



21 世纪高等院校经典教材同步辅导
ERSHIMISHIJI GAODENGXYUANXIAOJINGDIANJIAOCAITONGBUFUDAO

普通物理学

(第六版)

全程导学及习题全解

王金良 王天磊 杨增逵 编
苗明川 主审

- ◆知识归纳 梳理主线重点难点
- ◆习题详解 精确解答教材习题
- ◆提高练习 巩固知识迈向更高



中国时代经济出版社
China Modern Economic Publishing House



21 世纪高等院校经典教材同步辅导
ERSHIYISHIJIGAODENGXYUANXIAOJINGDIANJIACAITONGBUFUDAO

04/10=6C2

2008

普通物理学

(第六版)

全程导学及习题全解

王金良 王天磊 杨增逵 编
苗明川 主审

- ◆ 知识归纳 梳理主线重点难点
- ◆ 习题详解 精确解答教材习题
- ◆ 提高练习 巩固知识迈向更高

中国时代经济出版社
China Modern Economic Publishing House

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学(第六版)全程导学及习题全解/王金良,王天磊,杨增逵编. —北京:中国时代经济出版社,2008.3

(21世纪高等院校经典教材同步辅导)

ISBN 978-7-80221-517-7

I. 普… II. ①王…②王…③杨… III. 普通物理学—高等学校—教学参考资料
IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 197396 号

普通物理学(第六版)全程导学及习题全解

王金良 王天磊 杨增逵 编

出版者	中国时代经济出版社
地 址	北京西城区车公庄大街 乙5号鸿儒大厦B座
邮政编码	100044
电 话	(010)68320825(发行部) (010)88361317(邮购)
传 真	(010)68320634
发 行	各地新华书店
印 刷	北京新丰印刷厂
开 本	787×1092 1/16
版 次	2008年3月第1版
印 次	2008年3月第1次印刷
印 张	21.125
印 数	1~5000册
字 数	365千字
定 价	24.00元
书 号	ISBN 978-7-80221-517-7

版权所有 侵权必究

内 容 简 介

本书是根据高等教育出版社出版的,程守洙、江之永主编,胡盘新、汤毓骏、钟季廉修订的《普通物理学》(第六版)教材编写的教学参考书。全书共十五章,每章分为“本章知识要点”、“复习思考题解答”和“习题全解”和三个部分。对各章知识要点做了简要全面的归纳,对每章的思考题及习题给出了尽可能全面详细的解答,旨在加深学生对所学知识的理解和掌握,提高学生的学习能力。

本书适合高等院校工科各专业物理课程的教学参考书,也可供其它相关人员参考。

前 言

物理学是大学生必须学习和掌握的一门重要的基础学科,应注重理解和掌握物理学的基本概念和规律,对所研究的问题建立起清晰的物理图象,有助于学生分析和解决问题。

高等教育出版社出版的,程守洙、江之永主编,胡盘新、汤毓骏、钟季廉修订的《普通物理学》(第六版)是一本在高校广为使用的教科书。《普通物理学》(第六版)是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,较前一版更趋于完善。为了更好地配合《普通物理学》(第六版)的使用,特别是给学生的学习提供帮助,我们编写了这本题解。

为了培养学生扎实的基础,对物理问题的正确把握,建立起合理的解题思路,我们在解题中注重物理现象的分析,给出了详细的推导过程,使学生在解题过程中能有所回味,体会物理问题中所含的规律和意义,能够触类旁通,举一反三,对相关的物理问题和规律有更深入的认识。编者企望本书对读者的学习能力的提高和学习素质的培养有所帮助。

全书共十五章,与《普通物理学》(第六版)每一章相对应。每章分为“本章知识要点”、“复习思考题解答”和“习题全解”三个部分。对各章知识要点做了简要全面的归纳,对每章的思考题及习题给出了尽可能全面详细的解答,旨在加深学生对所学知识的理解和掌握,提高学生的学习能力。

本章知识要点:对本章的重要知识点、计算公式、定理等作一个总体的归纳,让读者对本章的要点一目了然。

复习思考题解答:对本章后的问题都逐题作了详细的阐述,使读者能够更加深刻地理解和掌握本章内容。

习题全解:对每一道习题都作了尽可能详尽的解答,解题中所用到的知识点都予以了说明,让读者能够充分了解到每章习题的类型和考察的知识点,从而在做题中得到锻炼以至得心应手。为了方便起见,这两部分的题号与《普通物理学》(第六版)保持一致。

要学好物理,就需要认真地做一些习题,做题能够使学生对相关的物理学基本概念和规律有进一步的认识。本书对解题方法和技巧的运用和介绍希望能使读者举一反三、触类旁通,拓宽分析问题的思路,提高解决问题的能力。

本书由王金良、王天磊、杨增逵、戴晓伟、杨皓、魏兴等编写。苗明川负责全书的审稿。本书得到张时声、严琪琪等老师们给予的大力支持和帮助,编者对此深表感谢。

本书在编写过程中得到中国时代经济出版社的领导和有关编辑的支持和帮助,在此表示衷心的感谢!对《普通物理学》(第六版)教材作者程守洙、江之永,胡盘新、汤毓骏、钟季廉等老师们表示衷心的感谢!

