	生命的奥秘——基因	[161]
专题五	生物的进化及其与环境的协调	[168]
专题六	实验操作、分析与设计	[175]
能力训练一	.....	[181]
能力训练二	.....	[188]
■ 参考答案	.....	[195]

理科综合练习

■ 理科综合练习一	.....	[201]
理科综合练习二	.....	[207]
■ 参考答案	.....	[213]

物 理

专题一 动力学问题的解题基本方法和思路



知能分析

动力学问题一般有两种解题思路：第一，利用牛顿运动定律和运动学的有关知识解决问题；第二，利用动量定理、动量守恒定律和动能定理、机械能守恒定律解题；有时也可利用两种方法共同解决问题。第一种方法，是以牛顿第二定律为基础，以因果关系为主要思想，即物体的运动性质是由物体的受力情况和初始的运动状态决定的；这类方法一般用于解决物体在运动过程中的物理量；由于中学阶段所学数学知识有限，因此利用牛顿运动定律只能解决一些特殊的运动（如匀变速运动、匀速圆周运动）和某一瞬时（如某一瞬间力和加速度的关系）等问题。第二种方法，是以动量定理、动量守恒定律和动能定理、机械能守恒定律四大规律为基础，从力在时间和空间上积累产生的效果出发研究物体运动的变化规律，注重的是物体运动状态的变化；此类方法在于解决运动过程较为复杂的情况（如物体在连续几个不同阶段运动）较为方便，还能解决一些如变力作用等用第一种方法在高中阶段无法解决的问题。

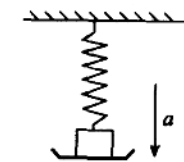


范例精析

1. 利用牛顿运动定律和运动学的有关知识解决问题。

解决问题的一般思路是：首先明确研究对象；其次分析研究对象的运动情况和各个运动阶段的受力情况，画出研究对象的受力示意图；然后利用牛顿运动定律或运动学公式列方程；求解方程，检验答案是否合理。运用这种方法时，对研究对象进行运动状态的分析和受力分析是最为重要的。

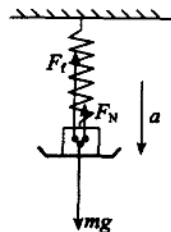
例·理-专-1-1 如图·理-专-1-1所示，在劲度系数为 k 的弹簧下端挂一个质量为 m 的物体，物体下有一个托盘，用托盘托着物体使



图·理-专-1-1

弹簧恰好处于原长，然后使托盘以加速度 a 竖直向下做匀加速运动，且 $a < g$ ，试求托盘向下运动多长时间能与物体分离？

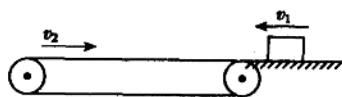
解析 物体在运动过程中的受力情况如图·理-专-1-2所示，当物体向下运动时，弹力 $F_t = kx$ 随物体下移而增大。根据牛顿第二定律， $mg - F_t - F_N = ma$ ，托盘对物体的支持力减小，当支持力减小到零时，物体就与托盘



分离，根据上面两式得此时弹簧伸长量为 $x = (mg - ma) / k$ ，即物体匀加速向下运动 x 距离后物体与托盘分离。而 $x = at^2/2$ ，因此， $t = \sqrt{2m(g-a)/(ak)}$ 。

靠在一起的两个物体分离的临界状态，从动力学的角度看是它们之间的相互作用弹力变为零；从运动学的角度看，它们在该瞬间的速度、加速度还是相同，但此后并不相同。

例·理-专-1-2 如图·理-专-1-3所示，水平方向足够长的传送带以恒定的速率 v_2 沿顺时针转动，传送带右端有一与传送带等高的光滑水平面。一个质量为 m 的物体以恒定的速率 v_1 沿直线向左滑向粗糙的传送带后，经过一段时间后又返回光滑水平面，速率为 v_3 ，则下列判断正确的是（ ）。

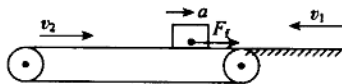


图·理-专-1-3

- A. 若 $v_2 > v_1$ ，则 $v_3 = v_1$
- B. 若 $v_2 > v_1$ ，则 $v_3 = v_2$
- C. 若 $v_2 < v_1$ ，则 $v_3 = v_1$
- D. 若 $v_2 < v_1$ ，则 $v_3 = v_2$

解析 物体在传送带上运动可分为两个阶段，第一阶段物体沿传送带减速向左运动直到速度为零，此过程物体受力如图·理-专-1-4所示。

第二阶段,开始向右加速运动,受力仍如图·理-专-1-4所示,即往返受力情况相同,加速度相同.



图·理-专-1-4

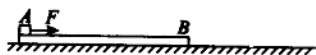
如果 $v_2 > v_1$, 由于物体往返运动的对称性, 物体回到出发点时速度大小 $v_3 = v_1$.

如果 $v_2 < v_1$, 那么物体加速到传送带速度 v_2 时, 还未回到出发点, 此后物体将与传送带一起做匀速运动. 因此, 物体回到出发点的速度 $v_3 = v_2$.

所以正确答案为选项 A、D.

传送带上物体的运动问题, 最重要的是物体受到的摩擦力方向的判定, 它总是阻碍物体相对于传送带的运动, 它的方向可能与传送带的运动方向相同, 也可能相反.

