



丛书主编 陈东旭

2006 高考第二轮复习用书

热点重点难点

专题透析

物理

2

吉林文史出版社

金太阳系列丛书

高考热点重点难点 专题透析

物理

江西金太阳教育研究所

主 编:谭锦生

副主编:黄正玉 刘占想 张延赐

编 委:(按姓氏笔划排列)

尹增贵	史武新	刘占想	刘向雄	吕朝阳
何卫国	张延赐	杨志华	肖平习	胡凤娣
荆长城	贺中秋	赵蓝图	钟瑞文	徐礼明
黄正玉	谭锦生	阚明刚		

吉林文史出版社

图书在版编目(CIP)数据

高考热点重点难点专题透析. 物理 / 陈东旭主编. —长春: 吉林文史出版社, 2005. 10
ISBN 7-80702-309-0

I. 高... II. 陈... III. 物理课 高中 升学参考资料 IV. G634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 114901 号

书 名	高考热点重点难点专题透析
丛书主编	陈东旭
责任编辑	周海英
出版发行	吉林文史出版社
地 址	长春市人民大街 1646 号 130021
印 刷	江西青年报社印刷厂印刷
规 格	787 mm×1092 mm
开 本	16 开本
印 张	120 印张
字 数	3480 千字
版 次	2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 7-80702-309-0
定 价	145.00 元



前言

本书为2006年高考第二轮复习专用书。它与第一轮复习用书紧密衔接,根据教学实际,以专题归类的形式把高考各学科主干知识的内容明晰化、条理化、规律化。专题关注本学科高考热点、重点、难点,“讲”、“练”结合,使同学们能针对不足,逐点突破,对第一轮复习的薄弱环节进行补充,同时在训练中把握重点,掌握应试技巧,提高综合素质。本丛书分语文、数学、英语、物理、化学、生物、政治、历史、地理共9个分册。

本册为物理分册,编写体例如下:

一是知识技能板块,共分5个专题,以高中物理的核心内容为划分标准,主要针对高考中的热点、重点、难点知识,分析内容,讲解思路,展示方法,总结规律,预测方向。

二是思想方法板块,共分4个专题,主要针对高考题型,介绍解答物理题的方法及技巧,如“实验题的题型及处理方法”、“论述、计算题的解题方法和技巧”。

在本书的编写过程中,我们本着对读者负责的态度,章章推敲,层层把关,确保文质兼美。然而高考改革不断深化,命题形式不断出新,尽管我们付出了艰辛努力,但错误、疏漏之处仍然在所难免,恳请不吝雅正。相信在你我的共同努力下,本书能以其卓越的品质为广大考生的高考之路奠定坚实的基础。

编者

2005年10月



金太阳系列丛书

特别鸣谢以下学校的大力协助:

- | | | | | | |
|------|---|--|---|---|--|
| 江西省: | 南昌二中
南昌十七中
新余四中
临川二中
赣县中学
九江一中 | 江西师大附中
临川一中
抚州一中
赣州一中
修水一中
鹰潭一中 | 南昌一中
吉安一中
新建二中
江西南大附中
安福中学
赣州市三中 | 南昌二中
白鹭洲中学
上高二中
玉山一中
上饶一中
安义中学 | 南昌十中
新余一中
宜春中学
南康中学
萍乡中学
峡江中学 |
| 北京市: | 北京四中
首都师大附中 | 北京景山学校
北师大附中 | 清华大学附中
北京二中 | 北师大附属实验中学
北京二十中 | |
| 天津市: | 南开中学 | 耀华中学 | 天津实验中学 | 大港一中 | 静海县一中 |
| 河北省: | 邯郸一中 | 唐山市一中 | 衡水中学 | 正定中学 | 遵化一中 |
| 内蒙古: | 内蒙古师大附中 | 呼和浩特市二中 | 赤峰市二中 | | |
| 山西省: | 太原五中 | 临汾一中 | 平遥中学 | 运城中学 | 大同一中 |
| 辽宁省: | 沈阳市二中 | 东北育才中学 | 大连市八中 | 庄河高中 | |
| 吉林省: | 东北师大附中
松原前郭五中 | 省实验中学
松原市第二中学 | 长春市实验中学 | 吉林市一中 | 延边市二中 |
| 黑龙江: | 哈尔滨市六中 | 哈尔滨市九中 | 鸡西市一中 | 齐齐哈尔市实验中学 | |
| 江苏省: | 南京师大附中
姜堰中学 | 南京外国语学校
盐城中学 | 南京一中
徐州一中 | 南通中学
张家港高中 | 启东中学 |
| 浙江省: | 杭州高级中学
浙师大附中 | 浙江大学附中
东阳中学 | 宁波效实中学
衢州二中 | 诸暨中学
绍兴柯桥中学 | 金华市一中
温州中学 |
| 山东省: | 省实验中学
滨州市北镇中学 | 济南市一中
烟台市二中 | 青岛市二中
济宁市实验中学 | 曲阜师大附中
牟平一中 | 潍坊市一中 |
| 安徽省: | 合肥市一中 | 马鞍山市二中 | 安庆市一中 | 黟溪中学 | |
| 福建省: | 福建师大附中 | 南平高级中学 | 福州三中 | 龙岩二中 | 龙岩一中 |
| 河南省: | 河南大学附中 | 开封市高中 | 潢川一中 | 新乡市一中 | 平舆二高 |
| 湖北省: | 华中师大一附中
水果湖中学 | 黄冈中学
武汉二中 | 荆州中学
荆门市一中 | 武汉中学
仙桃中学 | 天门中学 |
| 湖南省: | 湖南师大附中
沅江市三中 | 长沙市一中
岳阳市一中 | 郴州市一中
岳阳县一中 | 株洲市二中
桑植一中 | 衡阳市八中
株洲市南方中学 |
| 广东省: | 华南师大附中
深圳教育学院附中 | 广东省实验中学
顺德市一中 | 汕头金山中学
高州中学 | 惠州市一中 | |
| 广西: | 广西师大附中 | 南宁市二中 | 北海市教科所 | 桂林市临桂中学 | |
| 四川省: | 成都市七中
彭州中学 | 成都石室中学
南充高级中学 | 成都市十二中
攀枝花市三中 | 四川师大附中 | 新都一中 |
| 重庆市: | 西南师大附中 | 重庆市一中 | 重庆市十一中 | 重庆市二中 | 重庆市八中 |
| 贵州省: | 凯里市一中 | 贵阳师大附中 | 兴义市一中 | | |
| 云南省: | 昆明一中 | 昆明三中 | 宣威一中 | 大理一中 | 曲靖一中 |
| 西藏: | 拉萨中学 | | | | |
| 陕西省: | 陕西师大附中
咸阳中学 | 西安中学
韩城象山中学 | 安康中学
绥德中学 | 延安中学
榆林市第一中学 | 渭南市瑞泉中学
榆林中学 |
| 甘肃省: | 西北师大附中 | 兰州市一中 | 天水一中 | | |
| 宁夏: | 宁夏大学附中 | 银川市一中 | 银川市唐徕回民中学 | | |
| 新疆: | 新疆实验中学 | 乌鲁木齐市一中 | 库尔勒华山中学 | 兵团二中 | 乌鲁木齐铁路三中 |

(限于篇幅仅列部分学校,敬请谅解)

高考三轮复习期心理问题指导

一、学会缓减心理压力

高三阶段,同学们进入到紧张的复习备考状态,你追我赶,激烈的竞争带来了巨大的压力。心理研究发现,保持适度的心理压力有利于学习效率的提高;但压力过大,会造成紧张、急躁心理。所以,同学们必须学会调节自身的心理压力。

