

DAXUE JICHU WULI XUEXI ZHIDAO

# 大学基础物理 学习指导

编著 王慧君



河南大学出版社  
HENAN UNIVERSITY PRESS

## 前 言

物理学是自然科学的基础学科,是现代技术发展的源泉.无论是新技术、新学科,还是新思维,物理学始终都是它们的原动力.大学物理是一门重要的基础理论课程,它不仅可以增强大学生对自然世界图景的深刻认识,为学生后续课程的学习提供必要的理论基础和方法论指导,更重要的是它对培养创新意识等科学素养有着得天独厚的优势.现在,大学物理不仅是理工科学生的专修课程,而且在许多院校,农、林、牧、医科,甚至文科、艺术类专业都陆续开设了大学物理,足以显示出现代教育中大学物理的基础地位和重要作用.

要学好大学物理,不做一定量的习题是不行的.只有通过独立思考 and 动手练习,才能不断巩固和深化所学知识,真正提高分析和解决问题的能力.物理习题一般可分为三个层次:一是经典题目,研究的多是物块、斜面、滑轮类题目,都是从实际中提炼出的理想模型,考察的是对物理知识的简单应用;二是与现代科学技术相联系的一类题目,研究的是现代科技中的物理知识的具体运用,用以扩大学生的视野,巩固理论知识,激发学生学习物理的兴趣;三是对现实生活中实际问题进行研究的题目,它需要确立研究对象、简化研究过程、运用一般物理原理作数量级估计,再与实际对比、抽象出合适的物理模型,并对物理模型进一步修正、综合等,这是真正的科学素质培养的过程.本书所编题目在三个层次上均有所体现.其中,A级习题是基础训练;B级习题具有一定的难度,故配有提示与说明.

本书试图做到概念准确、思路严谨、说理透彻、注重方法、深入

浅出,特别是注意到了高中物理与大学物理的自然衔接与过渡,重视变式教学,避免单一定势思维的消极影响,让学生尽量从不同角度、运用不同方法来解决同一物理问题,运用一题多解、一题多变、一题多问等形式使学生从单一思维模式中解放出来,为学生学好大学物理尽可能提供更多的帮助.因此,该书特别适合农、林、牧、医等非理工科学生学习使用,可以作为理工科、电大、函授等学生学习大学物理的教学参考书,也可供从事物理教学的教师用作教学参考.

在编写过程中,参考了大量的书刊资料,借鉴了兄弟院校的教学经验,并得到了河南科技学院基础部领导和物理教研室全体同仁的大力支持.在此一并致以最衷心的感谢!

对本书的缺点和不足之处,敬请广大读者批评指正.

编 者

2004年7月

# 目 录

<b>第一章 一般运动的描述</b> .....	(1)
基本知识点.....	(1)
学习方法指导.....	(4)
例题解析.....	(5)
习题精选 .....	(12)
<b>第二章 力的性质与分类</b> .....	(32)
<b>第一节 力学中常见的力</b> .....	(32)
基本知识点 .....	(32)
学习方法指导 .....	(34)
例题解析 .....	(35)
习题精选 .....	(38)
<b>第二节 电场力</b> .....	(48)
基本知识点 .....	(48)
学习方法指导 .....	(52)
例题解析 .....	(52)
习题精选 .....	(57)
<b>第三节 磁场力</b> .....	(68)
基本知识点 .....	(68)
学习方法指导 .....	(74)
例题解析 .....	(74)
习题精选 .....	(78)
<b>第四节 分子力</b> .....	(92)
基本知识点 .....	(92)

---

学习方法指导 .....	(99)
例题解析 .....	(100)
习题精选 .....	(103)
<b>第三章 牛顿运动定律</b> .....	<b>(114)</b>
基本知识点 .....	(114)
学习方法指导 .....	(125)
例题解析 .....	(126)
习题精选 .....	(137)
<b>第四章 动量定理与动量守恒定律</b> .....	<b>(183)</b>
基本知识点 .....	(183)
学习方法指导 .....	(185)
例题解析 .....	(185)
习题精选 .....	(191)
<b>第五章 功能关系与机械能守恒定律</b> .....	<b>(204)</b>
基本知识点 .....	(204)
学习方法指导 .....	(217)
例题解析 .....	(219)
习题精选 .....	(230)

# 第一章 一般运动的描述

## 基本知识点

### 一、参考系

物体的运动是相对运动,是相对于参考系的运动.参考系可以任意选取,但同一物体的运动,选取的参考系不同,描述物体的运动结果也就不同.

