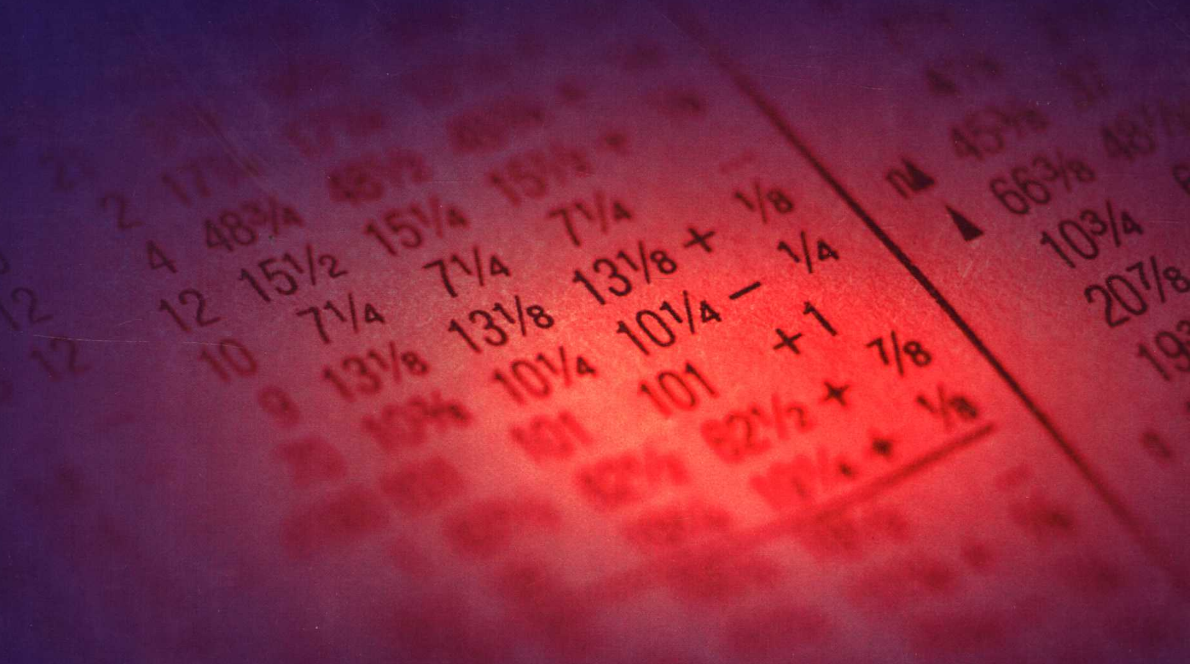
大学物理
学习辅导与自测

何国兴 编



DAXUEWULI
XUEXIFUDAOYUZICE

東華大學出版社

大学物理学习辅导与自测

何国兴　编

東華大學出版社

内 容 简 介

《大学物理学习辅导与自测》是专门为非物理专业学生学习《大学物理》课程而编写的，全书根据《大学物理》教学大纲要求，按章节对教学基本要求、基本概念、基本规律作了高度总结，对各章节的学习要点作了重点指导，并通过典型例题分析以提高学生分析和解决实际问题的能力。本书每章节配有自测题，供学生复习时自我测试之用；最后附录有全部章节自测题的参考解答，便于学生自我评价。

本书可作为一本独立的高等院校《大学物理》课程的学习辅导书，也是教师很有价值的一本教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习辅导与自测/何国兴编．—上海：东华大学出版社，2006

ISBN 7-81111-027-X

Ⅰ．大...　Ⅱ．何...　Ⅲ．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(2005)第 156459 号

责任编辑　季丽华

封面设计　可　人

大学物理学习辅导与自测

何国兴　编

东华大学出版社出版

(上海市延安西路 1882 号　邮政编码 200051)

新华书店上海发行所发行　苏州望电印刷有限公司印刷

开本：787×1092　1/16　印张：17　字数：424 千字

2006 年 1 月第 1 版　2006 年 1 月第 1 次印刷

印数：0 001—3 000

ISBN 7—81111—027—X/O・001

定价：34.00 元

前　言

本书是以《高等工科院校大学物理教学基本要求》为依据，并在多年教学经验和体会的基础上，密切结合学生实际和课堂教学经验编写而成的。在编写时，力求分清主次，突出重点、难点。例题内容上力求典型化，解题方法上力求规范化并富有启发性。希望能有助于学生巩固和深化对物理基本定律和原理的认识，有助于培养和提高他们分析和解决实际问题的能力，有助于学生科学素质的提高。

全书共有五章，第1章力学包括：1.1 运动学、1.2 牛顿运动定律、1.3 动量定理与守恒、1.4 动能定理与机械能守恒、1.5 角动量定理与守恒、1.6 刚体、1.7 简谐振动、1.8 简谐波；第2章热学包括：2.1 气体动理论、2.2 热力学；第3章电磁学包括：3.1 静电场、3.2 磁场、3.3 电磁感应定律与麦克斯韦方程组；第4章波动光学包括：4.1 光的干涉、4.2 光的衍射、4.3 光的偏振；第5章近代物理包括：5.1 狭义相对论力学基础、5.2 量子物理基础。

本书每章节包括教学基本要求、基本概念、基本规律、学习指导、典型例题和自测题，每节自测题供学生复习时自我检查之用，每章最后还有自测题，作为整章内容的自我检测。本书最后附录有全部章节自测题的参考解答，便于学生自我评价。

本书是专门为非物理专业学生学习《大学物理》课程而编写，可作为一本独立的高等院校《大学物理》课程的学习辅导书，也是教师很有价值的一本教学参考书。由于编者水平有限，书中难免有缺点和错误，恳请读者批评指正。