首先,同学们应当认识到,随着高考的临近,抓紧时间复习、积极备考是正常的,正如军队临战前要练兵、运动员比赛前要训练一样。有了这样的认识,就能把压力变为动力。

其次,要在老师的指导下制定自己的复习计划,做到以“我”为主,紧而不乱,不要盲目地跟着别人跑。要把平时当考时,考时当平时,尽量以平静的心态来复习备考。

再次,还要注意搞好团结。同学间既竞争,又友好,互相帮助,共同进步。在一种宽松友爱的氛围中复习,会收到更好的效果,高考中也能发挥出自己的最高水平。

二、正确看待信心问题

一些同学由于付出的努力短时间内看不到效果,就对自己的能力产生怀疑,这是没有树立正确的归因理念所致。精神分析专家阿德勒在《超越自卑》一书中说:“事实上,每个人都是自卑的,只是程度不同而已。因为我们发现我们的现状都是可以进一步改善的。”从这个意义上来说,自卑也可以成为一个人进步的动力,人生正是在对自卑的不断超越中渐入佳境的。但是,持久的、过分的自卑感则容易造成心理疾患。在遭遇挫折时,建议同学们不妨尝试以下策略:

- 1.对自己有一个客观的、全面的评价。
- 2.善于将成功归结为自己的能力。
- 3.体验内心的喜悦感和成就感,要相信之所以失败是由于自己努力不够或无效努力。
- 4.制定阶段性目标,在不断达到目标的过程中体验成就感。
- 5.增强自信心。
- 6.乐观、平静地对待挫折,因为挫折对于成功同样是必要的。

三、如何缓解学业焦虑

1.学业焦虑往往体现在对考分的过分看重,说到底是对自己未来前途的焦虑。之所以如此,原因有三:一是出于群体效应,将分数作为衡量自己能力的唯一指标;二是不自觉地将获取高学历等同于自己的人生价值;三是渴望自我实现与现实学业成绩的不理想而导致的认知不协调。只有减轻心理负担与学习负担,才能减轻精神上的和学习上的压力,才能健康愉快地成长。为了缓解和消除学业焦虑,同学们可以尝试以下几种方法:

- (1)选择适合自己的目标动机水平,过强或过弱的动机水平都容易产生失败体验而导致心理压力。
- (2)未来对于每一个人来说都是一个未知数,不要过多地担忧将来的事情,而应将自己的精力和时间投入到现实的生活和学习中去。
- (3)考前作好知识准备以及应付考试突发事件的心理准备,有备才能无患。
- (4)不妨采用“极限思维法”,想象你所焦虑的事件可能的最坏结果,你会发现现状还是值得乐观的。

2.学习动力不足也常常令学生苦恼。一方面同学们都有提高成绩的需要,而另一方面,又容易产生浮躁、厌烦情绪,导致学习无动力或动力不足。学习动机分内在(具有持久性)和外在(具有短暂性)两种,学习者只有“知学”、“好学”并且“乐学”,从价值上给自己的学习以较高的评价,才会产生持久的学习动机。当然,学习的外在动机也是必要的,只有二者和谐作用,才会相辅相成,相得益彰。

四、如何克服精力分散

中学生在学习常常会出现注意力不集中、精力分散、“走神”等现象。造成注意力分散的原因可能有以下几点:因单调刺激而引起的厌倦感,如学习繁重、枯燥;否定注意对象的价值导致意志努力失败或放弃努力;由精神疲劳而引起的疲劳效应。

“注意紧张状态”理论提出学习单元时间的概念。由于个性差异,每个人的学习单元时间可能不尽相同,有人认为一个人的最佳学习单元时间约为25分钟,通俗地讲,一个学习单元时间即是一个注意紧张状态,学习者应避免在一个既定学习单元时间内分心。

可以尝试以下克服注意力分散的三步控制法:

- 第一步,当出现某种滞涩情绪时,同学们应敏感地意识到,并提醒自己不能成为情绪的俘虏。
- 第二步,尽快着手按已定的复习计划学习。
- 第三步,继续学习,直到完成。

明白了上述道理,同学们就能够克服在一个学习单元时间内注意力分散的不良习惯,从而提高学习的效率。

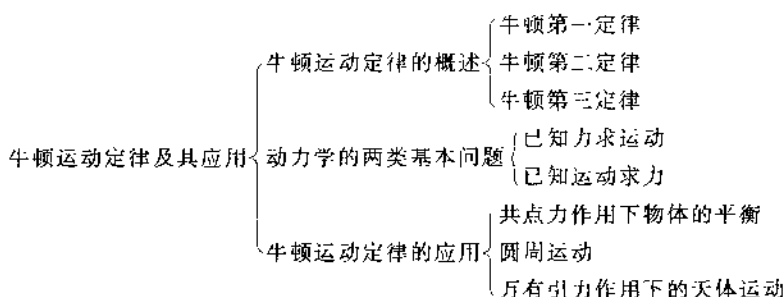
目 录

第一专题	牛顿运动定律及其应用	(1)
第二专题	动量和能量	(23)
第三专题	带电粒子在电场和磁场中的运动	(38)
第四专题	电磁感应和电路的分析、计算	(55)
第五专题	物理学科内的综合	(76)
第六专题	物理解题中的数学方法	(92)
第七专题	选择题的分析和解题技巧	(106)
第八专题	实验题的题型及处理方法	(119)
第九专题	论述、计算题的解题方法和技巧	(135)

第一专题

牛顿运动定律及其应用

热点、重点、难点



一、牛顿运动定律的概述

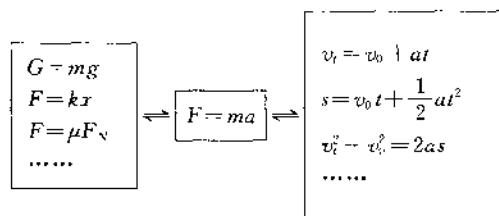
牛顿运动三大定律是经典物理学中最重要、最基本的规律,也是力学乃至整个物理学的基石.这部分内容也是历年高考试题中,用来鉴别考生能力、选拔有潜能的考生的重要内容之一.

牛顿第一定律揭示了力和运动的关系,即力是改变物体运动状态的原因,而不是维持物体运动状态的原因;它还揭示出了物体具有惯性,且惯性是物体的固有属性,而质量是惯性大小的量度.

牛顿第二定律是力的瞬时作用规律.力和加速度同时产生、同时变化、同时消失. $F_{\text{合}}=ma$ 是一个矢量方程, a 的方向始终和物体所受的合外力 $F_{\text{合}}$ 的方向相同.作用在物体上的每一个外力都会使物体产生一个加速度,物体表现出来的加速度就是所有力产生的加速度的矢量和,这就是力的独立作用原理.牛顿第二定律只适用于宏观低速运动的物体,而不适用于微观高速运动的物体.

牛顿第三定律中的作用力和反作用力是作用在两个物体上的,且同时产生、同时消失.作用力和反作用力属于同种性质的力.

二、动力学的两类基本问题



1. 已知物体的受力情况时,先求出物体的合外力,再应用牛顿第二定律求出加速度,最后根据物体的初始条件,应用运动学公式求出物体的运动情况——任意时刻的位置、速度以及物体的运动轨迹.

2. 已知物体的运动情况时,先利用运动学公式求出物体运动的加速度,再根据牛顿第二定律推断出或求出物体的受力情况.

三、牛顿运动定律的应用

1. 共点力作用下物体的平衡

(1) 高中物理涉及的平衡有两类:一类是共点力平衡,另一类为转动平衡(高考不作要求).共点力平衡是指物体在所受力的共同作用下,处于静止或匀速直线运动状态,这些力的作用点或作用线相交于一点,且 $F_{\text{合}}=0$.若物体在共点力的作用下,状态发生缓慢变化,其过程可近似看做平衡过程,其中的每一个状态均可视为平衡状态,这就是准静态平衡.这类问题可用平衡条件来处理.

