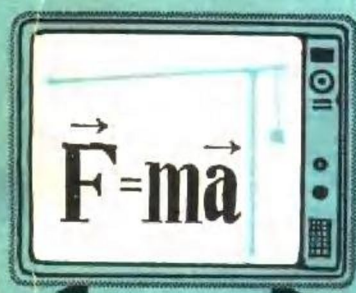


电视大学辅导参考



普通物理学

·力学部分·

辽宁科学技术出版社

电视大学辅导参考

普通物理学

(力学部分)

沈阳电视大学机电室编

辽宁科学技术出版社

1983年·沈阳

普通物理学

· 力学部分 ·

沈阳电视大学机电室编

辽宁科学技术出版社出版 (沈阳市南京街6段1里2号)

辽宁省新华书店发行 朝阳六六七厂印刷

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张: $12 \frac{3}{8}$ 字数: 256,000

1983年9月第1版

1983年9月第1次印刷

责任编辑: 禾 果

责任校对: 李秀芝

封面设计: 吴风旗

印数: 1—20,600

统一书号: 7288·24 定价: 1.40元

绪 言

一、力学的研究对象

力学是研究物体机械运动的规律及其应用的学科。物体的运动形式很多（如机械运动、分子热运动、电磁运动、化学变化、生物机体所固有的各种运动过程等），其中的机械运动是最简单、最基本、最普遍的运动。所谓机械运动，就是一个物体（或物体的某一部分）相对于另一个物体（或物体的其它部分）的位置随时间而变化的过程。

二、力学与数学

世间的一切物质无论在时间上，还是在空间上都处于永恒的运动之中，在形式各异、种类纷杂的运动中，要描述一个物体的运动情况，单靠语言文字，是说不清楚的。为此，必须运用数学手段，借助数学语言。力学对数学知识的起码要求是：以初等数学为起点，掌握必要的解析几何矢量分析知识，能进行各种微积分运算。

三、参照系与坐标系

要描述一个物体机械运动的具体情况，总要选择人们认

为静止不动的某些物体作为参考的标准，然后再说明被研究的对象相对于参考物体是如何运动的。这个被选作参考标准的物体称为参照系。显然，参照系不同，尽管是对同一个被研究对象，其运动的具体情况就不同。

在力学中，参照系的形状、质料、性质并不重要，起作用的是它的位置，因此，可以把参照系抽象为只有位置的东西，这就是坐标系。常用的坐标系是笛卡儿直角坐标系，有时也用“自然”坐标系。

四、物理模型

物理学中的被研究对象就称为客体。客体都具有多方面的性质（如几何形状与大小；化学性质；电荷性质及导电性能等）。但是，研究任何一个具体的物理现象，客体的多方面性质中往往只有某些因素起决定性作用，而另外一些因素只起次要作用或完全不起什么实质性作用。为此，在不影响事物发展过程和获得正确结论的前提下，为了抓住事物的本质，常常突出客体中与被研究的物理现象有关的主要因素，而忽略那些次要因素。这样，比较复杂的客体就简化成一种理想化与抽象化了的东西——这就是物理模型。

必须注意，同一个客体，在研究不同的物理现象时，往往用不同的物理模型来代替它。模型不能随便选用，而应能正确地反映出客体在被研究的物理现象中起主要作用的因素。

常用的模型有：质点、刚体、完全弹性体、理想流体、弹簧振子等等。

目 录

绪 言

第一章 质点运动学	1
一 基本概念	1
(一) 几个定性概念	1
(二) 位置矢量 $\vec{r}$	2
(三) 位移矢量 $\Delta\vec{r}$	3
(四) 平均速度 $\vec{v}$	4
(五) 平均速率 $\overline{v}$	5
(六) 瞬时速度 $\vec{v}$	6
(七) 平均加速度 $\vec{a}$	7
(八) 瞬时加速度 $\vec{a}$	8
二 基本规律	11
(一) 运动的迭加性原理	11
(二) 速度的相对性原理	12
(三) 质点运动的微积分问题	12
(四) 质点作直线运动几例	14
(五) 质点平面曲线运动几例	15
三 例题解答	16

第二章 质点动力学	61
一 基本概念	61
(一) 惯性	61
(二) 惯性参照系	61
(三) 质量	61
(四) 力	62
(五) 惯性力	63
二 基本规律	65
(一) 牛顿第一定律	65
(二) 牛顿第二定律	66
(三) 牛顿第三定律	67
(四) 牛顿三个定律之间的关系	68
三 例题解答	68
第三章 功和能	115
一 基本概念	115
(一) 功	115
(二) 保守力和耗散力	117
(三) 功率	119
(四) 动能	120
(五) 势能	121
(六) 机械能	122
(七) 能量和功的关系	123
二 基本规律	123
(一) 物体的动能定理	123
(二) 物体系的动能定理	124

