普 通 物 理

自学指导

一 九 九 二 年 七 月

前　言

高等教育自学考试具有“成人、在职、自学”的特点。针对这些特点，我们受高等教育自学考试航空工程机务专业考委的委托，依据国家教委公布的考试大纲，本着突出重点、方便自学、注重学法的原则编写了这本《普通物理自学指导》。章目设置与南京工学院等七院编《物理学》相应。每章设有“重点内容分析、类型题分析、综合练习”三部分，每章编有内容体系框图，书后附有练习答案。在内容编写上吸取了编者多年的教学实践经验和体会，对该课程的主要考点和易出错的环节加强了分析和提示。

本书由胡光定副教授主审。参加本书编写的有郑立亮（第一、二、三、四章），张在德（第七、八、十八章），张素彬（第九、十、十二、十三、十四章），孙红（第五、十五、十六章），于国臣（第十九、二十章）。全书由郑立亮执笔统稿。

由于时间仓促，加之编者水平所限书中难免有不当之处，恳请读者批评指正。

编　者

一九九二年五月

目　录

第一章　　质点运动学

质点运动是机械运动的基础，讨论质点运动学，即讨论质点位置随时间变化的规律。

一、重点内容分析

1. 速度(以平面运动为例)

设质点的坐标为(x,y)，则其位置可用一矢量来描述，即

$$r = xi + yj$$

称位置矢量，其分量式

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases}$$

称运动方程。消去参量 t 所得 $y=f(x)$ 称轨迹方程。那么表示其位置随时间变化率的矢量：

$$V = \frac{dx}{dt}i + \frac{dy}{dt}j = V_x i + V_y j$$

称为速度，它的大小 $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$ 称为速率。若以质点的轨迹上一点为基准，沿轨迹测得的弧长为 S，则速率 $V=ds/dt$。

必须注意速度的矢量性：速度包括大小和方向两个要素：速度的大小描述质点运动的快慢，而速度的方向表示某一瞬时质点的运动方向。比如，之所以说匀速圆周运动是变速运动，那是因为速度的大小不变但方向在时刻变化。

2. 加速度

速度随时间的变化率

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dx}{dt}i + \frac{dy}{dt}j = a_x i + a_y j$$

称为加速度，其大小为：

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$

加速度是描述速度的大小和方向变化快慢的物理量。必须注意，加速度与速度的区别与联系。加速度描述的是速度随时间的变化。比如，速度很大加速度可能为零(高速稳定行驶的列车就是这样)；速度很小，加速度可能很大(如竖直上抛的物体在最高点的速度为零，加速度为 g)。加速度越来越小，速度则可能越来越大。