例·理-专-1-3 如图·理-专-1-5所示, 一块质量为 m 、长为 l 的木板 B 静止在水平地面上, 木板的左端放有一块质量为 M 的物块 A (可以看成质点). 物块与木板间的动摩擦因素为 μ_1 , 木板与地面间的动摩擦因素为 μ_2 , 且 $\mu_1 = 2\mu_2$, $M = 2m$. 现在对物块施加一个向右的水平恒力 F , 为了使木板至少能够向右移动 $s = l$ 的距离, 所施加水平恒力的大小应当满足什么条件?



图·理-专-1-5

解析 由于 $\mu_1 M > \mu_2 (M + m)$, 所以当 $F > \mu_2 (M + m)g$ 时, 可以使木板产生加速度, 从而向右运动; 但是, 当 F 超过一定值时, A 的加速度将大于 B 的加速度, A 相对于 B 向右滑动, 经过一段时间, A 从 B 的右端滑离, 此后 B 将做匀减速运动到停止. F 愈大, A 在 B 上相对滑动的的时间愈短, A 脱离时 B 的速度愈小, 滑行的位移愈短, 就不可能有向右位移 s . 因此, 还要讨论水平恒力大小的上限.

当物块 A 还在木板上运动时, 设 A 、 B 的加速度分别为 a_1 和 a_2 , 则

$$a_1 = \frac{F - \mu_1 Mg}{M},$$

$$a_2 = \frac{\mu_1 Mg - \mu_2 (M + m)g}{m}.$$

若物块在木板上滑行的时间为 t_1 , 则

$$l = \frac{1}{2} a_1 t_1^2 - \frac{1}{2} a_2 t_1^2,$$

在该过程中, 木板发生的位移 $s_1 = \frac{1}{2} a_2 t_1^2$.

A 脱离 B 时 B 的速度 $v_1 = a_2 t_1$, A 脱离 B 后 B 以大小为 $a_2' = \mu_2 g$ 的加速度做匀减速运动, 到停止

的过程中发生的位移 $s_2 = \frac{v_1^2}{2 a_2'}$.

依题意, $s_1 + s_2 \geq s$.

联立上述各式, 并将 $\mu_1 = 2\mu_2$, $M = 2m$, $s = l$ 代入, 解得: $F \leq 10\mu_2 mg$,

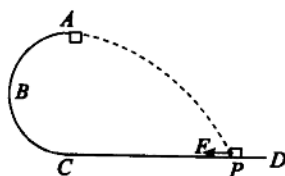
即水平恒力的大小须满足的条件是:

$$3\mu_2 mg < F \leq 10\mu_2 mg.$$

2. 利用动量定理、动量守恒定律和动能定理、机械能守恒定律解题.

解决问题的一般思路是: 首先明确研究的系统, 其次分析研究系统的始末状态, 然后判断系统在变化过程中遵循的物理规律, 用相应的规律列方程, 求解方程, 检验答案是否合理. 这种方法对系统的始末状态的分析最为重要, 要注意系统中每个物体的运动方向.

例·理-专-1-4 如图·理-专-1-6所示, 一个光滑的半圆轨道 ABC 竖直放置, 其底端与光滑的水平轨道 CD 相切. 一个滑块从水平轨道上的某一点 P 从静止开始在水平恒力作用下向着 C 点运动. 到达 C 点时撤去恒力, 滑块能够从轨道的最高点 A 飞出, 并恰好落到出发点 P . 已知滑块的质量是 m , 半圆轨道的半径是 r , 求:



图·理-专-1-6

(1) P 、 C 之间的最小距离是多少?

(2) 如果 $PC = 3r$, 水平力应当多大? 滑块经过最高点时对轨道的压力多大?

(3) 要使得所需的水平力最小, PC 之间的距离应当多大?

解析 (1) 要使得滑块能够经过竖直圆形轨道的最高点, 在最高点时滑块的最小速率 v 应当满足: $mg = \frac{mv^2}{r}$, ①

滑块飞离 A 点后做平抛运动, 在竖直方向上

有: $2r = \frac{gt^2}{2}$, ②

在水平方向上有: $s = vt$, ③

联立①②③式得： P 、 C 之间的最小距离应当是 $s_1 = 2r$ 。

(2) 当 P 、 C 之间的距离为 $s_2 = 3r$ 时，利用②③式可得滑块飞出时的速率：

$$v_2 = 1.5 \sqrt{gr}, \quad (4)$$

滑块从 P 点经过 CB 到 A 点，运用动能定理有：

$$F_2 s_2 - mg \cdot 2r = mv_2^2/2 - 0, \quad (5)$$

联立④⑤式，并将 $s_2 = 3r$ 代入，求得：

$$F_2 = 1.04 mg,$$

滑块经过最高点时，运用牛顿第二定律有：

$$mg + F_N = mv_2^2/r, \text{ 从而得： } F_N = 1.25 mg.$$

根据牛顿第三定律，轨道受到的压力 $F_N' = F_N = 1.25 mg$ 。

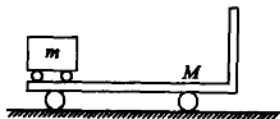
(3) 设最小的水平力为 F_3 ，与之相应的 PC 之间的距离及滑块经过最高点时的速率分别为 s_3 和 v_3 ，将②③⑤式中相应的物理量改变后联立可得：

$$F_3 = mg \left(\frac{2r}{s_3} + \frac{s_3}{8r} \right),$$

根据数学知识可知，当 $2r/s_3 = s_3/(8r)$ 时， F_3 有最小值。此时， $s_3 = 4r$ 。

对于运动过程多的问题，在利用物理规律时，可以根据需要来确定所选的过程，这样可使问题简化，才能找出题目中隐藏的条件，有利于解决问题。竖直面上圆周运动问题是典型问题，解题时应注意它所隐藏的条件如通过最高点的条件等。

