安徽省规划教材配套教辅

大学物理习题分析

Exercise Analysis for University Physics

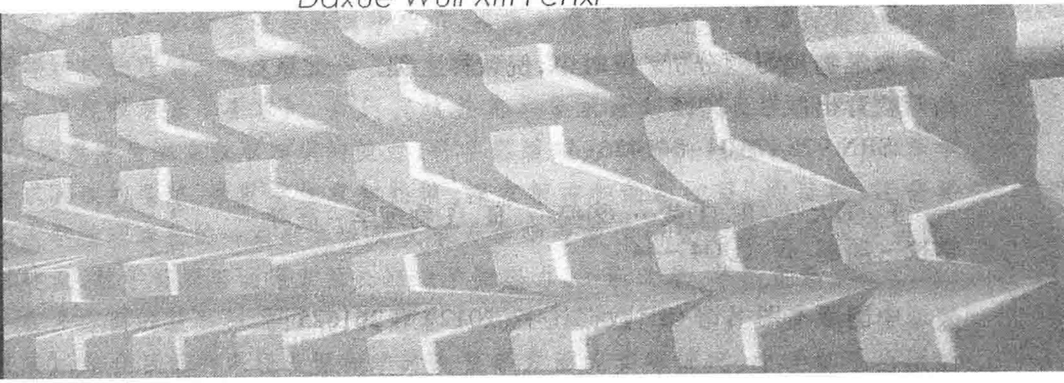
黄时中 倪致祥 主编

高等教育出版社

安徽省规划教材配套教辅

大学物理
习题分析

Daxue Wuli Xiti Fenxi



Exercise Analysis for
University Physics

黄时中　倪致祥　主　编

高等教育出版社·北京

内容简介

本书是与黄时中、倪致祥主编的《大学物理》教材配套的教学资源。本书汇编了《大学物理》教材的全部习题，共五篇（力学、热学、电磁学、波动光学、量子力学基础）二十章，每章包含四类习题：思考题、选择题、计算题、论文题，对计算题给出了详细的参考答案，并对大学物理中的基本公式作了简要的梳理，以帮助学生全面系统地巩固大学物理中的基本概念、基本规律和分析问题的基本方法。

本书可供以《大学物理》或同类教材作为主要授课教材的高校师生使用，也可供其他读者参考。

图书在版编目（CIP）数据

大学物理习题分析/黄时中，倪致祥主编. --北京：高等教育出版社，2015.1

ISBN 978-7-04-041426-4

Ⅰ.①大… Ⅱ.①黄… ②倪… Ⅲ.①物理学-高等学校-题解 Ⅳ.①O4-44

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第261625号

策划编辑 高聚平　责任编辑 王 硕　封面设计 于 涛　版式设计 王艳红
插图绘制 于 博　责任校对 殷 然　责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社
社　　址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印　　刷 国防工业出版社印刷厂
开　　本 787mm×960mm 1/16
印　　张 17
字　　数 320千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网　　址 http://www.hep.edu.cn
　　　　 http://www.hep.com.cn
网上订购 http://www.landraco.com
　　　　 http://www.landraco.com.cn
版　　次 2015年1月第1版
印　　次 2015年1月第1次印刷
定　　价 26.80元

物 料 号 41426-00

前　言

大学物理课程是高等学校理工科各专业学生一门重要的必修基础课,该课程主要介绍物理学所揭示出的物质的最基本的结构、最常见的相互作用、最基本的运动规律以及最常用的研究方法。更具体地说,大学物理课程主要介绍物理学中的如下基本理论:力学、热学、电磁学、波动光学、量子力学基础等。

为了促进大学物理课程的教学改革、提高大学物理课程的教学质量,教育部原高等学校物理学与天文学教学指导委员会于2010年发布了新的《理工科类大学物理课程教学基本要求》。如何将这些基本要求落实到实际的教学过程中,实现"培养学生独立获取知识的能力、科学思维能力和解决问题的能力;培养学生追求真理的理想,激发学生求知热情、探索精神和创新欲望"的目标,还需要承担大学物理课程的一线教师以及从事大学物理教学研究的同仁在教学研究、教材建设、教学资源建设等方面长期地不懈努力、不断改革、不断创新。