(三) 功能原理	125
(四) 机械能转化及守恒定律	126
三 例题解答	127
第四章 动量	172
一 基本概念	172
(一) 动量	172
(二) 冲量	174
(三) 碰撞	177
二 基本规律	178
(一) 物体的动量定理	178
(二) 物体系的动量定理	179
(三) 物体系的动量守恒定律	180
(四) 三定律比较表	182
(五) 火箭的运动规律	182
三 例题解答	185
第五章 刚体力学	221
一 基本概念	221
(一) 两个定性概念	221
(二) 刚体运动的类型	222
(三) 描述刚体定轴转动时物理量	223
(四) 转动惯量	226
(五) 力矩	228
(六) 角动量	229
(七) 冲量矩	230
二 基本规律	232

(一) 质心运动定理	232
(二) 转动定律	232
(三) 定轴转动的动能定理	233
(四) 角动量定理	234
(五) 角动量守恒定律	234
(六) 研究刚体平面运动的基本方法	235
(七) 刚体的平衡条件	236
三 例题解答	237
第六章 流体力学	290
一 基本概念	290
(一) 正压力	290
(二) 压强	290
(三) 理想流体	291
(四) 稳定流动	291
(五) 流线和流管	292
二 基本规律	292
(一) 静止液体内部压强的性质和规律	292
(二) 帕斯卡原理	293
(三) 阿基米德定律	293
(四) 连续性方程	293
(五) 伯努利方程	294
(六) 其它	294
三 例题解答	295
第七章 简谐振动	317
一 基本概念	317

(一) 描述振动的一些概念	317
二 基本内容	318
(一) 简谐振动的运动方程	318
(二) 角谐振动的运动方程	322
(三) 阻尼振动	324
(四) 受迫振动及共振	326
(五) 简谐振动的能量	327
三 例题解答	328
第八章 相对论	358
一 基本内容	358
(一) 牛顿力学的基础	358
(二) 狭义相对论的基础	360
(三) 狭义相对论的质量与动量	365
二 例题解答	368
编后记	387

第一章 质点运动学

一 基本概念

(一) 几个定性概念

1. 质点：若物体本身的线度在所研究的现象中可以忽略不计，可近似地把这物体看作是一个具有质量而没有大小和形状的理想物体，称为质点。例如，研究地球的公转时，因地球的半径比地球与太阳间的距离小得多，则可将地球视为质点；而极小的原子，在研究其内部结构时，则不能视为质点。