(2) 分析共点力平衡的基本思路是在正确把握其运动状态(平衡态)的同时,根据力的分解法或力的合成法来求解.首先选取研究对象,对研究对象进行受力分析,再根据其平衡特点(即 $F_{\text{合}}=0$)来处理,必要时要建立直角坐标系,将各力进行正交分解,由 $\sum F_x=0$ 、 $\sum F_y=0$ 建立方程求解.

2. 圆周运动

(1) 理解并熟练掌握描述圆周运动的物理量

◇ 第一专题 牛顿运动定律及其应用

描述圆周运动的物理量有线速度、角速度、周期、频率、向心力、向心加速度等,要深刻理解每个物理量的物理意义、大小、方向以及应注意的问题。例如对“向心加速度”有:

①物理意义:描述线速度方向改变的快慢。

②大小: $a = \frac{v^2}{r} = r\omega^2 = 4\pi^2 rf^2 \cdot r = \frac{4\pi^2}{T^2} r - v\omega$ 。

③方向:总是指向圆心,且时刻在变化。

④注意: ω 不变时, a 与 r 成正比; v 不变时, a 与 r 成反比。若无 ω 或 v 不变的前提条件,不能由 $a = r\omega^2$ 或 $a = \frac{v^2}{r}$ 得出 a 与 r 成正比或反比的结论。

(2) 匀速圆周运动

①性质:变加速曲线运动。变加速是因为 a 的方向不断变化,曲线是因其轨迹为圆周。要注意其“匀速”的意思为“匀速率”而不是“匀速度”。

②特点:线速度的大小、角速度、周期、频率、向心加速度的大小和向心力的大小都恒定不变。

(3) 非匀速圆周运动

①特点:速度的大小和方向都在变化,且向心力和向心加速度的大小和方向随时发生变化,因而在利用公式求圆周上某一点的向心力和向心加速度的大小时,必须用该点的瞬时值。

②考查内容:做非匀速圆周运动的物体在特殊位置(如竖直面内圆周运动的最高点和最低点)或特定条件下的求解。

(4) 应用中注意的问题

①在分析转动装置的各个物理量时,要抓住一些“过渡桥梁”。例如:同轴转动的各点的角速度 ω 相等;在不考虑皮带、链条等打滑的情况下,传送带连接的两轮的边缘各点的线速度大小相等。

②处理圆周运动中的动力学问题时,在明确研究对象后,要注意以下三个问题:

a. 研究对象的轨道平面和圆心的位置。例如,火车转弯时,其轨道平面是在水平面内而不是在斜面上;又如如图 1-1 所示,在半球形容容器内壁上做匀速圆周运动的小球 P ,其轨道平面为水平面,圆心是轨道平面上的 O' 点而不是容器的球心 O 。

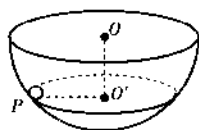


图 1-1

b. 向心力不是与重力、弹力、摩擦力等并列的“性质力”,而是根据效果命名的“效果力”,故在分析做圆周运动的质点的受力情况时,切不可在性质力上再添加一个向心力。

c. 坐标系的建立,应用牛顿第二定律解答圆周运动的问题时,常用到正交分解法,其坐标原点是做圆周运动的物体(视为质点)所在的位置,相互垂直的两个坐标轴中,其中一个坐标轴的方向一定沿半径指向圆心。

(5) 竖直面内圆周运动的临界问题

①受最大轨道约束的质点(如:细绳系着的物体、沿圆环内壁运动的物体)做圆周运动,在通过轨道的最高点时(如图 1-2 所示):

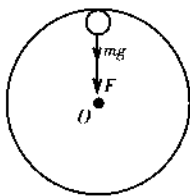


图 1-2

$$F + mg = m \frac{v^2}{R}$$

因为 $F \geq 0$, 所以 $v \geq \sqrt{Rg}$

即物体通过最高点的速度临界值为 $v = \sqrt{Rg}$ 。当 $v \geq \sqrt{Rg}$ 时,物体能过最高点;当 $v < \sqrt{Rg}$ 时,物体还没到最高点就脱离了轨道。

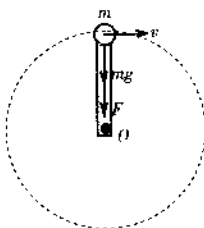


图 1-3

②轨道半径一定的质点(如:套在环上的物体、有轻杆或管约束的物体)做圆周运动,当

它通过最高点时(如图 1-3 所示),有 $F + mg = m \frac{v^2}{R}$ 。

因为 F 可为正值(方向指向圆心),也可为负值(方向背离圆心),还可为零,故物体通过最高点的速度可以为任意值,即 $v \geq 0$, 所以,物体过最高点的临界速度为 $v = 0$ 。当 $v > \sqrt{Rg}$ 时,环、杆或管对物体的作用力 F 为正值(方向指向圆心);当 $0 < v < \sqrt{Rg}$ 时, F 为负值(方向背离圆心);当 $v = \sqrt{Rg}$ 时, $F = 0$ 。

3. 万有引力作用下的天体运动

中学阶段通常把天体的运行轨道近似为一个圆周,并将天体的运动认为是匀速圆周运动。

(1) 向心力:由万有引力提供。

(2) 动力学方程

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

$$m(2\pi f)^2 r$$

(3) 绕地球做匀速圆周运动的卫星的绕行速度、角速度、周期与半径 r 的关系。

$$\text{由 } G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}, \text{ 得 } v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

因此 r 越大, v 越小。

$$\text{由 } G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r, \text{ 得 } \omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$$

因此 r 越大, ω 越小,

由 $G \frac{Mm}{r^2} = mr \frac{4\pi^2}{T^2}$, 得 $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$

因此 r 越大, T 越大.

(4) 三个宇宙速度

第一宇宙速度(环绕速度): $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v_1^2}{R}$, $v_1 =$

$\sqrt{\frac{GM}{R}} = \sqrt{gR} = 7.9 \text{ km/s}$, 是人造天体环绕地球运动的最大速度, 也是人造天体的最小地面发射速度.

第二宇宙速度(脱离速度): $v_2 = 11.2 \text{ km/s}$, 是使人造天体发射到地球引力以外的空间的最小速度.

第三宇宙速度(逃逸速度): $v_3 = 16.7 \text{ km/s}$, 是使人造天体脱离太阳引力范围的最小发射速度.

(5) 发射速度与运行速度

所谓发射速度是指被发射的物体在地面附近离开发射装置时的初速度. 若要使卫星在距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, 即 $v_{\text{发}} > 7.9 \text{ km/s}$. 若人造地球卫星的发射速度满足 $7.9 \text{ km/s} < v_{\text{发}} < 11.2 \text{ m/s}$, 则其将在高空沿着圆轨道或椭圆轨道运行.

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. 由 $v \propto \frac{1}{\sqrt{R}}$ 可知, 卫星在高空的运行速度一定小于第一宇宙速度, 即 $v_{\text{运}} < 7.9 \text{ km/s}$. 若卫星进入轨道后的运行速度是 $7.9 \text{ km/s} < v_{\text{运}} < 11.2 \text{ m/s}$, 它绕地球运行的轨道就不是圆, 而是椭圆.

由于卫星在发射过程中要克服地球引力做功, 增大重力势能, 所以将卫星发射到离地球越远的轨道上, 在地面所需要的发射速度就越大, 但进入圆周轨道的速度却越小.

解题精要

一、运用牛顿运动定律解题的基本思路和方法

1. 运用牛顿第二定律解题的基本思路

(1) 通过审题, 灵活地选取研究对象.

(2) 分析研究对象的受力情况和运动情况.

