



普通物理I PHYS1181.03

彭鹏

Office: 物质学院8号楼301室

Email: pengpeng@shanghaitech.edu.cn

研究方向: 超快光谱、X射线阿秒脉冲产生、阿秒瞬态吸收光谱、
强场激光物理、飞秒激光成丝。

<https://spst.shanghaitech.edu.cn/2021/0115/c2349a59066/page.htm>

2. 相对论能量

相对论动能: $E_k = mc^2 - m_0c^2$, 可以改写为: $mc^2 = E_k + m_0c^2$

爱因斯坦定义: $E_0 = m_0c^2$ 物体静止时的能量 —— 静能

$E = mc^2$ 物体相对论能量 —— 总能量

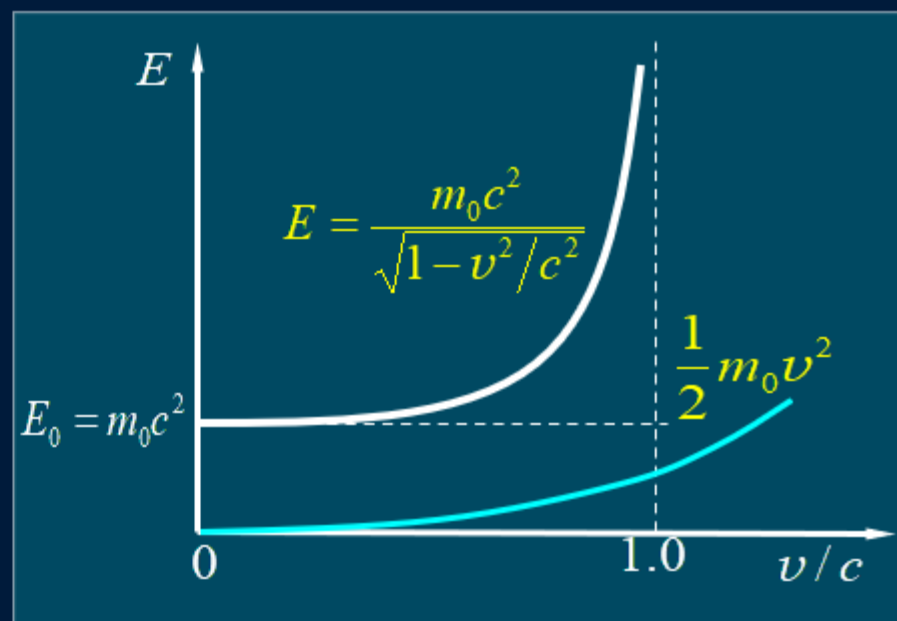
$$E = mc^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

(相对论质能公式)

由质能关系有: $\Delta E = \Delta mc^2$

相对论的质量变化必然伴随能量的变化

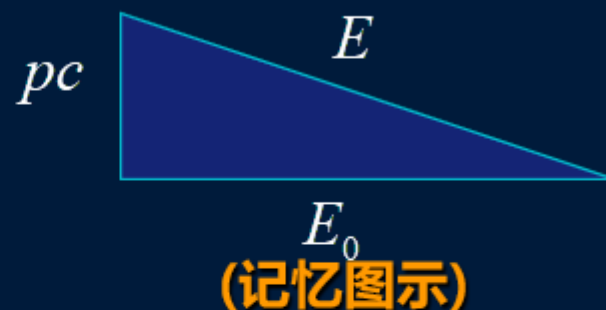
——原子能(核能)利用的理论依据.



相对论能量和动量的关系

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$



平方后消去 v 可得

$$E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2 = E_0^2 + p^2 c^2 \quad (\text{相对论能量动量关系})$$

