

浙江大學 竺可楨學院 学业指导中心

lec4: 热学与期末复习

2024 年春夏学期竺可楨学院学业指导中心辅学计划
普通物理学 I (H) 课程辅学



@Williamdepig

2024.06.02

授课内容

- 期末复习

- 力学：谐振子运动方程、波、平衡
- 相对论：洛伦兹变换应用、尺缩钟慢应用、闵氏时空图
- 热学：热一定律

- 内容重点

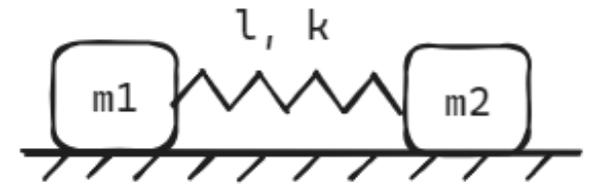
- 习题与应用。
- 普物 I 涉及的所有基本公式列举。

Part.1 力学

谐振子

1. 两个质量分别为 m_1 和 m_2 的光滑物块由一个弹性系数为 k 、自然长度为 l 的无质量弹簧连接，它们的运动被限制在 x 方向的一维直线上。

(a) 当系统受到扰动时， m_1 和 m_2 的位移分别为 x_1 和 x_2 ，其正方向为向右。以 $F_i = m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2}$ 的形式写出每个块的运动方程。

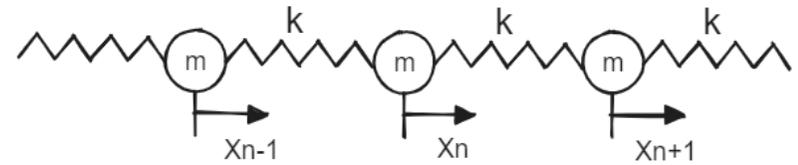


(b) 假设 x_1 和 x_2 的解为 $x_i = x_{i0} \cos(\omega t + \varphi)$. 导出 x_{10} 和 x_{20} 的方程, 它们是 m_1 和 m_2 的振幅. 求解特征频率 ω , 并为每个振动模式绘制 x_{10} 和 x_{20} 的示意图.

(c) 假设第三个具有相同质量 m_1 和初始速度 v_0 的块体从左侧移动，在时间 $t = 0$ 时与块体 m_1 发生弹性碰撞。碰撞后， m_1 和 m_2 将作为时间 t 的函数运动。在初始条件 $x_1 = 0, x_2 = 0; v_1 = v_0, v_2 = 0$ 的情况下，将 (b) 中振动模式叠加。确定每个块的振幅 x_{i0} ，求解相位 φ 。

弹性媒质中的纵波模型

2. 质量为 m 的一系列小球用劲度系数为 k 的相同的小弹簧等间隔（间隔为 d ）地连成一排。当左端小球作角频率为 ω 的左右简谐振动时，此振动将自左向右逐一传播，使各小球相继作同频率、同幅度的振动，求振动状态的传播速度。（设 $\omega^2 \ll k/m$ ）



微振动与角动量

3. 考虑一个双星系统，一个质量为 m 的行星围绕质量为 M 的恒星作圆周运动 ($M \gg m$)，初始角动量为 L_0 。

(a) 讨论行星轨道的稳定性。

(b) 若轨道稳定，给行星一个径向微扰，求解行星的径向微振动频率。

Part.2 相对论

洛伦兹变换应用

4. 一艘宇宙飞船以 $0.8c$ 的速度于中午飞经地球，此时飞船上和地球上的观察者都把自己的时钟拨到 12 点。

(a) 按飞船上的时钟于午后 12 点 30 分飞船飞经一星际宇航站，该站相对地球固定，其时钟指示的是地球时间，试问按宇航站的时钟飞船何时到达该站？

(b) 试问按地球系坐标测量，宇航站离地球多远？

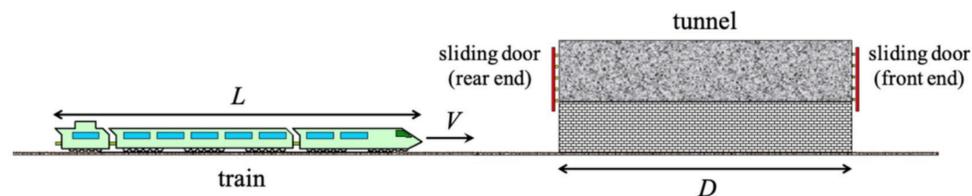
(c) 于飞船时间午后 12 点 30 分从飞船向地球发送无线电信号，试问地球上的观察者何时（按地球时间）接收到信号？