在多方面的鼓励和支持下,我们尝试参照《理工科类大学物理课程教学基本要求》,结合目前的课程设置和学时设置等方面的实际情况,在借鉴已出版的大学物理教材的优点、充分吸纳大学物理教学研究成果的基础上,编写并出版了一套新的《大学物理》教材。

为完善这套教材的教学资源建设,我们将教材中的习题编辑成册,对其中的计算题给出了相应解答和分析,形成了这本《大学物理习题分析》。

对学生而言,要学好大学物理课程,除课堂学习外,完成一定数量的课后练习也是一个重要环节,该环节有助于学生系统地巩固大学物理课程中的基本概念、基本规律和分析问题的基本方法,也有助于培养学生分析问题和解决问题的能力、激发学生的学习兴趣、激发学生的创新意识。

在《大学物理》教材中,我们选编了四类习题:思考题、选择题、计算题、论文题。其中,思考题以定性描述为主,用于巩固教材中所介绍的基本物理概念,通过课后阅读教材并结合所提出的问题进行思考,学生不难找到答案,按照这类习题设计的原意,我们没有列出答案;选择题以定量描述为主、定性描述为辅,用于巩固教材中所介绍的基本物理概念和最基本的计算公式,其中的定量计算或者定性判断都比较简单,我们只列出答案而没有给出其中的计算或定性判断过程;计算题以定量描述为主,用于巩固教材中所介绍的基本物理规律、培养学生分析问题和解决问题能力、激发学生的学习兴趣,对这类习题,我们给出了详细的参

考答案，目的是为学生在独立完成练习后提供一种可借鉴的分析问题和解决问题的思路和具体过程；课程论文题是新设计的一类题型，以综合运用所介绍的物理规律解决实际问题或者拓展物理规律的应用范围等为主要目的，学生需要在阅读一些相关的参考文献的基础上，经过比较深入的探讨，才能解决此类问题，对这类习题，我们提供了选自《大学物理》杂志等刊物的参考文献，还提供了物理文献查阅方法等材料，设计这类习题的原意是鼓励学生开展探索性研究，激发学生的创新意识。

为便于其他读者独立使用本书，我们在本书中对大学物理中的基本公式作了简要的梳理，并提供了相关附录。

在本书的编写过程中，编者得到了高等教育出版社的大力支持，也得到了有关专家和同行的热情鼓励、有益帮助、鼎力支持，在此一并表示感谢。

本书的编写过程本身也是一个探索过程，由于编者学识水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，敬请广大教师和读者不吝赐教，以便加以修正。

编 者

2013 年 6 月

大学物理习题分析　目录

大学物理中的基本理论公式

1. 质点运动学

质点运动方程、速度、加速度之间的关系

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t), \quad \boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}, \quad \boldsymbol{a} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}$$

$$\boldsymbol{r}(t) = \boldsymbol{r}(t_0) + \int_{t_0}^{t} \boldsymbol{v}(t)\,\mathrm{d}t, \quad \boldsymbol{v}(t) = \boldsymbol{v}(t_0) + \int_{t_0}^{t} \boldsymbol{a}(t)\,\mathrm{d}t$$

直角坐标分量形式

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k}, \quad \boldsymbol{v} = v_x\boldsymbol{i} + v_y\boldsymbol{j} + v_z\boldsymbol{k}, \quad \boldsymbol{a} = a_x\boldsymbol{i} + a_y\boldsymbol{j} + a_z\boldsymbol{k}$$

$$v_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}, \quad a_x = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}, \quad v_y = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}, \quad a_y = \frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}, \quad v_z = \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}, \quad a_z = \frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}$$