2. 轨迹：质点在空间中运动时所经过的路径，称为质点的运动轨迹（实质上是在直角坐标系中，把真实的运动路径以恰当的比例用曲线描绘出来）。

3. 路程：在某段时间内，质点运动轨迹的曲线长度，称为质点的运动路程。

4. 时间：通常把质点所经过某一段路程与相对应的时间间隔称为时间。

5. 时刻：通常把与质点所在某一位置相对应的时间瞬时称为时刻。

(二) 位置矢量 $\vec{r}$

1. 定义：在某一时刻，以运动质点所在点为终点，以坐标原点为起点的有向线段，称为那一时刻质点的位置矢量，简称矢径。

$$\vec{r} = x \vec{i} + y \vec{j} + z \vec{k}$$

注意， $\vec{i}$ 、 $\vec{j}$ 、 $\vec{k}$

分别表示沿X、Y、Z三个坐标轴正方向的单位矢量。 $\vec{i}$ 、 $\vec{j}$ 、 $\vec{k}$ 的模均等于1。

2. 物理意义：描述运动质点在某一时刻相对于坐标系位置状态

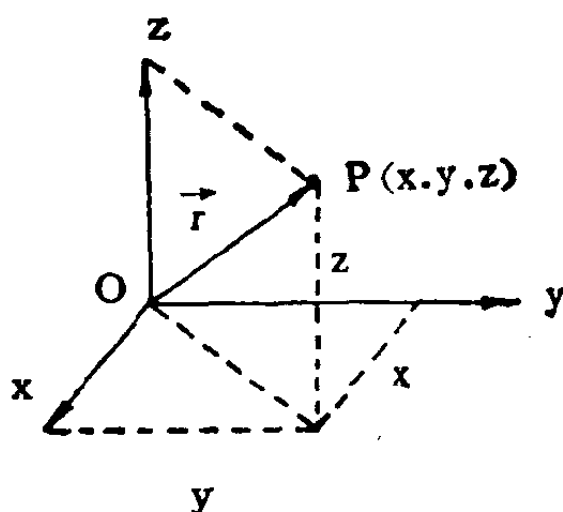


图 1—1

(远近、方位) 的物理量。如图 1—1 所示。

3. 单位与量纲：米 $[r] = L$

4. 几点注意：

(1) 矢径是矢量。其几何意义在于质点运动轨迹上与某一时刻对应的那一点相对于坐标原点的位置。

(2) 矢径是时间的函数，运动质点在各个时刻的矢径具有不同的量值和方向。在一段时间内，矢径端点所刻画的曲线即是质点的运动轨迹。

(3) 同一质点在某一时刻的矢径与坐标系的选择有

关。即矢径是相对量，

(4) 矢径 $\vec{r}$ 的量值和方向余弦：

$$r = |\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}, \cos\beta = \frac{y}{r}, \cos\gamma = \frac{z}{r}$$

(三) 位移矢量 $\vec{\Delta r}$

1. 定义：在某段时间内，由运动质点的起始位置引向终了位置的有向线段（或终了时刻的矢径与初始时刻的矢径的矢量差）。

$$\vec{\Delta r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = (x_2 - x_1)\vec{i} + (y_2 - y_1)\vec{j} + (z_2 - z_1)\vec{k}$$

2. 物理意义：是描述运动质点在某段时间内相对于坐标系位置状态的变化情况的物理量。如图 1—2 所示。

3. 单位与量纲：米

$$[\Delta r] = L$$

4. 说明：

(1) 位移是矢量。其几何意义在于质点运动轨迹上与某段时间相对应的那两点（起点和终点）间的位置变化情况。如图 1—2，物体沿曲线运动，在时刻 t 位于 A 点，矢径为 $\vec{r}_A$ ；在时刻 $t + \Delta t$ 位于 B 点，矢径为 $\vec{r}_B$ ；则用 $\vec{r}_B$ 与 $\vec{r}_A$ 之差， $\vec{\Delta r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A$ 来表示物体在 Δt 时间内的位置变化。

(2) 位移是时间的函数，在不同的时间间隔内，位移具有不同的量值和方向。

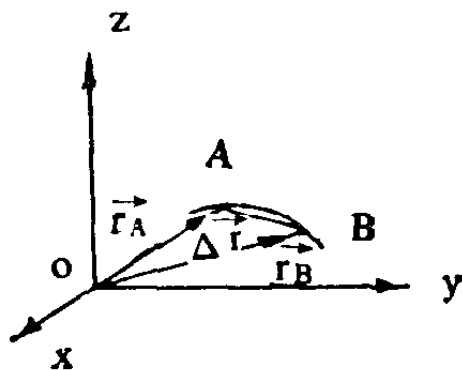


图 1—2

(3) 同一质点在某一段时间内的位移和坐标系的选择有关。位移也是相对量。

(4) 位移 $\vec{\Delta r}$ 的量值和方向余弦:

$$\Delta Y = Y - Y_0 \quad \vec{\Delta r} = |\vec{\Delta r}| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

$$\cos \alpha = \frac{x_2 - x_1}{\Delta r}, \quad \cos \beta = \frac{y_2 - y_1}{\Delta r}, \quad \cos \gamma = \frac{z_2 - z_1}{\Delta r}$$

(四) 平均速度 $\vec{v}$

1. 定义: 在某段时间内, 质点的位移与所经历时间的比值。

$$\vec{v} = \frac{\vec{\Delta r}}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \vec{i} + \frac{\Delta y}{\Delta t} \vec{j} + \frac{\Delta z}{\Delta t} \vec{k}$$

2. 物理意义: 是描述运动质点在某段时间内位置变化的平均快慢程度 (包括方向) 的物理量。

3. 单位与量纲: 米/秒 $[\vec{v}] = LT^{-1}$

4. 说明:

(1) 平均速度是矢量。它只能反映在某段时间内质点位置变化的大概情况, 而不能反映各个不同时刻质点位置变化的细节。

(2) 对同一运动质点而言, 平均速度的量值并非定值。所取的时间间隔不同, 则所得平均速度的量值一般不相等。

$$|\vec{v}| = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta z}{\Delta t}\right)^2}$$

(3) 平均速度的方向总是与相应的位移方向相同的。

$\Delta \vec{r}$ 的方向就是 $\vec{v}$ 的方向。

(4) 平均速度的量值和坐标系的选择有关, 是个相对量。

(五) 平均速率 $\overline{v}$

1. 定义: 在某段时间内, 质点运动的路程 (轨迹的曲线长度) 与所经历时间的比值。

$$\overline{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \text{或} \quad |\vec{v}| = \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t}$$