(d) 若地球上的观察者在接收到信号后立即发出应答信号，试问飞船何时（按飞船时间）接收到应答信号？

闵式时空图

5. 考虑一列火车以恒定的速度 V 在 x 方向的直线轨道上行驶，并通过隧道。列车系中测量的列车长度为 L ，以隧道系测量的隧道长度为 D 。假设 $L > D$ 。定义 (ct, x) 为隧道系的时间和空间坐标， (ct', x') 为列车系的时间和空间坐标。 x 和 x' 的方向相同。

(a) 地面系（即隧道系）的观察者发现火车的长度小于隧道的长度，则火车速度至少为多少？



(b) 假设隧道后端位于 $x = 0$ 处，并设定列车后端到达隧道后端时 $t = t' = 0$. 以 x 坐标为横轴， ct 坐标为纵轴，绘制闵氏图. 此外，请在图中指明 L 和 D .

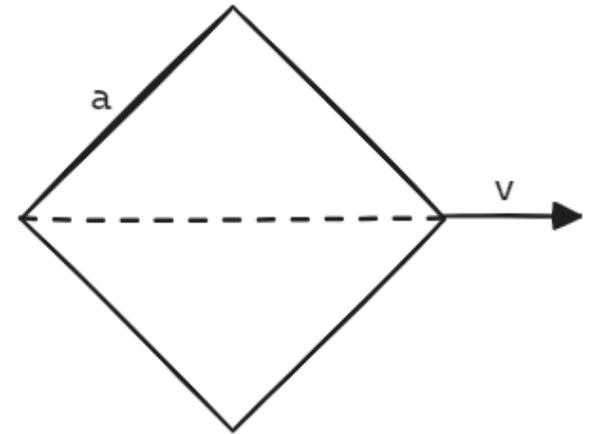
(c) 当列车后端到达隧道后端时，在隧道系中隧道的前后端滑动门同时关闭，这两个事件分别用 F_{close} 和 R_{close} 表示。然后，当列车前端到达隧道前端时，轨道系中两门同时打开，分别用 R_{open} 和 F_{open} 表示。

在闵式图中标出这四个事件，并列出行车系中的观察者观察到这四个事件的先后顺序。

(d) 考虑一种改进情况，当列车前端到达隧道前端滑动门时，列车突然（即列车系中瞬间）停止。导出隧道系中列车前端停止的时间 $t = t_f$ ，并绘制列车在隧道系中的长度关于时间的函数图像。

尺缩

6. S 系有一静止时各边长为 a 的正方形框. 若使该框沿其对角线方向匀速运动, 速度大小为 v , 试求 S' 系中该框的形状.



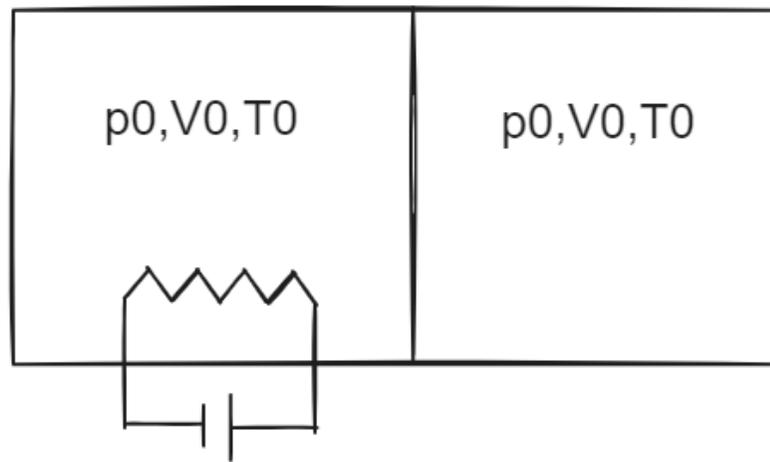
Part.3 热力学

热力学第一定律

7. 用绝热壁作成一圆柱型容器，中间放置一无摩擦的绝热活塞。活塞两侧充有等量的同种气体，初始状态为 p_0, V_0, T_0 。设气体定体热容量 C_V 为常量， $\gamma = 1.5$ 。