通常可以把研究对象提取出来(即隔离法), 然后抓住力的本质特征, 从它跟周围物体的联系上去寻找作用于研究对象的所有外力, 并画出受力示意图, 再进一步明确物体做何种运动, 在运动过程中能知晓哪些量, 以及判断加速度的方向等.

(3) 根据牛顿第二定律列出方程.

(4) 统一单位后, 将数值代入方程求解.

(5) 检查答案是否完整、合理.

注意: 如果所求的未知量是矢量, 必须将所求量的大小和方向都在答案中明确写出. 如果题目中所求的力与求解得到的力是一对作用力与反作用力, 还需借助牛顿第三定律得到题目中所要求的力.

2. 运用牛顿运动定律解题的基本方法

(1) 合成法

合成法就是先直接求出物体所受外力的合力, 然后应用牛顿运动定律 $F_{\text{合}} = ma$ 求解的方法. 当物体只受两、三个力作用, 且较容易求出其合力时, 使用此法比较方便.

例1 质量 $m = 20 \text{ kg}$ 的物体, 在大小恒定的水平外力 F 的作用下, 沿水平面做直线运动, $0 \sim 2 \text{ s}$ 内 F 与运动方向相反, $2 \sim 4 \text{ s}$ 内 F 与运动方向相同. 物体的速度—时间图象如图 1-4 所示, g 取 10 m/s^2 . 求物体与水平面间的动摩擦因数 μ .

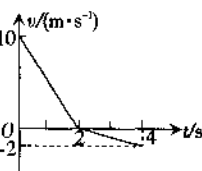


图 1-4

解析: 由图象可知, $0 \sim 2 \text{ s}$ 内物体做匀减速直线运动, 加速度大小 $a_1 = 5 \text{ m/s}^2$, 由牛顿第二定律知 $F + f = ma_1$,

$2 \sim 4 \text{ s}$ 内物体做匀加速直线运动, 加速度大小 $a_2 = 1 \text{ m/s}^2$, 且 $F - f = ma_2$

又 $f = \mu mg$

由上三式解得 $\mu = 0.2$.

(2) 分解法

分解法是指在不同方向上应用牛顿第二定律.

正交分解法可以将受力较为复杂的力学问题转化为单个方向的较为简单的动力学问题进行求解, 使复杂问题简单化.

例2 如图 1-5 甲所示, 质量为 m_2 的物体 B 放在车厢的地板上, 用细线通过定滑轮与质量为 m_1 的物体 A 相连, 不计滑轮摩擦. 现在车厢以加速度 a 向右做匀加速运动, 物体 B 压在地板上且所连细线仍处于竖直方向, 则 ()

A. 与 A 相连的细线与竖直方向的夹角 $\theta =$

$$\arctan \frac{a}{g}$$

B. 物体 B 所受细线的拉力 $T = m_1 g \cos \theta$

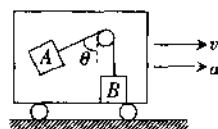


图 1-5 甲

C. 物体 B 所受细线的拉力 $T = m_1 \sqrt{a^2 + g^2}$

D. 物体 B 所受地板的摩擦力 $f = m_2 a$

◇ 第一专题 牛顿运动定律及其应用

解析:当整体以加速度 a 向右做匀加速运动,与物体 A 相连的绳与竖直方向的角 θ 保持不变时,物体 A 受力如图 1-5 乙所示,沿水平方向和竖直方向正交分解,得方程:

$$T \cos \theta = m_1 g$$

$$T \sin \theta = m_1 a$$

$$\text{解得: } \tan \theta = \frac{a}{g}, \text{ 所以 } \theta = \arctan \frac{a}{g}$$

由于 T 与 $m_1 g$ 的合力为 $m_1 a$, 则

$$T^2 = (m_1 g)^2 + (m_1 a)^2$$

$$\text{可得: } T = \sqrt{m_1^2 g^2 + m_1^2 a^2}$$

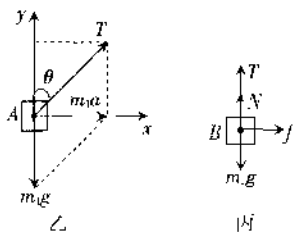


图 1-5

物体 B 的受力如图 1-5 丙所示.

水平方向列方程: $f = m_2 a$

故选 A、C、D.

(3) 整体法与隔离法

整体法是指当连接体内(即系统内)各物体具有相同的加速度时,可以把连接体内所有物体组成的系统作为整体考虑,分析其受力情况,利用牛顿第二定律对整体列方程求解.

隔离法是指当研究对象涉及由多个物体组成的系统时,若要求连接体内物体间的相互作用力,则应把某个物体或某几个物体从系统中隔离出来,分析其受力情况及运动情况,再利用牛顿第二定律对隔离出来的物体列式求解.

当连接体中各物体的加速度相同或求合外力时,优先考虑“整体法”;当连接体中各物体加速度不相同或要求物体间的作用力时,优先考虑“隔离法”.有时一个问题要两种方法结合起来使用才能解决.

例 3 如图 1-6 甲所示,在水平地面上有 A 、 B 两个物体,质量分别为 $m_A = 3.0 \text{ kg}$ 和 $m_B = 2.0 \text{ kg}$,它们与地面间的动摩擦因数均为 $\mu = 0.10$,在 A 、 B 之间有一根原长 $l = 15 \text{ cm}$ 、劲度系数 $k = 500 \text{ N/m}$ 的轻质弹簧将它们连接.现分别用方向相反的水平恒力 F_1 、 F_2 同时作用在 A 、 B 两物体上,已知 $F_1 = 20 \text{ N}$, $F_2 = 10 \text{ N}$, $g = 10 \text{ m/s}^2$. 当

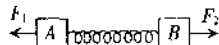


图 1-6 甲

A 、 B 相对静止时,求:

(1) A 和 B 共同运动的加速度大小.

(2) A 、 B 之间的距离.(A 和 B 均可视为质点)

解析:当整个系统的运动达到稳定时, A 、 B 两物体具有相同的加速度且弹簧长度保持不变.由于 $F_1 > F_2$, 则整体向左加速运动.

(1)对 A 、 B 及弹簧组成的系统,由于它们具有相同的加速度,求这个加速度的大小时采用整体法比较适宜,整体受力分析如图 1-6 乙所示,设整体加速度为 a , 则:

$$F_1 - F_2 - f_1 - f_2 = (m_A + m_B) a$$

$$\text{又 } f_1 = \mu m_A g$$

$$f_2 = \mu m_B g$$

$$\text{联解可得: } a = \frac{F_1 - F_2 - \mu m_A g - \mu m_B g}{m_A + m_B} = -1 \text{ m/s}^2$$

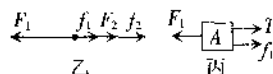


图 1-6

(2)求 A 、 B 间的距离即弹簧的长度时,涉及系统中的内力(弹簧弹力),则采用隔离法解决.隔离 A 物体,它具有和系统一样大小、方向的加速度, A 物体受力如图 1-6 丙所示,则:

$$F_1 - f_1 - T = m_A a$$

$$T = k(l' - l)$$

$$\text{联解两式得弹簧长度 } l' = 0.178 \text{ m.}$$

(4) 运用牛顿第三定律

在应用牛顿运动定律的过程中,有时无法直接求得问题的结果,此时可选取与直接对象有相互关系的另一物体作为研究对象,最后应用牛顿第三定律求出题目的所求量.

分析物体间的相互作用时,通常也会涉及牛顿第三定律.