$$\begin{cases} x(t) = x_0 + \int_{t_0}^{t} v_x(t)\,\mathrm{d}t & [x_0 = x(t_0)] \\ y(t) = y_0 + \int_{t_0}^{t} v_y(t)\,\mathrm{d}t & [y_0 = y(t_0)] \\ z(t) = z_0 + \int_{t_0}^{t} v_z(t)\,\mathrm{d}t & [z_0 = z(t_0)] \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_x(t) = v_{x0} + \int_{t_0}^{t} a_x(t)\,\mathrm{d}t & [v_{x0} = v_x(t_0)] \\ v_y(t) = v_{y0} + \int_{t_0}^{t} a_y(t)\,\mathrm{d}t & [v_{y0} = v_y(t_0)] \\ v_z(t) = v_{z0} + \int_{t_0}^{t} a_z(t)\,\mathrm{d}t & [v_{z0} = v_z(t_0)] \end{cases}$$

直线运动（取该直线为 x 轴）的路程

$$s = \int_{t_1}^{t_2} |v_x(t)|\,\mathrm{d}t$$

圆周运动的切向和法向加速度

$$a_t = \frac{dv}{dt}, \quad a_n = \frac{v^2}{R}$$

圆周运动的角速度和角加速度

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}, \quad \alpha = \frac{d\omega}{dt}, \quad v = R\omega, \quad a_n = R\omega^2, \quad a_t = R\alpha$$

相对运动的基本关系

$$\Delta \boldsymbol{r} = \Delta \boldsymbol{r}' + \Delta \boldsymbol{r}_{O'O}$$（绝对位移等于相对位移加牵连位移）

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}' + \boldsymbol{v}_{O'O}$$（绝对速度等于相对速度加牵连速度）

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}' + \boldsymbol{a}_{O'O}$$（绝对加速度等于相对加速度加牵连加速度）

2. 质点动力学

牛顿第二定律 $$\frac{d\boldsymbol{p}(t)}{dt} = \frac{d(m\boldsymbol{v})}{dt} = \boldsymbol{F}(t)$$

质点的动量定理 $$\int_{t_0}^{t} \boldsymbol{F}(t)\,dt = \boldsymbol{p}(t) - \boldsymbol{p}_0$$

质点系的运动定理 $$\frac{d\boldsymbol{p}}{dt} = \boldsymbol{F}, \quad \boldsymbol{p} = \sum_i \boldsymbol{p}_i, \quad \boldsymbol{F} = \sum_i \boldsymbol{F}_i$$

质点系的动量定理 $$\int_{t_0}^{t} \boldsymbol{F}\,dt = \int_{\boldsymbol{p}_0}^{\boldsymbol{p}} d\boldsymbol{p} = \boldsymbol{p}(t) - \boldsymbol{p}_0$$

质点系的质心运动定理 $$\boldsymbol{F} = m\frac{d^2\boldsymbol{r}_C}{dt^2}, \quad \boldsymbol{r}_C = \frac{1}{m}\sum_i m_i \boldsymbol{r}_i, m = \sum_i m_i$$

质点系的动量守恒定律 如果 $\boldsymbol{F} = \sum_i \boldsymbol{F}_i = 0$，则 $\boldsymbol{p} = \sum_i \boldsymbol{p}_i =$ 常量

质点的动能定理 $$W_{ab} = \int_{L(ab)} \boldsymbol{F} \cdot d\boldsymbol{r} = \frac{1}{2}mv_b^2 - \frac{1}{2}mv_a^2 = E_{kb} - E_{ka}$$

保守力与非保守力 $$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_c + \boldsymbol{F}_{nc}, \quad W_{ab} = W_{c(ab)} + W_{nc}$$

保守力的势能 $$E_{pd} = \int_{d}^{d_0} \boldsymbol{F}_c \cdot d\boldsymbol{r}, E_{pd_0} = 0$$

重力势能 $E_p(y) = mgy$

引力势能 $E_p(r) = -\dfrac{Gm_1 m_2}{r}$

弹性势能 $E_p(x) = \dfrac{1}{2}kx^2$

保守力的功 $$W_{c(ab)} = \int_{L(ab)} \boldsymbol{F}_c \cdot d\boldsymbol{r} = E_{pa} - E_{pb}$$