最后，编者要感谢王伟东、沈电和徐良为本书绘制了部分插图，以及部分章节的打字和校对，同时感谢给予帮助的所有同仁。

编　者
于东华大学
2005年12月

大学物理学习辅导与自测

教学内容的基本要求分三级:掌握、理解、了解。

掌握:属较高要求。对于要求掌握的内容(包括定理、定律、原理等的内容、物理意义及适用条件)都应比较透彻明了,并能熟练地用以分析和计算工科大学物理课水平的有关问题,对于那些能由基本定律导出的定理要求会推导。

理解:属一般要求。对于要求理解的内容(包括定理、定律、原理等的内容)都应明了,并能用以分析和计算工科大学物理课水平的有关问题。对于那些能由基本定律导出的定理不要求会推导。

了解:属较低要求。对于要求了解的内容,应该知道所涉及问题的现象和有关实验,并能对它们进行定性解释,还应知道与问题直接有关的物理量和公式等的物理意义。对于要求了解的内容,在经典物理部分一般不要求定量计算,在近代物理部分要求能做代公式性质一类的计算。

目　录

第1章 力　学

1.1 运动学

1.1.1 基本要求

1. 掌握位矢、位移、速度、加速度、角速度和角加速度等描述质点运动和运动变化的物理量。

2. 能借助于直角坐标系计算质点在平面内运动时的速度、加速度。

3. 理解切向加速度、法向加速度和角速度及角加速度的概念，能熟练地计算质点做圆周运动时的角速度、角加速度、切向加速度和法向加速度。

4. 理解相对运动的概念，并能分析和计算质点的相对运动问题。

5. 理解伽利略坐标、速度变换。

1.1.2 基本概念

1. 参考系与坐标系

参考系：用以描写物体运动所选用的另一物体。

坐标系：固定在参考系上以确定物体相对于参考物的位置。常用的坐标系有直角坐标系和自然坐标系。

2. 质点：几何线度趋于无限小的物体，任何物体可看成一大群质点的集合。

可以将物体简化为质点的两种情况：

(1) 物体不变形，不作转动时(此时物体上各点的速度及加速度都相同，物体上任一点可以代表所有点的运动)。

(2) 物体本身线度和它的活动范围相比小很多(此时物体的变形及转动显得并不重要)。

3. 位置矢量$\vec{r}$：用以确定质点位置的矢量，简称位矢，直角坐标系中表示为 $\vec{r}=x\vec{i}+y\vec{j}+z\vec{k}$。位置矢量$\vec{r}$与时间 t 的关系又称为运动学方程。

4. 位移 $\Delta\vec{r}$与路程 s

位移：表示质点位矢的变化，直角坐标系中表示为 $\Delta\vec{r}=\Delta x\vec{i}+\Delta y\vec{j}+\Delta z\vec{k}$

路程：表示质点经过轨迹的长度。

5. 速度$\vec{v}$与速率 v

平均速度 $\overline{\vec{v}}=\Delta\vec{r}/\Delta t=(\Delta x/\Delta t)\vec{i}+(\Delta y/\Delta t)\vec{j}+(\Delta z/\Delta t)\vec{k}$

或　$\overline{v}_x=\Delta x/\Delta t$，$\overline{v}_y=\Delta y/\Delta t$，$\overline{v}_z=\Delta z/\Delta t$

速度 $\vec{v}=\mathrm{d}\vec{r}/\mathrm{d}t=(\mathrm{d}x/\mathrm{d}t)\vec{i}+(\mathrm{d}y/\mathrm{d}t)\vec{j}+(\mathrm{d}z/\mathrm{d}t)\vec{k}$，或 $v_x=\mathrm{d}x/\mathrm{d}t$，$v_y=\mathrm{d}y/\mathrm{d}t$，$v_z=\mathrm{d}z/\mathrm{d}t$

平均速率 $\overline{v}=\Delta s/\Delta t\neq|\overline{\vec{v}}|$，速率 $v=\mathrm{d}s/\mathrm{d}t=|\vec{v}|$

6. 加速度$\vec{a}$、切向加速度 a_t 和法向加速度 a_n

加速度 $\vec{a}=\mathrm{d}\vec{v}/\mathrm{d}t=(\mathrm{d}v_x/\mathrm{d}t)\vec{i}+(\mathrm{d}v_y/\mathrm{d}t)\vec{j}+(\mathrm{d}v_z/\mathrm{d}t)\vec{k}$

切向加速度 $a_t=\mathrm{d}v/\mathrm{d}t$，表示速度变化的快慢程度。

法向加速度 $a_n=v^2/\rho$（ρ 为曲率半径），表示速度方向变化的快慢程度。

7. 角坐标 θ 与角位移 $\Delta\theta$

角坐标 θ：表示质点到参考轴端点的连线与参考轴的夹角。

角位移 $\Delta\theta$：表示质点角坐标的变化。

8. 角速度 ω 和角加速度 β

角速度 $\omega=\mathrm{d}\theta/\mathrm{d}t$，角加速度 $\beta=\mathrm{d}\omega/\mathrm{d}t$

9. 角量与线量关系：$s=\rho\theta$，$v=\rho\omega$，$a_t=\rho\beta$，$a_n=\rho\omega^2$

1.1.3 基本规律

1. 相对运动

相对位矢	相对速度	相对加速度
$\vec{r}_{BA}=\vec{r}_{BO}-\vec{r}_{AO}$	$\vec{v}_{BA}=\vec{v}_{BO}-\vec{v}_{AO}$	$\vec{a}_{BA}=\vec{a}_{BO}-\vec{a}_{AO}$

2. 伽利略变换

伽利略坐标变换	伽利略速度变换
$x'=x-ut$	$v'_x=v_x-u$
$y'=y$	$v'_y=v_y$
$z'=z$	$v'_z=v_z$
$t'=t$	