### 二、质点

质点是具有一定质量的几何点.可以把物体看作质点来处理的情况有二:

1. 平动的物体.因为物体各点的运动情况都相同,故可以用一点(质点)代替物体上所有点的运动情况.
2. 物体本身的线度与所研究的距离相比小得多时,可以把这个物体看作质点.

### 三、位置矢量和位移

#### (一) 位置矢量

在坐标系中,由坐标原点出发指向物体所在位置的有向线段,称为位置矢量,简称位矢.用  $r$  表示,

$$r = x(t)i + y(t)j + z(t)k.$$

式中,  $i, j, k$  为  $x, y, z$  方向的单位矢量.

#### (二) 位移

在一段时间  $\Delta t$  内,物体的位置矢量的改变量称为位移,即由物体的初位置指向末位置的有向线段.

$$\Delta r = r(t + \Delta t) - r(t) = \Delta xi + \Delta yj + \Delta zk.$$

#### 四、速度

速度是表示物体运动快慢的物理量,为矢量,单位:m/s.

##### (一) 平均速度

$$\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t}.$$

平均速度不等于速度的平均.

##### (二) 瞬时速度

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

即

$$v(t) = v_x i + v_y j + v_z k.$$

一般情况下速度的大小不等于速率,只有瞬时速度的大小才与瞬时速率相等.

#### 五、加速度

加速度是表示速度变化快慢的物理量,为矢量,单位:m/s<sup>2</sup>.

##### (一) 直角坐标系下的加速度

###### 1. 平均加速度

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

###### 2. 瞬时加速度

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 r}{dt^2}.$$

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2}; \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2}; \quad a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2}.$$

$$a(t) = a_x(t)i + a_y(t)j + a_z(t)k.$$

加速度的方向与速度变化方向一致.

##### (二) 自然坐标系中的速度和加速度公式

###### 1. 速度

$$v = v\tau = \frac{ds}{dt}\tau.$$

## 2. 切向加速度与法向加速度

$$a_{\tau} = \frac{dv}{dt}, \quad a_n = \frac{v^2}{\rho}.$$

$$\mathbf{a} = a_{\tau}\boldsymbol{\tau} + a_n\mathbf{n} = \frac{dv}{dt}\boldsymbol{\tau} + \frac{v^2}{\rho}\mathbf{n}.$$

式中,  $\boldsymbol{\tau}, \mathbf{n}$  为切向、法向的单位矢量.

## 六、运动方程

## (一) 质点的运动方程

质点的运动是质点在空间的位置随时间变化的过程. 在变化过程中,  $x, y, z$  及位置矢量  $\mathbf{r}$  都是  $t$  的函数. 表示质点运动过程的函数关系式,  $x = x(t), y = y(t), z = z(t)$ , 或  $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$ , 叫质点的运动方程. 质点的运动学方程可以确定任意时刻质点的位置, 一旦得到运动学方程, 则质点的全部情况都了如指掌.

## (二) 轨迹方程

质点运动时描出的轨迹称质点运动的轨迹. 位置矢量的矢端画出的曲线, 称位置矢量的矢端曲线, 亦即质点的轨迹. 由质点的运动方程中消去参量  $t$  即可得出质点的轨迹方程. 例如, 由运动方程  $x = x(t), y = y(t), z = z(t)$ , 消去  $t$  可得  $f(x, y, z) = 0$ , 即为质点的轨迹方程.

## 七、相对运动

## (一) 相对速度公式

一质点相对于两个相互作用平动的参考系的速度间的关系为  $\mathbf{v}_a = \mathbf{v}_r + \mathbf{v}_c$  (速度变化原理或伽利略速度相加原理). 其中,  $\mathbf{v}_a$  为质点相对于绝对坐标系 (定坐标) 的运动速度, 叫绝对速度;  $\mathbf{v}_r$  为质点相对于动坐标系的运动速度, 叫相对速度;  $\mathbf{v}_c$  为动坐标系相对于定坐标系平动的速度, 叫牵连速度.