质点的功能原理 $(E_{kb}+E_{pb})-(E_{ka}+E_{pa})=W_{nc}$， $W_{nc}=\int_{L(ab)}\boldsymbol{F}_{nc}\cdot d\boldsymbol{r}$

质点系的动能定理 $E_{kb}-E_{ka}=W_{int,c}+W_{ext}+W_{int,nc}$， $W_{int,c}=E_{pa}-E_{pb}$

质点系的功能原理 $(E_{kb}+E_{pb})-(E_{ka}+E_{pa})=W_{ext}+W_{int,nc}$

质点系的机械能守恒定律 如果 $W_{ext}+W_{int,nc}=0$， 则 $E_k+E_p=$常量

质点的角动量定理 $\boldsymbol{M}=\dfrac{d\boldsymbol{L}}{dt}$， $\boldsymbol{L}=\boldsymbol{r}\times\boldsymbol{p}$， $\boldsymbol{M}=\boldsymbol{r}\times\boldsymbol{F}$

质点的角动量守恒定律 如果 $\boldsymbol{M}=0$， 则 $\boldsymbol{L}=$常量

3. 刚体动力学

转动惯量 $I=\int r^2 dm$

长为 L 质量为 m 的均质细棒的转动惯量

转轴通过棒的中心并与棒垂直 $I=\dfrac{1}{12}mL^2$

转轴通过棒的一端并与棒垂直 $I=\dfrac{1}{3}mL^2$

半径为 R 质量为 m 的均质圆环的转动惯量 $I=mR^2$

半径为 R 质量为 m 的均质圆盘的转动惯量 $I=\dfrac{1}{2}mR^2$

半径为 R 质量为 m 的均质球体的转动惯量 $I=\dfrac{2}{5}mR^2$

定点转动定理(质点系的角动量定理)

$$\boldsymbol{M}=\frac{d\boldsymbol{L}}{dt},\quad \boldsymbol{M}=\sum_i\boldsymbol{M}_i=\sum_i\boldsymbol{r}_i\times\boldsymbol{F}_i,\quad \boldsymbol{L}=\sum_i\boldsymbol{L}_i=\sum_i\boldsymbol{r}_i\times m_i\boldsymbol{v}_i$$

定轴转动的角动量 $L_z=I\omega_z$

定轴转动定理 $M_z=\dfrac{dL_z}{dt}=I\alpha$

定轴转动的动能 $E_k=\dfrac{1}{2}I\omega^2$

力矩的功 $W=\int_{\theta_1}^{\theta_2}M_z d\theta$

定轴转动的动能定理 $W=\dfrac{1}{2}I\omega_2^2-\dfrac{1}{2}I\omega_1^2$

定轴转动的角动量定理 $\int_{t_1}^{t_2}M_z dt=I\omega_z(t_2)-I\omega_z(t_1)$

质点系的角动量守恒定律　若质点系所受的合外力矩恒为零，$\boldsymbol{M}=\sum_i \boldsymbol{M}_i=\sum_i \boldsymbol{r}_i\times\boldsymbol{F}_i=0$，则 $\mathrm{d}\boldsymbol{L}/\mathrm{d}t=0$，$\boldsymbol{L}=\sum_i \boldsymbol{L}_i=\sum_i \boldsymbol{r}_i\times m_i\boldsymbol{v}_i=\boldsymbol{C}$

对于绕 z 轴的定轴转动，有　$L_z=I_1\omega_1+I_2\omega_2=C$

$$L_z=I\omega=C$$

4. 机械振动

简谐振动的动力学方程　$F_x=ma_x$，　$F_x=-kx$，　$a_x=\dfrac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}$

$$\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}+\omega^2x=0,\quad \omega=\sqrt{\frac{k}{m}},\quad \omega=2\pi\nu,\quad \nu=\frac{1}{T}$$

简谐振动的运动学方程（动力学方程之解）$x=A\cos(\omega t+\phi)$

其中 A,ϕ 由初始条件确定：$A=\sqrt{(v_0/\omega)^2+x_0^2}$，$\tan\phi=-\dfrac{v_0}{\omega x_0}$.