对于作平面曲线运动的质点，用自然坐标法描述加速度更为方便。用 S 表示沿曲线由基点到曲线上各点测量的长度。曲线上任一点，在切线方向上沿 S 增量方向上取单位矢量

称为切线单位 矢量，用 τ 表示。向曲线内侧在曲线平面内垂直于切线的直线上取单位矢量

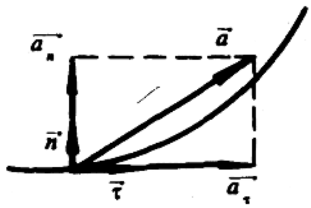


图 1—1

n，称为主法线单位矢量如图 1—1 所示。这时加速度矢量 a 可表示为：

$$a = a_\tau \tau + a_n n$$

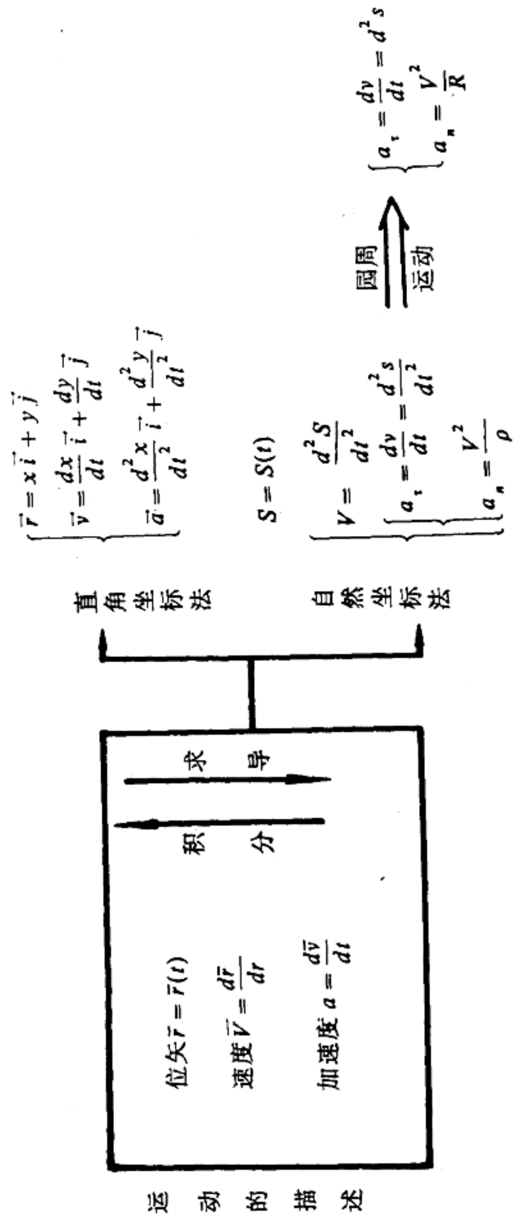
其中，a_τ 为切线加速度，大小为 $a_\tau = dv/dt = d^2s/dt^2$，描述速度大小随时间的变化快慢；$a_n$ 为法向加速度，大小为 $a_n = v^2/\rho$（ρ 为曲线在该点的曲率半径），描述速度方向 随时间的变化快慢。圆周运动、抛体运动是曲线运动的特例。对于变速圆周运动有：

$$\begin{cases} a_\tau = \dfrac{dv}{dt} = \dfrac{d^2s}{dt^2} \\ a_n = \dfrac{v^2}{R} \end{cases}$$

对于匀速圆周运动有：

$$\begin{cases} a_\tau = 0 \\ a_n = \dfrac{v^2}{R} \end{cases}$$

3. 本章体系



二、类型题分析

质点运动学一章重要类型题有两种，一种是已知质点的运动方程求质点运动的位移、速度、加速度等；另一种是已知质点的初位置、速度、加速度等求质点的运动方程或运动轨迹。这两种类型在数学上互为逆运算(如本章计算题 2、3)。不少题目虽然包含一些智力因素，但大多数能归纳为以上两类。

例 1. 一质点在 xoy 平面内依照 $x=\frac{9}{2}t^2$ 的规律沿曲线 * $y=\frac{4}{729}x^2$ 运动，其中 x、

y 的单位是米，t 的单位是秒，试求第 3 秒末的瞬时加速度。

解：

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{d^2}{dt^2}(\frac{9}{2}t^2) = 9$$

$$a_y = \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{d^2}{dt^2}(\frac{4}{729} \cdot \frac{81}{4}t^4) = \frac{12}{9}t^2$$

$$a_x|_{t=3} = 9$$

$$a_y|_{t=3} = 12$$

$$\therefore \quad a = \sqrt{9^2 + 12^2} = 15(m/s^2)$$

加速度与 x 轴之间的夹角 $\alpha = arcty\,\frac{a_y}{a_x} = 53°$

例 2. 一物体从坐标原点开始以初速度 V_0 向 x 轴正向作直线运动，由于空气阻力使速度逐渐 变慢，假如加速度的大小与物体的速度成正比，即 $a=-kv$，k 为比例常数，求质点的速度以及坐标与时间的关系(即运动方程)。

解：　据 $a=dv/dt$，再由已知条件 $a=-kv$

得：　$\int \frac{dv}{v} = \int -kdt$

$lnv = -kt + c_1$，

已知 $t=0$ 时，$v=v_0$，得 $c_1 = lnv_0$

则：　$lnv = -kt + lnv_0$

$ln\frac{V}{V_0} = -kt$

$\frac{V}{V_0} = e^{-kt}, V = V_0e^{-kt}$

据　$V = \frac{dx}{dt}, dx = Vdt = V_0e^{-kt}dt$

$\therefore \quad x = \int V_0e^{-kt}dt = -\frac{V_0}{k}e^{-kt} + C_2$

$\because \quad t=0$ 时，$x=0, C_2 = V_0/k$

则：　$x = -\frac{V_0}{k}e^{-kt} + \frac{V_0}{k} = \frac{V_0}{k}(1 - e^{-kt})$

三、综合练习

(一)填空题

1. 有人沿半沿为 r 的圆形跑道跑半圈，他跑过的路程为 πr，位移的大小是(　　)。

2. 式 $V = \lim\limits_{\triangle t \to 0}\frac{\triangle r}{\triangle t} = \frac{dr}{dt}$ 中，$\triangle r$ 是位移而 r 是(　　　　)。

