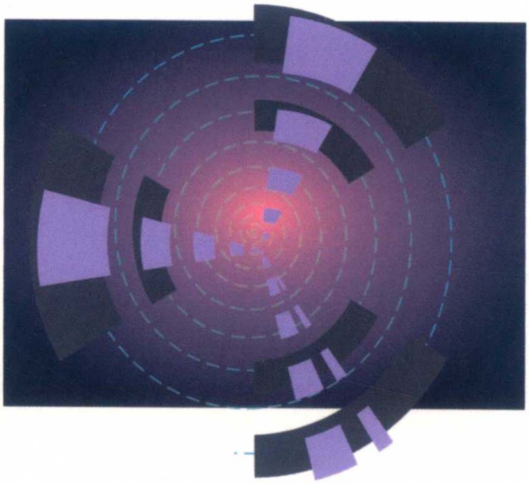
普通高等教育“十三五”规划教材

普通高等院校物理精品教材

主　编　杨种田

Study Guides of Physics

大学物理学习指导



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

普通高等教育“十三五”规划教材
普通高等院校物理精品教材

大学物理学习指导

主　编　杨种田
副主编　王忠龙　黄祥平
　　　　杨雄波　杨先卫

北京邮电大学出版社
·北京·

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习指导/杨种田主编. -- 北京:北京邮电大学出版社,2017.1(2017.7 重印)
ISBN 978-7-5635-4951-1

Ⅰ.①大… Ⅱ.①杨… Ⅲ.①物理学—高等学校—教学参考资料 Ⅳ.①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 264936 号

书　　名	大学物理学习指导
主　　编	杨种田
责任编辑	唐咸荣
出版发行	北京邮电大学出版社
社　　址	北京市海淀区西土城路 10 号(100876)
电话传真	010-82333010　62282185(发行部)　010-82333009　62283578(传真)
网　　址	www.buptpress3.com
电子信箱	ctrd@buptpress.com
经　　销	各地新华书店
印　　刷	北京九州迅驰传媒文化有限公司
开　　本	787 mm×1 092 mm　1/16
印　　张	13
字　　数	323 千字
版　　次	2017 年 1 月第 1 版　2017 年 7 月第 2 次印刷

ISBN 978-7-5635-4951-1　　定价:29.00 元

前　　言

为了帮助读者更好地理解和掌握大学物理课程的主要内容，特编写了这本与大学物理教材相配套的学习指导书，作为读者课外学习大学物理课程的重要参考资料. 本书章节的编写顺序与《大学物理（上册）》、《大学物理（下册）》教材的编写顺序一致，每章内容包括基本要求、内容提要、重难点分析和示例解析四个部分.

基本要求　简要地介绍了本章应该了解、理解和掌握的主要知识点，帮助读者在学习本章时分清学习内容的主与次、重点与一般.

内容提要　简要地列出了本章的概念、定义、定理和基本公式，并对本章内容的知识体系进行了归纳和总结. 要说明的是，内容提要不能代替教材，读者应把主要精力放在阅读、钻研教材内容上面，如果只背内容提要而不看教材是一定学不好物理的.

重难点分析　对本章的重点和难点作了较详尽的分析，对初学者难以掌握的内容作了简单的说明，还涉及求解一些典型问题的基本思路和方法，帮助学生全面掌握本章内容.

示例解析　精选了一定数量的典型例题作为教材例题的补充，帮助读者掌握物理问题的解题思路、步骤和技巧，培养读者分析问题和解决问题的能力. 做题只是一种学习手段，希望读者做题后再进行思考和总结，加强对基本内容的理解和掌握，在学习能力上有所提高.

每篇后面都有自测题，每套自测题包括单项选择题、填空题和计算题三种题型，供读者自行检查对课程内容的掌握情况.

本书的力学篇由王忠龙、刘高潮、许瑞珍、王习东编写；波动光学篇由肖焱山、王飞编写；热学篇由杨雄波编写；电磁学篇由杨种田、曹敦厚、朱丽娅编写；近代物理学篇由黄祥平、周银娥编写；最后由杨先卫负责全书的修改和定稿工作.