例 4 有人做过这样一个实验:如图 1-7 所示,把鸡蛋 A 向另一个完全一样的鸡蛋 B 撞去(用同一部分撞击),结果每次都是被撞击的鸡蛋 B 被撞破.则下面说法中正确的是 ()

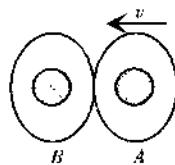


图 1-7

- A 对 B 的作用力的大小等于 B 对 A 的作用力的大小
- A 对 B 的作用力的大小大于 B 对 A 的作用力的大小
- A 蛋碰撞的瞬间,其内蛋黄和蛋白由于惯性会对 A 蛋壳产生向前的作用力

D. A 蛋的碰撞部位除受到 B 对它的作用力外,还受到 A 蛋中蛋黄和蛋白对它的作用力,所以所受合力较小

解析:根据牛顿第三定律,A 对 B 的作用力与 B 对 A 的作用力是作用力与反作用力的关系,它们大小相等,则选项 A 对 B 错.由于 A 除了受到 B 对它的作用力外,碰撞的瞬间 A 蛋的蛋黄和蛋白由于惯性还会对 A 蛋壳产生向 A 运动方向的作用力,所以 A 蛋壳所受合力较小,则 C、D 项对.故选 A、C、D.

(5) 瞬时分析法

牛顿第二定律中的合外力与加速度存在瞬时对应关系,即加速度是力作用在物体上的瞬时效果,每一瞬时的加速度只取决于这一瞬时的合外力,与这一瞬时的力无关.

物体间的相互作用力在有些情况下可以突变,解题时要特别注意轻线、轻绳、轻弹簧和橡皮绳的力的差别.

①“轻线”和“轻绳”是理想模型,具有以下几个特点:

a. 轻绳和线的质量和重力均为零,则同一根绳或线的两端及其中间各点的张力大小相等.

b. 软绳和线只能承受拉力,不能承受压力.

c. 不可伸长.无论绳或线所受的拉力有多大,绳子的长度不变,故绳或线中的张力可以突变.

②“轻弹簧”和“橡皮绳”是理想模型,具有以下几个特点:

a. 轻弹簧或橡皮绳的质量和重力均为零,则同一根弹簧或橡皮绳的两端及其中间各点的弹力大小相等.

b. 弹簧沿轴线既能承受拉力,也能承受压力;橡皮绳只能承受拉力,不能承受压力.

c. 由于弹簧和橡皮绳受力时形变较大,发生形变需要一段时间,所以弹簧和橡皮绳中的弹力不能突变.但如果弹簧或橡皮绳被剪断,其弹力将立即消失.

③桌面、斜面、墙壁以及坚硬的物体,它们受力时一般形变很小,故它们产生的弹力可以突变.

例 5 如图 1-8 所示,一根轻弹簧的 B 端固定,另一端 C 与细绳的一端共同拉住一个质量为 m 的小球,细绳的另一端 A 也固定,且 AC、BC 与竖直方向的夹角分别为 θ_1 和 θ_2 . 则烧断细绳的瞬间,小球的加速度 $a_1 =$ _____. 若弹簧在 C 处与小球脱开,则脱开瞬间小球的加速度 $a_2 =$ _____.

图 1-8

解析:当细绳被烧断的瞬间,弹簧由于来不及发生形变,弹簧的弹力不能发生突变,将暂时保持不变.但当弹簧在 C 处与小球脱开时,细绳上的弹力则可以发生突变.对剪断前后的物体进行受力分析,即可求出其加速度的大小.

设小球静止时,细绳上的弹力为 F_1 ,弹簧上的拉力为 F_2 ,由三力平衡的正弦定理可得:

$$\frac{mg}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} = \frac{F_1}{\sin \theta_2} = \frac{F_2}{\sin \theta_1}$$

$$\text{所以 } F_1 = \frac{\sin \theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} mg$$

$$F_2 = \frac{\sin \theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} mg$$

当细绳被烧断的瞬间,小球所受的合力与 F_1 大小相等、方向相反,由牛顿第二定律可得小球的加速度 a_1

$$\frac{F_1}{m} = \frac{\sin \theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} g, \text{ 方向与 } F_1 \text{ 相反,即沿 AC 方向.}$$

当弹簧在 C 处与小球脱开时,细绳上的拉力由 $\frac{\sin \theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} mg$ 突变为 $mg \cos \theta$,由牛顿第二定律可得小球的加速度 $a = g \sin \theta$,方向垂直细绳 AC 向下.

(6) 巧选参考系

高中阶段的位移、速度、加速度等物理量在多数情况下是选地面或地面上静止不动的物体作为参考系,但有时也可以选取做加速运动的物体为参考系,使解题过程更简捷.

例 6 如图 1-9 所示,一质量为 M 、长为 L 的长方形木块 B 放在光滑的水平地面上,在其右端放一质量为 m 的小木块 A, $m < M$. 现以地面为参考系,给 A 和 B 大小相等、方向相反的初速度,使 A 开始向左运动, B 开始向右运动,但最后 A 刚好没有滑离 B 板. 若初速度大小未知,求小木块 A 向左运动到达最远处(从地面上看)时离出发点的距离.

图 1-9

解析:此题是高考的压轴题,其物理情景模糊,条件隐蔽,过程复杂.可以用动量和能量的观点解答.但如果选取木板为参考系,就可避免寻找几何条件的麻烦,从而根据牛顿第二定律和运动学规律使问题顺利解决.

以长木板为参考系,则木块的初速度向左且大小为 $2v_0$,加速度向右且大小为 $a = \frac{f}{M} + \frac{f}{m}$. 木块滑至木板左端的位移大小为 L ,末速度对板为零. 所以 $0 - (2v_0)^2 = -2aL$, 即 $4v_0^2 = 2(\frac{f}{M} + \frac{f}{m})L$ ①

◇ 第一专题 牛顿运动定律及其应用

再选地为参考系,木块的初速度大小为 v_0 ,滑至对地向左最远处时对地的速度为零,此过程中木块对地的加速度大小为 $a' = \frac{f}{m}$,设对地位移为 s ,则 $0 - v_0^2 = -2a's$,即 $v_0^2 = 2 \frac{f}{m} s$ ②

联立①②两式得 $s = \frac{M+m}{4M} L$.

(7) 临界条件分析法

当一种物理现象变为另一种物理现象,或物体的一种物理特征变为另一种特征时,存在着一种状态向另一种状态过渡的转折点,这个转折点的状态常被称为临界状态,转折所需的条件称为临界条件.

解决临界问题的关键是:认真分析题中的物理情境,将各个过程划分阶段,找出各阶段中物理量发生突变或转折的“临界点”,然后分析出这些“临界点”应符合的临界条件,并将其转化为物理条件.

例 7 如图 1-10 甲

所示,质量为 $M=4 \text{ kg}$ 的木板长 $L=1.4 \text{ m}$,静止在光滑的水平地面上,其

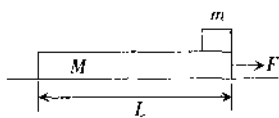


图 1-10 甲

上端右侧静置一个质量

为 $m=1 \text{ kg}$ 的小滑块,小滑块与木板间的动摩擦因数 $\mu=0.4$.今用一水平力 $F=28 \text{ N}$ 向右拉木板,要使小滑块从木板上掉下来,求此力作用时间至少要多大?

解析:撤去 F 的前后,木板与滑块均要发生相对运动,其运动过程如图 1-10 乙所示.

设 F 作用时间为 t ,滑块在撤去 F 后再运动时间 t' 后刚好不从木板的左边掉下来,则 F 的作用时间 t 最短.对滑块, $f=\mu mg=ma_1$,解得 $a_1=\mu g$.