由于时间仓促,编者的水平有限,书中的错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2008年1月

目 录

第一章 力和运动	1
本章知识要点	1
复习思考题解答	2
习题全解	8
第二章 运动的守恒量和守恒定律	31
本章知识要点	31
复习思考题解答	33
习题全解	38
第三章 刚体和流体的运动	60
本章知识要点	60
复习思考题解答	61
习题全解	64
第四章 相对论基础	77
本章知识要点	77
复习思考题解答	78
习题全解	80
第五章 气体动理论	88
本章知识要点	88
复习思考题解答	90
习题全解	95
第六章 热力学基础	104
本章知识要点	104
复习思考题解答	106
习题全解	111
第七章 静止电荷的电场	128
本章知识要点	128
复习思考题解答	130
习题全解	136
第八章 恒定电流的磁场	165
本章知识要点	165
复习思考题解答	166
习题全解	172

第九章 电磁感应 电磁场理论	192
本章知识要点	192
复习思考题解答	193
习题全解	198
第十章 机械振动和电磁振荡	212
本章知识要点	212
复习思考题解答	213
习题全解	220
第十一章 机械波和电磁波	235
本章知识要点	235
复习思考题解答	237
习题全解	241
第十二章 光学	258
本章知识要点	258
复习思考题解答	261
习题全解	271
第十三章 早期量子论和量子力学基础	296
本章知识要点	296
复习思考题解答	298
习题全解	303
第十四章 激光和固体的量子理论	322
本章知识要点	322
复习思考题解答	322
习题全解	325
第十五章 原子核物理和粒子物理简介	328
本章知识要点	328
复习思考题解答	328
习题全解	329

第一章 力和运动

本章知识要点

1. 质点运动的描述

质点:物体的大小和形状不起作用,或者所起的作用并不显著而可以忽略不计时,我们就可以近似地把该物体看作是一个具有质量而大小和形状可以忽略的理想物体.

参考系:要描述一个物体的机械运动,就得选择另一个物体或几个彼此之间相对静止的物体作为参考,被选作参考的物体就叫做参考系.

位矢:从原点指向质点所在位置的有向线段,用矢量 $\mathbf{r}$ 表示. 引入沿 Ox, Oy, Oz 三轴正方向的单位矢量 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 后 $\mathbf{r}$ 写成: $\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$.

位移:在时刻 t , 质点在 A 处, 在时刻 $t + \Delta t$, 质点到达 B 处, 则在时间 Δt 内, 从 A 到 B 的有向线段 $\overline{AB}$ 称为质点的位移矢量. A, B 两点的位矢分别用 $\mathbf{r}_A$ 和 $\mathbf{r}_B$ 表示, 则 $\overline{AB} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = \Delta \mathbf{r}$.

速度:平均速度:
$$\mathbf{v} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$$

平均速率:
$$\frac{\Delta s}{\Delta t}$$

瞬时速度:
$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

加速度:
$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2}$$

2. 圆周运动和一般曲线运动

自然坐标系下:
$$\mathbf{a} = \frac{dv}{dt} \mathbf{e}_t + \frac{v^2}{R} \mathbf{e}_n$$

切向加速度: $\mathbf{a}_t = \frac{dv}{dt} \mathbf{e}_t$; 法向加速度: $\mathbf{a}_n = \frac{v^2}{R} \mathbf{e}_n$

角速度:
$$\boldsymbol{\omega} = \frac{d\theta}{dt}$$

角加速度:
$$\boldsymbol{\alpha} = \frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt}$$

质点作圆周运动时,线量和角量之间关系:
$$\begin{cases} v = R\omega \\ a_t = R\alpha \\ a_n = \frac{v^2}{R} = v\omega = R\omega^2 \end{cases}$$

抛体的轨迹方程:

$$y = x \tan \theta - \frac{1}{2} \frac{g x^2}{v_0^2 \cos^2 \theta}$$

3. 相对运动

伽利略坐标变换式:

$$\begin{cases} x' = x - vt \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases}$$

速度变换:

$$v_{PK} = v_{PK'} + v_{K'K}$$

加速度变换:

$$a_{PK} = a_{PK'} + a_{K'K}$$

原点在两个相对作匀速直线运动的参考系中的加速度是相同的, 即 $a_{PK} = a_{PK'}$.

4. 牛顿运动定律

第一定律(惯性定律): 任何物体都保持静止或沿一直线作匀速运动的状态, 直到作用在它上面的力迫使它改变这种状态为止.