三峡大学对本书的出版给予了诸多支持，北京邮电大学出版社的有关人员在本书的编辑出版过程中付出了大量的劳动，在此一并致谢.

由于编者水平有限、经验不足，书中难免有不妥和疏漏之处，恳请读者批评指正.

编　者
2016 年 9 月

目 录

力 学 篇

波动光学篇

热 学 篇

电磁学篇

近代物理学篇

力 学 篇

第1章 质点运动学

基本要求

1. 了解描述运动的三个必要条件:参照系(坐标系)、物理模型(质点)和初始条件.

2. 熟练掌握用矢量描述运动的方法,即位置矢量、位移、速度、加速度的矢量定义式及其在直角坐标系、自然坐标系中的表达式.

3. 掌握用微积分的方法解决质点运动学问题.

4. 掌握质点做圆周运动的线量和角量描述.

5. 理解相对运动的有关概念和基本计算方法.

内容提要

1. 描述质点运动的基本物理量

位置矢量 $\boldsymbol{r}$

位移 $\Delta\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1$

速度 $\boldsymbol{v} = \dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$

$$v = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$$

加速度 $\boldsymbol{a} = \dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}$

2. 运动学的基本量在直角坐标系中的表达式

位置矢量 $\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k}$

位移 $\Delta\boldsymbol{r} = \Delta x\boldsymbol{i} + \Delta y\boldsymbol{j} + \Delta z\boldsymbol{k}$

速度 $\boldsymbol{v} = \dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i} + \dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j} + \dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}$

$$v_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t},\quad v_y = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t},\quad v_z = \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}$$

加速度 $$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}$$

$$a_x=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}$$

$$a_y=\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}$$

$$a_z=\frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2z}{\mathrm{d}t^2}$$

3. 自然坐标系中的加速度

$$\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_\tau+\boldsymbol{a}_\mathrm{n}$$

$$a_\tau=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2s}{\mathrm{d}t^2}$$

$$a_\mathrm{n}=\frac{v^2}{\rho}$$

4. 运动方程

矢量式 $\boldsymbol{r}(t)=x(t)\boldsymbol{i}+y(t)\boldsymbol{j}+z(t)\boldsymbol{k}$

分量式 $x=x(t),\quad y=y(t),\quad z=z(t)$

轨道方程 对运动方程分量式消去参量 t,得 $F(x,y,z)=0$

5. 运动学的基本解题方法

1) 微分方法

已知运动学方程,求速度和加速度.这类问题只需按公式 $\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$ 和 $\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}$,将已知的 $\boldsymbol{r}(t)$ 函数对时间 t 求导数即可求解.

2) 积分方法

已知速度求运动学方程,或已知加速度求速度和运动学方程.这类问题应根据初始条件(初始时刻质点的位置、速度),通过积分法求解,这类问题称为积分问题.

6. 线量和角量的关系式

$$\begin{cases}v=\dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}=\dfrac{R\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}=R\omega\\[2ex] a_\tau=\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\dfrac{R\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}=R\beta\\[2ex] a_\mathrm{n}=\dfrac{v^2}{R}=R\omega^2\end{cases}$$

7. 相对运动基本公式

$$\begin{cases}\boldsymbol{r}_{绝}=\boldsymbol{r}_{相}+\boldsymbol{r}_{牵}\\ \boldsymbol{v}_{绝}=\boldsymbol{v}_{相}+\boldsymbol{v}_{牵}\\ \boldsymbol{a}_{绝}=\boldsymbol{a}_{相}+\boldsymbol{a}_{牵}\end{cases}$$

重难点分析

运动学的主要任务是解决运动的描述问题，描述运动的主要物理量是位置矢量 $\boldsymbol{r}$、速度 $\boldsymbol{v}$ 和加速度 $\boldsymbol{a}$. 对于这些概念，通常是从一般曲线运动出发引出的，我们应该着重理解它们的瞬时性、矢量性和相对性. 此外，对于自然坐标系，我们以前没有学习过，不太熟悉，因而可能也是难点之一.

1. 瞬时性

在中学，我们所遇到的物理量都是恒量，如匀加速度、恒力作用等. 但在大学物理中，我们接触到的基本上是变量，即加速度和力都是时间的函数，因此，必须应用微积分的知识来求解.