两个同方向同频率的简谐振动的合成

$$x_1=A_1\cos(\omega t+\phi_1),\quad x_2=A_2\cos(\omega t+\phi_2)$$

$$x=x_1+x_2=A\cos(\omega t+\phi)$$

$$A=\sqrt{A_1^2+A_2^2+2A_1A_2\cos(\phi_2-\phi_1)}$$

$$\tan\phi=\frac{A_1\sin\phi_1+A_2\sin\phi_2}{A_1\cos\phi_1+A_2\cos\phi_2}$$

若 $\phi_2-\phi_1=2n\pi\ (n=0,\pm1,\pm2,\cdots)$，则 $A=A_1+A_2$；若 $\phi_2-\phi_1=(2n+1)\pi\ (n=0,\pm1,\pm2,\cdots)$，则 $A=|A_1-A_2|$.

相位差相同（相邻的两个简谐振动的相位差为 δ）、振幅相同（振幅为 B）的 n 个同方向同频率（频率为 ω）的简谐振动的合成

$$x=A\cos(\omega t+\phi)$$

$$A=B\frac{\sin\left(\frac{1}{2}n\delta\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\delta\right)},\quad \phi=\phi_0+\left(\frac{n-1}{2}\right)\delta$$

同频率的两个相互垂直的简谐振动的合成

$$x=A_1\cos(\omega t+\phi_1),\quad y=A_2\cos(\omega t+\phi_2)$$

$$\frac{x^2}{A_1^2}+\frac{y^2}{A_2^2}-\frac{2xy}{A_1A_2}\cos(\phi_2-\phi_1)=\sin^2(\phi_2-\phi_1)$$

阻尼振动的运动学方程

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos\left(\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}\, t + \phi\right), \quad (\beta^2 < \omega_0^2)$$

受迫振动的运动学方程

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos\left(\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}\, t + \phi\right) + A\cos(pt + \varphi), \quad (\beta^2 < \omega_0^2)$$

5. 机 械 波

平面简谐波的波动方程

$$y = y(r,t) = A\cos\left[\omega\left(t - \frac{r}{u}\right) + \phi\right], \quad u = \nu\lambda, \quad \omega = 2\pi\nu, \quad \nu = \frac{1}{T}$$

两波源的相干条件：频率相同，振动方向相同（或相近），振动相位差恒定.

波的相干叠加

$$y_1 = A_1\cos\left[\omega\left(t - \frac{r_1}{u}\right) + \phi_1\right], \quad y_2 = A_2\cos\left[\omega\left(t - \frac{r_2}{u}\right) + \phi_2\right]$$

$$y = y_1 + y_2 = A\cos(\omega t + \phi)$$

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\Delta\varphi)}$$

$$\Delta\varphi = (\phi_2 - \phi_1) + \frac{2\pi}{\lambda}(r_1 - r_2)$$

若 $\Delta\varphi = 2k\pi$（$k = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots$），则 $A = A_1 + A_2$（相干加强）；若 $\Delta\varphi = (2k+1)\pi$（$k = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots$），则 $A = |A_1 - A_2|$（相干减弱）.

波的能量密度

$$w(x,t) = \rho A^2\omega^2 \sin^2 \omega(t - x/u)$$

波的平均能量密度

$$\overline{w} = \frac{1}{2}\rho A^2\omega^2$$

波的平均能流

$$\overline{P} = \frac{1}{2}\rho A^2\omega^2 uS$$

波的能流密度（波的强度）

$$I = \frac{\overline{P}}{S} = \overline{w}u = \frac{1}{2}\rho A^2\omega^2 u$$

机械波能量的吸收

$$A(x) = A_0 e^{-\alpha x}$$

$$I(x) = \frac{1}{2}\rho\omega^2 uA^2(x) = \left(\frac{1}{2}\rho\omega^2 uA_0^2\right)e^{-2\alpha x} = I_0 e^{-2\alpha x}$$

6. 狭义相对论

基本原理：狭义相对性原理;光速不变原理.