## (二) 相对加速度公式

加速度间的关系  $\mathbf{a}_a = \mathbf{a}_r + \mathbf{a}_c$ . 其中,  $\mathbf{a}_a$  叫绝对加速度;  $\mathbf{a}_r$  叫



相对加速度;  $a_0$  叫牵连加速度.

## 学习方法指导

质点运动学是大学物理课程的第一章,在学习本章内容时,应尽快掌握和熟悉大学物理课程中的概念和分析方法.与中学阶段的学习内容相比较,本章对质点运动的研究更强调其相对性、瞬时性和矢量性,因而对问题的讨论在空间和时间上更具有普遍性.在解题过程中,需运用微积分和矢量做表达及计算,更注重用数学语言来表达和处理物理问题的能力的培养.这些内容,对初学者而言有一定的难度,但必须掌握.

在解本章习题时,应注意把握好以下三方面的问题.

### (一) 对质点运动状态的描述

质点的运动状态用位置矢量、位移、速度、加速度等基本物理量描述.运动方程描述质点的位置随时间的变化规律.应注意掌握建立运动方程的方法,注意区分位移和路程、速度和速率等概念;理解加速度正负号的物理意义;通过解题,加深对运动的相对性、瞬时性和矢量性等基本性质的认识.

### (二) 数学方法的运用

应熟悉并会运用微积分解题:从运动方程出发,通过微分运算求出质点在任意时刻的位矢、速度和加速度;在已知加速度(或速度与时间的关系以及初始条件的情况下,由积分运算求出任意时刻质点的速度和位置.

要注意矢量以及矢量方程的正确表达与运算.在做矢量的微分运算时,通常将矢量按坐标分解为几个互相垂直的分量进行标量运算,但应区别于对矢量的模的微分,如  $\frac{dr}{dt}$  与  $\frac{dr}{dt}$  的区别.

### (三) 运动的相对性

经典力学中,用伽利略变换和与其相关的时空观描述运动的

相对性. 由于参考系选择的不同, 对运动的描述也不同, 所以分析这类问题时, 确定研究对象和确定描述运动的参考系是十分重要的, 要熟悉相对速度和相对加速度的运算规则.

### 例 题 解 析

**例 1** 一质点在  $x$  轴上作直线运动, 运动方程为  $x = 10 - 20t^2 + 30t^3$ . 求:

- (1) 质点在任意时刻的速度和加速度;
- (2) 质点在起始时刻的位置、速度和加速度;
- (3) 质点在  $2/9$  s 时的位置、速度和加速度.

解析: (1) 由速度和加速度的定义, 可得

$$v = \frac{dx}{dt} = -40t + 90t^2;$$

$$a = \frac{dv}{dt} = -40 + 180t.$$

(2) 将  $t=0$  代入  $x, v, a$  的表达式, 有

$$x_0 = 10 \text{ m}; \quad v_0 = 0; \quad a_0 = -40 \text{ m/s}^2.$$

(3) 将  $t=2/9$  s 代入  $x, v, a$  的表达式, 有

$$x = 9.34 \text{ m}; \quad v = -4.4 \text{ m/s}; \quad a = 0.$$

**例 2** 一质点沿直线运动的位置与时间的关系, 由实验测定为  $x(t) = bt - ct^2$ . 其中,  $b, c$  均为正的常量. 试求任意时刻质点的速度和加速度, 并作图表示.

解析: 由速度和加速度的定义, 可得

$$v = \frac{dx}{dt} = b - 2ct;$$

$$a = \frac{dv}{dt} = -2c.$$

$v, a$  的图象如图 1-1 所示.