例·理-专-1-5 如图·理-专-1-7所示，质量为 $M = 20 \text{ kg}$ 的平板车静止在光滑的水平面上，车上最左端停放着质量为 $m = 5 \text{ kg}$ 的电动车，电动车与平板车上的挡板相距 $L = 5 \text{ m}$ 。电动车由静止开始向右做匀加速运动，经时间 $t = 2 \text{ s}$ 电动车与挡板相碰，问：



图·理-专-1-7

(1) 碰撞前瞬间两车的速度各为多大？

(2) 若碰撞过程中无机械能损失，且碰后电动机关闭，使电动车只能在平板上滑动，要使电动车不脱离平板车，它们之间的动摩擦因数至少多少？

解析 (1) 电动车向右匀加速运动，所需要的外力是平板车施加的静摩擦力，因此电动车必然对平板车施加向左的静摩擦力，使平板车向左匀加速运动。设电动车和平板车碰前的瞬时速度大小

分别为 v 和 V ，根据动量守恒，有 $mv - MV = 0$ 。

因为两车都做匀加速运动，依题意有：

$$\left(\frac{v}{2} + \frac{V}{2} \right) t = L,$$

解得： $v = 4 \text{ m/s}$ ，方向向右； $V = 1 \text{ m/s}$ ，方向向左。

(2) 两车碰撞过程以及此后相对滑动过程中动量均守恒，当电动车滑到平板车最左端恰好不脱离时两车速度相同，设为 v' ，则

$$mv - MV = (m + M) v',$$

$$\text{解得： } v' = 0.$$

又由题设条件，碰撞过程没有机械能损失，因此，两车动能的减少全部用在相对滑动过程中克服摩擦力做功。设两车间动摩擦因数为 μ ，两车相对滑动距离等于平板车长度 L ，则有

$$\mu mgL = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} mV^2 - 0,$$

$$\text{解得： } \mu = 0.2.$$

说明 解本题时，不少学生对电动车前进时两车间相互作用的静摩擦力和碰撞后电动机停止工作两车相对滑动过程中的滑动摩擦分不清，要通过本题解答过程加深理解。

例·理-专-1-6

一个圆柱形的竖直的井里存有一定量的水，井的侧面和底部是密闭的，在井中固定地插着一根两端开口的薄壁圆管，管和井共轴，管下端未及井底。在圆管内有一不漏气的活塞，它可沿圆管上下滑动。开始时，管内外水面相齐，且活塞恰好接触水面，如图·理-专-1-8所示。



图·理-专-1-8

现用卷扬机通过绳子对活塞施加一个向上的力 F ，使活塞缓慢向上移动。已知管筒半径 $r = 0.100 \text{ m}$ ，井的半径 $R = 2r$ ，水的密度 $\rho = 1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，大气压强 $p_0 = 1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。求活塞上升 $H = 9.00 \text{ m}$ 的过程中拉力 F 所做的功。（井和管在水面以上及水面以下的部分都足够长；不计活塞质量，不计摩擦，重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。）

解析 活塞上移时，管内的水面会上升，而管外的水面会下降，由于大气压的作用，当管内外水平面相差的水柱产生的压强差为大气压时，管内水面不再上升。

设管内水面上升 x ，管外水面下降 y ，则有

$$\rho g(x+y) = p_0,$$

$$x \cdot \pi r^2 = y \cdot \pi (R^2 - r^2),$$

解由以上两式组成的方程组得:

$$x = 3p_0 / (4\rho g) = 7.5 \text{ m}, y = 2.5 \text{ m}.$$

$$\text{大气压力做功: } W_p = -p_0 \cdot \pi r^2 \cdot H + p_0 \cdot \pi (R^2 - r^2) \cdot y = -p_0 \pi r^2 (H - x) = 4.71 \times 10^3 \text{ J}.$$

$$\text{在活塞上升 } x \text{ 的过程中重力做功: } W_G = -\rho$$

$$(\pi r^2 \cdot x) \cdot g \cdot \left(\frac{x}{2} + \frac{y}{2}\right) \approx -1.18 \times 10^4 \text{ J},$$

$$\text{根据动能定理有: } W_F + W_p + W_G = 0 - 0,$$

$$\text{所以拉力 } F \text{ 做功 } W_F = - (W_G + W_p)$$

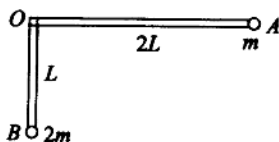
$$= 1.65 \times 10^4 \text{ J}.$$

解决物理问题,最重要的是弄清物理过程和物理图景,在此基础上确定所用知识.