3. 质点的任意运动可看成是由几个在不同方向上独立进行的运动迭加而成，这叫做运动的　(　　　　)。

4. 直线运动中加速度的正负表示 加速度的(　　　　)。

5. 物体在(　　　　　)运动中,它的瞬时加速度和平均加速度总是相等。

6. 质点运动时切向加速度为零,法向加速度的大小为一恒值的运动是(　　　　　)运动。

(二)是非题

1. 物体运动时可具有恒定的速度,但有变化的速率。(　　　　　)。

2. 运动物体的加速度越大,则物体的速度也越大。(　　　　　)。

3. 物体作直线运动,加速度沿物体运动方向,加速度越来越小,速度也越来越小。(　　)

4. 物体作直线运动。在每秒钟内都走过 $1cm$,该物体是作匀速直线运动。(　　　　　)

5. 以一 定初速度斜抛出去的物体,到达最高点时,没有 切向加速度。(　　　　　)

6. 匀速圆周运动是匀加速运动。(　　　　　)

7. 平抛物体在空中运动的时间总是跟在同样高度的自由落体运动的时间相等,与抛出的初速度无关。(　　　　　)

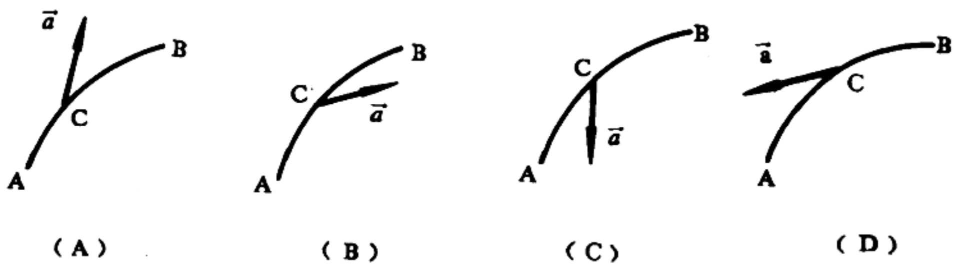
8. 位移的大小等于路程。(　　　　　)

9. 一物体具有向东的速度,可同时具有向西的加速度。(　　　　　)

10. 在抛体运动中,最高点的速率最小。(　　　　　)

(三)选择题

1. 质点沿轨道 AB 作曲线运动,速度逐渐减小,题图 1－1 中哪一个正常地表示了质点在 C 点处的加速度。(　　　　　)



题图 1－1

2. 一质点沿 x 轴的运动规律 是 $x=t^2-4t+5$,在前 3 秒内它的(　　　　　)