第二定律:

$$F = ma = m \frac{dv}{dt}$$

$$F = \frac{dp}{dt} \quad p = mv$$

第三定律:

$$F_{AB} = -F_{BA}$$

5. 伽利略相对性原理

伽利略相对性原理: 一切彼此作匀速直线运动的惯性系, 对于描写机械运动的力学规律来说是完全等价的. 在一个惯性系的内部所作的任何力学的实验都不能够确定这一个惯性系本身是在静止状态, 还是在作匀速直线运动.

经典力学的时空观: 经典力学认为物体的运动虽在时间和空间中进行, 但是时间和空间的性质与物质的运动彼此没有任何联系. 伽利略的相对性原理及牛顿力学的符合, 应理解为低速条件的符合.

复习思考题解答

1-1-1 回答下列问题:

- (1) 一物体具有加速度而其速度为零, 是否可能?
- (2) 一物体具有恒定的速率但仍有变化的速度, 是否可能?
- (3) 一物体具有恒定的速度但仍有变化的速率, 是否可能?
- (4) 一物体具有沿 Ox 轴正方向的加速度而有沿 Ox 轴负方向的速度, 是否可能?
- (5) 一物体的加速度大小恒定而其速度的方向改变, 是否可能?

答: (1) 可能. 例如, 物体由静止开始运动, 做简谐振动的物体在偏离平衡位置最大时, 速

度为零而加速度不为零.

(2)可能. 速率是标量, 速度是矢量, 速度的变化是大小或方向改变, 而速率仅表示速度的大小. 例如, 做匀速圆周运动的物体, 速率恒定, 而速度变化.

(3)不可能. 速度恒定即表示速度大小、方向均不变, 速率也一定不会变.

(4)可能. 做减速运动的物体例如, 汽车刹车时均满足加速度和速度方向相反.

(5)可能. 匀速圆周运动的物体加速度大小恒定, 方向改变, 速度也是如此.

1-1-2 回答下列问题:

(1)位移和路程有何区别? 在什么情况下两者的量值相等? 在什么情况下并不相等?

(2)平均速度和平均速率有何区别? 在什么情况下两者的量值相等? 瞬时速度和平均速率的关系和区别是怎样的? 瞬时速度和平均速度的关系和区别又是怎样的?

答:(1)位移是矢量, 路程是标量, 位移是物体初末位矢之差, 由起点指向末点的有向线段, 而路程是物体位置改变中实际经过的路径. 二者一般情况不同, 当物体作直线运动并且速度方向不发生改变时, 位移和路程量值相等.

(2)平均速度是位移除以相应时间, 即 $\bar{v} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$; 而平均速率是路程除相应时间, 即 $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$.

二者一般情况不等, 只有当 $|\Delta \mathbf{r}| = \Delta s$, 即位移与路程量值相等时, 平均速率和平均速度才在量值上相等.

瞬时速度定义 $\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$, 描述了质点每一瞬时的运动状态而平均速度是物质在一段时间内位矢的平均变化率, 当物体做匀速直线运动时, 二者量值相等.

瞬时速率定义 $v = \frac{ds}{dt}$, 平均速率 $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$. 瞬时速率是瞬时速度的大小, 描述质点路程的瞬时变化率, 它与平均速率的关系如同瞬时速度和平均速度关系一样.

1-1-3 回答下列问题:

(1)有人说:“运动物体的加速度越大, 物体的速度也越大”, 你认为对不对?

(2)有人说:“物体在直线上运动前进时, 如果物体向前的加速度减小, 物体前进的速度也就减小了”, 你认为对不对?

(3)有人说:“物体加速度的值很大, 而物体速度的值可以不变, 是不可能的”, 你认为如何?

答:(1)不对. 加速度 $\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt}$ 仅表示物体速度的变化率, 与速度完全不同, 加速度大, 速度不一定大. 例如, 物体由静止运动的瞬间, 加速度很大, 而速度小.

(2)不对. 由 $\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt}$ 知只要速度与加速度方向相同, 速度就会增大, 否则速度减小, 加速度大小是用来衡量速度变化快慢的.

(3)可能. 速度是矢量, 速度的值是标量, 物体有加速度, 速度一定会改变, 但速度值不一定变. 例如, 匀速圆周运动物体, 速度值一直不变.

1-1-4 设质点的运动学方程为 $x = x(t)$, $y = y(t)$, 在计算质点的速度和加速度时, 有

人先求出 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, 然后根据 $v = \frac{dr}{dt}$ 及 $a = \frac{d^2 r}{dt^2}$ 而求得结果; 又有人先计算速度和加速度的

分量,再合成求得结果,即 $v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$ 及 $a = \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2}$ 你认为两种方法哪一种正确? 两者差别何在?

答:后者正确. 因为 $\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j}$ 而 $\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}\mathbf{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\mathbf{j}$

故 $v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$, $a = \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2}$

而第一种方法 r 是矢量这一个特性没有体现出来,仅把 r 作为标量来处理.

由 $\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dr}{dt}\mathbf{e}_r = \frac{dr}{dt}\mathbf{e}_r + r \frac{d\mathbf{e}_r}{dt}$

知第一种方法确实错了.