1.1.4 学习指导

质点运动学一般可分三类问题：

1. 已知运动方程，求速度（率）、加速度等，它们属于求导问题；

2. 已知加速度，求速度（率）、运动方程等，它们属于积分问题；

3. 已知物体 A 的运动速度，求与物体 A 相关联的物体 B 的运动速度。此类问题的关键是建立物体 B 与物体 A 相关联的数学表达式。

位矢、速度、加速度均为矢量，它们不仅有大小，而且有方向。因此，学习时一定要注意区别矢量和标量，不可将矢量与标量等同。

对矢量及其运算的表述通常有两种方法，一是图示法，二是解析法。但不管用哪种方法，都应与相应的图形配合。图形不仅能给人以形象、直观的认识，更重要的是还可清楚地表示某些量之间的几何关系。从思维方法上说，数学是人们逻辑推理的手段，而图形则是人们直觉思维中的形象知识。若无图形，则会使有些（特别是有几何关系）问题的求解思路受阻，甚至无法求解。

学习大学物理必须很好地注意处理物理与数学的关系。一般地说，物理离不开数学，但数学绝不能代替或掩盖物理的思维。物理学中的每个概念、每个公式都有明确的物理意义，因此，学习时千万不要仅仅停留在它们的数学表示上，更重要的是要看它们的物理意义。例如，速度 $\vec{v}=\mathrm{d}\vec{r}/\mathrm{d}t$，在数学上，它仅仅是一种求导运算；而在物理上，它却代表着质点运动的状态和位矢变化的快慢，只有从本质上认清了物理知识的内涵，才能将大学物理真正学

到手。

求解物理问题，一般应有明晰的思路和步骤，思路是指根据已有的知识，寻求解决问题的途径及方法，步骤则是思路分段的具体体现。切忌懒于思考，懒于动笔或随意省去其中的过程。要高度重视思维在大学物理学习及解题中的重要作用，它既可帮助我们深刻认识前人解决问题的思路和方法，又可启迪自己的智慧和能力，总结出个人独有的知识体系和解题思路，以至获取全新的认识。

1.1.5 典型例题

例 1-1-1 有一质点沿 x 轴作直线运动为 $x(t)=4.5t^2-2t^3 m$，试求：(1)第 2 秒内的平均速度 $\bar{v}_x$；(2)第 2 秒末的速度 v_x；(3)第 2 秒内经过的路程 Δs 及平均速率 $\bar{v}$；(4)第 2 秒末的加速度 a_x。

解：(1) $\bar{v}_x=\Delta x/\Delta t=[x(2)-x(1)]/(2-1)=(4.5\times 2^2-2\times 2^3)-(4.5-2)=-0.5\ \mathrm{m/s}$

(2) $v_x=\mathrm{d}x/\mathrm{d}t=\mathrm{d}(4.5t^2-2t^3)/\mathrm{d}t=9t-6t^2\mid_{t=2}=9\times 2-6\times 2^2=-6\ \mathrm{m/s}$

(3) 当质点作直线运动发生来回运动时，必须先求出质点反向运动的时间，即 $v_x=0$ 时刻，这样分段考虑才能正确求得一段时间内质点经过的路程。

根据 $v_x=9t-6t^2=0$，可求出 $t_1=0$ 或 $t_2=1.5\ \mathrm{s}$

由此可求得质点在第 2 秒内经过的路程为 $\Delta s=\mid x(1.5)-x(1)\mid+\mid x(2.0)-x(1.5)\mid=2.25\ \mathrm{m}$

质点在第 2 秒内平均速率为 $\bar{v}=\Delta s/\Delta t=2.25/1=2.25\ \mathrm{m/s}$

(4) 加速度 $a_x=\mathrm{d}v_x/\mathrm{d}t=9-12t\mid_{t=2}=9-12\times 2=-15\ \mathrm{m/s^2}$

因为加速度与速度方向相同，所以质点在 2 秒末作加速运动。

例 1-1-2 已知质点在 Oxy 平面内的运动方程为 $\vec{r}(t)=2t\vec{i}+(2-t^2)\vec{j}m$，求：(1)质点的轨迹方程；(2)质点的速度和速率；(3)质点在直角坐标系和自然坐标系中的加速度；(4)轨迹的曲率半径 ρ。

解：(1) 运动方程分量式 $x=2t,\ y=2-t^2$，消去 t 得轨迹方程 $y=2-x^2/4$（轨迹为抛物线）

(2) $v_x=\mathrm{d}x/\mathrm{d}t=2\ \mathrm{m/s},\ v_y=\mathrm{d}y/\mathrm{d}t=-2t\ \mathrm{m/s},\ v=(v_x^2+v_y^2)^{1/2}=2(1+t^2)^{1/2}\ \mathrm{m/s}$

(3) 在直角坐标系中，$a_x=\mathrm{d}v_x/\mathrm{d}t=0\ \mathrm{m/s^2},\ a_y=\mathrm{d}v_y/\mathrm{d}t=-2\ \mathrm{m/s^2}$

在自然坐标系中，$a_t=\mathrm{d}v/\mathrm{d}t=2t/(1+t^2)^{1/2}\ \mathrm{m/s^2},\ a_n=(a^2-a_t^2)^{1/2}=2/(1+t^2)^{1/2}\ \mathrm{m/s^2}$

(4) 曲率半径 $\rho=v^2/a_n=[2(1+t^2)^{1/2}]^2\cdot(1+t^2)^{1/2}/2=2(1+t^2)^{3/2}\ \mathrm{m}$