(A)、位移和路程都是 $3m$。

(B)、位移和路程都是 $-3m$。

(C)、位移为 $-3m$,路程为 $3m$。

(D)、位移为 $-3m$,路程为 $5m$。

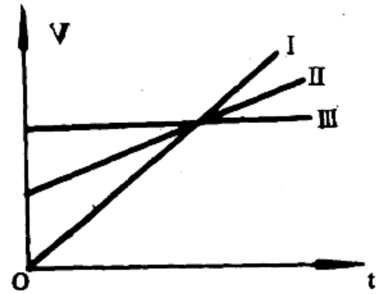
3. 在题图 1－2 内三条直线,表示加速度最大的直线是(　　　　　)。

(A)、Ⅰ　　　　(B)、Ⅱ　　　　(C)、Ⅲ　　　　(D)不能确定

4. 一质点在 xy 平面内运动,任意时刻的位矢为 $r=3\sin\omega ti+4\cos\omega tj$,该质点运动的切向加速度(　　　　　)。

A.、恒大于零　　　　B、但小于零

C、恒等于零　　　　D、每隔 $\frac{\pi}{2\omega}$ 时间出现一次零值



题图 1－2

5. 一个在 xy 平面上运动的质点，其运动方程为 $x=3t+5$，$y=t^2+t-7$，该质点的运动轨迹是（　　　　）。

(A)、直线　　(B)、双曲线　　(C)、抛物线　　(D)、三次曲线

6. 一质点的运动方程是 $\boldsymbol{r}=R\cos\omega t\boldsymbol{i}+R\sin\omega t\boldsymbol{j}$，$R\omega$ 为常数，从 $t=\frac{\pi}{\omega}$ 到 $t=\frac{2\pi}{\omega}$ 时间内，该质点的位移是（　　　　）。

(A)、$-2R\boldsymbol{i}$；　　(B)、$2R\boldsymbol{i}$；

(C)、$-2\boldsymbol{j}$；　　(D)、0

7. 一质点的运动方程为 $x=R\cos\omega t$，$y=R\sin\omega t$，$z=ht$，式中 ω、h 均为常数，该质点的加速度矢量（　　　　）。

(A)、必通过 z 轴；　　(B)、必与 z 轴垂直

(C)、必有 z 分量；　　(D)、必无 z 分量

(四)计算题

1. A、B 两物体从同一点出发，沿同方向运动，A 的运动方程为 $x_1=10t$，B 的运动方程为 $x_2=\frac{1}{2}t^2$，求(1)出发后多长时间相遇？(2)A、B 相遇时距出发点多远？(3)在相遇前经多长时间 A、B 两物体相距最远？最大距离是多少？

2. 已知一质点作直线运动，其加速度 $a=\omega(1-\sin\frac{2\pi}{\tau})$，其中 ω、τ 是常量，设 $t=0$ 时，$v=0$，$x=0$，求该质点的运动方程。

3. 在离水面高为 h 的岸边，有人用绳拉船靠岸，船在离岸 s 米处，当人以 $V_0 m/s$ 的速率收绳时，试求船的速度加速度的大小各为多少？

第二章　　牛顿运动定律

本章研究物体间的相互作用及其对物体运动状态的影响。

一、重点内容分析

1. 力

“力”是动力学问题(包括牛顿定律、功能、动量等)中最重要的概念。所以研究动力学问题首先要弄 清研究对象的受力情况,常用的方法就是隔离体法,即把研究对象单独画在一旁,按重力、弹力、摩擦力的顺序用矢量把各力表示出来。

必须注意静摩擦力的分析。摩擦力是当相互接触的物体作相对运动或有相对运动趋势时产生的。摩擦力的方向总是沿着接触面的切线方向,阻碍接触物体间的相对运动。那么判断静摩擦力的方向就归结为判断相对滑动趋势的方向。方法是先假定两物体间不存在静摩擦,分析出接触面上相对滑动的方向,这就是相对滑动趋势的方向,而静摩擦力的方向与该方向相反。静摩擦力的大小与外力相等,不满足 $f=\mu N$。

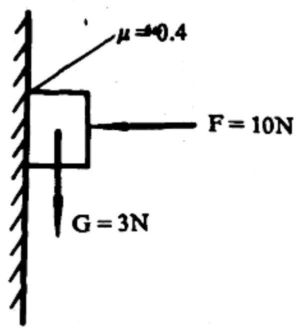


图 2－1

如图 2－1 所示的问题,物块受到的摩擦力为 $3N$,而不是 $4N$。

2. 牛顿三定律

任 何物体都保持静止或匀速直线运动状态,直到受到力的作用迫使它改变这种状态为止。牛顿第一定律揭示了物体具有惯性,同时也定性说明了物体不受力将保持原来的运动状态,受力将产生加速度。至于多大的力产生多大的加速度则是第二定律的内容。其数学表达式为:

$$F = ma$$

关于牛顿第二定律应注意以下几点:

(1)牛顿第二定律适用于惯性系。

(2)公式中的 F 是合外力,且合外力与加速度之间是瞬时关系,即 t 时刻的合外力决定 t 时刻的加速度,合外力为零的时刻,就是物体加速度为零的时刻。

(3)具体应用时常用分量式，在直角坐标系中其分量式为：

$$\begin{cases} F_x = ma_x = m\dfrac{d^2x}{dt^2} \\ F_y = ma_y = m\dfrac{d^2y}{dt^2} \end{cases}$$

