大学物理课程学习指导

何维杰　余般梅　陈曙光　编著

国防科技大学出版社

大学物理课程学习指导

何维杰　余般梅
陈曙光　　编著

国防科技大学出版社
沙·

图书在版编目(CIP)数据

大学物理课程学习指导/何维杰,余般梅,陈曙光. —长沙：国防科技大学出版社,1999.2
ISBN 7-81024-529-5

Ⅰ.大学物理课程学习指导
Ⅱ.何维杰,余般梅,陈曙光
Ⅲ.大学物理-学习指导
Ⅳ.O4

国防科技大学出版社出版发行
电话:(0731)4505601 转 88215　邮政编码:410073
E-mail:gfkdcbs@public.cs.hn.cn
责任编辑:潘生　责任校对:张静
新华书店总店北京发行所经销
湖南大学印刷厂印装
*
787×1092　1/32　印张:9.875　字数:230 千
1999 年 2 月第 1 版第 1 次印刷　印数:1—8000 册
*
定价:11.00 元

内容简介

本书是以最新颁布的全国《高等工业学校物理课程教学基本要求》为主要依据，遵循“循序渐进、逐步深化、温故知新”的学习规律，在总结了编者近些年来编写的《大学物理学习指导》实践经验基础上编写成的。

本书特点是：各单元的内容提要简炼，教学要求明确，突出了课程重点、难点；选题典型、覆盖面广，共收入选题约 540 个；难易层次分明、能满足不同程度读者的需要。既可与现行的《大学物理教程》配套使用，也可作为独立的大学物理辅助学习参考书。

本书可供理工科院校、成人高校及自考各专业师生使用和参考，亦可作为中学物理教师及报考研究生的读者系统地复习大学物理时参考。

目　　录

第一篇　力学的物理基础

第二篇　分子物理学和热力学基础

第三篇　电磁学

第四篇　机械振动与机械波

第五篇　波动光学

第六篇　量子物理基础

第一篇　力学的物理基础

力学是以机械运动的描述、规律及其应用为研究对象的学科，它是研究物理学其它领域的基础。本篇着重讨论经典力学中的质点运动学、质点动力学、刚体绕定轴转动及狭义相对论的一些最基本的概念和规律。前者研究的是在弱引力场中宏观物体的低速运动，后者讨论的是狭义相对论时空观及高速($v\approx c$)粒子运动的力学规律。

第一章　质点运动学

一、本章提要

1. 质点运动的坐标系描述(以二维为例)

(1) 直角坐标系中的表示式

位置矢量　$\boldsymbol{r}(t)=x(t)\boldsymbol{i}+y(t)\boldsymbol{j}$

位移　$\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1=(x_2-x_1)\boldsymbol{i}+(y_2-y_1)\boldsymbol{j}$

速度　$\boldsymbol{v}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=v_x\boldsymbol{i}+v_y\boldsymbol{j}$

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

加速度　$\boldsymbol{a}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}=a_x\boldsymbol{i}+a_y\boldsymbol{j}$

$$a_x=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2},a_y=\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}$$

(2) 自然坐标系中的表示式

位置坐标　$s(t)$

速度　$\boldsymbol{v}=v\boldsymbol{\tau},v=\dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$

加速度　$\boldsymbol{a}=a_n\hat{\boldsymbol{n}}+a_\tau\hat{\tau}=\dfrac{v^2}{\rho}\hat{\boldsymbol{n}}+\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\hat{\tau}$

(3) 角量与线量的关系

位移与角位移　$\mathrm{d}s==R\mathrm{d}\theta$

速度与角速度　$v=R\omega$

加速度与角加速度　$a_\tau=R\beta$

加速度与角速度　$a_n=R\omega^2$

2. 两类运动学问题

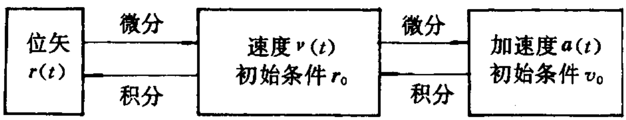

图 1—0

3. 相对运动　以时空绝对性为前提，讨论同一质点的运动在两个相对作平动的参照中的变换关系。

位矢　$\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_0+\boldsymbol{r}'$

速度　$\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}_0+\boldsymbol{v}'$

加速度　$\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_0+\boldsymbol{a}'$

式中，$\boldsymbol{r}$、$\boldsymbol{v}$ 和 $\boldsymbol{a}$ 分别为质点相对于静止参照系的位矢、速度和加速度，$\boldsymbol{r}_0$、$\boldsymbol{v}_0$ 和 $\boldsymbol{a}_0$ 分别为非转动参照系相对静止参照系的位矢、速度和加速度，$\boldsymbol{r}'$，$\boldsymbol{v}'$ 和 $\boldsymbol{a}'$ 分别为质点相对运动参照系的位矢、速度和加速度。