**例 3** 一质点作平面运动, 加速度为  $a_x = -A \cos t, a_y =$

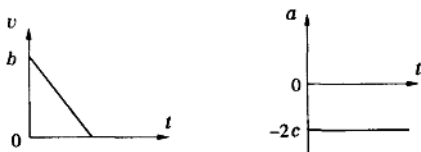


图 1-1

$-B\sin t, A \neq B, A \neq 0, B \neq 0$ , 初始条件 ( $t = 0$  时) 有  $v_{0x} = 0, v_{0y} = B, x_0 = A, y_0 = 0$ . 求质点的运动轨迹.

解析: 因为  $a = \frac{dv}{dt}, v = v_0 + \int_0^t a dt, v = \frac{dr}{dt}, r = r_0 + \int_0^t v dt$ , 所以

$$v_x = v_{0x} + \int_0^t a_x dt = -A \int_0^t \cos t dt = -A \sin t,$$

$$v_y = v_{0y} + \int_0^t a_y dt = B - B \int_0^t \sin t dt = B \cos t;$$

$$x = x_0 + \int_0^t v_x dt = A - A \int_0^t \sin t dt = A \cos t,$$

$$y = y_0 + \int_0^t v_y dt = B \int_0^t \cos t dt = B \sin t.$$

由  $x, y$  的表达式可得,  $\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = 1$ , 表明质点运动轨迹为椭圆.

例 4 在离水面高为  $h$  的岸边, 有人用绳拉船靠岸; 船在离岸边  $s$  处. 当人以速率  $v_0$  收绳时, 船的速度、加速度的大小各为多少?

解析: 本题中船受到约束, 不能离开水面. 根据约束的几何关系可以很方便地求解.

如图 1-2 所示, 设人与船之间的绳长为  $l$ , 此时绳与水面的夹角为  $\theta$ , 则有

$$l^2 = h^2 + s^2. \quad *$$

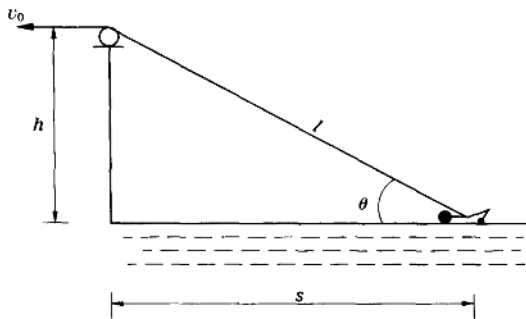


图 1-2

两边对时间  $t$  微分, 得

$$2l \frac{dl}{dt} = 2s \frac{ds}{dt}.$$

船速的大小

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{l}{s} \frac{dl}{dt} = \frac{l}{s} v_0 = \frac{\sqrt{h^2 + s^2}}{s} v_0;$$

加速度的大小

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{s \frac{dl}{dt} - l \frac{ds}{dt}}{s^2} v_0 = \frac{v_0 s - l v}{s^2} v_0 = \frac{h^2 v_0^2}{s^3}.$$

例 5 一质点沿半径为  $R$  的圆周按  $s = v_0 t - \frac{1}{2} b t^2$  的规律运动. 式中,  $v_0, b$  都是正常数. 试求:

- (1)  $t$  时刻质点加速度的大小;
- (2)  $t$  为何值时加速度在数值上等于  $b$ ;
- (3) 当加速度达到  $b$  时, 质点已沿圆周运行了多少圈.

解析: (1) 根据题意, 质点作圆周运动的速率为

$$v = \frac{ds}{dt} = v_0 - bt.$$

在自然坐标系中,其加速度的切向分量和法向分量分别为

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = -b, \quad a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{(v_0 - bt)^2}{R}.$$

所以,加速度的大小为

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = \frac{\sqrt{R^2 b^2 + (v_0 - bt)^4}}{R}.$$