1-2-1 试回答下列问题:

(1) 匀加速运动是否一定是直线运动? 为什么?

(2) 在圆周运动中,加速度方向是否一定指向圆心? 为什么?

答:(1) 不一定. 匀加速度运动不一定是直线运动,当加速度方向与速度方向一致时,是直线运动;方向不一致时,是曲线运动,例如斜抛运动.

(2) 不一定. 圆周运动中 $\mathbf{a} = \mathbf{a}_n + \mathbf{a}_t$, $\mathbf{a}_n$ 向心加速度指向圆心,而 $\mathbf{a}_t$ 切向加速度不为零时,是垂直于半径方向的. 故当 $\mathbf{a}_t$ 不为零时,即圆周运动的速率改变时,加速度方向不指向圆心.

1-2-2 对于物体的曲线运动有下面两种说法:

(1) 物体作曲线运动时,必有加速度,加速度的法向分量一定不等于零;

(2) 物体作曲线运动时速度方向一定在运动轨道的切线方向,法向分速度恒等于零,因此其法向加速度一定等于零.

试判断上述二种说法是否正确,并讨论物体作曲线运动时速度、加速度的大小、方向及其关系.

答:(1) 正确. 由 $\mathbf{a} = \mathbf{a}_n + \mathbf{a}_t$, 知切向加速度 $\mathbf{a}_t$ 是由物体速度大小改变引起的,而法向加速度 $\mathbf{a}_n$ 是由物体速度方向改变而引起的,物体作曲线运动,速度方向改变因此法向加速度 $\mathbf{a}_n$ 一定不为零.

(2) 不完全正确. 物体作曲线运动,速度方向一定沿轨道切线分量,法向分速度恒等于零,但由 $a_n = \frac{v^2}{\rho}$ 知,法向加速度不为零.

物体作曲线运动,速度方向沿轨道切线,大小为 $\left|\frac{d\mathbf{r}}{dt}\right|$. 而加速度 $\mathbf{a} = \mathbf{a}_n + \mathbf{a}_t$, $\mathbf{a}_t$ 方向沿轨迹切线,大小 $\left|\frac{dv}{dt}\right|$; 法向加速度 $\mathbf{a}_n$ 大小为 $\frac{v^2}{\rho}$, 方向垂直于切线. (其中 ρ 指该点处的曲率半径)

1-2-3 一个作平面运动的质点,它的运动表达式是 $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$, $\mathbf{v} = \mathbf{v}(t)$, 如果 (1) $\frac{dr}{dt} = 0$,

$\frac{dr}{dt} \neq 0$, 质点作什么运动? (2) $\frac{dv}{dt} = 0$, $\frac{dv}{dt} \neq 0$, 质点作什么运动?

答:若 $\frac{dr}{dt} \neq 0$, $\frac{dr}{dt} = 0$, 质点作圆周运动;若 $\frac{dv}{dt} = 0$, $\frac{dv}{dt} \neq 0$, 质点作匀速率曲线运动,如匀速

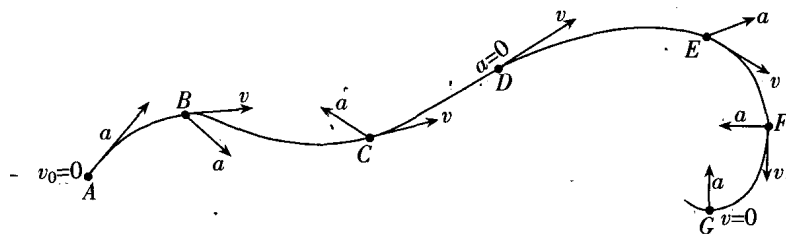
圆周运动.

1-2-4 圆周运动中质点的加速度是否一定和速度方向垂直? 任意曲线运动的加速度是否一定不与速度方向垂直?

答: 圆周运动中质点的加速度不一定和速度方向垂直. 例如, 质点作变速圆周运动时, 切向加速度和法向加速度均不为零, 加速度不垂直于速度方向.

任意曲线运动的加速度不一定与速度方向垂直. 例如, 匀速率的曲线运动的加速度方向与速度方向垂直.

1-2-5 一质点沿轨道 $ABCDEFG$ 运动, 试分析图中各点处的运动, 把答案填入下表.



思考题 1-2-5 图

各点情况	A	B	C	D	E	F	G
运动是否可能	可能	可能	可能	不可能	不可能	可能	不可能
速度将增大还是减小	增大	增大	减小			不变	
速度方向将变化否	不变	变化	变化			变化	

分析: 现逐点分析各点的运动. 由 $a = a_n + a_t = \frac{v^2}{\rho} e_n + \frac{dv}{dt} e_t$ 知, A 点可能, 质点由静止开始运动, 此时 $a_n = 0, a_t \neq 0$. B 点可能, 并且 a_t 与 v 方向相同, 速度增大, $a_n \neq 0$, 方向肯定变化. 同理可得出 C 点的运动. 而 D 点 $v \neq 0$, 所以 $a_n \neq 0$. 故加速度 $a \neq 0$. 对于 E 点, 法向加速度 a_n 指向曲率半径的方向, 而图中 a 的法向分量背离曲率半径, 故不可能. 对于 F 点, a 与 v 垂直, 即表示 $a_t = 0$, 质点在这一瞬时做匀速率运动. 对于 G 点不可能, 由于 $v = 0, a_n = 0$, 加速度方向只能沿速度方向即轨迹切线方向.