洛伦兹变换

$$x' = \mu(x - vt),\quad y' = y,\quad z' = z,\quad t' = \mu(t - vx/c^2)$$

$$x = \mu(x' + vt'),\quad y = y',\quad z = z',\quad t = \mu(t' + vx'/c^2)$$

其中 $\mu = \dfrac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$

狭义相对论速度变换

$$u_x = \frac{u_x' + v}{1 + \frac{v}{c^2}u_x'},\quad u_y = \frac{u_y'}{\mu\left(1 + \frac{v}{c^2}u_x'\right)},\quad u_z = \frac{u_z'}{\mu\left(1 + \frac{v}{c^2}u_x'\right)}$$

$$u_x' = \frac{u_x - v}{1 - \frac{u_x v}{c^2}},\quad u_y' = \frac{u_y}{\mu\left(1 - \frac{u_x v}{c^2}\right)},\quad u_z' = \frac{u_z}{\mu\left(1 - \frac{u_x v}{c^2}\right)}$$

长度缩短 $L = L_0/\mu$, $(L \leqslant L_0)$

时间延缓 $T = \mu T_0$, $(T \geqslant T_0)$

质量公式 $m = \dfrac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$

动力学基本方程 $\boldsymbol{F} = \dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{p}}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\mathrm{d}(m\boldsymbol{v})}{\mathrm{d}t}$

动能定理 $W_{ab} = E_{kb} - E_{ka}$

动能 $E_k = mc^2 - m_0c^2$

静能 $E_0 = m_0c^2$

总能量 $E = mc^2$

动量和能量的关系 $E^2 = (pc)^2 + (m_0c^2)^2$

7. 热学现象的宏观规律

理想气体物态方程 $pV = \nu RT$, $p = nkT$

范德瓦耳斯方程 $[p + a(\nu/V)^2](V - \nu b) = \nu RT$

热力学第一定律 $Q=(U_2-U_1)+A$

气体膨胀或压缩过程中的机械功 $A=\int_{V_1}^{V_2} p\mathrm{d}V$

等体和等压过程中交换的热量 $Q=\nu\int_{T_1}^{T_2} C_{V,\mathrm{m}}\mathrm{d}T$， $Q=\nu\int_{T_1}^{T_2} C_{p,\mathrm{m}}\mathrm{d}T$

理想气体的热力学过程

<table>
<tr><td rowspan="2">过程名称</td><td rowspan="2">过程方程</td><td colspan="3">$Q=\Delta U+A$</td></tr>
<tr><td>A</td><td>Q</td><td>ΔU</td></tr>
<tr><td>等体过程</td><td>$V=$常量</td><td>0</td><td>$\nu C_{V,\mathrm{m}}(T_2-T_1)$</td><td>$\nu C_{V,\mathrm{m}}(T_2-T_1)$</td></tr>
<tr><td>等压过程</td><td>$p=$常量</td><td>$p(V_2-V_1)$</td><td>$\nu C_{p,\mathrm{m}}(T_2-T_1)$</td><td>$\nu C_{V,\mathrm{m}}(T_2-T_1)$</td></tr>
<tr><td>等温过程</td><td>$pV=$常量</td><td>$\nu RT\ln\frac{V_2}{V_1}$</td><td>$\nu RT\ln\frac{V_2}{V_1}$</td><td>0</td></tr>
<tr><td>绝热过程</td><td>$pV^\gamma=$常量</td><td>$\frac{p_2V_2-p_1V_1}{1-\gamma}$</td><td>0</td><td>$\nu C_{V,\mathrm{m}}(T_2-T_1)$</td></tr>
<tr><td>多方过程</td><td>$pV^n=$常量</td><td>$\frac{p_2V_2-p_1V_1}{1-n}$</td><td>$\nu C_{n,\mathrm{m}}(T_2-T_1)$</td><td>$\nu C_{V,\mathrm{m}}(T_2-T_1)$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">附注</td><td colspan="4">$C_{p,\mathrm{m}}=C_{V,\mathrm{m}}+R$， $\frac{C_{p,\mathrm{m}}}{C_{V,\mathrm{m}}}=\gamma$</td></tr>
<tr><td colspan="4">$C_{V,\mathrm{m}}=\frac{1}{\gamma-1}R$， $C_{p,\mathrm{m}}=\frac{\gamma}{\gamma-1}R$， $C_{n,\mathrm{m}}=\frac{n-\gamma}{n-1}C_{V,\mathrm{m}}$</td></tr>
</table>

