一、力学

物体之间或物体内各部分之间相对位置的变动称为机械运动。

力学的研究对象是机械运动。

质点运动学只描述质点的运动，不涉及引起运动和改变运动的原因。动力学研究物体的运动与物体间相互作用的内在联系。牛顿运动定律是质点动力学的基本规律。

力学的理论体系是：以牛顿运动定律为出发点，导出质点和质点系的动量规律、角动量规律和机械能规律，形成力学的理论基础。刚体力学、机械振动和机械波是这些规律应用于不同质点系的特殊表现形式。各种形式的机械运动都有着共同的理论基础。

数学对描述运动和研究运动规律具有重要作用。一方面要把物理概念和规律用数学语言表达，另一方面要从数学的表达式中体会和挖掘丰富的物理内含。物理学中普遍而广泛地采用矢量和微积分等高等数学方法。

§1 质点运动学

1.1 参考系

研究物体运动时所参考的物体。参考系不同，对物体运动的描述不同。运动的相对性是运动的基本特征。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

1.2 位置矢量和运动方程

1.2.1 位置矢量

位置矢量 r 是从坐标原点引向质点所在位置的矢量。它确定了质点相对于坐标原点的距离和方位。它不仅与参考系选择有关，还与坐标原点选择有关。

1.2.2 运动方程

质点的位置矢量随时间变化的函数关系式，称为质点的运动方程，即

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

由运动方程可以确定任意时刻质点的运动状态，即确定任意时刻质点的位置矢量和速度。

1.3 位移和路程

1.3.1 位移矢量

位移矢量 $\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t+\Delta t)-\boldsymbol{r}(t)$，它的大小表示质点位置改变的空间距离，它的方向表示质点位置改变的空间方位。它与质点运动状态变化相对应。它与参考系选择有关，与坐标原点选择无关。质点作曲线运动，$|\Delta\boldsymbol{r}|\neq\Delta r$，即矢量改变量的模不等于矢量模的改变量。

1.3.2 路程

路程 Δs 是质点在空间运动实际走过的路径的长度，是恒为正的标量。在一般情况下，$|\Delta\boldsymbol{r}|\neq\Delta s$。当 $\Delta t\to 0$ 时，$\mathrm{d}s=|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|$.

1.4 速度和加速度

1.4.1 速度

$$\boldsymbol{v}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}=v_x\boldsymbol{i}+v_y\boldsymbol{j}+v_z\boldsymbol{k}$$

质点的速度是质点的位置矢量随时间的变化率。它描述质点运动的快慢和方向。

速率：$v=|\boldsymbol{v}|=\left|\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\right|=\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$

速率就是速度的大小，它只描述质点运动的快慢程度，不反映运动的方向。

1.4.2 加速度

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}=a_x\boldsymbol{i}+a_y\boldsymbol{j}+a_z\boldsymbol{k}$$

加速度是速度随时间的变化率。它描述速度变化的快慢和方向。

速度和加速度具有矢量性、相对性和瞬时性。

1.5 运动学两类问题

1.5.1 已知运动方程$\boldsymbol{r}(t)$，求速度和加速度。这类问题应用微分法。

$$\boldsymbol{r}(t)\to\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\to\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}$$

1.5.2 已知加速度，求速度和运动方程。这类问题应用积分法。$\boldsymbol{a}\to\boldsymbol{v}=\int\boldsymbol{a}\,\mathrm{d}t\to\boldsymbol{r}=\int\boldsymbol{v}\,\mathrm{d}t$

1.6 几种典型的质点运动

1.6.1 匀加速直线运动

已知 $a=$常数,当 $t=0$时，$x=0,v=v_0$，

由 $a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$，得 $\int_{v_0}^{v}\mathrm{d}v=\int_0^t a\,\mathrm{d}t$，$v=v_0+at$。