在运动学中，根据运动方程求速度、加速度主要是用求导的方法；根据速度、加速度和初始条件求运动方程主要是用积分的方法，当被积函数的变量与积分元的变量不一致时，要通过变量变换使得两者一致.

例如，一质点做一维运动，其加速度与位置的关系为 $a=-kx$，k 为正常数. 已知 $t=0$ 时，质点瞬时静止于 $x=x_0$ 处，试求质点的运动规律.

显然，本题是由加速度求运动方程，且加速度不是时间 t 而是位置 x 的函数. 此类问题一般不能直接积分，需作变量代换 $\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x}\cdot\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=v\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x}$，然后进行求解. 具体求解过程参见例 1.4.

2. 矢量性

初学者往往弄不清楚 $|\Delta\boldsymbol{A}|$ 与 ΔA 区别，甚至误认为这两者是等同的，他们的理由是一个矢量 $\boldsymbol{A}$ 的模既可以用 $|\boldsymbol{A}|$ 表示，也可以用白体字母 A 表示，这就是说 $|\boldsymbol{A}|$ 与 A 是等同的. 既然如此，$|\Delta\boldsymbol{A}|$ 与 ΔA 也应该是等同的. 导致上述错误的关键是读者忽视了 $|\Delta\boldsymbol{A}|$ 和 ΔA 中都包含了运算符号 Δ，不是一个单纯矢量的模的两种等效表示.

在运动学中，要注意区分：

位矢的增量的模　$|\Delta\boldsymbol{r}|=|\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1|$　　位矢的模的增量　$\Delta r=|\boldsymbol{r}_2|-|\boldsymbol{r}_1|$

速度增量的模　$|\Delta\boldsymbol{v}|=|\boldsymbol{v}_2-\boldsymbol{v}_1|$　　速度模的增量　$\Delta v=|\boldsymbol{v}_2|-|\boldsymbol{v}_1|$

上述关系可用图 1-1 表示.

图 1-1 中，$|\Delta\boldsymbol{r}|$ 是位移的模，也就是 P_1 和 P_2 两点之间的直线距离；Δr 是质点位置的径向增量，它代表图中 QP_2 之间的距离，反映出从 P_1 到 P_2 质点的空间位置沿径向的变化量.

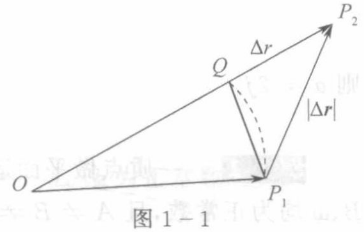


图 1-1

由此可知：

$\left|\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\right|=v$ 表示速度的大小

$\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}=v_r$ 表示速度径向分量的大小

$\left|\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}\right|=a$ 表示加速度的大小

$\frac{dv}{dt} = a_\tau$ 表示速度大小对时间的变化率，即切向加速度大小.

3. 相对性

选取不同的参考系，对同一物体运动的描述就会不同. 相对运动基本公式描述了同一个运动在两个平动参考系中的运动学量之间的转换关系，正确运用该公式的关键是明确每个运动学量与观察者之间的关系，即区分"绝对"、"相对"、"牵连"等物理量，并遵从它的适用条件和范围.

4. 自然坐标系

当质点(系)轨道已知时，用自然坐标系的方法来描述运动很方便，但由于我们不太熟悉这种描述方法，因此也是难点之一. 这里关键是理解公式 $v = \frac{ds}{dt}, a_\tau = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}, a_n = \frac{v^2}{\rho}$ 并能熟练运用.

示例解析

例 1.1 已知质点的运动方程为 $x = 3t, y = t^2 + 3t - 4$(SI).

(1) 写出质点的运动轨道方程；

(2) 求出 $t = 4$ s时的速度矢量和加速度矢量.