循环过程

正循环 $\Delta U=0$， $A=Q$， $Q=Q_{吸}-Q_{放}$， $Q_{吸}=A+Q_{放}$

效率 $\eta=\frac{A}{Q_{吸}}=\frac{Q_{吸}-Q_{放}}{Q_{吸}}=1-\frac{Q_{放}}{Q_{吸}}$

逆循环 $\Delta U=0$， $Q=Q_{吸}-Q_{放}$， $Q_{放}=Q_{吸}+A_e$

制冷系数 $\omega=\frac{Q_{吸}}{A_e}=\frac{Q_{吸}}{Q_{放}-Q_{吸}}$

卡诺循环的效率和制冷系数

$$\eta_c=1-\frac{T_2}{T_1}，\quad \omega_c=\frac{T_2}{T_1-T_2}$$

热力学第二定律

开尔文说法：不可能从单一热源吸热，使它完全变为有用功而不产生其他影响.

克劳修斯说法：热量不可能自动地从低温物体转移到高温物体，或不可能把热量从低温物体转移到高温物体而不产生其他影响.

卡诺定理

在相同的高温热源和相同的低温热源之间工作的一切可逆热机，其效率都相等，与工作物质无关；在相同的高温热源和相同的低温热源之间工作的一切不可逆热机，其效率都不可能大于可逆热机的效率.

$$\eta \leqslant 1 - T_2/T_1$$

克劳修斯不等式

$$\oint \frac{dQ}{T} \leqslant 0$$

熵

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

熵增加原理

$$dS \geqslant 0$$

系统经绝热过程从一个状态变化到另一个状态时，它的熵永不减少.

8. 热学现象的微观解释

压强的微观意义 $p = \frac{2}{3} n \bar{\varepsilon}_t$, $\bar{\varepsilon}_t = \frac{1}{2} m \overline{v^2}$

温度的微观意义 $\bar{\varepsilon}_t = \frac{3}{2} kT$

自由度与分子的平均能量

$$\bar{\varepsilon}_{分子} = 平均总动能 + 平均势能$$

$$= \frac{1}{2}(t + r + s)kT + \frac{1}{2}skT = \frac{1}{2}(t + r + 2s)kT = \frac{1}{2}ikT$$

其中 $i = t + r + 2s$. 例如

单原子分子：$t = 3$, $r = 0$, $s = 0$, $\bar{\varepsilon}_{分子} = \frac{3}{2}kT$

刚性双原子分子：$t = 3$, $r = 2$, $s = 0$, $\bar{\varepsilon}_{分子} = \frac{5}{2}kT$

刚性多原子分子：$t=3,\quad r=3, s=0,\quad \bar{\varepsilon}_{分子}=\frac{6}{2}kT$

非刚性双原子分子：$t=3,\quad r=2,\quad s=1,\quad \bar{\varepsilon}_{分子}=\frac{7}{2}kT$

理想气体的内能 $U_{\mathrm{mol}}=\frac{i}{2}RT,\quad U=\frac{i}{2}\nu RT=\frac{i}{2}pV$

理想气体的摩尔定容热容 $C_{V,\mathrm{m}}=\frac{i}{2}R$

麦克斯韦速率分布函数 $f(v)=\frac{4}{\sqrt{\pi}}\frac{v^2}{v_{\mathrm{p}}^3}\mathrm{e}^{-(v/v_{\mathrm{p}})^2}$