由 $v=\frac{dx}{dt}$，得 $\int_0^x dx=\int_0^t v dt=\int_0^t (v_0+at)dt$，

$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$

1.6.2 抛体运动

$$\begin{cases} a_x=0 \\ a_y=-g \end{cases} \quad \begin{cases} v_x=v_0\cos\alpha \\ v_y=v_0\sin\alpha-gt \end{cases} \quad \begin{cases} x=v_0\cos\alpha\cdot t \\ y=v_0\sin\alpha\cdot t-\frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

1.6.3 圆周运动

质点作圆周运动，可把加速度分解为切向加速度 a_τ 和法向加速度 a_n，即

$$\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_\tau+\boldsymbol{a}_n \qquad a_\tau=\frac{dv}{dt} \qquad a_n=\frac{v^2}{R} \qquad a=\sqrt{a_\tau^2+a_n^2}$$

1.7 角量与线量的关系

1.7.1 角速度 $\omega=\frac{d\theta}{dt}$

角加速度 $\alpha=\frac{d\omega}{dt}=\frac{d^2\theta}{dt^2}$

1.7.2 $s=R\theta \qquad v=\frac{ds}{dt}=R\frac{d\theta}{dt}=R\omega \qquad a_\tau=R\alpha \qquad a_n=R\omega^2$

1.8 相对平动参考系中的速度和加速度变换式

$$\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}'+\boldsymbol{v}_0 \qquad \boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}'+\boldsymbol{a}_0$$

式中 $\boldsymbol{v}_0$ 和 $\boldsymbol{a}_0$ 分别为 S' 系相对于 S 系的速度和加速度。

§2 牛顿运动定律

2.1 牛顿三定律

2.1.1 第一定律

任何物体都保持静止或匀速直线运动状态，除非它受到作用力而被迫改变这种状态。

第一定律说明了任何物体都具有一种保持自己原有运动速度不变的特性——惯性。因此，第一定律称为惯性定律，定义了惯性参考系。

第一定律确定了力的含义，力是物体间的一种相互作用。

2.1.2 第二定律

物体受到外力作用时，所获得的加速度 a 的大小与合外力 F 的大小成正比，与物体的质量 m 成反比；加速度的方向与合外力的方向相同。

第二定律的数学表达式为 $F = ma$。F 是物体所受到的合外力。在平面直角坐标系中，$F_x = ma_x$，$F_y = ma_y$。对圆周运动 $F_\tau = ma_\tau = m\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$，$F_n = ma_n = m\dfrac{v^2}{R}$。

第二定律是力对物体的瞬时作用规律，即 $F = ma$ 是瞬时关系。它只适用于质点，只在惯性参考系中成立。

2.1.3 第三定律

若物体 A 以力 F_1 作用于物体 B，则同时物体 B 必以力 F_2 作用于物体 A；这两个力的大小相等、方向相反，而且沿同一直线。第三定律的数学表达式为 $F_2 = -F_1$。

第三定律说明了物体之间的作用力具有成对性。作用力与反作用力总是同时存在、相互依存的——同时性。作用力与反

需要全本请访问 www.ertongbook.com

作用力是分别作用在不同的物体上——成对性。作用力与反作用力是属于同一种性质的力——一致性。

第三定律不涉及物体的运动，它与参考系无关。

2.2 力学中常见的几种力

2.2.1 万有引力与重力

(1) 万有引力：$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$，只适用于质点，是质点之间的吸引力。

(2) 重力：$\boldsymbol{P} = m\boldsymbol{g}$，$\boldsymbol{g}$ 为重力加速度，$g = G\frac{M}{r^2}$，M 是地球的质量，r 是地球中心至物体的距离。

2.2.2 弹性力

它是一种接触力，发生在两个物体的接触面上。它的方向恒垂直于接触面。

(1) 弹簧的弹性力：$F = -kx$，k 为弹簧的劲度系数。

(2) 正压力：两物体相互挤压时产生正压力或支持力，它们是一对作用力和反作用力。

(3) 绳中的张力：当绳子在外力作用下发生形变时，绳子中各部分之间存在弹性力，这种弹性力称为绳子的张力，方向沿着绳子。一般情况下，绳上各点的张力并不相等。如果绳的质量可忽略不计，绳上各点的张力处处相等。