适应性训练

1. 如图·理-专-1-9所示,

一质量不计的直角形支架两端分别连接质量为 m 和 $2m$ 的小球 A 和 B , 支架的两直角边长度分别为 $2L$ 和 L , 支架可绕固定轴 O 在竖直平面内无摩擦转动, 开始时 OA 边处于水平位置, 由静止释放, 则 ().



图·理-专-1-9

A. A 球的最大速度为 $2\sqrt{gL}$

B. A 球速度最大时, 两小球的总重力势能最小

C. A 球速度最大时, 两直角边与竖直方向的夹角为 45°

D. A 、 B 两球的最大速度之比 $v_A:v_B=2:1$

2. 一轻杆下端固定一个质量为 M 的小球, 上端连在轴上, 并可绕轴在竖直平面内运动. 不计一切阻力, 当小球在最低点时, 受到水平瞬时冲量 I_0 , 刚好过最高点; 若小球在最低点受到的冲量不断增大, 则可知 ().

A. 小球在最高点对杆的作用力不断增大

B. 小球在最高点对杆的作用力先增大后减小

C. 小球在最高点对杆的作用力先减小后增大

D. 小球在最高点对杆的作用力不断减小

3. 质量为 50 kg 的某消防队员从一平台上跳下, 下落 2 m 后双脚着地, 接着他用双脚弯曲的方法缓冲, 使自身的重心又下降了 0.5 m . 在着地的过程中, 地面对他双脚的平均作用力大小约为

4. 两个人要将质量 $M = 1000 \text{ kg}$ 的小车沿一较长的水平轨道推上长 $L = 5 \text{ m}$ 、高 $h = 1 \text{ m}$ 的斜坡顶端, 为计算方便, 假设车在任何情况下所受的阻力恒为车重的 12% , 两人的最大推力各为 800 N , 在不允许使用其他工具的情况下, 两个人能否将车推到坡顶? 如果能, 两人应如何做? (要求写出分析和计算过程, $g = 10 \text{ m/s}^2$)

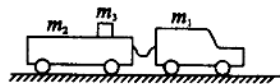
5. 在光滑水

平面上, 有一辆质

量 $m_1 = 20 \text{ kg}$ 的小

车, 通过一根几乎

不可伸长的轻绳与



图·理-专-1-10

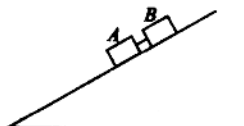
另一辆质量为 $m_2 = 25 \text{ kg}$ 的拖车相连接. 一质量 $m_3 = 15 \text{ kg}$ 的物体放在拖车的平板上. 物体与平板间的动摩擦因数为 $\mu = 0.20$. 开始时, 拖车静止, 绳未拉紧, 如图·理-专-1-10所示, 小车以 $v_0 = 3 \text{ m/s}$ 的速度向前运动, 求:

(1) 当小车、拖车、物体以同一速度前进时, 速度的大小;

(2) 物体在拖车上移动的距离. ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

6. 如图·理-专-1-11所示,

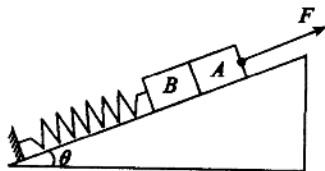
A 、 B 两个滑块用短细线 (长度可以忽略) 相连放在斜面上, 从静止开始共同



图·理-专-1-11

下滑, 经过 0.5 s , 细线自行断掉. 已知滑块 A 的质量为 3 kg , 与斜面间的动摩擦因数是 0.25 ; 滑块 B 的质量为 2 kg , 与斜面间的动摩擦因数是 0.75 ; 斜面倾角 37° , 长度足够, 计算过程中取 $g = 10 \text{ m/s}^2$. 求再经过 1 s , 两个滑块之间的距离.

7. 如图·理-专-1-12所示, 质量 $m_A = 10 \text{ kg}$ 的物块 A 与质量 $m_B = 2 \text{ kg}$ 的物块 B 放在倾角 $\theta = 30^\circ$ 的光滑斜面上处于静止状态, 轻质弹簧一端与物块 B 连接, 另一端与固定挡板连接, 弹簧的劲度系数 $k = 400 \text{ N/m}$. 现给物块 A 施加一个平行于斜面向上的力 F , 使物块 A 沿斜面向上做匀加



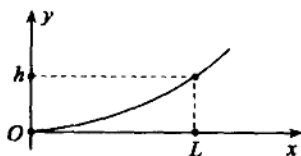
图·理-专-1-12

速运动, 已知力 F 在前 0.2 s 内为变力, 0.2 s 后为恒力, 求:

(1) 力 F 的最大值与最小值;

(2) 力 F 由最小值达到最大值的过程中, 物块 A 所增加的重力势能. (取 $g = 10\text{ m/s}^2$)

8. 质量为 m 的飞机以水平速度 v_0 飞离跑道后逐渐上升, 若飞机在此过程中水平速度保持不变, 同时受到重力和竖直向上的恒定升力 (该升力由其他力的合力提供, 不含重力). 今测得当飞机在水平方向上的位移为 L 时, 它的上升高度为 h , 如图·理-专-1-13所示. 求:



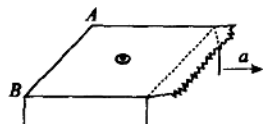
图·理-专-1-13

(1) 飞机受到的升力大小;

(2) 从起飞到上升至 h 高度的过程中升力所做的功及在高度 h 处飞机的动能.