最概然速率 $v_{\mathrm{p}}=\sqrt{\frac{2kT}{m}}=\sqrt{\frac{2RT}{M}}$

平均速率 $\bar{v}=\sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}=\sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$

方均根速率 $\sqrt{\overline{v^2}}=\sqrt{\frac{3kT}{m}}=\sqrt{\frac{3RT}{M}}$

平均碰撞频率 $\bar{Z}=\sqrt{2}\pi \mathrm{d}^2\bar{v}n,\quad p=nkT$

平均自由程 $\bar{\lambda}=\frac{\bar{v}}{\bar{Z}}=\frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}=\frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p}$

9. 真空中的静电场

真空中的库仑定律 $\boldsymbol{F}=\frac{q_0 q\boldsymbol{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$

电场强度

点电荷的电场 $\boldsymbol{E}_i=\frac{q_i\boldsymbol{r}_i}{4\pi\varepsilon_0 r_i^3}$

点电荷系的电场 $\boldsymbol{E}=\sum_{i=1}^{n}\boldsymbol{E}_i=\sum_{i=1}^{n}\frac{q_i\boldsymbol{r}_i}{4\pi\varepsilon_0 r_i^3}$

带电体的电场 $\boldsymbol{E}=\int_Q\frac{\boldsymbol{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\mathrm{d}q=\int_Q\mathrm{d}\boldsymbol{E},\ \mathrm{d}\boldsymbol{E}=\frac{\boldsymbol{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\mathrm{d}q$

电场强度通量 $\Phi_{\mathrm{e}}=\int_S\boldsymbol{E}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{S}$

高斯定理 $\oint_S\boldsymbol{E}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{S}=\frac{q_{\mathrm{int}}}{\varepsilon_0}$

几种对称电荷系统的电场

均匀带电球面
$$\boldsymbol{E}=\begin{cases}0 & (r<R)\\ \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\boldsymbol{r} & (r\geqslant R)\end{cases}$$

均匀带电球体
$$\boldsymbol{E}=\begin{cases}\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R^3}\boldsymbol{r} & (r\leqslant R)\\ \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\boldsymbol{r} & (r>R)\end{cases}$$

无限大均匀带电平面
$$\boldsymbol{E}=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\boldsymbol{e}_{\mathrm{n}}$$

无限长均匀带电直线
$$\boldsymbol{E}=\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r^2}\boldsymbol{r}$$

无限长均匀带电圆柱面
$$\boldsymbol{E}=\begin{cases}0 & (r<R)\\ \dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r^2}\boldsymbol{r} & (r\geqslant R)\end{cases}$$

无限长均匀带电圆柱体
$$\boldsymbol{E}=\begin{cases}\dfrac{\lambda\boldsymbol{r}}{2\pi\varepsilon_0 R^2} & (r\leqslant R)\\ \dfrac{\lambda\boldsymbol{r}}{2\pi\varepsilon_0 r^2} & (r\geqslant R)\end{cases}$$

静电场的环路定理
$$\oint_L \boldsymbol{E}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{l}=0$$

电势
$$V_P=\int_P^{\text{参考点}}\boldsymbol{E}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{l}$$

点电荷电场中的电势
$$V_P=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

点电荷系电场中的电势
$$V_P=\sum_i\frac{q_i}{4\pi\varepsilon_0 r_i}$$

连续分布电荷电场中的电势
$$V_P=\int_q\frac{\mathrm{d}q}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

电场力所做的功与电势差的关系
$$A_{AB}=q_0(V_{\mathrm{A}}-V_{\mathrm{B}})$$

电场强度与电势梯度的关系
$$\boldsymbol{E}=-\nabla V$$

在直角坐标系中