例 1-1-3 一物体沿 x 轴运动，其加速度与位置的关系为 $a_x=2+6x$，物体在 $x=0$ 处的速度为 10 m/s，求物体速度与位置的关系。

解：$a_x=\mathrm{d}v_x/\mathrm{d}t=v_x\mathrm{d}v_x/\mathrm{d}x=2+6x\rightarrow v_x\mathrm{d}v_x=(2+6x)\mathrm{d}x\rightarrow\int_{10}^{v}v_x\mathrm{d}v_x=\int_0^x(2+6x)\mathrm{d}x\rightarrow v_x^2/2-10^2/2=2x+3x^2\rightarrow v_x^2=(6x^2+4x+100)\mathrm{m^2/s^2}$

例 1-1-4 一石子从空中静止下落，已知加速度 $a=A-Bv$，式中 A、B 为常量，试求石子的速度随时间变化规律和运动方程。

解：$a = \mathrm{d}v/\mathrm{d}t = A - Bv \rightarrow \mathrm{d}v/(A - Bv) = \mathrm{d}t \rightarrow \int_0^v \mathrm{d}v/(A - Bv) = \int_0^t \mathrm{d}t$

$\rightarrow \ln(1 - Bv/A) = -Bt$

石子的速度随时间变化规律：$v = A(1 - \mathrm{e}^{-Bt})/B$

石子的运动方程：$x = \int_0^t v\mathrm{d}t = \int_0^t (A/B)(1 - \mathrm{e}^{-Bt})\mathrm{d}t = At/B + A(\mathrm{e}^{-Bt} - 1)/B^2$

例 1-1-5 一质点沿半径为 0.2 m 的圆周运动，其角位移 θ 随时间 t 的变化规律为 $\theta = 1 + t^2\,\mathrm{rad}$。试求在 $t = 2$ s 时，(1)质点的角速度 ω 和线速度 v；(2)质点的角加速度 β、切向加速度 a_t 和法向加速度 a_n。

解：(1) $\omega = \mathrm{d}\theta/\mathrm{d}t = 2t = 4\ \mathrm{rad/s}$，$v = \omega R = 4 \times 0.2 = 0.8\ \mathrm{m/s}$

(2) $\beta = \mathrm{d}\omega/\mathrm{d}t = 2\ \mathrm{rad/s^2}$；$a_t = \beta R = 2 \times 0.2 = 0.4\ \mathrm{m/s^2}$；$a_n = \omega^2 R = 4^2 \times 0.2 = 3.2\ \mathrm{m/s^2}$

例 1-1-6 如图 1 所示，一辆汽车以 v_1 速度在雨中行使，雨滴落下的速度 v_2 与竖直方向成角 θ，问在什么条件下，车后的一捆行李不会被淋湿？设行李伸出车外的长度为 l，距车顶的距离为 h。

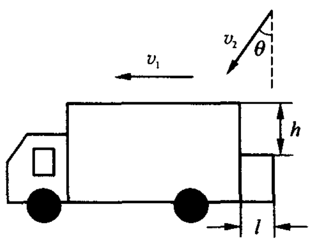


图 1

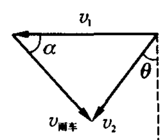


图 2

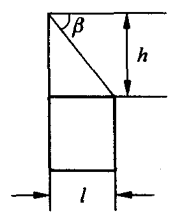


图 3

解：由图 2 得 $\vec{v}_{雨车} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1 \rightarrow \mathrm{tg}\,\alpha = v_2\cos\theta/(v_1 - v_2\sin\theta)$

由图 3 得行李不被淋湿的条件：$\beta \geqslant \alpha \rightarrow \mathrm{tg}\,\beta \geqslant \mathrm{tg}\,\alpha \rightarrow h/l \geqslant v_2\cos\theta/(v_1 - v_2\sin\theta)$

1.1.6 自测题

自测题 1-1-1：直线运动

一、选择题

1. 某质点作直线运动的运动学方程为 $x = 2t + t^3 + 8$(SI)，则该质点作 ( )

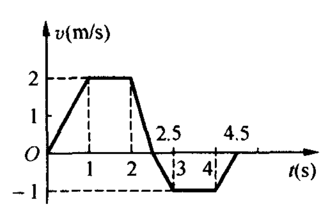
(A) 匀加速直线运动，加速度沿 x 轴正方向

(B) 匀加速直线运动，加速度沿 x 轴负方向

(C) 变加速直线运动，加速度沿 x 轴正方向

(D) 变加速直线运动，加速度沿 x 轴负方向

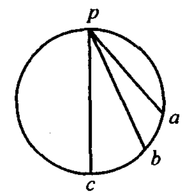
2. 一质点沿 x 轴作直线运动，其 $v-t$ 曲线如图所示，如 $t=0$ 时，质点位于坐标原点，则 $t = 4.5$ s 时，质点在 x 轴上的位置为 ( )



(A) 5 m (B) 2 m (C) 0

(D) −2 m (E) −5 m

3. 图中 p 是一圆的竖直直径 pc 的上端点，一质点从 p 开始分别沿不同的弦无摩擦下滑时，到达各弦的下端所用的时间相比较是 ( )



(A) 到 a 用的时间最短　　(B) 到 b 用的时间最短

(C) 到 c 用的时间最短　　(D) 所用时间都一样

4. 几个不同倾角的光滑斜面，有共同的底边，顶点也在同一竖直面上。若使一物体(视为质点)从斜面上端由静止滑到下端的时间最短，则斜面的倾角应选 ( )

(A) 60°　　(B) 45°　　(C) 30°　　(D) 15°

5. 一质点在平面上运动，已知质点位置矢量的表达式为 $\vec{r}=at^4\vec{i}+bt^4\vec{j}$(其中 a、b 为常量)，则该质点作 ( )

(A) 匀速直线运动　　(B) 变速直线运动

(C) 抛物线运动　　(D) 一般曲线运动

二、填空题

1. 一质点沿直线运动，其运动学方程为 $x=8t-2t^2$(SI)，则在 t 由 0 至 3 s 的时间间隔内，质点的位移大小为________，在 t 由 0 到 3 s 的时间间隔内质点走过的路程为________。