(2) 要使加速度  $a = b$ , 即要求

$$\frac{\sqrt{R^2 b^2 + (v_0 - bt)^4}}{R} = b.$$

解得

$$t = \frac{v_0}{b}.$$

(3) 当加速度达到  $b$  时,由(2)求得所需时间  $t = \frac{v_0}{b}$ . 将该时间代入质点运动方程,可得

$$s = v_0 t - \frac{1}{2} b t^2 = \frac{v_0^2}{2b}.$$

所以,质点运行的总圈数

$$n = \frac{s}{2\pi R} = \frac{v_0^2}{4\pi R b}.$$

**例 6** 已知一质点由静止出发,它的加速度在  $x$  轴和  $y$  轴上的分量分别为  $a_x = 10t$  和  $a_y = 15t^2$  (SI 制). 试求 5 s 时质点的速度和位置.

**解析:** 取质点的出发点为坐标原点,由题意可知质点的加速度为

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = 10t;$$

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = 15t^2.$$

由初始条件  $t=0$  时,  $v_{0x} = v_{0y} = 0$ , 对上式积分可得

$$v_x = \int_0^t 10t dt = 5t^2;$$

$$v_y = \int_0^t 15t^2 dt = 5t^3.$$

即

$$\mathbf{v} = 5t^2 \mathbf{i} + 5t^3 \mathbf{j}.$$

将  $t=5$  s 代入速度表达式, 有

$$\mathbf{v} = 125\mathbf{i} + 625\mathbf{j}.$$

由速度的定义及初始条件  $t=0$  时  $v_{0x} = v_{0y} = 0$ , 有

$$x = \int_0^t v_x dt = \int_0^t 5t^2 dt = \frac{5}{3}t^3,$$

$$y = \int_0^t v_y dt = \int_0^t 5t^3 dt = \frac{5}{4}t^4.$$

即

$$\mathbf{r} = \frac{5t^3}{3} \mathbf{i} + \frac{5t^4}{4} \mathbf{j}.$$

将  $t=5$  s 代入上式, 可得

$$\mathbf{r} = \frac{625}{3} \mathbf{i} + \frac{3125}{4} \mathbf{j}.$$

**例 7** 一列火车以速率  $v_1$  向前行驶. 忽然, 司机发现, 在正前方同一轨道上距离为  $s$  处, 有另一列车正沿相同的方向以较小的速率  $v_2$  作匀速运动, 他立即使火车作匀减速运动. 若加速度大小为  $a$ , 为了使两车不致相撞,  $a$  应满足什么条件?

**解析:** 以速率为  $v_2$  的列车为参照物, 两车的相对初速度为  $v_1 - v_2$ , 相对加速度仍为  $a$ . 根据相对末速度为零时, 允许火车通过的最大相对距离为  $s$ , 有

$$0 - (v_1 - v_2)^2 = 2as.$$

解之得

$$a = -\frac{(v_1 - v_2)^2}{2s}.$$

所以, 不相撞的条件为  $|a| > \frac{(v_1 - v_2)^2}{2s}$ .

例8 一质点的运动学方程为  $\mathbf{r} = R\cos t\mathbf{i} + R\sin t\mathbf{j}$ , 求以形式  $f(x, y, z) = 0$  写出的轨迹方程.

解析: 由运动学方程可知

$$x = R\cos t, \quad y = R\sin t.$$

分别将方程两边二次方, 然后相加可得

$$x^2 + y^2 = R^2.$$

由此可知, 质点的运动轨迹为圆, 质点作圆周运动.

例9 一电子在电场中运动, 其运动方程为  $x = 2t, y = 19 - 2t^2$  (SI).

(1) 确定电子的运动轨迹;

(2) 求电子的速度和加速度;

(3) 什么时候电子的位矢与速度恰好垂直? 此时, 它们的  $x$ ,  $y$  分量各是多少?

(4) 何时电子离原点最近? 最小距离为多少?

解析: (1) 由运动方程消去  $t$ , 得轨迹方程:

$$y = 19 - \frac{x^2}{2}.$$

轨迹曲线为抛物线.

(2) 用位矢表示运动方程:

$$\mathbf{r} = 2t\mathbf{i} + (19 - 2t^2)\mathbf{j}.$$

根据定义, 速度

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = 2\mathbf{i} - 4t\mathbf{j};$$

加速度

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -4\mathbf{j}.$$

(3) 位矢  $\mathbf{r}$  与速度  $\mathbf{v}$  垂直时,  $\mathbf{r} \cdot \mathbf{v} = 0$ , 即

$$\begin{aligned} [2t\mathbf{i} + (19 - 2t^2)\mathbf{j}] \cdot (2\mathbf{i} - 4t\mathbf{j}) &= 0, \\ 4t - 4t(19 - 2t^2) &= 0. \end{aligned}$$

解得,  $t=0$  或  $t=3$  s.