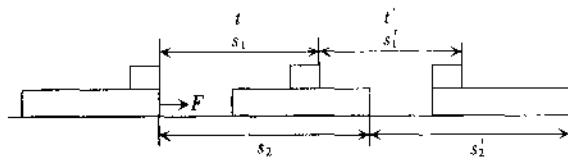


图 1-10 乙

$$s_1 + s_1' = \frac{1}{2} a_1 (t + t')^2$$

$$v_1 = a_1 (t + t')$$

$$\text{对木板,开始时 } F - f = Ma_2, a_2 = \frac{F - \mu mg}{M}$$

$$s_2 = \frac{1}{2} a_2 t^2, v_2 = a_2 t$$

$$\text{撤去 } F \text{ 后, } a_2' = \frac{\mu mg}{M}$$

$$s_2' = v_2 t' = \frac{1}{2} a_2' t'^2$$

$$v_2' = v_2 - a_2' t'$$

结合两物体的关系又可列得约束方程

$$v_1 = v_2'$$

$$s_1 + s_1' + L = s_2 + s_2'$$

$$\text{解得 } t = 1 \text{ s}, t' = 0.4 \text{ s}$$

$t = 1.4 \text{ s}, t' = 0.56 \text{ s}$ (不合题意,舍去.同学们不妨考虑一下此解为什么不合题意)

(8) 图象法

物理学问题的表达方式通常有文字、数字、字母、表格、函数、图象等,其中图象是常见且直观的一种方式.

在动力学问题中,常见的图象有位移-时间图象、速度-时间图象和力-时间图象等.

利用图象分析动力学问题时,关键是要将题目中的物理情境与图象结合起来分析,利用物理规律或公式列式求解或做出正确判断.如必须弄清位移、速度、加速度等物理量和图象中斜率、截距、交点、折点、面积等的对应关系.

例 8 如图 1-11 甲所示,地面上有一质量为 M 的重物,用力 F 向上提它,力 F 变化而引起物体加速度变化的函数关系如图 1-11 乙所示,则以下说法中正确的是 ()

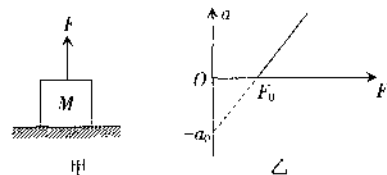


图 1-11

A. 当 $F < F_0$ 时,物体的重力 $Mg > F$,物体不动

B. 图中 $F_0 = Mg$

C. 物体向上运动的加速度和力 F 成正比

D. 图中 $a_0 = g$

解析:当 $0 \leq F \leq Mg$ 时,物体静止;当 $F > Mg$ 时,

物体加速离开地面,且 $a = \frac{F}{M} - g$,当 $a = 0$ 时, $F_0 = Mg$;当 $F = 0$ 时,可得 $a = -g = -a_0$,故 $a_0 = g$. 故选 A、B、D.

(9) 质心运动定理

当研究对象是由多个相互作用、相互联系的质点所组成的质点系,且各个质点的加速度不同时,在中学阶段我们常用的解法为隔离法,但这样过于繁琐.若能

直接以由这些质点所组成的系统为研究对象,运用质点组的牛顿第二定律(也叫质心运动定理)进行求解,可以取得十分简便、高效的解题效果,此方法常用于高考试题的半定量计算以及对运算结果的验证中。

①质点组的牛顿第二定律的内容表述:质点组所受到的合外力等于各个质点的质量与其对应的加速度的乘积的矢量和,其数学表达式为 $F_{\text{合}} = \sum_{i=1}^n m_i a_i = m_1 a_1 + m_2 a_2 + \dots + m_n a_n$ 。

②应用该定律时应注意的几个问题:

a. 分清内力、外力,质点组中质点相互作用的力为内力,质点组以外的物体对质点组内任一质点的作用力为外力,质点组的内力满足牛顿第三定律,所以质点组中诸内力的总和必等于零。

b. 定律中等号两边都是矢量和,而不是代数和。

c. 定律所涉及的力都是外力,所以不能用它来求质点间的相互作用力。

例9 如图1-12甲所示,倾角 $\alpha = 30^\circ$ 、质量 $M = 34 \text{ kg}$ 的斜面体始终停在粗糙的水平地面上,质量 $m_A = 14 \text{ kg}$ 、 $m_B = 2 \text{ kg}$ 的物体A和B,由细线通过定滑轮连接。

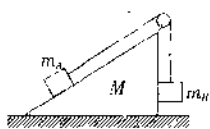


图1-12甲

若A以 $a = 2.5 \text{ m/s}^2$ 的加速度沿斜面下滑,求此过程中地面对斜面体的摩擦力和支持力各是多大?

解析:取A、B及斜面体为研究对象,它受到的外力是竖直向下的重力 $(m_A + m_B + M)g$ 、地面竖直向上的支持力 F_N 及水平方向的静摩擦力 F_f ,将A物体的加速度沿水平方向和竖直方向分解,如图1-12乙所示。

根据牛顿第二定律的系统表达式,地面对斜面体的摩擦力应为水平向左,大小为:

$$F_f = m_A a_x = m_A a \cos \alpha = 30 \text{ N}$$

在竖直方向上应有:

$$F_N - (m_A + m_B + M)g = m_A a - m_A a_y$$

即地面对小车的支持力

$$F_N = (m_A + m_B + M)g + m_A a - m_A a \sin \alpha = 487.5 \text{ N}$$

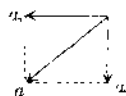


图1-12乙

二、共点力作用下物体的平衡

1. 正交分解法

把物体受到的外力沿正交的 x 轴和 y 轴方向进行分解,由于物体处于平衡状态,则物体在 x 、 y 轴方向上的合外力均为零,表达式为:

$$F_{\text{合}x} = 0$$

$$F_{\text{合}y} = 0$$

2. 三角形法

若三个不平行的共点力的合力为零,三力矢量平移组成的图形必定为一封闭的三角形。

3. 三力汇交原理

物体在同一平面内的三个不平行的力的作用下处于平衡状态,这三个力必定共点。

例10 重为 G 的均匀细杆的一端用水平细绳拉着,另一端铰链在粗糙的水平面上不动,已知杆与地面夹 α 角,细绳拉力为 T ,如图1-13甲所示,求地面对杆的作用力。

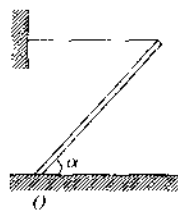
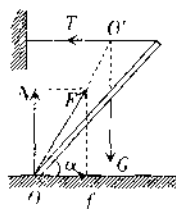
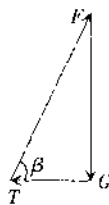


图1-13甲

解析:如图1-13乙所示,杆受到 T 、 G 、 N 、 f 四个力的作用,其中 N 与 f 的合力为 F , F 为地面对杆的作用力,这些非平行的力均共面,则 F 、 T 、 G 三力一定会汇交于一点 O' ,且这三个力可以构成一个封闭的力三角形,如图1-13丙所示。



乙



丙

图1-13

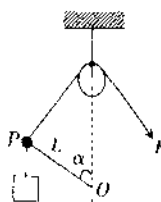
$$\text{则: } F = \sqrt{G^2 + T^2}$$

$$\beta = \arctan \frac{G}{T}$$

1. 相似三角形法

对于受到三个共点力的作用而处于平衡状态的物体来说,这三个力可构成一个封闭的矢量三角形,我们可运用数学中解三角形的有关知识来求解,如正弦、余弦定理,有时还可以利用力的矢量三角形与物体所在空间构成的几何三角形的相似来求解。

例11 如图1-11甲所示,不计重力的轻杆OP能以O点为圆心在竖直平面内自由转动,P端挂一重物,另用一根轻绳通过滑轮系住P端,在F的作用下OP和竖直方向的夹角 α 缓慢增大时 $(0 < \alpha < \pi)$,则两绳对OP杆的作用力的大小



() 图1-11甲

- A. 恒定不变 B. 逐渐增大
C. 逐渐减小 D. 先增大后减小

◇ 第一专题 牛顿运动定律及其应用

解析: 轻杆在 P 点受到的力沿杆方向, 则 P 点所受的 T_1 、 T_2 的合力 F 一定沿杆方向, 如图 1-14 乙所示, 设 $OP=L$, $OA=h$,

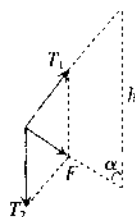


图 1-14 乙

由三角形相似知: $\frac{G}{h} = \frac{F}{L}$ 得:

$$F = \frac{L}{h}G$$

故选 A.