2. 一辆作匀加速直线运动的汽车，在 4 s 内通过相隔 28 m 远的两点，已知汽车经过第二点时的速率为 10 m/s，则：(1)汽车通过第一点时的速率 $v_1=$________；(2)汽车的加速度 $a=$________。

3. 灯距地面高度为 h_1，一个人身高为 h_2，在灯下以匀速率 v 沿水平直线行走，如图 1 所示。他的头顶在地上的影子 M 点沿地面移动的速度为 $v_M=$________。

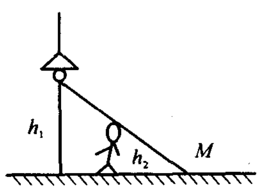


图 1

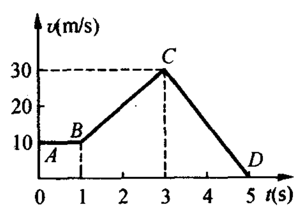


图 2

4. 在 y 轴上作变加速直线运动的质点，已知其初速度为 v_0，初始位置为 y_0，加速度 $a=20kt^3$(其中 k 为常量)，则其速度与时间的关系为 $v=$________，运动学方程为 $y=$________。

5. 一质点作直线运动，其 $v-t$ 曲线如图 2 所示，则 BC 和 CD 段时间内的加速度分别为____________，____________。

三、计算题

1. 一质点沿 x 轴运动，其加速度 a 与位置坐标 x 的关系为 $a=2+6x^2$(SI)。如果质点在原点处的速度为零，试求其在任意位置处的速度。

2. 一球从高 h 处落向水平面，经碰撞后又上升到 h_1 处，如果每次碰撞后与碰撞前速度之比为常数，问球在 n 次碰撞后还能升多高？

3. 一质点沿 x 轴作直线运动，t 时刻的坐标为 $x=9t^2-4t^3$(SI)。试求：(1)第 2 秒内的平均速度；(2)第 2 秒末的瞬时速度；(3)第 2 秒内的路程。

4. 一物体悬挂在弹簧上作竖直振动，其加速度为 $a=-ky$，式中 k 为常量，y 是以平衡位置

为原点所测得的坐标。假定振动的物体在坐标 y_0 处的速度为 v_0，试求速度 v 与坐标 y 的函数关系式。

5. 一质点沿 x 轴运动，其加速度为 $a = 12t$ (SI)，已知 $t = 0$ 时，质点位于 $x_0 = 16$ m 处，初速度 $v_0 = 0$。试求其位置和时间的关系式。

自测题 1－1－2：曲线运动

一、选择题

1. 一运动质点在某瞬时位于矢径$\vec{r}(x, y)$的端点处，其速度大小为 ( )
   (A) dr/dt (B) $d\vec{r}/dt$
   (C) $d|\vec{r}|/dt$ (D) $\sqrt{(dx/dt)^2+(dy/dt)^2}$

2. 质点沿半径为 R 的圆周作匀速率运动，每 T 秒转一圈，在 $2T$ 时间间隔中，其平均速度大小与平均速率大小分别为 ( )
   (A) $2\pi R/T$, $2\pi R/T$ (B) 0, $2\pi R/T$
   (C) 0, 0 (D) $2\pi R/T$, 0

3. 以下五种运动形式中，$\vec{a}$保持不变的运动是 ( )
   (A) 单摆运动 (B) 匀速率圆周运动
   (C) 行星的椭圆轨道运动 (D) 抛体运动
   (E) 圆锥摆运动

4. 对于沿曲线运动的物体，以下几种说法中哪一种是正确的 ( )
   (A) 切向加速度必不为零
   (B) 法向加速度必不为零(拐点处除外)
   (C) 由于速度沿切线方向，法向分速度必为零，因此法向加速度必为零
   (D) 若物体作匀速率运动，其总加速度必为零
   (E) 若物体的加速度$\vec{a}$为恒矢量，它一定作匀变速率运动

5. 质点作曲线运动，$\vec{r}$表示位置矢量，$\vec{v}$表示速度，$\vec{a}$表示加速度，S 表示路程，a 表示切向加速度，下列表达式中： ( )
   (1) $dv/dt = a$，(2) $dr/dt = v$，(3) $dS/dt = v$，(4) $|d\vec{v}/dt| = a_1$
   (A) 只有(1)、(4)是对的 (B) 只有(2)、(4)是对的
   (C) 只有(2)是对的 (D) 只有(3)是对的

6. 某物体的运动规律为 $dv/dt = -kv^2t$，式中的 k 为大于零的常量，当 $t = 0$ 时，初速为 v_0，则速度 v 与时间 t 的函数关系是 ( )
   (A) $v = kt^2/2 + v_0$ (B) $v = -kt^2/2 + v_0$
   (C) $1/v = kt^2/2 + 1/v_0$ (D) $1/v = -kt^2/2 + 1/v_0$

7. 一物体从某一确定高度以$\vec{v}_0$ 的速度水平抛出，已知它落地时的速度为$\vec{v}_t$，那么它运动的时间是 ( )
   (A) $(v_t - v_0)/g$ (B) $(v_t - v_0)/2g$
   (C) $(v_t^2 - v_0^2)^{1/2}/g$ (D) $(v_t^2 - v_0^2)^{1/2}/2g$

8. 质点作半径为 R 的变速圆周运动时的加速度大小为(v 表示任一时刻质点的速率) ( )
   (A) dv/dt (B) v^2/R

(C) $dv/dt + v^2/R$　　(D) $[(dv/dt)^2 + (v^4/R^2)]^{1/2}$

9. 在高台上分别沿 30°仰角方向和水平方向，以同样速率投出两颗小石子，忽略空气阻力，则它们落地时速度 (　)