2.2.3 摩擦力

它是相互作用的物体之间，接触面有相对滑动或相对滑动趋势而产生的一种阻碍相对滑动的力。前者称为滑动摩擦力，

后者称为静摩擦力。

(1) 静摩擦力：它的方向总是与接触面平行，和相对运动的趋势相反。它的大小可以是从零到某个最大值之间的任一值。最大静摩擦力为 $f_{最大}=\mu_0 N$，μ_0 叫静摩擦系数。

分析静摩擦力的方向有两种方法，一种是判断相对运动趋势。相对运动趋势是指，假如物体之间没有静摩擦力，物体将发生相对运动。如图 $2-1$，物体放在粗糙的地面上，外力 F 沿水平方向向右拉它，但未拉动。此时物体虽然处于静止状态，但它具有向右运动的趋势。也就是说，如果物体与地面之间没有静摩擦力，物体将向右运动，这就是所谓的运动趋势。静摩擦力的方向与相对运动的趋势相反，即物体受到的静摩擦力的方向向左。另一种是用牛顿定律分析。上述物体处于静止状态，它所受的合力应为零，即 $F+f=0$，故 $f=-F$，静摩擦力的方向向左。两种分析结果一致。

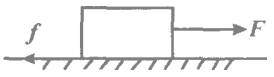

图 $2-1$

(2) 滑动摩擦：$f=\mu N$　μ 为滑动摩擦系数。

2.3 用牛顿定律解题思路

选对象（隔离体），查运动，分析力（画隔离体受力图），列方程（选坐标系，列投影式）。

§3 守恒定律

关于物体运动规律的表述，除了牛顿运动定律之外，还有能量、动量、角动量三个定理和三个守恒定律。表面上看来，

这三个定理仅是牛顿运动方程的数学变形。但物理学的发展表明，能量、动量和角动量是更为基本的物理量，它们的守恒定律具有更广泛、更深刻的意义。

3.1 动量定理和动量守恒定律

动量是从动力学描写质点的运动或质点系整体运动的物理量。动量守恒定律是物理学中重要的守恒定律之一。

3.1.1 质点的动量

$\boldsymbol{P}=m\boldsymbol{v}$，动量 $\boldsymbol{P}$ 的方向与速度方向相同。它是描述质点运动状态的状态量。

3.1.2 冲量

$\boldsymbol{I}=\int_{t_1}^{t_2}\boldsymbol{F}\mathrm{d}t$，它是描述力的时间积累效应的物理量。它是与过程有关的物理量，或称为过程量。

3.1.3 质点的动量定理

$$\boldsymbol{I}=\int_{t_1}^{t_2}\boldsymbol{F}\mathrm{d}t=\int_{v_1}^{v_2}\mathrm{d}(m\boldsymbol{v})=m\boldsymbol{v}_2-m\boldsymbol{v}_1$$

质点所受合外力的冲量等于质点动量的增量。质点动量定理是有关过程量（冲量）与状态量（动量）变化量之间的规律。合外力冲量的方向与质点动量增量的方向一致。

3.1.4 质点系的动量定理

$\sum_i \boldsymbol{F}_i\Delta t=\sum_i m_i\boldsymbol{v}_i-\sum_i m_i\boldsymbol{v}_{i0}$，$\boldsymbol{F}_i$ 表示作用在质点 i 上的合外力。质点系的动量定理表明，作用在质点系的外力的总冲量等于质点系总动量的增量。质点系总动量的改变仅取决于外

力的冲量，与内力无关。质点系的内力，只能改变质点系的总动量在各质点之间的分配，实现质点系内各质点之间的动量转移。

3.1.5 动量守恒定律

质点系所受外力的矢量和为零时，则质点系的总动量保持不变，即 $\sum m_i v_i =$ 常矢量。质点系动量守恒是质点系的总动量不变，而质点系内各质点动量仍可改变，由内力的冲量决定。