解相对运动问题时，首先要在确定参照系的情况下分清三个位矢或三个速度、三个加速度，其次是依题意列出它们的关系

式。

二、学习本章应注意的问题

（一）明确机械运动的描述方法

1. 运动本身是绝对的，而运动的描述是相对的。对于同一个物体的运动，选择的参照系不同，观察、测量的结果也不同。参照系和物体的运动描述是一一对应的。因此，当谈到某一物体如何运动时，必须明确是对哪一个参照系而言的。在运动学中参照系可任意选择，在研究地面上的物体运动时，如不特别指明，通常是以地球为参照系。

坐标系是参照系的数学抽象，是定量地描述物体运动的手段。确定了坐标系也就确定了参照系。有了坐标系、选定长度标准和时间标准就可定量地描述物体的运动。

2. 物体的运动状态可用矢量 $\boldsymbol{r}(t)$ 和速度 $\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}(t)}{\mathrm{d}t}$ 描述，运动状态的改变可用位移 $\Delta\boldsymbol{r}(t)$ 和加速度 $\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}(t)}{\mathrm{d}t^2}$ 描述。这样描述质点运动，形式简洁，物理意义鲜明，适合于理论探讨。

运动又可用上述物理量在坐标轴上的分量即 $x(t)$、$y(t)$、$\frac{\mathrm{d}x(t)}{\mathrm{d}t}$、$\frac{\mathrm{d}y(t)}{\mathrm{d}t}$、$\frac{\mathrm{d}^2x(t)}{\mathrm{d}t^2}$、$\frac{\mathrm{d}^2y(t)}{\mathrm{d}t^2}$……描述，其优点是便于运算。对于复杂的曲线运动，还可根据运动的独立性原理分别研究沿各坐标轴的运动，以使问题简化。

（二）几个物理量之间的区别和联系

1. 位移 $\Delta\boldsymbol{r}$ 与路程 Δs：位移是质点在时间 Δt 内的位置变化，是矢量，以有向线段 $\Delta\boldsymbol{r}$ 表示。其大小 $|\Delta\boldsymbol{r}|$ 是该线段（始、终两点连线）的实际长度，方向由起点指向终点。路程是质点在时间 Δt 内运动所经历的实际长度。位移和路程是两个不同的概念，即使在直线运动中也不能混用。它们的量值在一般情况下不

等，只在(1)当$\Delta t \to 0$，(2)质点始终沿同一方向作直线运动时，才有$|\Delta \boldsymbol{r}| = \Delta s$。此外，就位移本身的大小而言，$|\Delta \boldsymbol{r}| \neq \Delta r$，因为$|\Delta \boldsymbol{r}| = |\boldsymbol{r}_B - \boldsymbol{r}_A|$而$\Delta r = |\boldsymbol{r}_B| - |\boldsymbol{r}_A|$。

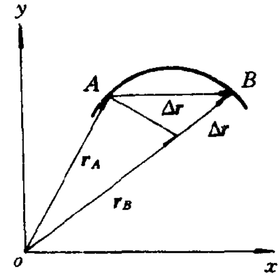

图 1－1

2. 平均速度与平均速率：

平均速度　$\bar{\boldsymbol{v}} = \dfrac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$是矢量，其量值为$\left|\dfrac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}\right|$；

平均速率　$\bar{v} = \dfrac{\Delta s}{\Delta t}$是标量，其量值为$\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$；

两者的关系是：$\left|\dfrac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}\right| \leqslant \dfrac{\Delta s}{\Delta t}$，只当(1)$\Delta t \to 0$ 时，(2)质点始终作同方向的直线运动时，等号才成立。

3. 加速度方向与速度方向的关系：加速度的方向只是和速度增量的极限方向相同。在曲线运动中，加速度方向总是指向运动曲线的凹侧，$\boldsymbol{a}$ 与 $\boldsymbol{v}$ 的正向夹角为任意角度。在直线运动中，质点作加速运动时加速度和速度方向相同，质点作减速运动时加速度和速度方向相反。

三、题型与解题基本方法

1. 已知运动方程，求质点的速度、加速度，采用对运动方程求微商的方法处理。

例 1－1　已知质点的运动方程为 $x = 6t^2 - 2t^3$，式中 t 以 s，x 以 m 计，试求：(1)质点在第二秒内的平均速度；(2)第三秒末的速度；(3)第一秒末的加速度；(4)判断质点做什么运动。

解　已知 $x = 6t^2 - 2t^3$　　(1)

用微分法可求得速度和加速度的表示式分别为

$$v = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = 12t - 6t^2 \tag{2}$$

$$a = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 12 - 12t \tag{3}$$

（1）第二秒内的平均速度是指从 $t=1\mathrm{s}$ 到 $t=2\mathrm{s}$ 时间间隔内的平均速度，即

$$V = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{(6t^2 - 2t^3)|_{t=2} - (6t^2 - 2t^3)|_{t=1}}{2-1} = 4\mathrm{m/s}$$

注意：在直线运动中位移通常不采用矢量形式表示，而是在标量前面冠以正负号表示运动方向，所以在处理具体问题时，可用代数形式的运动方程式代替矢量形式的运动方程。

（2）第二秒末的速度是指 $t=3\mathrm{s}$ 时刻的瞬时速度，将 $t=3\mathrm{s}$ 代入(2)式得：

$$v|_{t=3} = (12t - 6t^2)|_{t=3} = -18\mathrm{m/s}$$

（3）第一秒末的加速度是指 $t=1\mathrm{s}$ 时刻的瞬时加速度，将 $t=1\mathrm{s}$ 代入(3)式得：

$$a|_{t=1} = (12 - 12t)|_{t=1} = 0$$

（4）由(3)式可知 a 是 t 的函数，且运动仅限制在 x 方向，所以质点做变速直线运动。

例 1－2 一质点沿半径为 R 的圆周运动方程 $s=v_0t-\frac{1}{2}bt^2$ 运动，其中 s 为弧长，v_0，b 都是常数，求：(1)t 时刻质点的总加速度；(2)t 为何值时，总加速度在数值上等于 b；(3)当总加速度为 b 时，质点已沿圆周运行了多少圈？

解 (1)$v=\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}=v_0-bt$

t 时刻的切向加速度 $a_\tau=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=-b$

t 时刻的法向加速度 $\quad a_n=\dfrac{v^2}{R}=\dfrac{(v_0-bt)^2}{R}$

t 时刻的总加速度大小为

$$a=\sqrt{a_n^2+a_t^2}=\frac{1}{R}\sqrt{(v_0-bt)^2+b^2R^2}$$

总加速度与速度方向的夹角为

$$\theta=\operatorname{arctg}\frac{a_n}{a_\tau}=\operatorname{arctg}\left[\frac{-(v_0-bt)^2}{Rb}\right]$$

(2) 按题意可得

$$\frac{1}{R}\sqrt{(v_0-bt)^2+b^2R^2}=b$$

解得 $\qquad t=\dfrac{v_0}{b}$

(3) 将 $t=\dfrac{v_0}{b}$ 代入运动方程,得

$$s=v_0\times\frac{v_0}{b}-\frac{1}{2}b\left(\frac{v_0}{b}\right)^2=\frac{v_0^2}{2b}$$

故质点运动的圈数为

$$N=\frac{s}{2\pi R}=\frac{v_0^2}{4\pi bR}$$

例1－3 一颗子弹以水平速度 v_0 从楼窗口射出,忽略空气阻力,若以发射瞬间开始计时,试求:(1)子弹在任一时刻 t 的坐标及子弹的轨迹方程;(2)子弹在任一时刻 t 的速度、切向加速度、法向加速度。

解 设水平方向和竖直方向分别为 x 方向和 y 方向,若其位移矢量为 $\boldsymbol{r}$,设 $t=0$ 时,$\boldsymbol{r}_0=0$,则有:

$$\boldsymbol{r}=\boldsymbol{v}_0t+\frac{1}{2}\boldsymbol{g}t^2$$

将 $\boldsymbol{r}$、$\boldsymbol{v}$、$\boldsymbol{g}$ 沿 x、y 方向分解,可得子弹的坐标方程:

(1) $x=v_0t$, $y=\frac{1}{2}gt^2$, 由两式消去参变量 t，可得子弹的运动轨迹方程：$y=\frac{g}{2v_0^2}x^2$，即轨迹为一抛物线。

(2) 由 x, y 对时间 t 微商得任一时刻速度的水平分量 v_x 和竖直分量 v_y：

$$v_x=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=v_0, v_y=\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}=gt$$

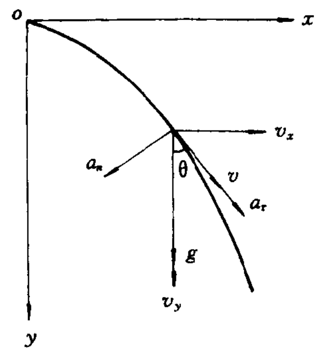

图1－2

所以，子弹合速度的大小为 $v=\sqrt{v_0^2+(gt)^2}$，方向与 x 轴的夹角为：

$$\theta=\operatorname{arctg}\frac{v_0}{gt}$$

因在平抛运动中总加速度 $a=g$，所以切向加速度 $a_\tau=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=g^2t/\sqrt{v_0^2+g^2t^2}$，方向与 v 相同。

法向加速度 $a_n=\sqrt{a^2-a_n^2}=v_0g/\sqrt{v_0^2+g^2t^2}$

2. 已知加速度和初速度和初位置，求速度或运动方程，采用积分法处理。

例 1－4 列车沿一水平直线运动，刹车后列车的加速度 $a=-kv$，k 为正常数，刹车时的初速度为 v_0，求刹车后列车最多能行进多远？

解 由于 $a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=-kv$，对左方进行分离变量得

$$\frac{\mathrm{d}v}{v}=-k\mathrm{d}t$$

两边积分得　$\ln v/v_0=-kt$

所以　$v=v_0\mathrm{e}^{-kt}$

由于 $v=\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$，所以 $\mathrm{d}x=v_0\mathrm{e}^{-kt}\mathrm{d}t$

两边积分得

$$x=\frac{v_0}{k}(1-\mathrm{e}^{-kt})$$

当 $t\to\infty$ 时，即得到列车能行进的最大距离为

$$x_{\max}=v_0/k$$

例 1－5　以加速度 a 匀速上升的升降机，当速度达 v_0 时，升降机顶部有一螺钉自由下落。若升降机的高度为 L，求螺钉落到升降机底板上所需时间。

解　方法一：以地面为参照系分别建立出螺钉和升降机的运动方程，然后联立求解。

螺钉从升降机上脱离时的物理过程是螺钉相对地面作以初速度 v_0 的匀加速运动。当螺钉上升至最高点开始下落后与上升的升降机底板相遇。见图 1－3，以升降机顶部为坐标原点，取向上为正方向：

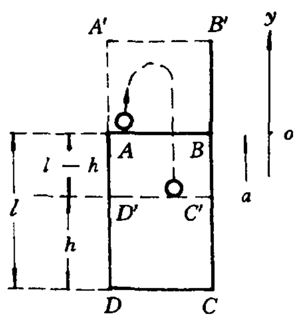

图 1－3

升降机底板的运动方程为

$$y_{底}=v_0t+\frac{1}{2}at^2=h \tag{1}$$

螺钉运动方程为

$$y_{螺} = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2 = -(L-h) \qquad (2)$$

(1)−(2)得

$$L = \frac{1}{2}(g+a)t^2, t = \sqrt{\frac{2L}{g+a}}$$

方法二:以升降机为参照系,即假定升降机不动,则螺钉相对升降机的速度为

$$v_{钉对机} = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}$$

由经典速度合成公式得

$$v_{钉对机} = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} = v_{钉对地} + v_{地对机}$$

由于 $v_{钉对地} = v_0 - gt$

$v_{地对机} = -v_{机对地} = -(v_0 + at)$

所以$\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} = (v_0 - gt) + [-(v_0 + at)] = -(g+a)t$

若以升降机底板为坐标原点向上为正,螺钉开始落下为计时起点($t=0$,螺钉位置为 L,$t=t$ 时,螺钉位置为 0),则

$$\int_L^0 \mathrm{d}y = \int_0^t -(g+a)t\mathrm{d}t$$

即 $-L = -\frac{1}{2}(g+a)t^2$

解得 $t = \sqrt{\frac{2L}{g+a}}$

由以上两种解法可见,第二种解法显得更简明。实际在物体的运动过程中每一瞬时速度均可合成。但要注意在运动学中参照系选择是任意的,主要根据对问题研究是否方便。

四、自我测验题

(一) 选择题

1. 试指出下列哪一种说法是错的。

(*A*) 一物体具有恒定的速率但仍有变化的速度；

(*B*) 一物休具有恒定的速度但仍有变化的速率；

(*C*) 一物体具有加速度而其速度可以为零；

(*D*) 一物体可以具有向东的加速度同时又具有向西的速度。 [ ]

2. 如图 1－4，路灯距地面高度为 H，行人身高为 h，若人以匀速 v 背向路灯行走，则人头的影子移动的速度 u 等于

(*A*) $\frac{H-h}{H}\cdot\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$ (*B*) $\frac{H}{H-h}\cdot\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$

(*C*) $\frac{h}{H}\cdot\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$ (*D*) $\frac{H}{h}\cdot\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$

[ ]

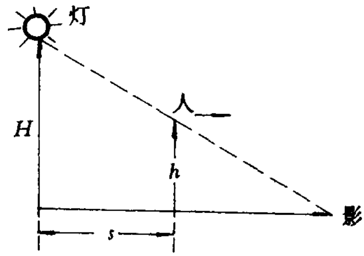

图 1－4

3. 质点作曲线运动，$\boldsymbol{r}$ 表示位矢，s 表示路程，τ 表示切向，下列表示中哪些是正确的？

(*A*) $\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\boldsymbol{a}$ (*B*) $\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=\boldsymbol{v}$ (*C*) $\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}=\boldsymbol{v}$ (*D*) $\left|\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}\right|=a_{\tau}$ [ ]

4. 一质点在平面上运动，质点的位置矢量的表示式为 $\boldsymbol{r}=at^2\boldsymbol{i}+bt^2\boldsymbol{j}$（其中 a、b 为正常量），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 [ ]

5. 一质点的运动方程是 $\boldsymbol{r}=R\cos\omega t\boldsymbol{i}+R\sin\omega t\boldsymbol{j}$，$R$、$\omega$ 为正常数，从 $t=\frac{\pi}{\omega}$ 到 $t=\frac{2\pi}{\omega}$ 时间内该质点经过的路程是

(*A*) $2R$ (*B*) πR (*C*) 0 (*D*) $\pi R\omega$ [ ]

6. 质点沿半径为 R 的圆周按规律 $s=bt-\frac{c}{2}t^2$ 运动，其中 b、c 为常数，则在切向加速度与法向加速度大小相等以前所经历的时间为

(*A*) $\frac{b}{c}+\sqrt{\frac{R}{c}}$ (*B*) $\frac{b}{c}-\sqrt{\frac{R}{c}}$

(*C*) $\frac{b}{c}-cR^2$ (*D*) $\frac{b}{c}+cR^2$ [ ]

7. 质点由静止开始以匀角加速度β沿半径为R的圆周运动，如果在某一时刻此质点的总加速度a与切向加速度a_τ成$45°$角，则此时刻质点已转过的角度θ为

(A) $\frac{1}{6}$rad (B) $\frac{1}{4}$rad (C) $\frac{1}{3}$rad (D) $\frac{1}{2}$rad [ ]

8. 一质点沿直线运动，其速度$v=v_0e^{-kt}$(式中k、v_0为常量)。当$t=0$时，质点的坐标为$x=0$，则此质点的运动方程为

(A) $x=\frac{v_0}{k}\cdot e^{-kt}$ (B) $x=-\frac{v_0}{k}\cdot e^{-kt}$

(C) $x=\frac{v_0}{k}\cdot(1-e^{-kt})$ (D) $x=-\frac{v_0}{k}\cdot(1-e^{-kt})$ [ ]

9. 质点的运动方程为$x=2t^2-4t^3$，从$t=0$时开始运动，则在$t_1=0.25$s和$t_2=0.5$s时刻，质点运动方向分别是：

(A) 均沿x轴正向， (B) 均沿x轴负向

(C) t_1时刻沿x轴正向，t_2时刻沿x轴负向

(D) t_1时刻沿x轴负向，t_2时刻沿x轴正向 [ ]

10. 一架飞机从A处向北飞到B处，然后又向南飞回到A处，已知飞机相对于空气的速率为v，空气相对于地面的速率为u，方向是由东向西，AB之间的距离为L，飞机相对于空气的速率v不变，则飞机来回飞行的时间为

(A) $t=\frac{2L}{v}$ ， (B) $t=\frac{2L}{(v^2-u^2)^{1/2}}$

(C) $t=\frac{L}{[1-(u/v)^2]v}$ (D) $t=\frac{2vL}{v^2-u^2}$ [ ]

(二) 填空题

1. 一般情况下，$\frac{d\boldsymbol{v}}{dt}$和$\frac{dv}{dt}$不相同，后者是前者在_______方向上的分量，二者大小在_______运动中相等，在_______运动中不等。

2. 质点的运动方程为$\boldsymbol{r}(t)=(9+4t-\frac{1}{2}t^2)\boldsymbol{i}+(6t+\frac{1}{3}t^3)\boldsymbol{j}(m)$；当$t=2$s时，质点的速度为$v=$_______ $m\cdot s^{-1}$，质点的加速度$\boldsymbol{a}=$_______ $m\cdot s^{-2}$.

3. 一质点沿x轴运动，其速度与时间的关系为$v=t^2+4$，式中v的单