(A) 大小不同，方向不同　　(B) 大小相同，方向不同

(C) 大小相同，方向相同　　(D) 大小不同，方向相同

10. 一质点在平面上作一般曲线运动，其瞬时速度为$\vec{v}$，瞬时速率为 v，某一时间内的平均速度为$\bar{\vec{v}}$，平均速率为$\bar{v}$，它们之间的关系必定有 (　)

(A) $|\vec{v}| = v,\ |\bar{\vec{v}}| = \bar{v}$　　(B) $|\vec{v}| \neq v,\ |\bar{\vec{v}}| = \bar{v}$

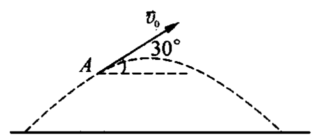
(C) $|\vec{v}| \neq v,\ |\bar{\vec{v}}| \neq \bar{v}$　　(D) $|\vec{v}| = v,\ |\bar{\vec{v}}| \neq \bar{v}$

二、填空题

1. 一物体在某瞬时，以初速度$\vec{v}_0$ 从某点开始运动，在 Δt 时间内，经一长度为 S 的曲线路径后，又回到出发点，此时速度为$-\vec{v}_0$，则在这段时间内：(1)物体的平均速率是________________；(2)物体的平均加速度是________________。

2. 质点沿半径为 R 的圆周运动，运动学方程为 $\theta = 3 + 4t^2$ (SI)，则 t 时刻质点的法向加速度大小为 a_n=________________；角加速度 β=________________。

3. 一物体作如图所示的斜抛运动，测得在轨道 A 点处速度$\vec{v}$的大小为 v，其方向与水平方向夹角成 30°。则物体在 A 点的切向加速度 a_t=________，轨道的曲率半径 ρ=________。



4. 已知质点的运动学方程为 $\vec{r} = (2+3t-t^2/2)\vec{i} + (t+t^3/3)\vec{j}$ (SI)，当 $t = 2$ s 时，加速度的大小为 a=________；加速度$\vec{a}$与 x 轴正方向间夹角 θ=________。

5. 一质点从静止出发沿半径 $R = 1$ m 的圆周运动，其角加速度随时间 t 的变化规律是 $\beta = 6t^2 - 2t$ (SI)，则质点的角速度 ω=________；切向加速度 a_t=________。

6. 一质点沿半径为 R 的圆周运动，其路程 S 随时间 t 变化的规律为 $S = bt - ct^2/2$ (SI)，式中 b、c 为大于零的常量，且 $b^2 > Rc$。则此质点运动的切向加速度 a_t=____________；法向加速度 a_n=____________。

7. 距河岸(看成直线)500 m 处有一艘静止的船，船上的探照灯以转速为 n=1 rev/min 转动。当光束与岸边成 60°角时，光束沿岸边移动的速度 v=____________。

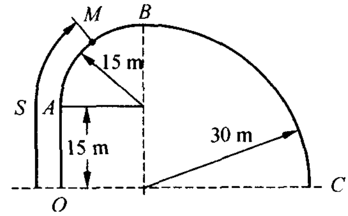
8. 在 xy 平面内有一运动质点，其运动学方程为 $\vec{r} = R\cos\omega t\,\vec{i} + R\sin\omega t\,\vec{j}$ (SI)，则 t 时刻其速度$\vec{v}$=____________；其切向加速度的大小 a_t ____________；该质点运动的轨迹是________________。

9. 一质点从静止出发，沿半径 R=2 m 的圆周运动。切向加速度 a_t = 2 m/s² 保持不变，当总加速度与半径成角 45°时，所经过的时间 t=________，在上述时间内质点经过的路程 S=________。

10. 一质点沿半径为 R 的圆周运动，在 t=0 时经过 P 点，此后它的速率 v 按 $v = A + Bt$ (A，B 为正的已知常量)变化。则质点沿圆周运动一周再经过 P 点时的切向加速度 a_t=________，法向加速度 a_n=________。

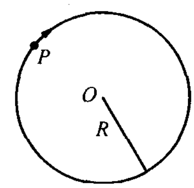
三、计算题

1. 质点 M 在水平面内的运动轨迹如图所示，OA 段为直线，AB、BC 段分别为不同半径的两个 1/4 圆周。设 $t=0$ 时，M 在 O 点，已知运动学方程为 $S=30t+5t^2$(SI)，求 $t=2$ s时刻，质点 M 的切向加速度和法向加速度。



2. 一人自原点出发，25 s 内向东走 30 m，又 10 s 内向南走 10 m，再 15 s 内向正西北走 18 m。求在这 50 s 内，(1)平均速度的大小和方向；(2)平均速率的大小。

3. 如图所示，质点 P 在水平面内沿一半径为 $R=1$ m 的圆轨道转动。转动的角速度 ω 与时间 t 的函数关系为 $\omega=kt^2$ (k 为常量)。已知 $t=2$ s时，质点 P 的速度值为 16 m/s。试求 $t=1$ s时，质点 P 的速度与加速度的大小。



4. 质点在重力场中作斜上抛运动，初速度的大小为 v_0，与水平方向成 α 角。求质点到达抛出点的同一高度时的切向加速度、法向加速度以及该时刻质点所在处轨迹的曲率半径(忽略空气阻力)。

5. 一物体以初速度 v_0、仰角 α 由地面抛出，并落回到与抛出处同一水平面上。求地面上方该抛体运动轨道的最大曲率半径与最小曲率半径。

自测题 1-1-3：相对运动

一、选择题

1. 在相对地面静止的坐标系内，A、B 二船都以 2 m/s 速率匀速行驶，A 船沿 x 轴正向，B 船沿 y 轴正向。今在 A 船上设置与静止坐标系方向相同的坐标系(x、y 方向单位矢用 $\vec{i}$、$\vec{j}$表示)，那么在 A 船上的坐标系中，B 船的速度(以 m/s 为单位)为 (　　)