应用动量守恒定律要注意下述两种情况：

(1) 在所研究的过程中，外力的矢量和虽然不为零，但外力远小于内力（爆炸、碰撞、冲击等过程），可忽略外力，把系统的总动量看成是守恒的。

(2) 在所研究的过程中，外力的矢量和不为零，但合外力在某一方向分量的代数和为零，系统的总动量在该方向的分量是守恒的，这叫分动量守恒。

动量定理和动量守恒定律只在惯性系中成立。

3.2 角动量定理和角动量守恒定律

角动量是从动力学方面描写质点或质点系旋转运动规律的物理量。角动量守恒定律是物理学中重要的守恒定律之一。

3.2.1 角动量

(1) 质点的角动量：在惯性参考系中选一固定的参考点，运动质点对该参考点的位矢为 r，动量为 mv，则质点的角动量为 $L = r \times mv$，角动量的大小和方向不仅决定于质点的

运动，还依赖于参考点的选择，参考点不同，角动量也不同。

（2）刚体对转轴的角动量：$L = I\omega$　I 为刚体对定轴的转动惯量，ω 为刚体绕定轴转动的角速度。

3.2.2　力矩

力 F 的作用点对固定参考点的位矢为 r，则力 F 对该参考点的力矩 $M = r \times F$。力矩是在力对受力作用质点绕定点转动中起作用。力矩一定是对某定点而言的。

3.2.3　冲量矩

力矩 M 与力矩所作用的时间 $\mathrm{d}t$ 的乘积 $M\mathrm{d}t$ 称为冲量矩。冲量矩是描述力矩的时间积累效应。它是与过程有关的过程量。

3.2.4　角动量定理

（1）质点的角动量定理：$M\mathrm{d}t = \mathrm{d}L$，质点对某固定参考点的角动量的增量等于质点所受合力对同一参考点的冲量矩。它是描述质点绕参考点转动的动力学方程。

（2）刚体的角动量定理：$M\mathrm{d}t = \mathrm{d}L, \int_{t_0}^{t} M\mathrm{d}t = I\omega - I\omega_0$，转动刚体所受的冲量矩等于这刚体在这段时间内的角动量的增量。M 为刚体所受的对定轴的合外力矩。

3.2.5　角动量守恒定律

（1）质点角动量守恒定律：当 $M = 0$ 时，$L =$ 常矢量，对固定参考点，质点所受的合力矩为零，则质点的角动量大小和

方向都保持不变。质点在中心力场中运动时，质点对力心的角动量是守恒的。

(2) 刚体定轴转动的角动量守恒定律：当 $M=0$ 时，$I\omega=$ 常量。刚体在定轴转动中，当对转轴的合外力矩为零时，刚体对转轴的角动量保持不变。

对绕定轴转动的刚体，转动惯量 I 一般为常量，$I\omega$ 不变导致 ω 不变，即刚体在不受合外力矩作用时将维持匀角速转动 。

对转动惯量可变的非刚体，$I\omega$ 不变导致 I 增大时，ω 减小，或 I 减小时，ω 增大。

3.2.6 刚体的定轴转动定律

$M=I\alpha$ ，刚体在合外力矩 M 作用下所获得的角加速度 α 与合外力矩的大小成正比，与转动惯量 I 成反比。它是牛顿定律在刚体转动问题中的一种表现形式。它是定量研究刚体定轴转动问题的动力学方程。