9. 在勇气号火星探测器着陆的最后阶段, 着陆器降落到火星表面上, 再经过多次弹跳才停下来. 假设着陆器第一次落到火星表面弹起后, 到达最高点时高度为 h , 速度方向是水平的, 速度大小为 v_0 , 求它第二次落到火星表面时的速度大小. 计算时可不计火星大气阻力, 已知火星的一个卫星的圆轨道的半径为 r , 周期为 T . 火星可视为半径为 r_0 的均匀球体.

10. 一小圆盘静止在桌布上, 位于一方桌的水平桌面的中央. 桌布的一边与桌的 AB 边重合, 如图·理-专-1-14所示.



图·理-专-1-14

已知圆盘与桌布间的动摩擦因数为 μ_1 , 圆盘与桌面间的动摩擦因数为 μ_2 , 现突然以恒定加速度 a 将桌布抽离桌面, 加速度的方向是水平的且垂直于 AB 边. 若圆盘最后未从桌面掉下, 则加速度 a 应满足的条件是什么? (以 g 表示重力加速度)

专题二 带电粒子在电、磁场中的运动



知能分析

1. 受力特点.

(1) 电场力, $F = Eq$. 电场力对电荷做功由电荷的始末位置电势差决定, 与路径无关.

(2) 洛伦兹力, $F = qvB$, 它的大小、方向与电荷的速度大小、方向有关, 洛伦兹力方向始终与速度垂直, 洛伦兹力不做功.

(3) 基本粒子: 如电子、质子、 α 粒子、离子等除有说明或明确暗示以外, 一般都不考虑重力; 带电颗粒: 如液滴、油滴、小球等, 除有说明或明确暗示以外, 一般都不能忽略重力.

2. 运动特点.

(1) 匀强电场: 由于加速度不变, 带电粒子在匀强电场中做匀变速运动.

(2) 匀强磁场: 带电粒子若初速度与磁感线平行, 则做匀速直线运动; 若初速度垂直磁感线方向进入匀强磁场, 则做匀速圆周运动.

(3) 复合场: 指电场、磁场与重力场有两种以上同时存在的场, 运动情况较为复杂. 运动的形式仍取决于带电粒子的初速度、受到的合外力及初速度与合外力间的夹角.

3. 解题思路.

(1) 正确分析受力情况, 充分理解和掌握不同场对电荷作用的特点和差异.

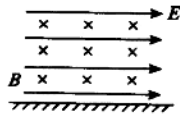
(2) 认真分析运动的详细过程, 画出带电粒子运动轨迹的示意图, 充分发掘题目中的隐含条件, 建立清晰的物理情景.

(3) 熟练运用运动学规律、牛顿运动定律及动量关系、能量关系列式求解.



范例精析

例·理-专-2-1 从地面上方 A 点处自由落下一带电荷量为 $+q$ 、质量为 m 的粒子. 地面附近有如图·理-专-2-1 所示的匀强电场和匀



图·理-专-2-1

强磁场, 电场方向水平向右, 磁场方向垂直纸面向里, 这时粒子的落地速度为 v_1 ; 若电场不变, 只将磁场的方向改为向左, 粒子落地的速度为 v_2 , 则 ().

A. $v_1 > v_2$

B. $v_1 < v_2$

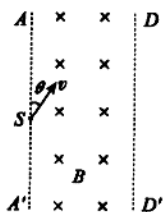
C. $v_1 = v_2$

D. 无法判定

解析 带电粒子自由下落一段距离后, 进入电场和磁场区域, 此时它受到重力、电场力及洛伦兹力的作用. 重力和电场力均对粒子做功, 电场力做功的多少与粒子在电场强度方向上的位移有关. 洛伦兹力不对粒子做功, 但可以改变粒子的运动方向. 若将磁场方向改为与原方向相反, 则重力做的功与原来相等, 电场力做的功与原来不等, 落地时, 粒子的动能将比原来小, 故应选 A.

例·理-专-2-2 如图·

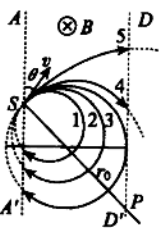
理-专-2-2 所示, 在边界为 AA' 、 DD' 的狭长区域内, 匀强磁场的磁感应强度为 B , 方向垂直纸面向里, 磁场区域宽度为 d . 电子以不同的速率 v 从边界 AA' 的 S 处沿垂直磁场方向射入磁场, 入射方向与 AA' 的夹角为 θ . 已知电子的质量为 m , 带电荷量为 e . 为使电子能从另一边 DD' 射出, 问电子的速率应满足什么条件? (重力不计)



图·理-专-2-2

解析 由 $evB = m \frac{v^2}{r}$, 得 $r = \frac{mv}{eB}$, 与 v 成正比.

不同速率的电子从相同方向射入磁场后, 做半径不同的圆周运动. 由左手定则决定的这些动态圆的圆心都在与 v 方向垂直的射线 SP 上, 如图·理-专-2-3 所示, 图中沿 1、2 轨迹运动的电子均从 AA' 射出, 而沿 4、5 轨迹运动的电子均从 DD' 射出. 于是动态圆由 1、2 向 4、5 渐变过程中, 总存在一个临界圆, 相应的临界半径为 r_0 , 如图中轨迹 3 所示.