   (A) $2\vec{i}+2\vec{j}$　　(B) $-2\vec{i}+2\vec{j}$

   (C) $-2\vec{i}-2\vec{j}$　　(D) $2\vec{i}-2\vec{j}$

2. 一飞机相对空气的速度大小为 200 km/h，风速为 56 km/h，方向从西向东。地面雷达站测得飞机速度大小为 192 km/h，方向是 (　　)

   (A) 南偏西 16.3°　　(B) 北偏东 16.3°　　(C) 向正南或向正北

   (D) 西偏北 16.3°　　(E) 东偏南 16.3°

3. 下列说法正确的是 (　　)

   (A) 加速度恒定不变时，物体运动方向也不变

   (B) 平均速率等于平均速度的大小

   (C) 不管加速度如何，平均速率表达式总可以写成(v_1、v_2分别为初、末速率) $\bar{v}=(v_1+v_2)/2$

   (D) 运动物体速率不变时，速度可以变化

4. 下列说法正确的是 (　　)

   (A) 一质点在某时刻的瞬时速度是 3 m/s，说明它在此后 1 s 内一定要经过 3 m 的路程

   (B) 斜向上抛的物体，在最高点处的速度最小，加速度最大

   (C) 物体作曲线运动时，有可能在某时刻的法向加速度为零

(D) 物体加速度越大，则速度越大

5. 某人骑自行车以速率 v 向西行驶，今有风以相同速率从北偏东 30°方向吹来，试问人感到风从哪个方向吹来 ( )

(A) 北偏东 30° (B) 南偏东 30°

(C) 北偏西 30° (D) 西偏南 30°

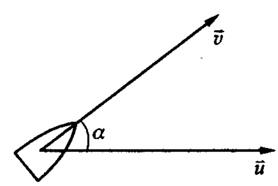
二、填空题

1. 在水平飞行的飞机上向前发射一颗炮弹，发射后飞机的速度为 v_0，炮弹相对于飞机的速度为 v。略去空气阻力，则：(1)以地球为参考系，炮弹的轨迹方程为____________________，(2)以飞机为参考系，炮弹的轨迹方程为____________________。(设两种参考系中坐标原点均在发射处，x 轴沿速度方向向前，y 轴竖直向下)

2. 一船以速度 $\vec{v}_0$ 在静水湖中匀速直线航行，一乘客以初速 $\vec{v}_1$ 在船中竖直向上抛出一石子，则站在岸上的观察者看石子运动的轨迹是________。取抛出点为原点，x 轴沿 $\vec{v}_0$ 方向，y 轴沿竖直向上方向，石子的轨迹方程是________________。

3. 小船从岸边 A 点出发渡河，如果它保持与河岸垂直向前划，则经过时间 t_1 到达对岸下游 C 点；如果小船以同样速率划行，但垂直河岸横渡到正对岸 B 点，则需与 A、B 两点联成的直线成 α 角逆流划行，经过时间 t_2 到达 B 点。若 B、C 两点间距为 S，则：(1)此河宽度 $l=$________________；(2) $\alpha=$________________。

4. 如图所示，小船以相对于水的速度 $\vec{v}$ 与水流方向成 α 角航行，若水流速度为 $\vec{u}$，则小船相对于岸的速度的大小为________，与水流方向的夹角为________。



5. 当一列火车以 10 m/s 的速率向东行驶时，若相对于地面竖直下落的雨滴在列车的窗子上形成的雨迹偏离竖直方向 30°，则雨滴相对于地面的速率是________；相对于列车的速率是________。

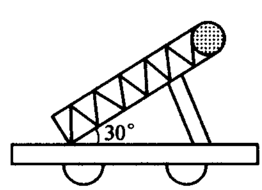
三、计算题

1. 一男孩乘坐一铁路平板车，在平直铁路上匀加速行驶，其加速度为 a，他向车前进的斜上方抛出一球，设抛球过程对车的加速度 a 的影响可忽略，如果他不必移动在车中的位置就能接住球，则抛出的方向与竖直方向的夹角 θ 应为多大？

2. 一质点以相对于斜面的速度 $v=\sqrt{2gy}$ 从其顶端沿斜面下滑，其中 y 为下滑的高度，斜面倾角为 α，它在地面上以水平速度 u 向质点滑下的前方运动，求质点下滑高度为 h (h 小于斜面高度)时，对地面速度的大小和方向。

3. 一飞机驾驶员想往正北方向航行，而风以 60 km/h 的速度由东向西刮来，如果飞机的航速(在静止空气中的速率)为 180 km/h，试问驾驶员应取什么航向？飞机相对于地面的速率为多少？试用矢量图说明。

4. 如图所示，装在小车上的弹簧发射器射出一小球，根据小球在地面上水平射程和射高的测量数据，得知小球射出时相对地面的速度为10 m/s。小车的反冲速度为 2 m/s。已知小车位于水平面上，弹簧发射器仰角为 30°，求小球射出时相对于小车的速率。



5. 一敞顶电梯以恒定速率 $v = 10\ \mathrm{m/s}$ 上升。当电梯离地面 $h = 10\ \mathrm{m}$ 时，一小孩竖直向上抛出一球。球相对于电梯初速率 $v_0 = 20\ \mathrm{m/s}$。试问：(1)从地面算起，球能达到的最大高度为多大？(2)球抛出后经过多长时间再回到电梯上？