解 (1) 联立方程 $x = 3t, y = t^2 + 3t - 4$，消去 t，得

$$y = x^2/9 + x - 4$$

(2) 将 $x = 3t, y = t^2 + 3t - 4$ 分别对 t 求导，得

$$v_x = 3\ \mathrm{m/s}, \quad v_y = 2t + 3$$

将 $t = 4$ s 代入，得

$$v_x = 3\ \mathrm{m/s}, \quad v_y = 11\ \mathrm{m/s}$$

则 $\boldsymbol{v} = 3\boldsymbol{i} + 11\boldsymbol{j}$.

再分别对两速度分量求导，得

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = 0\ \mathrm{m/s^2}$$

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = 2\ \mathrm{m/s^2}$$

则 $\boldsymbol{a} = 2\boldsymbol{j}$.

例 1.2 一质点做平面运动，已知加速度为 $a_x = -A\omega^2 \cos \omega t, a_y = -B\omega^2 \sin \omega t$，其中 A、B、ω 均为正常数，且 $A \neq B \neq 0$. 初始条件为 $t = 0$ 时，$v_{0x} = 0, v_{0y} = B\omega, x_0 = A, y_0 = 0$. 试求该质点的运动轨迹.

解 根据加速度的定义，有

$$a_x = \frac{dv_x}{dt}, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt}$$

分别进行积分，并代入初始条件，得

$$v_x = v_{0x} + \int_0^t a_x \mathrm{d}t = 0 + \int_0^t -A\omega^2 \cos \omega t \mathrm{d}t = -A\omega \sin \omega t \quad ①$$

$$v_y = v_{0y} + \int_0^t a_y \mathrm{d}t = B\omega + \int_0^t -B\omega^2 \sin \omega t \mathrm{d}t = B\omega \cos \omega t \quad ②$$

根据速度的定义,有

$$v_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}, \quad v_y = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}$$

对上两式积分,并代入初始条件和 ① 式、② 式得

$$x = x_0 + \int_0^t v_x \mathrm{d}t = A - A\int_0^t \omega \sin \omega t \mathrm{d}t = A\cos \omega t \quad ③$$

$$y = y_0 + \int_0^t v_y \mathrm{d}t = 0 + B\int_0^t \omega \cos \omega t \mathrm{d}t = B\sin \omega t \quad ④$$

③ 式和 ④ 式为质点运动的运动学方程,消去参数 t,即得质点的运动轨迹方程

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = 1$$

这一结果表明,质点运动的轨迹为椭圆.

例 1.3　一质点沿半径为 R 的圆周运动,在 $t=0$ 时经过 P 点,此后按速率 $v = A + Bt$(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_τ 和法向加速度 a_n 为多少?

解　根据自然坐标系下的加速度表达式,有

$$a_\tau = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = B$$

作变量代换有

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}s} \cdot \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = v \cdot \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}s} = B$$

$$v\mathrm{d}v = B\mathrm{d}s$$

两边积分得

$$\int_A^v v\mathrm{d}v = \int_0^{2\pi R} B\mathrm{d}s$$

$$v^2 = 4\pi RB + A^2$$

所以

$$a_n = \frac{v^2}{R} = 4\pi B + \frac{A^2}{R}$$

例 1.4　一质点做一维运动,其加速度与位置的关系为 $a = -kx$,k 为正常数.已知 $t = 0$ 时,质点瞬时静止于 $x = x_0$ 处.试求质点的运动规律.

解　由加速度的定义分离变量,有

$$a = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x} \cdot \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = v\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x} = -kx \quad ①$$

从而有

$$v\mathrm{d}v = -kx\mathrm{d}x$$

对 ① 式进行积分,并代入初始条件 $x = x_0$,得

$$v^2 = k(x_0^2 - x^2)$$

即
$$v = \sqrt{k(x_0^2 - x^2)} \qquad ②$$

根据 ② 式及速度的定义,有

$$v = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = \sqrt{k(x_0^2 - x^2)}$$

即
$$\frac{\mathrm{d}x}{(x_0^2 - x^2)^{1/2}} = \pm\sqrt{k}\,\mathrm{d}t \qquad ③$$

对 ③ 式进行积分,并代入初始条件 $t = 0, x = x_0$,得

$$x = x_0 \cos\sqrt{k}t$$

例 1.5 一跳伞运动员在跳伞过程中的加速度为 $a = A - Bv$(式中 A、B 均为大于 0 的常量,v 为任意时刻的速度). 设初时刻的速度为零,求任意时刻的速度表达式.