注意: 在共点力平衡的问题中, 常常有“轻绳(绳重不计)、轻杆(杆重不计)及轻弹簧(弹簧质量不计)”的说法, 我们要特别注意这些. 其中, 不少同学对轻杆的施力或受力有误解, 认为轻杆所受的力或它施在别的物体上的力一定沿杆的方向, 但事实并非如此. 如图 1-15 甲所示, 轻杆的一端可绕 O 点转动, 另一端 A 拴在一条水平的绳子上, 有一重物 G 挂在杆的中点 B 上. 对轻杆受力分析可知, 轻杆受到绳拉力 F_1 、重物拉力 T 和地面对它的力 F_2 的作用, 这三个力形成共点力. 从图 1-15 乙中可以看出, 轻杆两头的受力方向都不沿杆的方向.

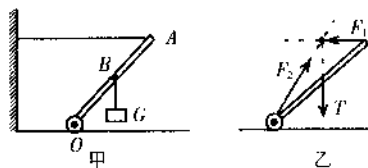


图 1-15

判断杆所受的力是否沿杆的方向的关键是: ①杆必须是轻杆; ②杆间不受与杆有夹角的外力的作用. 也就是说, 如果杆为轻杆, 且只有两端受力, 则杆两端所受的一个力(或几个力的合力)的方向必定沿杆.

5. 图解法

这种方法适用于三力平衡或力的分解. 合成中已知一个力的大小、方向不变, 另一个力的方向不变, 判断因第三个力的方向变化而引起两个力的大小变化的情况, 以及另一个力的大小不变、方向改变而引起第三个力的变化的情况.

例 12 如图 1-16 甲所示, 一个重为 G 的匀质球放在倾角为 α 的光滑斜面上, 在斜面上另有一光滑的不

计厚度的木板挡住球, 使之处于静止状态. 今使板与斜面间的夹角 β 缓慢增大, 则在此过程中, 球对挡板和球对斜面的压力大小将如何变化?

解析: 隔离小球并对其进行受力分析, 小球受重力 G 、挡板对球的压力 N_1 以及斜面对球的支持力 N_2 三力的作用而处于静止状态, 如图 1-16 乙所示. 在挡板缓慢转动的过程中, 小球可认为是处于一系列的平衡状态. 根据共点力的平衡条件可得, 任意二力 N_1 和 N_2

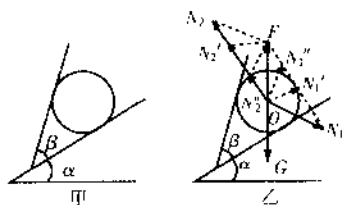


图 1-16

的合力 F 始终与第三个力 G 等值、反向. 在 β 增大的过程中, 斜面不变故 N_2 方向不变, β 增大使得 N_1 的方向发生变化, 即由 $N_1 \rightarrow N_1' \rightarrow N_1''$. 根据平行四边形定则作出不同状态下的矢量合成图. 由图可以看出, 在 β 缓慢增大的过程中, N_2 不断减小, N_1 先减小后增大. 根据牛顿第三定律可得, 球对挡板的压力先减小后增大, 球对斜面的压力逐渐减小.

三、超重与失重

1. 超重: 物体对支持物的压力(或对悬挂物的拉力)大于物体所受重力的现象.

2. 失重: 物体对支持物的压力(或对悬挂物的拉力)小于物体所受重力的现象.

3. 完全失重: 物体对支持物的压力(或对悬挂物的拉力)等于零的现象.

注意:

1. 物体的加速度 a 向上时, 不论 a 多大, 竖直方向均有弹力大于重力.

2. 物体的加速度 a 向下时, 竖直方向的弹力 N 有以下几种情况.

① $a < g$ 时, $N > mg$.

② $a = g$ 时, 出现完全失重现象, $N = 0$.

③ $g < a < 2g$ 时, $0 < N < mg$.

如图 1-17 所示.

④ $a = 2g$ 时, $N = mg$.

⑤ $a > 2g$ 时, $N > mg$.

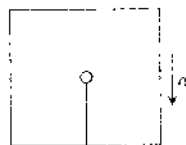


图 1-17

例 13 第四代战斗机的加速度最大能达到 $7g$. 若此战斗机在竖直方向上运动, 被固定在水平座椅上的

质量为 m 的飞行员

()

- A. 在加速上升的过程中,可能出现失重现象
 B. 在加速下降的过程中,对座椅的作用力可能大于 mg
 C. 在上升的过程中,对座椅的压力 N 可能小于 mg
 D. 在下降的过程中,对座椅的压力 N 一定小于 mg

解析: 在加速上升的过程中,由于 $N - mg = ma$, 则 $N > mg$, 一定出现超重现象, 则 A 项错; 在加速下降的过程中, 当 $a > 2g$ 时, 对座椅的压力 N 大于 mg , 则 B 项正确, D 项错误; 在减速上升的过程中, 可能出现失重现象, 则 C 项正确. 选 B、C.

四、解决圆周运动问题的基本思路

1. 确定研究对象运动的轨道平面, 找圆心, 求半径.
2. 对研究对象进行受力分析, 作出受力示意图.
3. 分析向心力的来源.

(1) 力的合成法: 当物体做匀速圆周运动时, 将其所受的力进行合成, 则合力就是向心力.

(2) 力的正交分解法: 当物体做变速圆周运动时, 将其所受的力沿切向和法向方向进行正交分解, 在法向上的合力提供向心力.

(3) 在中学阶段研究天体运动时, 将行星绕恒星或卫星绕行星的运动近似看做匀速圆周运动, 其所需要的向心力 $F_{\text{向}}$ 由万有引力提供, 即:

$$F_{\text{引}} = G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = mr \frac{4\pi^2}{T^2} = ma.$$

例 14 如图 1-18 所示, 质量分别为 m_A 、 m_B 的两个小球用轻弹簧连在一起, 且 $m_A = 1m_B$, 用一根长 $L_1 = 40 \text{ cm}$ 的不可伸长的细线一端连着 A 球, 另一端拴在轴 OO' 上, m_A 与 m_B 均以 $n = 120 \text{ r/min}$ 绕轴在光滑的水平面上匀速转动. 当两球间的距离 $L_2 = 0.6 \text{ m}$ 时将线烧断, 试求线被烧断后的瞬间, 两球加速度 a_A 和 a_B 的大小和方向.

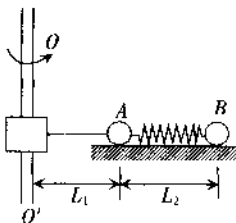


图 1-18

解析: 在线被烧断前, 设弹簧的弹力为 F , 线中张力为 F_1 , 则对 B 球有:

$$F = m_B \omega^2 (L_1 + L_2)$$

$$\text{对 A 球有 } F_1 - F = m_A \omega^2 L_1$$

细线烧断后的瞬间, 弹簧中的弹力尚未及变化,

故 B 球受力不变, 由牛顿第二定律得 $a_B = \frac{F}{m_B} = \omega^2 (L_1 + L_2) = (\frac{120}{60} \times 2\pi)^2 \times (0.4 + 0.6) \text{ m/s}^2 = 158 \text{ m/s}^2$, 方向指向圆心. 而 A 球在线被烧断后的瞬间, 线中张力 F_1 消失, 故也只受弹力 F 的作用. 由牛顿第二定律得 $a_A = \frac{F}{m_A} = \frac{m_B}{m_A} \omega^2 (L_1 + L_2) = \frac{1}{4} (\frac{120}{60} \times 2\pi)^2 \times (0.4 + 0.6) \text{ m/s}^2 = 39.4 \text{ m/s}^2$, 方向指向 B.