对于曲线运动，常将其按自然坐标系分解为切向和法向两个方程。

$$\begin{cases} F_t = ma_t = m\dfrac{dv}{dt} \\ F_n = ma_n = m\dfrac{v^2}{\rho} \end{cases}$$

牛顿第三定律指出：两个物体间的作用力 F 和反作用力 F' 沿同一直线，大小相等，方向相反，分别作用在两个物体上。应特别注意一对作用力和反作用力与一对平衡力的区别。这两对力都具有大小相等、方向相反、作用在同一条直线上的特点，它们的区别见表 2－1

表 2－1

作用力与反作用力	一对平衡力
一定同性质(均为弹力或均为引力等)	不一定同性质
作用在两个物体上	作用在同一物体上
同时产生，同时消失	不一定(可失去平衡)

弄清以上区别，即可弄清“车拉马”佯谬。

3. 本章体系(见章尾)

二、类型题分析

应用牛顿定律的题目可分为已知受力情况求物体的运动情况和已知物体的运动情况求受力情况两类。又可分为“连接体型”、“升降机型”、“相对运动型”三种类型，如果不涉及微积分，则与中学物理相同，这里不再讨论。

例：一细绳穿过一光滑细管，两端分别拴着质量为 m 和 M 的小球如图 2－2 所示。管子保持竖直位置不动。当小球 m 绕管子的几何轴转动时，系它的绳子与竖直方向夹角为 θ。设小球 m 到管口的绳长为 l，且 $l \gg$ 细管半径。

(1)证明：$\cos\theta = \dfrac{m}{M}$；小球 m 所受向心力 $= Mg\sqrt{1-\dfrac{m^2}{M^2}}$

(2)证明：小球转动的周期 $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{ml}{Mg}}$

证明：设稳定转动时，系小球 m 的绳与细管的夹角为 θ，绳子张力为 T

(1)可列方程：

$$m:\begin{cases} T\cos\theta - mg = 0\text{（竖直方向）} \\ T\sin\theta = ma_n = mRw^2\text{（法向）} \end{cases}$$

$$M:\quad T-Mg=0\text{（竖直方向）}$$

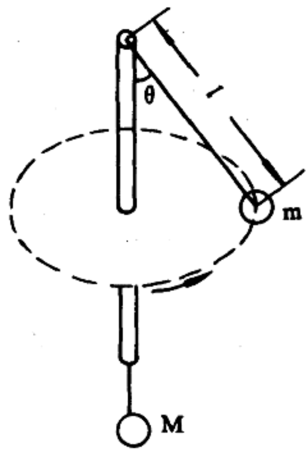


图 2—2

解得：$\cos\theta = \dfrac{m}{M}$

$$F_n = T\sin\theta = Mg\sqrt{1-\cos^2\theta} = Mg\sqrt{1-\frac{m^2}{M^2}}$$

$$(2)\omega = \sqrt{\frac{T\sin\theta}{ml\sin\theta}} = \sqrt{\frac{Mg}{ml}}$$

$$\therefore \quad T_0 = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{ml}{Mg}}$$

三、综合练习

（一）填空题：

1. 在光滑斜面上的物体，当斜面的倾角变小，则物体对斜面的压力变（　　　　　）。

2. 作匀加速直线运动的物体，当它受到的合外力逐渐减小时，它的加速度将（　　　　）。

3. 摩擦力的方向总是和物体的（　　　　）相反。

4. 马车加速运动，马拉车的力 $F_马$ 和车拉马的力 $F_车$ 的关系为 $F_马$（　　　　）$F_车$。

5. 一质点作抛体运动，在运动过程中，$\frac{dv}{dt}$是否变化？（　　　　）。

(二)是非题

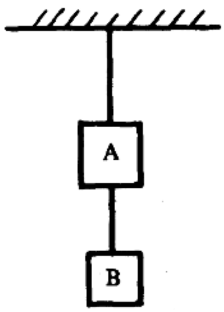
1. 物体受力后不一定运动(　　　　)。

2. 把一重物用绳子吊在气球下面，这气球正以匀速 V 直线上升，如果这时绳子断了，该物体将作自由落体运动。(　　　　)