当  $t=0$  时,  $x=0, y=19$  m;  $v_x=2$  m/s,  $v_y=0$ . 当  $t=3$  s 时,  $x=6$  m,  $y=1$  m,  $v_x=2$  m/s,  $v_y=-12$  m/s.

(4) 电子与坐标原点的距离

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{(2t)^2 + (19 - 2t^2)^2}.$$

令  $\frac{dr}{dt}=0$ , 解得  $t=0$  和  $t=3$  s. 再由  $\frac{d^2r}{dt^2}>0$  知,  $t=3$  s 时, 函数  $r$  有最小值,  $r_{\min}=6.08$  m.

**例 10** 为观察微观粒子的轨迹. 威尔逊(C. T. Wilson, 1869 - 1959)发明了云室. 云室中含有过饱和酒精蒸气, 当快速带电粒子穿过云室时, 在其经过的路径上产生离子, 使过饱和酒精蒸气以离子为核心凝结成液滴, 从而记录下带电粒子的径迹. 此外, 气泡室中则装有过热液体, 当带电粒子穿过并使原子电离后, 形成由气泡组成的轨迹. 云室中充以不同气体时, 粒子的运动学方程有不同的形式. 设某云室中粒子的运动学方程为  $x + C_1 - C_2e^{-at}$ . 粒子进入云室时开始计时, 试描述此粒子在该云室中的运动状况.

**解析:** 由粒子的运动学方程可知粒子作直线运动, 并能求出它的速度和加速度.

根据  $x + C_1 - C_2e^{-at}$ , 由速度定义, 得

$$v_x = \frac{dx}{dt} = C_2 a e^{-at};$$

根据加速度定义, 得

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = -C_2 a^2 e^{-at}.$$

负号表示速度与加速度反向, 粒子作减速运动, 而且其速度随时间按指数规律减小.

$t=0$  时, 粒子进入云室, 有  $x_0 = C_1 - C_2$ , 即粒子距坐标原点为  $C_1 - C_2$ ;  $v_{0x} = C_2 a$  是粒子进入云室的速度;  $a_{0x} = -C_2 a^2$  是



粒子进入云室时的加速度.

当时间足够长,即  $t \rightarrow \infty$  时,  $x_{\infty} = C_1$ ,  $v_{\infty x} = 0$ ,  $a_{\infty x} = 0$ . 结果表明,粒子将无限接近于  $x_{\infty} = C_1$  并静止于该处;质点位移趋于  $x_{\infty} - x_0 = C_2$ .

## 习 题 精 选

### A 级习题

#### 一、填空题

1. 一个物体相对于另一个物体的位置变动叫\_\_\_\_\_。  
在描述物体的运动时,选来作为比较的假定不动的物体叫做\_\_\_\_\_。
2. 在研究物体运动时,物体的\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_有时可以用一个有质量的点代替,物体的物质点叫做\_\_\_\_\_。
3. 质点的空间位置用\_\_\_\_\_来确定,质点的位置变动用\_\_\_\_\_来表示;质点的实际运动轨迹的长度叫做\_\_\_\_\_。
4. 既有大小,又有方向的物理量叫做\_\_\_\_\_;只有大小,没有方向的物理量叫做\_\_\_\_\_。在物理学中,位移是\_\_\_\_\_,路程是\_\_\_\_\_。
5. 位移不仅反映质点位置变化的\_\_\_\_\_,而且反映位置变化的\_\_\_\_\_。所以,引入位移概念可以更加具体地描述质点位置变化的情况。
6. 物体沿\_\_\_\_\_运动,在相等时间里的\_\_\_\_\_都相等,这种运动叫匀速直线运动。
7. 物体的\_\_\_\_\_跟所用时间的比值,叫做匀速直线运动的速度。速度是\_\_\_\_\_量,速度的方向跟\_\_\_\_\_的方向相同。
8. 物体沿\_\_\_\_\_运动,在相等时间里的\_\_\_\_\_不相等,这种运动叫变速直线运动。