对于静止质量为零的粒子，如光子，能量和动量关系为

$$E = pc$$

$$p = \frac{E}{c} = \frac{mc^2}{c} = mc$$

$$p = mc$$

对于动能是 E_k 的粒子，总能量为

$$E = E_k + m_0 c^2$$

$$E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2 = E_0^2 + p^2 c^2$$

$$E_k^2 + 2E_k m_0 c^2 = p^2 c^2$$

当 $v \ll c$ 时， $E_k^2 \ll 2m_0 c^2$

上式的第一项可以忽略，即

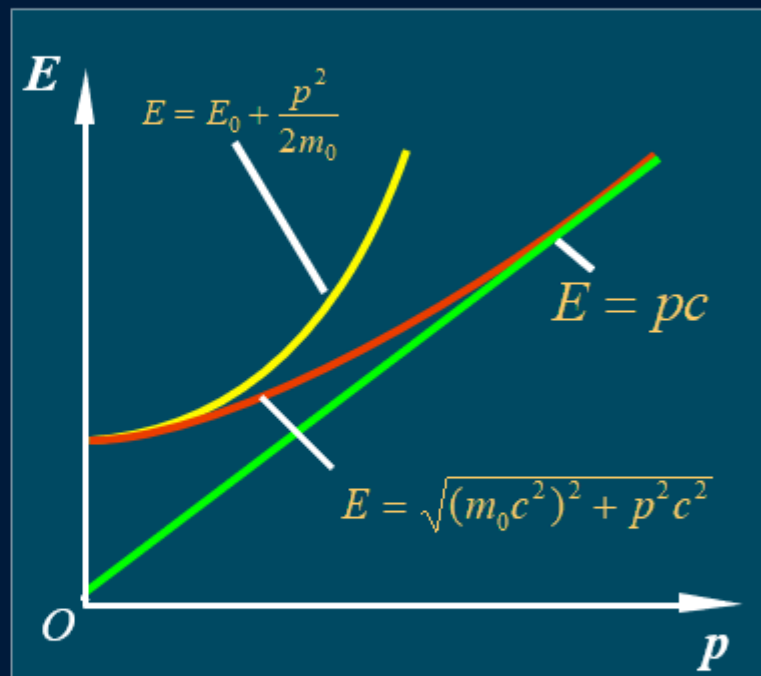
$$2E_k m_0 c^2 = p^2 c^2$$

于是有

$$E_k = \frac{p^2}{2m_0}$$

$$E = E_0 + \frac{p^2}{2m_0}$$

(物体低速运动时能量动量关系)



解题思路

实际问题中当物体作趋近于光速的高速运动时，一定要用相对论动力学的公式，求解相对论动力学问题的关键在于理解和掌握下列几个最重要的结论：

- 相对论质量

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

- 相对论动量

$$p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

- 相对论能量

$$E = mc^2$$

- 相对论动能

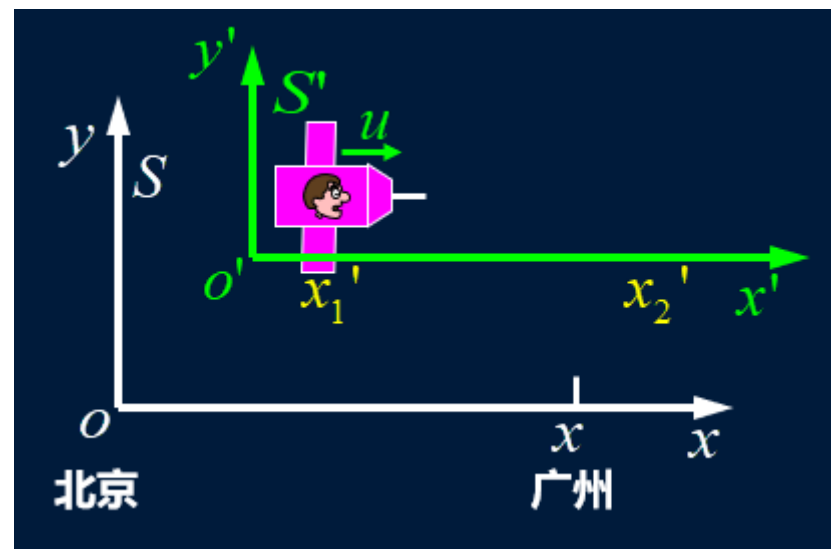
$$E_k = mc^2 - m_0c^2$$

- 相对论能量和动量的关系

$$E^2 = p^2c^2 + E_0^2$$

例 北京和广州直线距离为 $1.89 \times 10^3 \text{ km}$ ，在某一时刻从两地同时各开出一列火车，设有一高速飞行器沿从北京到广州的方向在高空掠过，其速率恒为 $u = 0.5c$ 。

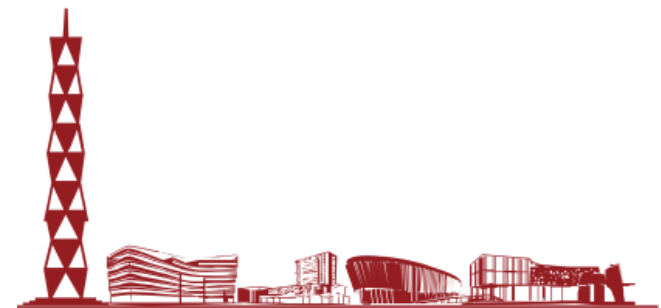
求 高速飞行器上的观测者观测到哪一列火车先开？两列火车开出时刻的时间间隔是多少？





例 两艘宇宙飞船在同一方向飞行，相对速度为 $u=0.98c$ ，在前面那个飞船上有一个光脉冲从船尾传到船头，该飞船上的观测者测得船尾到船头的距离为 **20m**.