图·理-专-2-3

当 $r < r_0$ 时, 电子从 AA' 射出; 当 $r > r_0$ 时, 电子从 DD' 射出. 因此, 该临界圆与 DD' 相切. 由几何关系可得 $r_0 + r_0 \cos \theta = d$.

将 $r_0 = \frac{mv_0}{eB}$ 代入上式并求解, 可得临界速率为

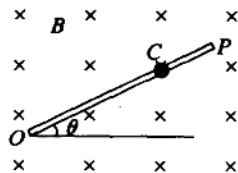
$$v_0 = \frac{eBd}{(1 + \cos \theta)m}.$$

故当 $v > \frac{eBd}{(1 + \cos \theta)m}$ 时, 电子能从另一边 DD' 射出.

点评 解类似问题, 分析圆轨迹半径的变化是关键.

例·理-专-2-3

如图·理-专-2-4 所示, OP 为一根足够长的绝缘细杆, 处在磁感应强度为 B 的匀强磁场中, 杆垂直于磁场且与水平方向成 θ 角. 一质量为 m 、带电荷量为



图·理-专-2-4

$-q$ 的带孔小球 C 套在杆上, 球与杆间的动摩擦因数为 μ , 且 $\mu < \tan \theta$. 现在让小球从静止开始下滑, 则小球在下滑的过程中:

(1) 最大加速度为多少? 此时小球的瞬时速度多大?

(2) 小球所能达到的最大速度为多少?

解析 (1) 取小球为研究对象, 释放的瞬间, 其受力为: 重力 mg , 杆的支持力 F_N , 摩擦力 F_f . 开始时小球的速度为零, 洛伦兹力为零, $\mu < \tan \theta$, 则小球释放时的加速度为 $a_0 = g(\sin \theta - \mu \cos \theta)$, 方向沿杆向下.

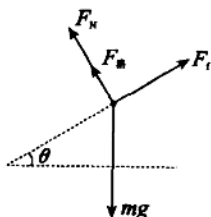
当小球获得速度后, 出现洛伦兹力, 小球受力如图·理-专-2-5 所示, 在垂直于杆方向上有:

$$F_N = mg \cos \theta - qvB,$$

在沿杆方向上有:

$$mg \sin \theta - F_f = ma, \text{ 且}$$

$$F_f = \mu F_N.$$



图·理-专-2-5

由上面三式解得

$$a = g \sin \theta - \mu g \cos \theta + \mu qvB/m.$$

以后小球的运动状态为一个动态变化过程:

$$v \uparrow \rightarrow F_L \uparrow \rightarrow F_N \downarrow \rightarrow F_f \downarrow \rightarrow F_{\text{合}} \uparrow \rightarrow a \uparrow$$

可见小球的运动是加速度增加的加速运动, 当 $F_f = 0$ 时, 加速度为最大, $a_m = g \sin \theta$, 此时 $F_N =$

0, 小球的速度由 $F_N = mg \cos \theta - qvB = 0$ 可得 $v_1 = mg \cos \theta / (qB)$.

(2) 当速度继续增加

时, $F_L = qvB > mg \cos \theta$, 从而弹力 F_N 再次出现, 方向垂直杆向下, 受力如图·理-专-2-6 所示.

在垂直于杆的方向上

$$F_N + mg \cos \theta = qvB,$$

在沿杆方向上有:

$$mg \sin \theta - F_f = ma,$$

$$\text{又 } F_f = \mu F_N = \mu(qvB - mg \cos \theta).$$

联立以上三式解得:

$$a = g(\sin \theta + \mu \cos \theta) - \mu qvB/m.$$

以后小球的运动状态又是一个动态变化过程:

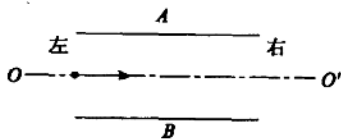
$$v \uparrow \rightarrow F_L \uparrow \rightarrow F_N \uparrow \rightarrow F_f \uparrow \rightarrow F_{\text{合}} \downarrow \rightarrow a \downarrow$$

小球运动是加速度减小的加速运动, 加速度最小时, $a = 0$, 此时小球的速度达到最大, 由 $a = g(\sin \theta + \mu \cos \theta) - \mu qvB/m = 0$ 解得 $v_m = mg(\sin \theta + \mu \cos \theta) / (\mu Bq)$.

解答本题的关键是作好小球运动过程的动态分析, 找出极值所对应的条件.

例·理-专-2-4 如图·理-专-2-7 所示,

A 、 B 是两块水平平行对齐放置的金属板, 板上加有大小恒定的电压 U . 一个带负电的粒子, 以某一恒定的速率从板的左端沿两板中心线 OO' 水平射入板间. 当 U 等于某一个值 U_0 时, 若板间电场方向竖直向下, 则粒子恰能沿线 OO' 射出板间; 若板间电场方向竖直向上, 则粒子落到 B 板上, 落点到 B 板左端的距离等于板长的 $1/4$. 为了让粒子能够射出板间, 试讨论, 当板间电场的方向分别为竖直向上和竖直向下时, 板上所加电压 U 的大小各应满足什么条件?



图·理-专-2-7

解析 设金属板长为 l , 板间距离为 d , 则当加上的电压为 U_0 时, 板间电场强度的大小为 $E_0 = U_0/d$.