解 本题仍为一维运动中已知加速度 a 求 v 的情况,因此,用积分方法可以解决.

由题意知
$$a = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = A - Bv$$

分离变量求积分,考虑初始条件,得

$$\int_0^v \frac{\mathrm{d}v}{A - Bv} = \int_0^t \mathrm{d}t$$

即

$$-\frac{1}{B}\ln(A - Bv)\Big|_0^v = t$$

$$\ln\frac{A - Bv}{A} = -Bt$$

$$1 - \frac{B}{A}v = \mathrm{e}^{-Bt}$$

即任意时刻的速度为

$$v = \frac{A}{B}(1 - \mathrm{e}^{-Bt})\ v = \frac{A}{B}(1 - \mathrm{e}^{-Bt})$$

例 1.6 某人骑自行车以 5 m/s 的速度向北行驶,觉得有西北风(西偏北 45°) 吹来,其大小为 10 m/s,求风速.

解 据题意,车速 5 m/s 向北为牵连速度,西北风以 10 m/s 相对车(人) 而动,为相对速度. 将它们绘于同一坐标系中,如图 1-2 所示.

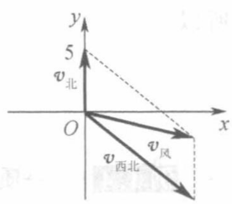


图 1-2 例 1.6 图

待求风速为绝对速度,据速度合成定理得

$$\boldsymbol{v}_{风} = \boldsymbol{v}_{绝} = \boldsymbol{v}_{相} + \boldsymbol{v}_{牵} = \boldsymbol{v}_{北} + \boldsymbol{v}_{西北}$$

所以
$$\boldsymbol{v}_{风} = 5\boldsymbol{j} + \left(10\frac{\sqrt{2}}{2}\boldsymbol{i} - 10\frac{\sqrt{2}}{2}\boldsymbol{j}\right)$$
$$= 7.07\boldsymbol{i} - 2.07\boldsymbol{j}$$

第2章　质点(系)动力学

基本要求

1. 理解牛顿运动定律的内容及实质，明确牛顿运动定律的适用范围及条件，会用微积分的方法处理变力作用下的简单力学问题.

2. 掌握动量定理和动量守恒定律. 能用它们分析、解决简单系统的力学问题.

3. 掌握功的概念，能熟练地计算变力的功.

4. 理解保守力做功的特点及势能的概念，会计算势能.

5. 掌握动能定理、功能原理和机械能守恒定律，能用它们解决简单系统的力学问题.

6. 理解角动量概念以及角动量守恒定律和其适用条件. 能用角动量守恒定律分析、计算有关问题.

内容提要

1. 牛顿运动定律

• 第一定律　任何物体都保持静止或匀速直线运动状态，直到其他物体对它作用的力迫使它改变这种状态为止.

• 第二定律　$\boldsymbol{F}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{P}}{\mathrm{d}t}$，当物体质量不变时，即为 $\boldsymbol{F}=m\boldsymbol{a}$.

• 第三定律　当物体 A 以力 $\boldsymbol{F}$ 作用于物体 B 时，物体 B 也同时以 $\boldsymbol{F}'$ 作用于物体 A 上，力 $\boldsymbol{F}$ 和力 $\boldsymbol{F}'$ 总是大小相等，方向相反且在同一条直线上.

适用条件：① 质点或质点系；② 低速运动(与光速比较)的物体；③ 惯性参照系.

2. 动量定理和动量守恒定律

1) 冲量

$$\boldsymbol{I}=\int_{t_0}^{t}\boldsymbol{F}\mathrm{d}t$$

2) 动量

质点　$\boldsymbol{P}=m\boldsymbol{v}$

质点系　$\boldsymbol{P}=\sum_i m_i\boldsymbol{v}_i$

3) 动量定理

质点动量定理　$\boldsymbol{I}=\int_{t_0}^{t}\boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}t=m\boldsymbol{v}-m\boldsymbol{v}_0$

质点系动量定理

$$\boldsymbol{I}=\int_{t_0}^{t}\sum_{i=1}^{n}\boldsymbol{F}_i\,\mathrm{d}t=\sum_{i=1}^{n}m_i\boldsymbol{v}_i-\sum_{i=1}^{n}m_i\boldsymbol{v}_{i0}$$

即质点系的动量的增量等于合外力的冲量,而与内力无关.