求 另一飞船上观测者所测得这两个事件 **A**，**B** (光信号从船尾发出为 **A** 事件，光信号到达船头为 **B** 事件) 之间的空间距离是多少？





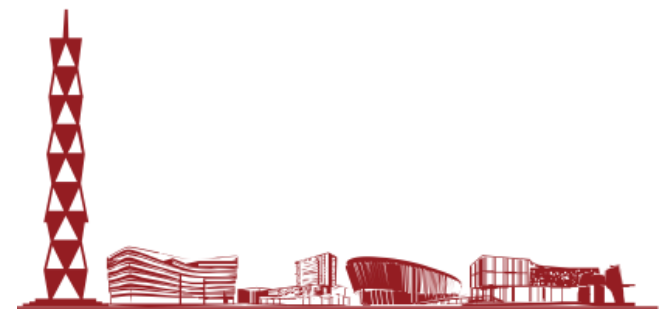
例1 64 g 氧气的温度由 0°C 升至 50°C , (1) 保持体积不变; (2) 保持压强不变。在这两个过程中氧气各吸收了多少热量? 各增加了多少内能? 对外各做了多少功?



例2

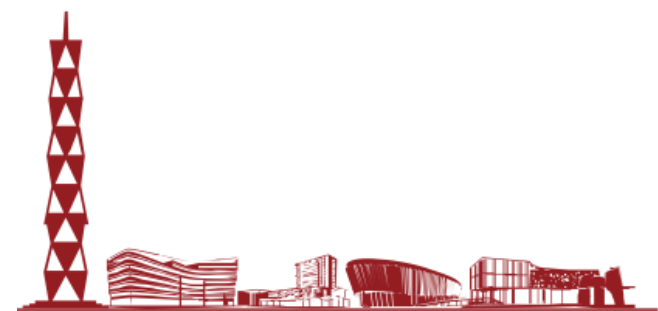
一定量氢气在保持压强为 $4.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ 不变的情况下,温度由 0.0°C 升高到 50.0°C 时,吸收了 $6.0 \times 10^4 \text{ J}$ 的热量。

- (1) 氢气的量是多少摩尔?
- (2) 氢气内能变化多少?
- (3) 氢气对外做了多少功?
- (4) 如果这氢气的体积保持不变而温度发生同样变化,它该吸收多少热量?



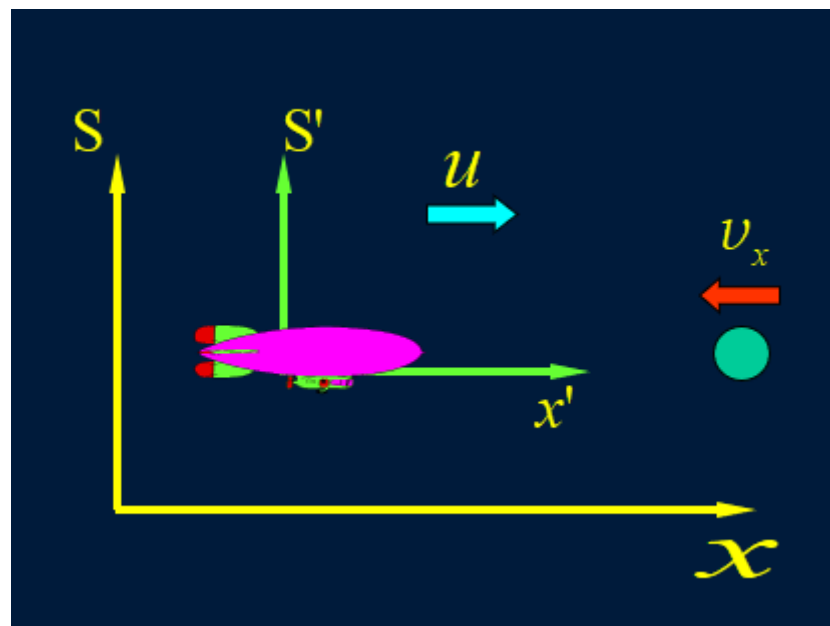


例3. 有可能利用表层海水和深层海水的温差来制成热机。已知热带水域表层水温为 25°C ，300m深处水温为 5°C 。（1）在这两个温度之间工作的卡诺热机的效率多大？（2）如果一电站在此最大理论效率下工作时获得的机械功率是1MW，它将以何速率排出废热？（3）此电站获得的机械功和排出的废热均来自 25°C 的水冷却到 5°C 所放出的热量，水的比热为 $4180\text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ，问此电站将以何速率取用 25°C 的表层水？



例 一飞船和一彗星相对地面分别以 $0.6c$ 和 $0.8c$ 的速度相向而行, 在地面上观测, 再有 $5s$ 二者就要相遇.