根据题给条件, 当板间电场方向竖直向下时, 粒子在电场中运动时受力平衡, 即 $mg = qE_0 = qU_0/d$.

当板间电场方向竖直向上时, 粒子在电场中运动时受到的电场力方向与重力方向相同, 因此合力为 $mg + qE_0 = 2mg$, 加速度为 $2g$. 由于在这种情况下, 粒子击中下板, 且落点到 B 板左端的距离等于板长的 $1/4$, 若运动时间为 t_0 , 则

$$L/4 = v_0 t_0, \quad (1)$$

$$d/2 = at_0^2/2 = gt_0^2. \quad (2)$$

若要求粒子能够射出电场, 则在水平方向上应当有: $l = v_0 t$; (3)

$$\text{在竖直方向上应当有: } d/2 \geq at^2/2. \quad (4)$$

比较①③两式可知, $t = 4t_0$.

$$\text{代入④式得, } d/2 \geq 8at_0^2, \quad (5)$$

$$\text{比较②⑤两式可知, } a \leq g/8. \quad (6)$$

当电场方向竖直向上时, 由于电场力方向与重力方向都向下, 因此粒子不可能向上偏转; 而且向下的加速度 $a = g + qE/m > g$, 肯定不能满足式⑥的条件, 因此无论板间电压多大, 粒子都不可能射出电场.

当电场方向竖直向下时, 粒子受到的电场力方向向上, 粒子受到的合力大小 $|mg - qE| = ma \leq mg/8$, 若 a 向上, 则 $qE \leq 9mg/8$, 两板间电压 $U \leq 9U_0/8$; 若 a 向下, 则 $qE \geq 7mg/8$, 两板间电压 $U \geq 7U_0/8$.

例·理-专-2-5 如图·

理-专-2-8 所示, a 、 b 、 c 三条虚线为磁场边界, 它们互相平行, 间距分别为 $2L$ 和 L , 其间有垂直纸面向内的匀强磁场, 磁感应强度分别为 $B_1 = B$ 和 $B_2 = 2B$. 一个质量为 m 、带电荷量为 q 的粒子 (重力忽略不计) 沿着纸面并垂直于边界 a 的方向射入磁场, 为使得粒子能穿过 b 界面但无法从 c 界面射出, 粒子的速度大小应满足什么条件?

解析 粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动, 进入磁场 B_1 时的速度方向与界面垂直, 因此粒子能穿过界面 b 的条件并不难得到, 只要粒子做圆周运动的半径大于 $2L$ 即可.

由于粒子做圆周运动的向心力由洛伦兹力提供, 因此有:

$$Bqv = mv^2/R, \text{ 所以 } R = \frac{mv}{qB} > 2L,$$

$$\text{即 } v > \frac{2qBL}{m}.$$

为了讨论粒子不能穿过 c 界面的条件, 可以先讨论极限的情况, 在这种条件下带电粒子的轨迹如图·理-专-2-9 所示, O_1 、 O_2 分别是粒子在两个磁场中轨迹圆弧的圆心.

由于 $B_2 = 2B_1$, 因此 $R_1 = 2R_2$, 由图中的几何关系可以得到:

$$O_1Q : PQ = O_2Q : O_2D,$$

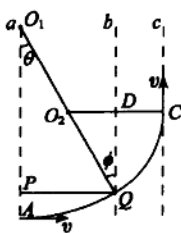
$$\text{因此 } O_2D = PQ/2 = L, R_2 = O_2C = 2L, R_1 = 4L.$$

在极限的条件下, 带电粒子的速度应当是 $v = \frac{4qBL}{m}$. 因此, 使粒子能够穿过 b 界面但无法从 c 界面射出, 粒子的速度大小应满足的条件是

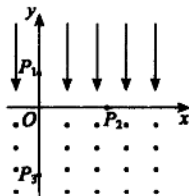
$$\frac{2qBL}{m} < v \leq \frac{4qBL}{m}.$$

例·理-专-2-6

如图·理-专-2-10 所示, 在 $y > 0$ 的空间存在匀强电场, 场强沿 y 轴负方向; 在 $y < 0$ 的空间存在匀强磁场, 磁场方向垂直 xOy 平面 (纸面) 向外. 一电荷量为 q 、质量为 m 的带正电的运动



图·理-专-2-9



图·理-专-2-10

粒子, 经过 y 轴上 $y = h$ 处的点 P_1 时速率为 v_0 , 方向沿 x 轴正方向; 然后, 经过 x 轴上 $x = 2h$ 处的 P_2 点进入磁场, 并经过 y 轴上 $y = -2h$ 处的 P_3 点. 不计重力, 求:

- (1) 电场强度的大小;
- (2) 粒子到达 P_2 时速度的大小和方向;
- (3) 磁感应强度的大小.

解析 (1) 粒子在电场、磁场中运动的轨迹如图·理-专-2-11 所示. 设粒子从 P_1 到 P_2 的时间为 t , 电场强度的大小为 E , 粒子在电场中的加速度为 a . 由牛顿第二定律及运动学公式有:

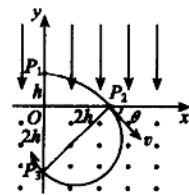
$$qE = ma, \quad (1)$$

$$v_0 t = 2h, \quad (2)$$

$$\frac{1}{2} at^2 = h. \quad (3)$$

由以上三式解得: $E = \frac{mv_0^2}{2qh}$.