1.2　牛顿运动定律

1.2.1　基本要求

1. 理解惯性系概念。
2. 掌握牛顿三大定律及其适用条件。
3. 能用微积分方法求解一维变力作用下简单的质点动力学问题。
4. 理解伽利略相对性原理。

1.2.2　基本概念

1. 惯性系：参考物选择不受其他物体作用的参考系。
2. 力：物体之间的相互作用。力学中常见的有万有引力、弹性力及摩擦力等。

1.2.3　基本规律

1. 牛顿第一定律：一个自由质点永远以恒定的速度运动，或者说，没有加速度。即一个自由质点可以沿直线作匀速运动，不然就是静止。这一定律也称惯性定律。与其说惯性定律还不如说惯性原理。它实际上是一个假说，事实上这个假说反映了我们所处空间的“平直”性质。

2. 牛顿第二定律：$\vec{F} = \mathrm{d}(m\vec{v})/\mathrm{d}t$，该定律又可理解为力的定义。

3. 牛顿第三定律：当两个质点相互作用时，作用在一个质点上的力与作用在另一个质点上的力大小相等而方向相反。

4. 伽利略相对性原理：力学定律在不同的惯性系中具有相同的形式。

1.2.4　学习指导

牛顿运动定律是处理经典力学问题的基础，因此，我们必须对它们进行认真的研究，并能熟练地应用它们来求解相关的动力学问题。研究动力学问题时首先要选择好参考系。一般选惯性系，不会产生惯性力，否则必须考虑惯性力。其次是确定研究对象，作好受力分析。若研究对象包含多个质点，则应用隔离法对系统中每个质点进行受力分析，注意不要漏了作用力(外力和系统中其他质点对它的作用力)。

应用牛顿运动定律来求解力学问题时，通常可按以下步骤进行。

1. 分析：根据题意，明确问题中的研究对象，弄清已知量(显含的和隐含的物理量及各种条件)和待求量，必要时应画出辅助图，并建立相应的坐标系；

2. 列方程：用已知的定律及公式将有关的物理量之间的关系表示成相应的数学方程式；

3. 解方程：一般先进行字母运算，然后再代入数据进行数值计算；

4. 讨论：判断结果是否合理、正确，必要时进行适当的讨论。

1.2.5 典型例题

例 1-2-1 一绳索绕在绞盘的固定圆柱上，当绳子承受负荷巨大的拉力 T_A，人可以用小得多的力 T_B 拽住绳子。设绳与圆柱的摩擦系数为 μ，绳子绕圆柱的张角为 Θ，试求人的拉力 T_B。

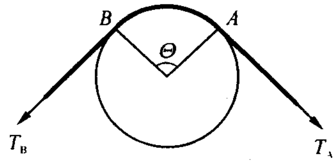


图 1

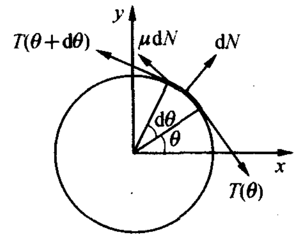


图 2

解：用隔离体法，考虑在 θ 处对圆心张角 $d\theta$ 的一段线元。

切向：$[T(\theta+d\theta)-T(\theta)]\cos(d\theta/2)=-\mu dN$ ①

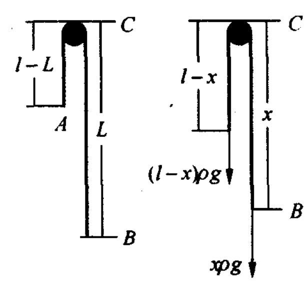
法向：$[T(\theta+d\theta)+T(\theta)]\sin(d\theta/2)=-dN$ ②

因 $d\theta$ 很小，$\sin(d\theta/2)\approx d\theta/2$，$\cos(d\theta/2)\approx 1$，$T(\theta+d\theta)-T(\theta)\approx dT$，$T(\theta+d\theta)+T(\theta)\approx 2T$，故 ①、② 式可写为 $dT=-\mu dN$，$Td\theta=dN$

消去 dN 可得 $dT/T=-\mu d\theta\rightarrow\int_{T_A}^{T_B}dT/T=-\int_{\theta_A}^{\theta_B}\mu dN\rightarrow\ln(T_B/T_A)=-\mu(\theta_B-\theta_A)$

所以人的拉力为 $T_B=T_A\exp(-\mu\Theta)$（式中 $\Theta=\theta_B-\theta_A$）

例 1-2-2 一条长为 l，质量均匀分布的细链条 AB，挂在半径可忽略的光滑钉子 C 上，开始时处于静止状态，BC 段长为 L $(l/2<L<2l/3)$，释放后链条将作加速运动，试求当 $BC=2l/3$ 时，链条的加速度和速度的大小。



解：设链条线密度为 ρ，BC 段长为 x 时，整个细链条受合外力 F 为：$F=x\rho g-(l-x)\rho g$

1. 加速度 $\alpha=Fl/\rho=(2x-l)\rho g/l\rho=(2x/l-1)g$

当 $x=2l/3$ 时，链条的加速度为 $\alpha=g/3$

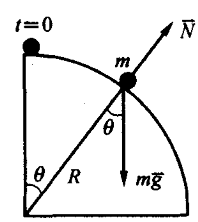
2. 因为 $a=dv/dt=vdv/dx$，所以 $vdv/dx=(2x/l-1)g$

$\rightarrow vdv=(2x/l-1)gdx$，两边积分：$\int_0^v vdv=\int_L^{3l/2}(2x/l-1)gdx$

$\rightarrow v^2/2=[(3l/2)^2/l-3l/2]g-[L^2/l-L]g$

因此链条的速度为 $v=[2g(L-L^2/l-2l/9)]^{1/2}$

例 1-2-3 一小钢块，从静止开始自光滑圆柱形轨道（半径为 R）的顶点下滑，求小钢块脱轨时的角度 Θ。



解：设小钢块下滑到角度 θ 处应满足动力学方程为

法向：$mg\cos\theta-N=mv^2/R$ ①

切向：$mg\sin\theta=mdv/dt=m(dv/d\theta)/(d\theta/dt)=m(v/R)(dv/d\theta)$ ②