2. 物理意义: 是描述在某段时间内运动质点在其运动轨迹上移动的平均快慢程度 (不考虑运动的方向) 的物理量。

3. 单位与量纲: 米/秒 $[\overline{v}] = LT^{-1}$

4. 说明:

(1) 平均速率是标量。它只反映质点在轨迹上移动的平均快慢, 而不反映质点移动的方向。

(2) 对同一质点而言, 即使在同一时间间隔内, 其平均速率的值与其平均速度的量值不一定相等 (若质点作曲线运动一定不相等, 即使质点作直线运动也不一定相等)。

$$\overline{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \neq |\vec{v}| = \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t}$$

例如, 某一物体由起始点经一段路程又回到起始点, 此时的平均速度的量值, 因 $\Delta \vec{r} = 0$, $|\vec{v}| = 0$, 但 $\Delta s \neq 0$,

$$\overline{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \neq 0。$$

(六) 瞬时速度 $\vec{v}$

1. 定义：在某时刻 t ，当所取的时间间隔 Δt 趋于零时，运动质点平均速度 $\vec{v}$ 的极限，称为 t 时刻的瞬时速度矢量。

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt} \vec{i} + \frac{dy}{dt} \vec{j} + \frac{dz}{dt} \vec{k}$$

2. 物理意义：是精确地描述运动质点在某时刻位置变动的快慢和运动方向的物理量。

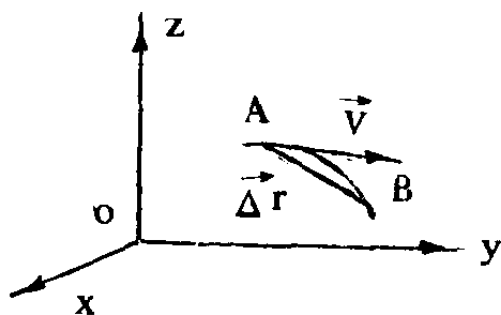


图 1—3

3. 单位与量纲：米/秒

$$[v] = LT^{-1}$$

4. 说明：

(1) 瞬时速度是矢量，它相当于在某时刻 t 附近无限短一段时间内的平均速度。故瞬时速度 $\vec{v}$ 的方向，就是位移 $\Delta \vec{r}$ 在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时的极限方向（就是质点在运动轨迹上该点的正切线方向）。

(2) 瞬时速度是质点矢径的瞬时变化率，它能反映运动质点在各个时刻位置变化的细节情况。

(3) 瞬时速度的量值和坐标系的选择有关。

(4) 关于瞬时速率：如图 1—3 所示，用 Δs 表示物体在 Δt 时间内所走过的路程（亦即弧 $\widehat{AB}$ 的长度），当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时，位移矢量 $\Delta \vec{r}$ 的量值 $|\Delta \vec{r}|$ 就趋于 Δs ，因此，瞬时速度的量值与瞬时速率不再有任何区别。即，

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} = \frac{d\vec{s}}{dt} = |\vec{v}| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t} = \frac{|\frac{d\vec{r}}{dt}|}{dt}$$

$$(5) \text{ 瞬时速度的大小: } v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}$$

总是正值;

瞬时速度的方向: 沿质点运动轨迹在该点的切向, 且指向质点运动的一方 (即所谓“正切线”方向)。

(七) 平均加速度 $\vec{a}$

1. 定义: 在某时刻 t_1 , 质点的瞬时速度为 $\vec{v}_1$, 在时刻 $t_2 = t_1 + \Delta t$, 质点的瞬时速度为 $\vec{v}_2$, 则在时间 Δt 内质点的速度变化为 $\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$, 我们把 $\Delta \vec{v}$ 与 Δt 的比值, 称为质点在这段时间内的平均加速度。

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

2. 物理意义: 是粗略地描述质点在某段时间内速度变化的平均快慢程度和方向的物理量。

3. 单位与量纲: 米/秒² $[a] = LT^{-2}$

4. 说明:

(1) 平均加速度是矢量。它只能反映在某段时间内运动质点速度变化的大概情况, 而不能反映各个不同时刻质点速度变化的细节。

(2) 设质点做变速直线运动。在某一时刻 t_1 , 质点速度为 $v_1 = v(t_1)$, 在时刻 $t_2 = t_1 + \Delta t$, 质点速度为 $v_2 = v(t_2) = v(t_1 + \Delta t)$, 以 A、B 分别表示与时刻 t_1 、 t_2 相应的点。则质点在 Δt 时间内的平均加速度 $\vec{a}$ 的量值就是 $v-t$ 曲线上割线