1-3-1 一人在以恒定速度运动的火车上竖直向上抛出一石子, 此石子能否落回人的手中? 如果石子抛出后, 火车以恒定加速度前进, 结果又将怎样?

答: 若火车以恒定速度运动, 石子必然会回到人的手中, 当然这里我们忽略各种阻力, 因为以火车为参考系, 相当于人站在静止地面上竖直上抛石子, 若火车以恒定加速度加速, 石子不会落到人手中. 同样地, 以火车为参考系, 人静止而石子具有了与火车加速度方向相反的加速度, 故不会落到人手中.

1-3-2 装有竖直遮风玻璃的汽车, 在大雨中以速度 v 前进, 雨滴则以速度 v' 竖直下降, 问雨滴将以什么角度打击遮风玻璃?

答: 本题关键是选择参考系, 选汽车为参考系分析雨点运动, 则 $v' = v + v_e$, 其中 v_e 表示在汽车参考系中雨点速度, 则 $v_e = v' - v$. 又汽车速度 v 与雨滴速度垂直, 故雨滴以与挡风玻

璃成 $\alpha = \arctan \frac{v}{v_0}$ 角度打击。

1-3-3 一斜抛物体的水平初速度是 v_0 , 它的轨迹的最高点处的曲率半径是多大?

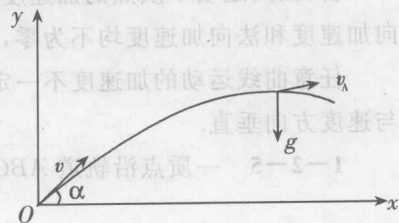
答: 如答 1-3-3 图所示, 设斜抛物体初速度为 v , 抛射角 α 则依题意, 有 $v_0 = v \cos \alpha$

设最高点为 A, 此时速度为 $v_A = v_{Ax} + v_{Ay}$

质点处于最高点 $v_{Ay} = 0$, 水平方向物体不受力, 水平方向动量守恒, 水平速度不变, 即 $v_{Ax} = v_0$ 。

所以 $v_A = v_0$ 方向水平

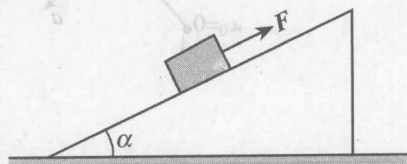
由法向加速度 $a_n = \frac{v_A^2}{\rho} = \frac{v_0^2}{\rho} = g$ 得 $\rho = \frac{v_0^2}{g}$



答 1-3-3 图

1-3-4 物体 A 在外力作用下静止在斜面上, 如图所示, 试分析作用在物体上的静摩擦力的方向。

答: 设物体 A 的重力为 G , 则沿斜面向下的分量为 $G \sin \alpha$ 。静摩擦力的方向与相对运动趋势的方向相反, 所以, 若 $G \sin \alpha > F$, 物体 A 有相对向下的运动趋势, 静摩擦力的方向就沿斜面向上; 反之 $G \sin \alpha < F$, 物体 A 有相对向上的运动趋势, 静摩擦力的方向就沿斜面向下。



思考题 1-3-4 图

1-3-5 两个物体相互接触, 或有联系时, 彼此间是否一定存在弹性力?

答: 不一定。弹性力是产生在两个相互接触的物体之间, 但是以物体的形变为先决条件。若两相互接触物体无形变就无弹性力。

1-4-1 回答下列问题:

(1) 物体的运动方向和合外力方向是否一定相同?

(2) 物体受到几个力的作用, 是否一定产生加速度?

(3) 物体运动的速率不变, 所受合外力是否为零?

(4) 物体速度很大, 所受到的合外力是否也很大?

答: (1) 不一定。运动方向与速度方向相同, 而合外力方向与加速度方向相同, 二者方向不一定相同。例如, 作斜抛运动和匀速圆周运动物体, 运动方向与合外力方向不相同。

(2) 不一定。由牛顿第一定理知, $F_{\text{合}} = 0$ 时, 加速度为零。

(3) 不一定。速率不变不表示速度不变, 因此合外力不一定为零。例如, 作匀速圆周运动的物体, 速率不变, 合外力指向圆心。

(4) 不一定。合外力的大小决定了物体加速度的大小, 而不是速度的大小。

1-4-2 物体所受摩擦力的方向是否一定和它的运动方向相反? 试举例说明。

答: 不一定。摩擦力的方向不一定和运动方向相反。例如, 人走路, 人向前走, 摩擦力方向也向前, 正是由于人受摩擦力作用才能向前。人骑自行车也是如此, 自行车后轮所受摩擦力是自行车前进的动力, 与自行车运动方向相同。