将一通电线圈放到活塞左侧气体中，对气体缓慢地加热，左侧气体膨胀的同时通过活塞压缩右方气体，最后使右方气体压强增为 $\frac{27}{8}p_0$ 。问：

- (a) 活塞对右侧气体做的功？
- (b) 右侧气体终温？
- (c) 左侧气体终温？
- (d) 左侧气体吸收了多少热？



热机

8. 设燃气涡轮机内工质进行如图循环，其中 $1 \rightarrow 2, 3 \rightarrow 3$ 是绝热过程， $2 \rightarrow 3, 4 \rightarrow 1$ 是等压过程。证明循环的效率为

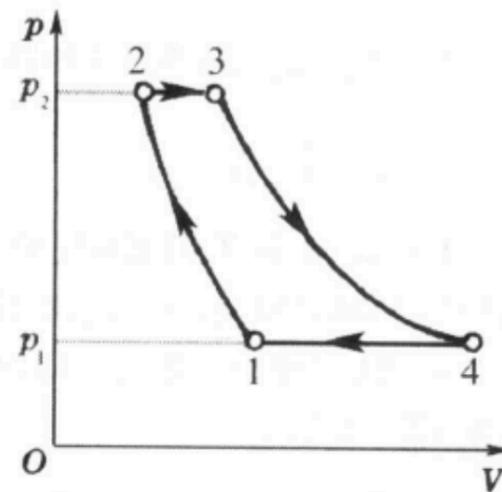
$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2},$$

又可写作

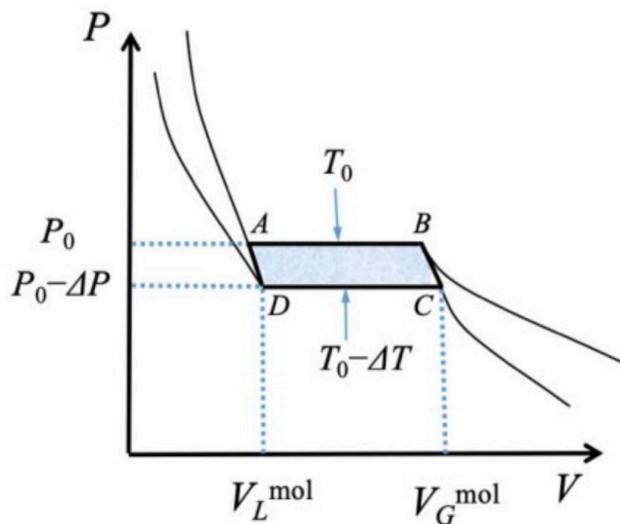
$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon_p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}.$$

式中 $\varepsilon_p = p_2/p_1$. 设工质为理想气体， C_p 为常量.

证明:



9. 对于范德瓦耳斯气体，其状态方程意味着在临界温度 T_c 以下，液态和气态之间会发生相变：在 $P - V$ 相图中，温度 T_0 给定时 $T_0 < T_c$ ，其等温线并不是单调递减的，而是在某个区域内关于 V 的恒定函数（近似结果）。该区域对应于从液态到气态的相变（体积从 V_L^{mol} 变为 V_G^{mol} ），该相变的摩尔潜热为 L 。假设我们使用 1 摩尔的这种范德瓦耳斯气液混合物作为介质，在高温 T_0 和低温 $T_0 - \Delta T$ 之间进行卡诺循环，这两个循环由两个绝热过程 $D \rightarrow A$ 与 $B \rightarrow C$ 连接。压强变化为 $P_0 \rightarrow P_0 - \Delta P$ 。



(a) 请说明卡诺循环中 $A \rightarrow B, B \rightarrow C, C \rightarrow D, D \rightarrow A$ 每个过程的传热和做功。在此，我们假设 $B \rightarrow C, D \rightarrow A$ 的体积变化是可忽略的。

(b) 计算该卡诺循环对环境做的总功，并用 $\varepsilon = W/Q_H$ 表示其效率，其中， W 和 Q_H 分别是循环中输出的总功和高温下输入的热量。

(c) 对于卡诺热机，有效率为 $\varepsilon = 1 - \frac{T_C}{T_H}$ ，则对以上范德瓦尔斯气液混合物，证明克拉珀龙方程：

$$\frac{dP}{dT} = \frac{L}{T(V_G^{mol} - V_L^{mol})}$$

(d) 根据克拉珀龙方程, 解释为何水的沸腾温度会随着气压减少而下降.

Part.4 普物 I 相关公式

本来想打的，但是公式环境还没搞好，所以要稍微等等……

谢谢大家

Questions?



@Williamdepig

2024.06.02