说明:

① 动量为状态量;

② 冲量为过程量,是力对时间的累积;

③ 一对作用力与反作用力的冲量的矢量和为零.

对质点系进行分析时,一定要注意内力和外力之分. 例如,一个由 n 个质点组成的质点系,其中第 i 个质点所受合力为

$$\boldsymbol{F}_{i合}=\boldsymbol{F}_{i外}+\sum_{j=1,j\neq i}^{n}f_{ji}$$

式中 $\sum\limits_{j=1,j\neq i}^{n}f_{ji}$ 表示第 i 个质点受到的质点系内力之和.

由于内力总是成对出现的,所以在求整个质点系的内力之和时,即再次对 i 求和时,内力必然为零,即

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1,j\neq i}^{n}f_{ji}=0$$

所以说,内力对系统的总动量无贡献.

4) 动量守恒定律

若

$$\sum_{i=1}^{n}\boldsymbol{F}_i=0$$

则

$$\sum_{i=1}^{n}m_i\boldsymbol{v}_i=常矢量$$

说明:

① 运用动量守恒定律时,所有物体的动量要统一到同一惯性系中;

② 系统动量守恒,但每个质点的动量可能变化;

③ 对于某些特殊过程(如爆炸、碰撞等),虽然系统合外力不为零,但因为过程发生的时间非常短,外力与内力的冲量相比可以忽略不计时,可用动量守恒定律来研究系统内各部分之间的动量再分配问题;

④ 当合外力沿某一方向为零时,动量守恒可在某一方向上成立;

⑤ 动量守恒定律在微观高速范围内仍适用,是自然界中最基本的守恒定律之一.

3. 动能定理 机械能守恒定律

1) 功

定义:某力的元功等于在力的作用下质点的位移 $\mathrm{d}\boldsymbol{r}$ 与力 $\boldsymbol{F}$ 的标积.

$$\mathrm{d}A=\boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{r}$$

质点沿路径 L 从 a 到 b,力 $\boldsymbol{F}$ 对它做的功为

$$A=\int_a^b\mathrm{d}A=\int_a^b\boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{r}$$

2) 动能

质点
$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

质点系
$$E_k = \sum_i E_{ki} = \sum_i \frac{1}{2}mv_i^2$$

质点的动能 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 是状态参量 v 的函数,因 v 与参考系的选择有关,所以 E_k 也是相对量.

3) 势能

定义:系统在任一位置时的势能等于它从此位置运动到势能零点时保守力所做的功.

$$E_{pa} = \int_a^{\text{零势能点}} \boldsymbol{F} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{r}$$

力学中的三种势能:

① 重力场中,通常选地面为零势能点,则
$$E_p = mgh$$

② 万有引力场中,通常选 $E_{p\infty} = 0$,则
$$E_p = -GMm\frac{1}{r}$$

③ 弹性力场中,选弹簧的平衡位置为零势能点,则
$$E_p = \frac{1}{2}kx^2$$

4) 机械能
$$E = E_k + E_p$$

5) 功和能的关系

(1) 动能定理

质点
$$A = E_k - E_{k0} = \Delta E_k$$

质点系
$$A_{外} + A_{内} = E_k - E_{k0}$$

说明:

① 内力能改变系统的总动能,但不能改变系统的总动量;

② 动能是物体运动状态的单值函数,而功是物体能量变化的一种量度;动能是状态量、态函数,功是过程量;

③ 功、动能与坐标系的选择有关,但只要是惯性系,动能定理均成立;

④ 在某些情况下,动能定理比牛顿第二定律解决问题方便,它不必考虑物体复杂的运动过程.

(2) 功能原理
$$A_{外} + A_{非保内} = E - E_0$$

(3) 机械能守恒定律

若 $A_{外} + A_{非保内} = 0$,则 $E = E_k + E_p =$ 常量.