转动惯量：$I=\sum_i \Delta m_i r_i^2$ 或 $I=\int r^2 \mathrm{d}m$

式中，r_i 或 r 为质点或质元到转轴的垂直距离。转动惯量一定是对某个轴的。它是刚体转动惯性的量度。转动惯量具有可叠加性。

对 $M=I\alpha$，要明确：

(1) M、I 和 α 是对同一转轴的。

(2) 在刚体作定轴转动的情况下，转轴的方位已固定。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

M 与 ω 符号相同时，刚体是加速转动；当 M 与 ω 符号相反时，刚体是减速转动。

3.3 动能定理和机械能守恒定律

3.3.1 功

$$\mathrm{d}W = \boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{r} = F\cos\theta\,|\mathrm{d}\boldsymbol{r}| \qquad W_{ab} = \int_{(L)}^{b}\boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{r}$$

式中 θ 为 $\boldsymbol{F}$ 与 $\mathrm{d}\boldsymbol{r}$ 之间的夹角。

(1) 功是标量，有正负之分。

(2) 功与运动过程有关，是个过程量。由功的定义式可看出，力只有在质点的位置发生变动的过程才作功，功的数值还与质点所经历的运动路径有关。

(3) 功的计算和参考系的选择有关。

(4) 力在单位时间内作的功称为功率 $N = \dfrac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t} = \boldsymbol{F}\cdot\boldsymbol{v}$

3.3.2 动能

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

质点的动能是由于质点运动而具有的能量。

3.3.3 动能定理

(1) 质点动能定理：$W = E_k - E_{k0}$，质点动能的增量等于作用在质点上的合力所作的功。

(2) 质点系动能定理：$W_{外} + W_{内} = E_k - E_{k0}$

式中 $E_k = \sum_i \frac{1}{2}m_i v_i^2$ $E_{k0} = \sum_i \frac{1}{2}m_i v_0^2$，质点系动能的增量等于所有外力的功和内力的功的代数和。 它是质点系

动力学中的基本功能关系。

3.3.4 保守力

作功仅与质点运动的始末位置有关，与运动的路径无关的力。重力、弹簧的弹性力和万有引力是保守力。摩擦力作功与路径有关，摩擦力是非保守力。

3.3.5 势能

$$W_{保} = -\Delta E_p$$

式中 E_p 表示势能。保守力的功等于势能的减量（增量的负值）。

（1）重力势能：$E_p = mgh$，通常选地面为势能零点。

（2）万有引力势能：$E_p = -\frac{GMm}{r}$，以质点距离引力中心无限远处势能为零。

（3）弹性势能：$E_p = \frac{1}{2}kx^2$，选弹簧的自然长度位置为势能零点。

物体在任一位置的势能等于把物体由该位置移到势能零点的过程中保守力作的功。势能属于相互有保守力作用的系统，如重力势能属于地球－物体系统。势能决定于两物体系统的相对位置，因此可以说势能是系统的状态的函数，即势能是状态量 。

3.3.6 机械能

$$E = E_k + E_p$$

3.3.7 功能原理

$$W_{外} + W_{非内} = E - E_0$$

式中 $W_{非内}$是非保守内力作的功。质点系在运动过程中，机械能的增量等于外力的功和非保守内力的功的代数和。

在功能原理中引入了势能项，而势能仅对质点系才有意义，所以功能原理是属于质点系的动力学规律。它与质点系动能定理不同之处就是将保守内力作的功用势能改变量来代替 。

3.3.8 机械能守恒定律

当 $W_{外} + W_{非内} = 0$ 时，$E = E_k + E_p =$ 常量

如果系统只有保守内力作功，其他一切力（包括外力和非保守内力）都不作功，或作功的代数和为零，则系统的机械能不 变 。

功能原理和机械能守恒定律只在惯性系中成立。

3.3.9 应用功能关系解题的思路

(1) 选系统，分析力。选系统时，要把保守力变为系统的内力。如有重力，要把地球选到系统之内，有弹性力要把弹簧包括在系统之内。

(2) 选过程，明确过程的初态和末态。功能关系中的动能、势能和机械能是状态量，而功是过程量。动能定理或功能原理都是关于过程量与状态量的改变量之间的关系式 。

(3) 计算外力和非保守内力的功，由此确定选用功能原理还是机械能守恒定律求解。涉及势能时，先要选择合适的势能

零点。

二、热学

物体内部大量分子或原子的无规则运动叫做热运动。

研究热运动规律的学科，叫做热学。

热学的研究对象是由大量分子组成的宏观系统。热学的研究方法有两种：宏观的方法和微观的方法。

宏观方法是用可测量的宏观的状态参量描述系统的宏观状态。它以观察和实验为基础，通过归纳和推理得出有关热现象的基本定律。由热现象的基本定律出发，用数学演绎、逻辑推理的方法研究热运动的规律。用这种方法研究的学科称为热力学。