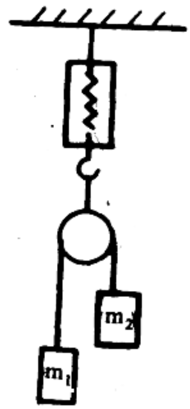
3. 在分析物体在斜面上下滑时，有这样几个力作用于物体上：重力、支持力、摩擦力、下滑力。(　　　　)

4. 应用牛顿第二定律时，可以把 ma 看成是外力。(　　　　)

5. 如题图 2－1 所示，把上端的绳子剪断的瞬时，物体 A 的加速度为$(1+\frac{m_B}{m_A})g$，物体 B 的加速度为零。(　　　　)



题图 2－1



题图 2－2

(三)选择题

1. 下列说法中哪个是正确的？(　　　　)

(A)、合力一定大于分力；　(B)、物体速率不变，所受合力一定为零；(C)、速度很大的物体，运动状态不易改变；　(D)、质量越大的物体，运动状态越不易改变。

2. 用轻绳 系一小球使之在竖直平面内作圆周运动，绳 中张力最小时，小球的位置在(　　　　)。

(A)、圆周最高点；　(B)、圆周最低点；　(C)、圆周上和圆心处于同一水平面上的两点；　(D)、条件不足不能确定。

3. 如题图 2－2 所示，滑轮、绳 子的质量忽略不计，忽略一切摩擦阻力。$m_1=2m_2$，m_1 与 m_2 运动过程中，弹簧秤 的指示是：

(A)大于$(m_1+m_2)g$

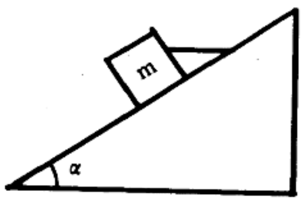
(B)等于$(m_1+m_2)g$

(C)小于$(m_1+m_2)g$

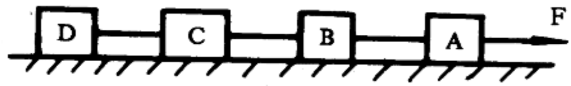
(D)不能确定。

4.如题图2－3所示,质量为m的木块用细绳水平拉住,静止在光滑的斜面上。斜面给木块的支持力是:

(A)、$mg\cos\alpha$　　(B)、$mg\sin\alpha$　　(C)、$mg/\cos\alpha$　　(D)、$mg/\sin\alpha$



题图2－3



题图2－4

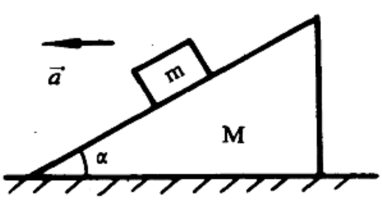
5.如题图2－4所示,已知$M_A=M_B=M_C=M_D=4$千克,则BC间绳子的张力是:

(A)、16牛顿　　(B)、12牛顿　　(C)、8牛顿　　(D)、4牛顿

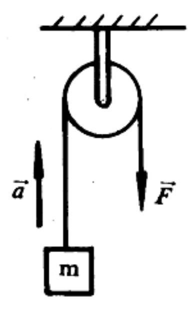
(四)计算题

1.有一斜面M以加速度a沿水平面向左运动,如题图2－5所示。斜面是光滑的,质量为m的物体恰能在斜面上相对M静止,试求m对M的压力及m所受的合力。

2.如题图2－6所示,一根不可伸长的无摩擦的轻绳跨过定滑轮,绳子一端挂质量$m=1$千克的重物,绳的另一端施一力。当$F=9.8$牛顿时,此系统处于平衡状态,从某一时刻开始,拉力按$F=9.8+4t-2t^2$规律作用。问当拉力F变为9.8牛顿时,重物的最大速度是多少?