1-4-3 用绳子系一物体, 在竖直平面内作圆周运动, 当这物体达到最高点时, (1) 有人说: “这时物体受到三个力: 重力、绳子的拉力以及向心力”; (2) 又有人说: “因为这三个力的方

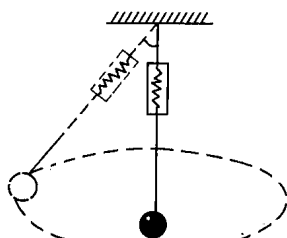
向都是向下的,但物体不下落,可见物体还受到一个方向向上的离心力和这些力平衡着”。这两种说法对吗?

答:两种说法均不对.物体在任何时刻只受两个力作用:重力、绳的拉力.当物体达到最高点时,这两个都竖直向下,他们的合力提供物体作圆周运动的向心力.至于离心力是虚拟的作用于物体上的力,不是真实的力,它与向心力大小相等方向相反.

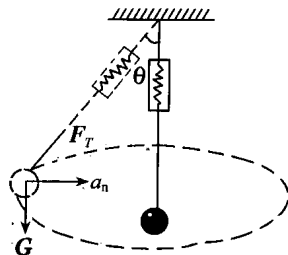
1-4-4 绳子的一端系着一金属小球,另一端用手握着使其在竖直平面内作匀速圆周运动,问球在哪一点时绳子的张力最小?在哪一点时绳子的张力最大?为什么?

答:绳的拉力及重力沿绳方向的分力,二者的合力提供小球作圆周运动的向心力,而 $F_{\tau} = m \frac{v^2}{R}$. 当小球在最低点时,绳的拉力与重力方向相反,则 $F_{\tau} - mg = m \frac{v^2}{R}$,显然,此时拉力 F_{τ} 最大.而当小球在最高点时,绳的拉力与重力方向相同则 $F'_{\tau} + mg = \frac{mv^2}{R}$,此时拉力最小.

1-4-5 在弹簧测力计的下面挂着一个物体,如图所示,试判别在下列两种情况下,测力计所指出的读数是否相同?如果不同,则在哪种情况下读数较大?



思考题 1-4-5 图



答 1-4-5 图

- (1) 物体竖直地静止悬挂;
- (2) 物体在一水平面内作匀速圆周运动.

答:(1) 物体竖直静挂,则弹簧所受拉力 $F_{\tau} = mg$,弹簧测力计读数 $F = F_{\tau} = mg$.

(2) 物体在一水平面内作匀速圆周运动,设测力计与竖直位置夹角为 θ ,物质运动角速度为 ω

$$\text{则} \begin{cases} F'_{\tau} \cos \theta = mg \\ F'_{\tau} \sin \theta = m \omega^2 R \end{cases} \therefore \text{得 } F' = F'_{\tau} > mg$$

故 $F' > F$

故两种情况下测力计读数不同,物体在水平面内作匀速圆周运动时,读数较大.

1-4-6 如图所示,一个用绳子悬挂着的物体在水平面上作匀速圆周运动,有人在重力的方向上求合力,写出

$$F_{\tau} \cos \theta - G = 0$$

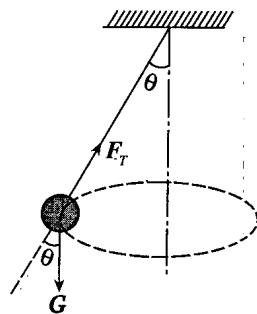
另有人沿绳子拉力 F_{τ} 的方向求合力,写出

$$F_{\tau} - G \cos \theta = 0$$

显然两者不能同时成立,试指出哪一个式子是错的,为什么?

答:前者对,而后者错.

小球受绳的拉力和重力的作用,这二者的合力提供小球作匀速圆



思考题 1-4-6 图

周运动的向心力,而向心力指向圆心,故在重力方向上分解各外力时,有 $F_T \cos\theta - G = 0$.

若沿绳的方向分解,则有 $F_T - G \cos\theta = ma_n \sin\theta \neq 0$,故前者对后者错.

习题全解

图 1-1 质点按一定规律沿 Ox 轴作直线运动,在不同时刻的位置如下表所示:

t/s	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
x/m	3.00	3.14	3.29	3.42	3.57

(1) 画出位置对时间的曲线;

(2) 求质点在 1 s 末到 3 s 末这段时间内的平均速度;

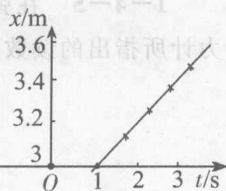
(3) 求质点在 $t=0$ 时的位置.