微观方法认为系统是由大量分子组成的。描述一个分子运动状态的物理量称为微观的状态参量。微观量一般不能直接测量。微观方法是从物质分子结构和分子运动出发，应用力学规律和统计方法，研究大量分子热运动的规律。相应的学科称为分子物理学。

系统内大量分子热运动遵从统计规律。描述系统宏观态的状态参量是系统的相应的微观量的统计平均值。热力学和分子物理学这两种理论相辅相成，前者对热运动给出普遍而可靠的结论，后者则从微观本质上作出解释。

§1 气体动理论

气体动理论是分子物理学中具有代表性的、发展较早的一部分内容。它是研究气体热运动的微观理论。

1.1 平衡状态

在不受外界影响的条件下，系统的宏观性质不随时间变化的状态。

气体处于平衡状态，描述气体状态的宏观状态参量 P、V、T 具有确定的值。平衡状态是个宏观概念，从微观上看，气体分子并未处在平衡状态，它们都在作不停顿的热运动，微观量随时间作迅速变化，保持不变的只是相应微观量的统计平均值。所以，热力学平衡状态是一种动态平衡。

1.2 理想气体的微观模型

理想气体是指遵守气体实验定律的气体。理想气体的微观模型主要有三点：

(1) 理想气体分子有质量，忽略体积，是质点；

(2) 理想气体分子之间的相互作用力为零；

(3) 气体分子只与容器器壁发生弹性碰撞。

1.3 理想气体物态方程

$$PV = \nu RT = \frac{M}{M_{\text{mol}}} RT$$

式中 M 为气体质量，M_{mol}为气体的摩尔质量，ν 为摩尔数，R 为普适气体常量。

$P=nkT$,式中 n 是单位体积的平均分子数，称为分子数密度。玻尔兹曼常量 $k=\frac{R}{N_A}$, N_A 为阿伏伽德罗常量。

1.4 理想气体压强公式

从理想气体的微观模型出发，根据力学定律计算分子因碰撞器壁给器壁的冲力，再用统计平均的方法求出该冲力的统计平均值，即得气体的压强

$$P=\frac{1}{3}mn\overline{v^2}=\frac{2}{3}n\bar{\varepsilon}_t$$

式中 n 为分子数密度， m 为分子的质量， v^2 为气体分子速率平方的统计平均值。 $\bar{\varepsilon}_t=\frac{1}{2}m\overline{v^2}$, 是气体分子平均平动动能。

压强的微观本质是大量气体分子对单位面积器壁的冲力的统计平均值。压强 P 与气体的分子数密度 n 和气体分子平均平动动能 $\bar{\varepsilon}_t$ 成正比。 n 和 $\bar{\varepsilon}_t$ 越大，气体压强 P 越大。

1.5 气体动理论温度公式

$$\bar{\varepsilon}_t=\frac{3}{2}kT$$

气体的温度是气体冷热程度的量度，这是从宏观上对温度的解释。从微观上看，温度实质是与分子热运动剧烈程度相联系的。温度是大量分子热运动平均平动动能的量度。温度是大量分子热运动的集体表现。这就是温度的统计解释。

1.6 能量按自由度均分定理

在平衡状态下，分子在每个自由度上都具有相同的平均动能 $\frac{1}{2}kT$ 。这是一条重要的统计规律。这定理不仅适用于分子

需要全本请访问 www.ertongbook.com