题图2－5



题图2－6

本章体系

$\vec{V} \overset{\vec{F}=0}{=\!=\!=}$ 恒量

维持运动状态的是惯性而不是力

$\vec{F} = m\vec{a}$

直角坐标

$$\begin{cases} \sum F_x = ma_x \\ \sum F_y = ma_y \end{cases}$$

圆周运动

$$\begin{cases} F_\tau = m\dfrac{dv}{dt} \\ F_n = m\dfrac{V^2}{R} \end{cases}$$

$\vec{F} = -\vec{F}$

同时、同性质，分别作用于两个物体上

第三章　　功与能

牛顿第二定律阐述了力和加速度的瞬时关系，但在许多实际问题中物体只有受到力的持续作用，发生空间位移，才能实现运动状态的改变，本章从力对空间的累积作用出发进一步研究机械运动的规律。

一、重点内容分析

1. 动能定理

物体受力，并且在力的方向上发生了位移，叫做力对物体做了功。其计算公式为。

$$W=\int_L F\cdot ds==\int_L F\cos\theta ds$$

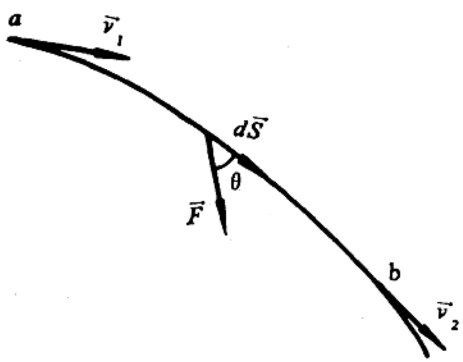


图 3—1

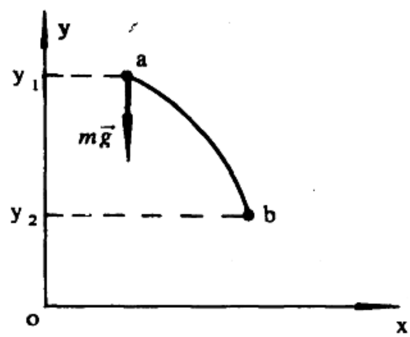


图 3—2

如果物体同时受多个力的作用。

$$W=\int_L F\cdot ds=\int_L(F_1+F_2+\cdots+F_n)\cdot ds$$

$$=\int_L F_1\cdot ds+\int_L F_2\cdot ds+\cdots+\int_L F_n\cdot ds$$

即，几个力的合力所做的功等于各个力分别作的功之代数和。

现在讨论外力做功与物体动能变化之间的关系。

设质量为 m 的物体在力 F 的作用下沿图 3－1 所示路径从 a 点运动到 b 点，速度由 $V1$ 变为 $V2$。

元功：$dw = \boldsymbol{F} \cdot \boldsymbol{ds} = Fcosds$

$$\because \quad Fcos\theta = ma_\tau = m\frac{dv}{dt}$$

$$\therefore \quad d\omega = m\frac{dv}{dt} \cdot ds = mvdv = d(\frac{1}{2}mv^2)$$

$$\omega = \int d\omega = \int_{V_1}^{V_2} d(\frac{1}{2}mV^2) \text{ 即：} W = \frac{1}{2}mV_2^2 - \frac{1}{2}mV_1^2$$

这就是动能定理，即合外力对物体所做的功等于该物体动能的增量。

2. 功能原理

如图 3－2 所示，物体由 a 点经任意路径运动到 b 点重力所做的功为：

$$W = mgy_1 - mgy_2$$
$$= -(mgy_2 - mgy_1) = -\triangle E_p$$

即重力做的功等于重力势能增量的负值，与路径无关。

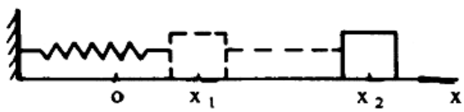


图 3－3

如图 3－3 所示，物体从 x_1 到 x_2 弹力所做的功为：

$$W = \frac{1}{2}kx_1^2 - \frac{1}{2}kx_2^2$$
$$= -(\frac{1}{2}kx_2^2 - \frac{1}{2}kx_1^2) = -\triangle E_p$$

即弹力所做的功等于弹性势能增量的负值，取决于始末两位置的坐标。

象重力、弹力等做功只取决于物体始末两位置，而与物体经过的路径无关的力叫保守力，反之叫非保守力，如摩擦力。如果从系统内部和外部区分，有内力和外力。所谓内力是指系统内部物体间的相互作用力，所谓外力是指系统以外的物体对系统的作用力。考虑到保守力做功的特点，动能定理变为：

$$W_{外} + W_G + W_{弹} + W_{非} = \frac{1}{2}mV_2^2 - \frac{1}{2}mV_1^2$$