(2) 粒子到达 P_2 时速度沿 x 方向的分量仍为



图·理-专-2-11

v_0 , 以 v_1 表示速度沿 y 方向分量的大小, v 表示速度的大小, θ 表示速度和 x 轴的夹角, 则有

$$v_1^2 = 2ah, \quad (4)$$

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_0^2}, \quad (5)$$

$$\tan \theta = \frac{v_1}{v_0}. \quad (6)$$

由②、③、④式得 $v_1 = v_0$.

代入⑤、⑥式得 $v = \sqrt{2}v_0$, $\theta = 45^\circ$.

(3) 设磁场的磁感应强度为 B , 在洛伦兹力作用下粒子做匀速圆周运动, 由牛顿第二定律有:

$$qvB = m \frac{v^2}{r}, \quad (7)$$

r 是圆周的半径. 此圆周与 x 轴和 y 轴的交点分别为 P_2 、 P_3 . 因为 $OP_2 = OP_3$, $\theta = 45^\circ$, 由几何关系可知, 连线 P_2P_3 为圆轨道的直径, 由此可求得

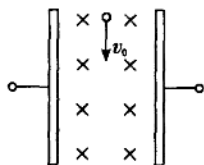
$$r = \sqrt{2}h. \quad (8)$$

由 $v = \sqrt{2}v_0$ 及⑦、⑧式可得: $B = \frac{mv_0}{qh}$.

点评 本题第(2)小题也可用动能定理求解, 同学们不妨试试.

适应性训练

1. 如图·理-专-2-12所示, 匀强电场和匀强磁场相互垂直, 现有一束带电粒子(不计重力)以速度 v_0 沿图示方向恰能直线穿过, 则下列说法正确的是().



图·理-专-2-12

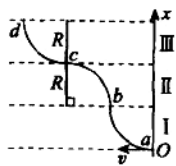
A. 如果带电粒子从下向上以 v_0 进入该区域, 则必须让平行板电容器左极板为正极, 粒子才能沿直线穿过

B. 如果带正电粒子速度小于 v_0 , 仍沿 v_0 方向射入该区域时, 其电势能会变小

C. 如果带负电粒子速度小于 v_0 , 仍沿 v_0 方向射入该区域时, 其电势能会变大

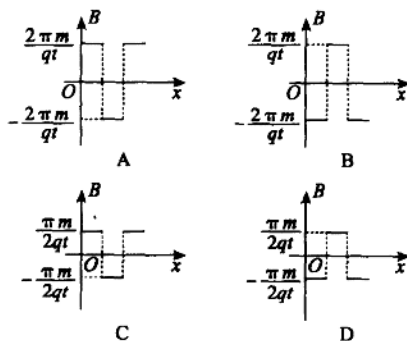
D. 无论带正电或负电的粒子, 若从下向上以 v_0 进入该区域时, 其动能都一定增大

2. 如图·理-专-2-13所示, 一个不计重力而质量为 m 、带正电荷量为 q 的粒子, 在 a 点以某一初速度水平射入一个磁场区域, 沿曲



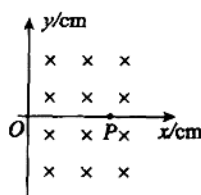
图·理-专-2-13

线 $abcd$ 运动, ab 、 bc 、 cd 都是半径为 R 的圆弧, 粒子在每段圆弧上运动的时间都为 t . 如果把由纸面垂直穿出的磁感应强度作为正值, 则磁场区域 I、II、III 三部分的磁感应强度 B 随 x 变化的关系是图·理-专-2-14 中的().



图·理-专-2-14

3. 如图·理-专-2-15所示, 在真空中直角坐标系 xOy 的 $x > 0$ 的区域内, 有磁感应强度 $B = 1.0 \times 10^{-2} \text{ T}$ 的匀强磁场, 方向与 xOy 平面垂直; 在 x 轴上的 $P(10, 0)$ 点有一离子源, 在 xOy 平面内向各个方向发射速率 $v = 4.0 \times 10^3 \text{ m/s}$ 的带正电粒子, 粒子质量为 $m = 4.0 \times 10^{-26} \text{ kg}$, 粒子带电荷量为 $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, 则带电粒子能打到 y 轴上的范围是(重力的影响不计)().



图·理-专-2-15

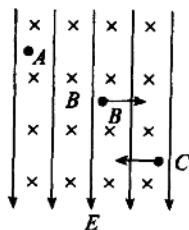
A. $-10 \text{ cm} \leq y \leq 10 \text{ cm}$

B. $-10 \text{ cm} \leq y \leq 10\sqrt{3} \text{ cm}$

C. $-10\sqrt{3} \text{ cm} \leq y \leq 10\sqrt{3} \text{ cm}$

D. $-10\sqrt{3} \text{ cm} \leq y \leq 10 \text{ cm}$

4. 如图·理-专-2-16所示, 匀强电场方向竖直向下, 匀强磁场方向垂直纸面向里, 三个油滴 A 、 B 、 C 带有等量的同种电荷, A 静止, B 向右匀速运动, C 向左匀速运动, 它们的质量是().



图·理-专-2-16

A. C 最大

B. B 最大

C. A 最大

D. 一样大