五、万有引力定律的应用

1. 双星

双星是指两颗由于彼此间的万有引力作用而绕共同圆心各自做圆周运动的星体.

例 15 现根据对某一双星系统的光学测量确定: 该双星系统中两星体的质量都是 M , 两者相距 L , 它们正围绕两者连线的中点做圆周运动. 引力常量为 G .

(1) 试计算该双星系统的运动周期 T .

(2) 若实验中观测到的运动周期为 T' , 且 $T' : T = 1 : \sqrt{N}$ ($N > 1$). 为了解释两者的不同, 目前有一种流行的理论认为, 在宇宙中可能存在一种望远镜观测不到的物质——暗物质. 作为一种简化的模型, 我们假定在以这两个星体连线为直径的球体内均匀分布着这种暗物质, 不考虑其他暗物质的影响, 试根据这一模型和上述观测结果确定该星系间这种暗物质的密度.

解析: (1) 由万有引力提供向心力有:

$$\frac{GM^2}{L^2} = M \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \quad ①$$

$$\therefore T = \pi L \sqrt{\frac{2}{GM}}$$

(2) 设暗物质的密度为 ρ , 质量为 m .

由万有引力提供向心力有:

$$\frac{GM^2}{L^2} + \frac{GMm}{(\frac{L}{2})^2} = M \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{4\pi^2}{T'^2} \quad ②$$

$$\text{由 } ①② \text{ 得: } \frac{M}{M+4m} = (\frac{T'}{T})^2 = \frac{1}{N}$$

$$\text{而 } m = \rho \cdot \frac{L^3}{6}$$

$$\text{由上解得: } \rho = \frac{3(N-1)M}{2\pi L^3}$$

2. “黑洞”问题

黑洞是由一颗或多颗星体由于相互吸引而塌缩成体积无限小而密度无限大的状态, 星体此时表现为非

◇ 第一专题 牛顿运动定律及其应用

常强的引力场,星体附近的任何物质,包括光子也逃不出这个引力场,因此在外边看不见该星体。

黑洞并无有形的表层,黑洞的半径应理解为黑洞中心到“事件水平面”的距离,在这个距离以内,光子也无法逃脱。

估算黑洞半径一般有以下两种方法。

(1)质量为 m 的粒子在质量为 M 的星球附近的引力势能为 $-G \frac{Mm}{r}$,其中 r 为粒子与星球球心的距离。

若粒子要脱离星球,需具有的动能最小值应满足 $\frac{1}{2}mv^2$

$$-G \frac{Mm}{r} = 0, \text{即 } v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}.$$

若粒子达到光速也不能脱离它的束缚,则 $\frac{1}{2}mc^2$

$$G \frac{Mm}{r} < 0, \text{即 } r < \sqrt{\frac{2GM}{c^2}}, \text{则黑洞的最大半径值 } r_{\max} = \frac{2GM}{c^2}.$$

(2)能量为 $E=mc^2$ 的光子在黑洞中不能脱离黑洞的束缚,需满足 $mc^2 - G \frac{Mm}{r} < 0$,即 $r < \frac{GM}{c^2}$,则黑洞的

$$\text{最大半径值 } r_{\max} = \frac{GM}{c^2}.$$

在第一种算法中没有考虑以光速行进的光子的相对论效应,而在第二种算法中光子的质量考虑到了其相对论效应的质量.在近似估算时这两种方法均可使用。

例 16 物体沿质量为 M 、半径为 R 的星球表面做匀速圆周运动所需的速度 v_1 叫做该星球的第一宇宙速度;只要物体在该星球表面具有足够大的速度 v_2 ,就可以脱离该星球的万有引力而飞离星球(即到达距星球无穷远处),这个速度叫做该星球的第二宇宙速度.理论上可以证明 $v_2 = \sqrt{2}v_1$.一旦该星球的第二宇宙速度的大小超过了光速 $c=3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$,则该星球上的任何物体(包括光子)都无法摆脱该星球的引力,于是它就将与外界断绝一切物质和信息的交流.从宇宙的其他部分看来,它就像是消失了一样,这就是所谓的“黑洞”.试分析一颗质量为 $M=2.0 \times 10^{31} \text{ kg}$ 的恒星,当它的半径坍塌为多大时就会成为一个“黑洞”? (计算时取引力常量 $G=6.7 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$,答案保留一位有效数字)

解析:由牛顿第二定律得, $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v_1^2}{R}$

$$\text{又知 } v_2 = \sqrt{2}v_1$$

$$\text{令 } v_2 = c$$

由以上三式得:

$$R = \frac{2GM}{c^2} = \frac{2 \times 6.7 \times 10^{-11} \times 2.0 \times 10^{31}}{(3.0 \times 10^8)^2} \text{ m} \approx 3 \times 10^4 \text{ m}.$$

3. 万有引力定律与其他规律相结合

例 17 一颗陨石在飞向某行星的途中,在距行星表面高 h 处碰到了以速度 v 绕此行星做匀速圆周运动的自动宇宙站,碰撞的结果是陨石陷入站内,宇宙站也因此过渡到距行星表面高 $\frac{h}{2}$ 处的新轨道上,并以速度

$\frac{\sqrt{5}}{2}v$ 绕行星做匀速圆周运动.假设在该行星表面以不大的速度 v 竖直上抛一物体,则物体在空中运动的时间为多少? (计算时不计空气等阻力)

解析:由万有引力提供向心力有:

$$\frac{GMm}{(R+h)^2} = \frac{mv^2}{R+h}, \text{即 } \frac{GM}{R+h} = v^2$$

$$\text{在新轨道上同样有: } \frac{GM}{R+\frac{h}{2}} = \left(\frac{\sqrt{5}}{2}v\right)^2$$

$$\text{对于行星表面有: } g = \frac{GM}{R^2}$$

$$\text{竖直上抛时在空中运动时间 } t = \frac{2v_0}{g}$$

$$\text{解得: } t = \frac{9v_0 h}{5v^2}.$$

4. 开普勒第三定律的应用

(太阳的)所有行星的轨道的半长轴的三次方跟公转周期的二次方的比值都相等,这就是开普勒第三定律,也叫周期定律.若我们把行星的椭圆轨道近似地当做圆,用 r 代表轨道半径, T 代表公转周期,则开普勒第三定律的表达式为 $\frac{r^3}{T^2} = k$.由基本方程 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2}$ 可得 $\frac{r^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2} = k$ (恒量),显然这个恒量 k 只与恒星的质量 M 有关,而与行星的其他任何物理量均无关。

例 18 两个球形行星 A 和 B 各有一卫星 a 和 b , a 星的圆轨道接近各自行星的表面.如果两行星质量比为 $\frac{M_A}{M_B} = p$,两行星半径比为 $\frac{R_A}{R_B} = q$,则两卫星周期之比 $\frac{T_a}{T_b}$ 为 ()

$$A. q\sqrt{\frac{q}{p}} \quad B. q\sqrt{p} \quad C. p\sqrt{\frac{p}{q}} \quad D. \sqrt{pq}$$

解析:卫星 a 和 b 分别绕行星 A 和 B 运行, k 值不等.根据 $\frac{R^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$ 可得: