高等专科学校试用教材

物理学

上册

侯建文 主编

机械工业出版社

高等专科学校试用教材

物理学

上册

侯建文 主编

机械工业出版社

责任编辑　林静贤

物　理　学

上　册

侯建文　主编

*

机械工业出版社出版（北京阜成門外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业許可証出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行・新华书店经售

*

开本 787×1092 $^{1}/_{32}$・印张$9^{3}/_{4}$・字数 216千字

1984年11月北京第一版・1984年11月北京第一次印刷

印数　00,001-11,000・定价1.55元

*

统一书号：15033・5710

前　言

本书是高等专科学校工科物理试用教材。是根据机械工业部教育局初步审定的招收高中毕业生，学制为三年的教学大纲组织编写的。

本书也适用于职工大学、业余大学。中等专业学校也可选用，并可供有关工程技术人员参考。

全书分上、下两册。上册为力学和热学；下册为电磁学、光学、量子力学初步和物质结构简介。

在编写过程中，对各部分的要求，内容的取舍，深广度的掌握和教法的安排等问题的处理，注意了高等专科学校的特点，既要使学生具有必要的基础理论，又要加强理论联系生产和专业实际，使本书具有一定的特色。

本书采用了“小号字”和加“*”号的方法来表示参考和选学的内容，不学它们不会影响全书的系统性。

书中编入了较多的例题和习题，以便教师选择和学生进一步加深对内容的理解，并将有利于能力的培养。

本书由侯建文副教授主编，参加编写的有侯建文（第一、三、六、七、八、九、十章），吴永康（第四、五章），张秀霞（第二章），许火烽（第十一，十二，十三章）同志。由西安交通大学赵富鑫教授和沈汝源副教授主审。

书中错误和不当之处，请老师和同学们指正。向给本书提出过宝贵意见的同志们致谢！

1983.7月

目　　录

第一篇　力　　学

第二篇　热　　学

第一篇 力 学

力学是研究物体作机械运动的规律和应用的科学。

物质存在着由简单到复杂的多种多样的运动形式。其中最简单而又最基本的运动，是物体在空间的位置随时间的变化，即机械运动，简称运动。

本篇主要讲述质点力学、刚体绕定轴的转动和弹性物体的振动与波动。

第一章 质 点 力 学

物体作机械运动的形式可有多种，如：平动、转动、振动、流动等。它们与物体的位置、大小、形状等空间因素有关，同时也与时间因素有关，情况比较复杂。例如一台正在运转的车床，往往涉及各种形式的机械运动：溜板箱在平动，工件在转动，刀子在振动，冷却液在流动等等。根据具体对象和具体要求，在基本上不影响认识事物的发展过程和获得正确结论的前提下，为了便于抓住事物的本质，顺利地解决问题，人们常在科学分析的基础上，突出事物中与被研究问题有关的主要因素忽略次要因素，通过科学抽象思维，从而建立起一些理想模型。对这些理想模型的研究，就可以使我们对一些复杂的、不易解决的问题，得到简化和解决。这是物理学和各门学科中常用的一种重要的研究方法。

质点 当所研究的问题只需考虑物体的质量和所在位置，而无需考虑它的几何尺寸和形状变化时，则可将该物体

作为质点来处理。例如自由下落的小球、在直线轨道上运动的车箱等，其上各点皆作同种运动，任一点均可代表整体运动，这时即可将小球和车箱看作质点。质点一般被定义为：只有质量而无大小的几何点。这是一个抽象的理想模型，这种抽象突出了主要矛盾，抓住了本质，不仅使问题简化了，而且也便于对问题作精确的描述和处理。

力学中除质点外，刚体、理想弹性体（或完全弹性体）、理想流体等也都是理想模型。当然，这些理想模型，在客观世界中并不存在，只是通过科学抽象思维得到的。然而，正是在一定条件下，恰当地运用了这种科学的抽象思维，才能更深刻、更完全地反映出客观事物的规律性。

系统 当研究的对象不是一个质点（或物体）而是两个以上的质点（或物体）时，这些质点（或物体）的总体，叫做质点系统（或物体系统），简称系统（或系）。

* 系统这一概念可推广到任何物质，即把某些物质的总体，叫做该物质的系统。同时根据主要研究的性质和规律的不同，又可将其分为不同的系统。例如，主要研究系统的力学性质和规律时，就叫力学系统，主要研究热力学性质和规律、电磁学性质和规律时，则叫做热力学系统、电磁系统等。这些系统在以后的学习中都会遇到。

在这一章里将进一步学习质点运动学和动力学的一些主要内容：

1．以位移、速度、加速度概念和运动迭加原理为中心的运动的描述及运动方程。

2．以力的概念和牛顿第二运动定律为中心的牛顿运动三定律——解决动力学问题的第一种基本方法。

3．动量冲量概念和动量原理，动量守恒定律——解决动力学问题的第二种基本方法。

4．功、能的概念和动能定理、功能原理、机械能转换与

守恒定律——解决动力学问题的第三种基本方法。

§1-1　质点运动的描述

一、运动本身的绝对性与运动描述的相对性

我们周围的物体都在运动着，即使看来在地面静止不动的物体，也都无例外地随地球自转。在整个银河系中，地球、太阳以及其它星球，都在运动。一个银河系相对于其他银河系或星云也都在运动着。所以说宇宙间一切物体都处在永恒的运动之中，这体现了运动本身的绝对性。一般说的“静止”和“如何运动”即对运动状态的描述，都是参考另一物体(或物体系)来说的。作为参考的物体（或物体系）称为参照系。静坐于正在行驶的火车上的人，对火车来讲，是静止的（速度为零），而对地面来说，则与火车以同一速度运动着。可见，同一个物体的运动，在不同的参照系中，对运动状态的描述，可以有不相同的结果。这种性质称为运动描述的相对性。参照系可根据具体问题和要求，本着可靠、方便的原则，任意选择。例如，要研究地球上物体的运动，可以选地面作为参照系；当研究行星绕太阳的运动时，则应选取太阳为参照系。

为了定量地描述物体的运动，必须确定一个与参照系固定联系着的坐标系。最常用的坐标系是直角坐标系（或叫正交坐标系），本书主要使用这种坐标系。一般情况下，都是三维空间的运动，在特殊情况下，可简化为二维或一维运动。

二、位移

质点在直角坐标系中的位置，除可应用相应的坐标 x、y、z 表示外，也可方便地用位置矢量 $\boldsymbol{r}$（即由坐标原点 o

引向质点所在位置 P 的矢径 $\boldsymbol{r}$）来表示。如图 1-1 a）中之 $\boldsymbol{r}$ 和图 1-1 b）中之 $\boldsymbol{r}_1, \boldsymbol{r}_2$ 即表示了 P、P_1、P_2 之位置。

显然，
$$\boldsymbol{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \tag{1-1}$$
式中之 i、j、k 为沿 x、y、z 轴正方向的单位矢量（即量值为一单位，方向与 x、y、z 轴的正方向一致的矢量）；x、y、z 则为 $\boldsymbol{r}$ 在坐标轴上的三个分量 $\boldsymbol{x}$、$\boldsymbol{y}$、$\boldsymbol{z}$ 之模，而 $\boldsymbol{r}$ 本身的模为 r。

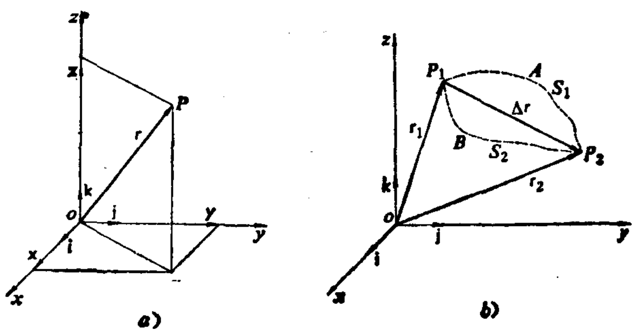


图 1-1

某质点由位置 P_1 移动到位置 P_2，可沿路径 P_1AP_2，或 P_1BP_2，或其它任何路径，但它所产生的位移（即位置移动或位置变化）都是 $\Delta\boldsymbol{r}$（或 $\boldsymbol{r}_{12}$ 即由 $P_1 \to P_2$ 的位移）

显然
$$\Delta\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_{12} = \boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1 \tag{1-2 a}$$
即两位置 P_1、P_2 间之位移，等于两位置矢量 $\boldsymbol{r}_1$、$\boldsymbol{r}_2$ 之矢量差 $\Delta\boldsymbol{r}$。其大小为 $\overline{P_1P_2}$，其方向由 P_1 指向 P_2。

由于
$$\boldsymbol{r}_1 = x_1\mathbf{i} + y_1\mathbf{j} + z_1\mathbf{k}$$
$$\boldsymbol{r}_2 = x_2\mathbf{i} + y_2\mathbf{j} + z_2\mathbf{k}$$
故
$$\begin{aligned}\Delta\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_{12} &= (x_2 - x_1)\mathbf{i} + (y_2 - y_1)\mathbf{j} + (z_2 - z_1)\mathbf{k} \\ &= \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k}\end{aligned} \tag{1-2 b}$$

$\Delta \boldsymbol{r}$ 的模为 $$\Delta r=\sqrt{\Delta x^2+\Delta y^2+\Delta z^2} \qquad (1\text{-}2\,c)$$

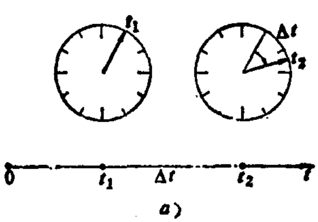
可见位移是一个矢量，它说明了质点位置移动（变化）的大小和方向，它只决定于质点的始末位置，而与路径无关。质点在运动过程中，相对于原点的位移，与位置矢量相等，这时 $\Delta \boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}$。

一般将路径的总长度叫做路程（常用S表示）是一个标量。显然，沿不同路径之路程可以不相同，如图 1-1 b）中 $S_1 \neq S_2$。

在方向不变的直线运动中，位移的量值等于路程。当方向改变时则二者可能不相等。如铅直上抛物体回到原处时，位移为“0”，而路程则为上抛高度的两倍。

三、时间与时刻

时间是一个十分重要而又不易定义的基本物理量。时间概念的建立与测量和位移的概念一样，与物体的运动是分不开的，即与事物的变化紧密相关。特别是与一些重复出现的事件相联系。（如天体的运行，四季的交替，摆的振动，脉搏的跳动等）。大家公认“钟”是一种测定时间和时刻的常用客体。指针所在处，对应于一定的时刻（如t_1、t_2）；时刻之间



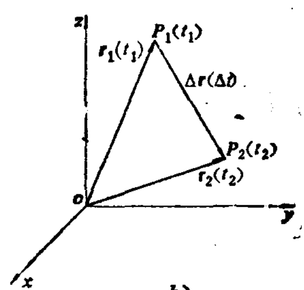


图 1-2

的区间，对应于一定时间（如 $\Delta t = t_2 - t_1$）。有时可用一个时间轴（ t ）上的点和线段表示相应的时刻与时间，如图 1-2 a)所示。要特别注意：在运动过程中，质点在各不同空间的位置皆对应于不同时刻；而各段位移，则对应于各段时间。参见图 1-2 b)。

四、平均速度与瞬时速度

定量描述运动状态的一个标志量是速度。它可以方便地说明质点运动的快慢和方向。它是一个矢量。

对速度应作具体分析。在某位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 上（或某时间 Δt 内）的速度应为与该位移（或该时间）相对应的平均速度，它被定义为：质点的位移与所需时间之比，即

$$\bar{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} \tag{1-3}$$

它描述了在该位移上（或时间内）质点的平均运动情况。

在某位置（或某时刻）的速度，则应为与该位置（或该时刻）相对应的瞬时速度（或即时速度，简称速度）。它被定义为：质点在某位置（或某时刻）附近无限短时间内平均速度的极限值，用矢量式表示，即：

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j} + v_z \mathbf{k} \tag{1-4 a}$$

或写成分量式：

$$\left.\begin{aligned} v_x &= \frac{dx}{dt} \\ v_y &= \frac{dy}{dt} \\ v_z &= \frac{dz}{dt} \end{aligned}\right\} \tag{1-4 b}$$

$\boldsymbol{v}$ 的模为 $$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2+v_z^2}$$

它描述了在该位置处（或该时刻时）质点的瞬时运动情况。

$\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$、$\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$是 $\boldsymbol{r}$、x 对时间 t 的一阶导数，而 $\mathrm{d}\boldsymbol{r}$、$\mathrm{d}x$ 则是 $\boldsymbol{r}$、x 的微分，式（1-4 a、b）也可写成如下形式

$$\left.\begin{aligned}\mathrm{d}\boldsymbol{r}&=\boldsymbol{v}\mathrm{d}t\\ \mathrm{d}x&=v_x\mathrm{d}t\end{aligned}\right\}\qquad(1\text{-}4\,\mathrm{c})$$

求导与微分的方法，在物理学中经常用到，我们将逐步用它来讲清某些概念、表述某些规律和计算某些量值。

一般来讲，在直线运动中，$\boldsymbol{r}$ 和 $\boldsymbol{v}$ 的量值与时间的函数关系，可用作图法加以表示。图 1-3 表示沿 x 方向的直线运动。显然在 $x-t$ 图（图 a）中，某处 P_1 切线之斜率即为 t_1 时瞬时速度之量值 $\left(v=\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right)$。此值在 $v-t$ 图（图 b）中与纵坐标 v_1 对应。

而与 Δt_{12} 时间相应的平均速度之量值 $\bar{v}_{12}=\dfrac{\Delta x_{12}}{\Delta t}$，可用 $x-t$ 图中割线 P_1P_2 之斜率表示，和用 $v-t$ 图中 v_1、v_2 之平均值 $\bar{v}_{12}$ 表示。

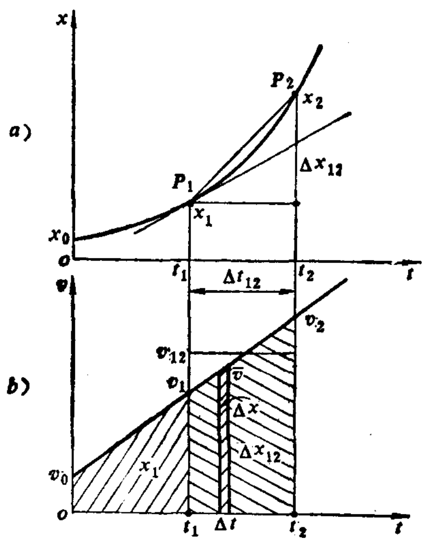


图 1-3

速率与速度不同，速率是路程（S）

与时间（t）之比。不能一般地讲："速率是速度的大小"。因为路程并不是在所有情况下都等于位移之量值。只有在运动方向不变的直线运动中，才是如此。所以不能一般地说：平均速度的量值，即平均速率。不过，瞬时速率则等于瞬时速度之量值。

〔例1-1〕 质点按照 $x=4.9t^2$m 的规律作直线运动。

（1）计算下列各时间内的平均速度值：1 s 到 1.1 s，1 s 到 1.01 s，1 s 到 1.001 s，1 s 到 1.0001 s，1 s 到 1.00001 s；

（2）求1秒末的瞬时速度值；

（3）对理解平均速度和瞬时速度有何启示？

〔解〕

（1）$t_1=1\text{ s}$，则 $x_1=4.9t_1^2=4.9\text{m}$

$t_2=1.1\text{ s}$，则 $x_2=4.9t_2^2=5.929\text{m}$

$t_3=1.01\text{ s}$，则 $x_3=4.9t_3^2=4.99849\text{m}$

$t_4=1.001\text{ s}$，则 $x_4=4.9t_4^2=4.9098049\text{m}$

$t_5=1.0001\text{ s}$，则 $x_5=4.9t_5^2=4.900980049\text{m}$

$t_6=1.00001\text{ s}$，则 $x_6=4.9t_6^2=4.900098\text{m}$

$$\bar{v}_{1,2}=\frac{x_2-x_1}{t_2-t_1}=\frac{5.929-4.9}{1.1-1}=\frac{1.029}{0.1}=10.29\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$\bar{v}_{1,3}=\frac{x_3-x_1}{t_3-t_1}=\frac{4.99849-4.9}{1.01-1}=\frac{9.849\times10^{-2}}{10^{-2}}=9.849\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$\bar{v}_{1,4}=\frac{x_4-x_1}{t_4-t_1}=\frac{4.9098049-4.9}{1.001-1}=\frac{9.8049\times10^{-3}}{10^{-3}}$$

$$=9.8049\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$\bar{v}_{1,5}=\frac{x_5-x_1}{t_5-t_1}=\frac{4.900980049-4.9}{1.0001-1}=\frac{9.80049\times10^{-4}}{10^{-4}}$$

$$=9.80049\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$\bar{v}_{1,6}=\frac{x_6-x_1}{t_6-t_1}=\frac{4.900098-4.9}{1.00001-1}=\frac{9.8\times10^{-5}}{10^{-5}}=9.8\mathrm{m\cdot s^{-1}};$$

（2）因 $v=\frac{dx}{dt}=9.8t$，故 $v_1=9.8\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$；

（3）可见：当 Δt 趋于0时，相应的平均速度 $\bar{v}$ 趋于瞬时速度 v。

既然运动的描述是相对的，那么运动的速度矢量也是相对的。我们所说的速度或测量到的速度，只有相对于某确定的参照系才有确定的量值。在图1-4中，设参照系 o_2 相对于参照系 o_1 的速度为 $\boldsymbol{v}_{21}$，

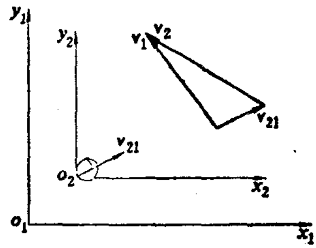


图 1-4

质点相对于参照系 o_1、o_2 之速度分别为 $\boldsymbol{v}_1$、$\boldsymbol{v}_2$，根据矢量的合成与分解(或运动迭加原理——见本书§1-2）显然有

$$\boldsymbol{v}_1=\boldsymbol{v}_2+\boldsymbol{v}_{21},\ \text{或}\ \boldsymbol{v}_2=\boldsymbol{v}_1-\boldsymbol{v}_{21} \qquad (1\text{-}5)$$

这种关系在分析实际复合运动时，经常用到。

〔**例1-2**〕 一人能在静水中以$1.1\mathrm{m\cdot s^{-1}}$的速率划船前进。今欲横渡一条宽为4000 m，水流速率为0.55 $\mathrm{m\cdot s^{-1}}$的大河。

（1）若他要从出发点A横渡这条河，到达正对岸的一点B，那末应如何确定划行方向？到达对岸需多少时间？

（2）如果希望用最短的时间过河，应如何确定划行方向？到达对岸的位置C在什么地方？

〔**解**〕

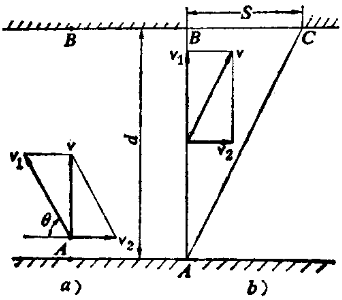
这里有三个速度，必须弄清它们的关系。

设船对水的速率为 $v_1=1.1\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$，水流对岸的速率为

$v_2 = 0.55\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$，船对岸的速率为 v，按题意和速度的相对性，应有

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_1 + \boldsymbol{v}_2$$

（1）按题意，$\boldsymbol{v}$ 应垂直于河岸，（见 a 图），否则它将不能按要求从 A 到达河的正对岸 B。显然这时 $v_1 \cos\theta = v_2$，故 $\theta = \cos^{-1}\dfrac{v_2}{v_1} = \cos^{-1}\dfrac{0.55}{1.1} = 60^\circ$ 即船应沿与河岸上游夹角 $\theta = 60^\circ$ 的方向划行；划到对岸一点所需时间为：



例 1-2图

$$t = \frac{d}{v} = \frac{d}{v_1 \sin\theta} = \frac{4000}{1.1 \times \sin 60^\circ} = 4.2 \times 10^3\ \mathrm{s} = 1.17\ \mathrm{h}$$

（2）按题意，应使 $\boldsymbol{v}_1$ 垂直于河岸，（见 b 图）即船应沿垂直于河岸的方向划行，否则，渡河时间将增加。显然 $S = v_2 \times \dfrac{d}{v_1} = 0.55 \times \dfrac{4000}{1.1} = 2000\ \mathrm{m}$，即到达位置在正对岸那一点 B 的下游 2000 m 之 C 处。

五、平均加速度与瞬时加速度

在变速运动中，速度的量值和方向都可能变化，变化的快慢亦可不同。为了方便而精确地描述速度变化情况，必须建立加速度这个重要的物理量。因为速度的变化包括量值和方向两方面的变化，故加速度也是一个矢量。

对加速度也应作具体分析，与讨论速度的方法类似，可将平均加速度 $\bar{\boldsymbol{a}}$ 定义为：速度增量（变化量）$\Delta\boldsymbol{v}$ 与相应时间 Δt 之比

即：
$$\bar{a}=\frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} \tag{1-6}$$

上式说明 $\bar{a}$ 与 $\Delta\boldsymbol{v}$ 同方向，而不是与 $\boldsymbol{v}$ 同方向；$\bar{a}$ 与 $\Delta\boldsymbol{v}$ 成正比，而不是与 $\boldsymbol{v}$ 成正比；如图 1-5 所示。

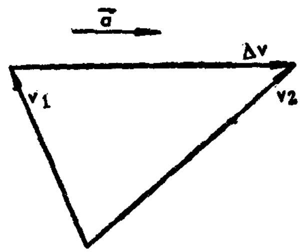


图 1-5

在直线运动中，v、t、a 的关系，可用速度图线和加速度图线（$v-t$ 图和 $a-t$ 图）来表示；如图 1-6 所示。显然平均加速度 $\bar{a}$ 的量值等于 $v-t$ 图上弦 $\overline{v_1v_2}$ 之斜率，或 $a-t$ 图上 a_1 与 a_2 之平均值。

要对某位置（或某时刻）的速度变化情况进行描述，应建立瞬时加速度（即时加速度，简称加速度）概念，它被定义为：质点在某位置（或某时刻）附近无限短时间内平均加速度的极限值即

$$a=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}=\frac{d\boldsymbol{v}}{dt} \tag{1-7}$$

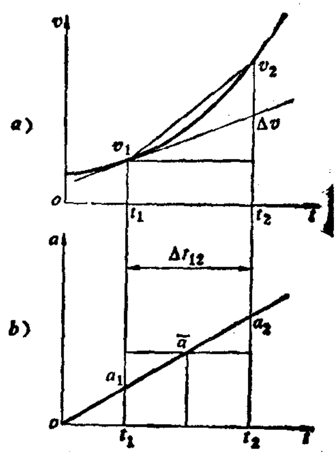


图 1-6

在直线运动中，由图 1-6 之 $v-t$ 图和 $a-t$ 图可看出，当 $t_2\to t_1$，$\Delta t\to 0$ 时，与时刻 t_1 对应之瞬时加速度之量值 a_1 等于 $v-t$ 图线在 v_1 处切线之斜率，或 $a-t$ 图线在 t_1 之纵坐标。

在对加速度作某些分析或进行具体计算时，常将 a 作某