解: (1) 位置时间曲线如解 1-1 图所示.

$$\begin{aligned} (2) \text{ 由平均速度定义 } \bar{v} &= \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_3 - s_1}{t_3 - t_1} \\ &= \frac{3.57 - 3.00}{2} \text{ m/s} = 0.285 \text{ m/s} \end{aligned}$$

(3) 由解 1-1 图可知,质点近似做匀速直线运动,

$$\text{故 } s_0 = s_1 - \bar{v} \Delta t = 3.00 - 0.285 = 2.715 \text{ m}$$



解 1-1 图

1-2 一质点沿 Ox 轴运动,坐标与时间的变化关系为 $x = 4t - 2t^3$,式中 x, t 分别以 m、s 为单位,试计算:

(1) 在最初 2 s 内的平均速度,2 s 末的瞬时速度;

(2) 1 s 末到 3 s 末的位移、平均速度;

(3) 1 s 末到 3 s 末的平均加速度;此平均加速度是否可用 $\bar{a} = \frac{a_1 + a_3}{2}$ 计算?

(4) 3 s 末的瞬时加速度.

解: (1) 由 $x = 4t - 2t^3$, 知 $x_2 = 4 \times 2 - 2 \times 2^3 = -8 \text{ m}$, $x_0 = 0$, $\Delta t = 2 \text{ s}$

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_0}{\Delta t} = -4 \text{ m/s}$$

由 $x = 4t - 2t^3$, 有 $v = \frac{dx}{dt} = 4 - 6t^2$, 故 $v_2 = (4 - 6 \times 2^2) \text{ m/s} = -20 \text{ m/s}$

(2) $s_{13} = x_3 - x_1 = (4 \times 3 - 2 \times 3^3) - (4 \times 1 - 2 \times 1^3) = -44 \text{ m}$, $\Delta t_{13} = 2 \text{ s}$

$$\bar{v}_{13} = \frac{s_{13}}{\Delta t_{13}} = -22 \text{ m/s}$$

(3) $v_1 = (4 - 6t^2)|_{t=1} = -2 \text{ m/s}$, $v_3 = (4 - 6t^2)|_{t=3} = -50 \text{ m/s}$

$$\bar{a} = \frac{v_3 - v_1}{\Delta t} = -24 \text{ m/s}^2$$

由 $v = 4 - 6t^2$, 得 $a = -12t$, $t = 3 \text{ s}$

所以 $a_1 = -12 \text{ m/s}^2$, $a_3 = -36 \text{ m/s}^2$

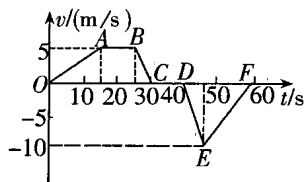
而 $\frac{a_1 + a_3}{2} = -24 \text{ m/s}^2$, 但 $\bar{a}$ 与 $\frac{a_1 + a_3}{2}$ 表示的物理意义完全不同, $\bar{a}$ 表示平均加速度, 而 $\frac{a_1 + a_3}{2}$ 表示加速度的平均值, 切记不能混为一谈.

(4) 由 $a = -12t$, $t = 3 \text{ s}$ 有 $a_3 = -36 \text{ m/s}^2$

1-3 一辆汽车沿着笔直的公路行驶, 速度和时间的关系如图中折线 $OAB CDE F$ 所示.

(1) 试说明图中 OA, AB, BC, CD, DE, EF 等线段各表示什么运动?

(2) 根据图中的曲线与数据, 求汽车在整个行驶过程中所走过的路程、位移和平均速度.



习题 1-3 图

解: (1) OA 段匀加速直线运动, AB 段匀速直线运动, BC 段匀减速直线运动, CD 段静止, DE 段反方向匀加速直线运动, EF 段反方向匀减速直线运动.

$$\begin{aligned} (2) \text{ 路程 } s &= s_{OA} + s_{AB} + s_{BC} + s_{CD} + s_{DE} + s_{EF} \\ &= \text{梯形 } OABC \text{ 面积} + \text{三角形 } DEF \text{ 面积} \\ &= \frac{1}{2} \times (30 + 10) \times 5 + \frac{1}{2} \times 10 \times 20 = 200 \text{ m} \end{aligned}$$

位移 $x = \text{梯形 } OABC \text{ 面积} - \text{三角形 } DEF \text{ 面积}$

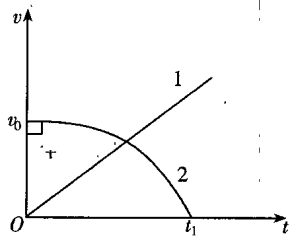
$$= \frac{1}{2} \times (30 + 10) \times 5 - \frac{1}{2} \times 10 \times 20 = 0$$

$$\text{平均速度 } \bar{v} = \frac{x}{t} = 0$$

1-4 在图中, 直线 1 与圆弧 2 分别表示两质点 A, B 从同一地点出发, 沿同一方向作直线运动的 $v-t$ 图. 已知 B 的初速度 $v_0 = b \text{ m/s}$, 它的速率由 v_0 变为 0 所花时间为 $t_1 = 2b \text{ s}$. (1) 试求 B 在任意时刻 t 的加速度. (2) 设在 B 停止时, A 恰好追上 B , 求 A 的加速度. (3) 在什么时候, A, B 的速度相同?

解: 如解 1-4 图所示, (1) 由于 B 的初速度 v_0 方向垂直于 v 轴, 故圆弧 2 的圆心在 v 轴上设为 C 点, 设 OC 长 x , 圆弧半径 R

$$\text{则 } \begin{cases} R - x = b \\ R^2 - x^2 = (2b)^2 \end{cases} \quad \text{得 } \begin{cases} R = \frac{5b}{2} \\ x = \frac{3b}{2} \end{cases}$$



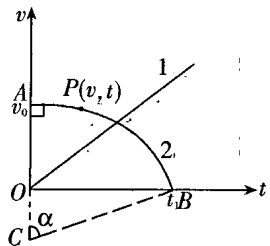
习题 1-4 图

设圆弧上任意点 $P(v, t)$, 则 $(v+x)^2 + t^2 = R^2$

$$\text{得 } v = \sqrt{\frac{25}{4}b^2 - t^2} - \frac{3b}{2}$$

$$a_B = \frac{dv}{dt} e_t + \frac{v^2}{R} e_n$$

$$\text{故 } a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{17}{5}b - \frac{6}{5}\sqrt{\frac{25}{4}b^2 - t^2} - \frac{2}{5}t^2$$



解 1-4 图

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{-t}{\sqrt{\frac{25}{4}b^2 - t^2}} = -\frac{2t}{\sqrt{25b^2 - 4t^2}}$$

(2) 位移 $x = \int v dt$, 即 $v-t$ 图与坐标轴围成的面积.

设 $\angle OCB$ 为 α , 则 $S_{OAB} = S_{CAB} - S_{COB} = \pi R^2 \cdot \frac{\alpha}{2\pi} - \frac{1}{2} \times \frac{3b}{2} \times 2b$

又 $\alpha = \arctan \frac{4}{3}$ 得 $S_{OAB} = 1.4b^2$

设 A 的加速度为 a , 则在 B 停止时刻 A 的位移 $x_A = \frac{1}{2}a \cdot (2b)^2 = 2ab^2$

由 $x_A = x_B$, 有 $2ab^2 = 1.4b^2$ 所以 $a = 0.7m/s^2$

(3) $v_A = at = 0.7t$, $v_B = \sqrt{\frac{25}{4}b^2 - t^2} - \frac{3b}{2}$

由 $v_A = v_B$, 得 $t = 1.08bs$

故在 $1.08bs$ 时, A 、 B 速度相同.

1-5 路灯距地面的高度为 h , 一个身高为 l 的人在路上匀速运动, 速度为 v_0 , 如图所示, 求: (1) 人影中头顶的移动速度; (2) 影子长度增长的速率.

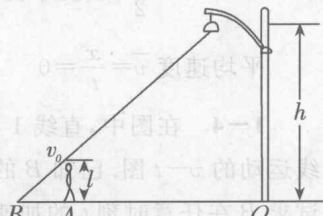
解: 如习题 1-5 图所示, (1) 设杆的位置点为 O , 人、人影中头顶在 A 、 B 位置, 设 $OA = x_1$, $OB = x_2$, 设人背向路灯行走.

则 $\frac{h}{x_2} = \frac{l}{x_2 - x_1}$ 得到 $x_2 = \frac{h}{h-l}x_1$

设人影头顶移动速度 v'

则 $v' = \frac{dx_2}{dt} = \frac{h}{h-l} \frac{dx_1}{dt}$

又 $\frac{dx_1}{dt} = v_0$ 所以 $v' = \frac{h}{h-l}v_0$



习题 1-5 图

(2) 设影子长为 L , 则 $L = x_2 - x_1 = \frac{l}{h-l}x_1$

影子增长的速率 $v'' = \frac{dL}{dt} = \frac{l}{h-l} \frac{dx_1}{dt} = \frac{l}{h-l}v_0$

1-6 一长为 $5m$ 的梯子, 顶端斜靠在竖直的墙上. 设 $t=0$ 时, 顶端离地面 $4m$, 当顶端以 $2m/s$ 的速度沿墙面匀速下滑时, 求:

(1) 梯子下端的运动方程和速度; 并画出 $x-t$ 和 $v-t$ 图 (设梯子下端与上端离墙角的距离分别为 x 和 y);

(2) 在 $t=1s$ 时下端的速度.

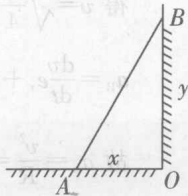
解: 如解 1-6 图所示, (1) 由梯子长度得到约束关系

$$OA^2 + OB^2 = AB^2$$

即 $x^2 + y^2 = l^2$ (用 l 表示梯子长度)

又 $y = 4 - 2t$

所以 $x = \sqrt{l^2 - y^2} = \sqrt{9 + 16t - 4t^2}$ ($0 \leq t \leq 2$)



解 1-6 图