求 (1) 飞船上看彗星的速度为多少?
(2) 从飞船上的钟看再经多少时间二者将相遇?

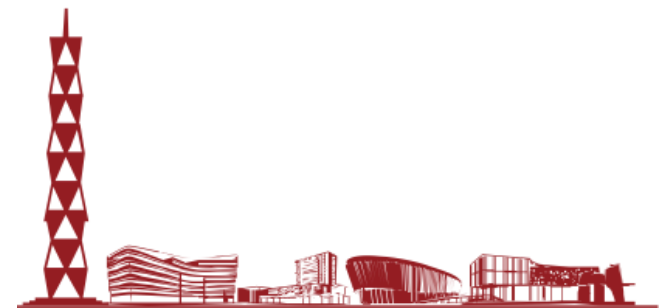
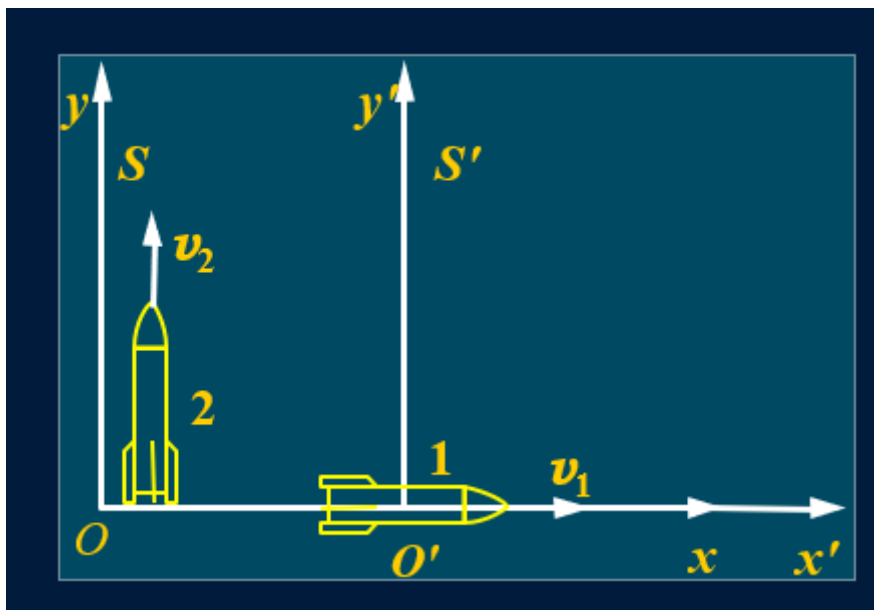




例7

例 一个空间站发射两个飞船，它们的运动方向相互垂直，见图。设一观测者位于空间站内，他测得1号飞船和2号飞船相对空间站的速率分别为 $0.60c$ 和 $0.80c$ 。

求 1号飞船的观测者测得2号飞船的速度。



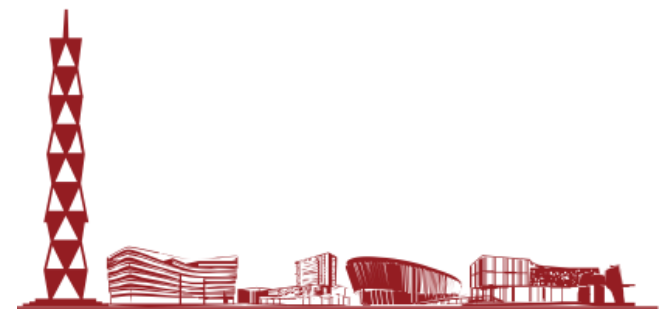


例8

例 已知激光器发生的光脉冲所具有的能量为 $E = 2 \times 10^3 \text{ J}$

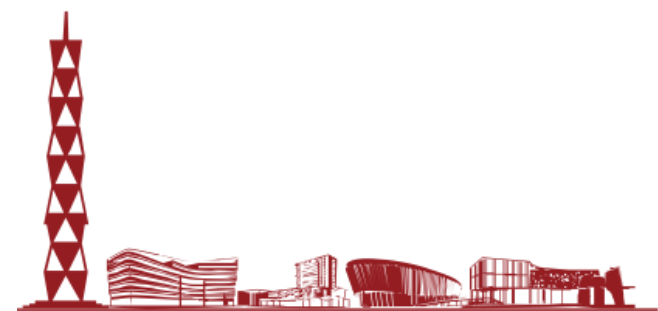
求 (1) 它所携带的动量;

(2) 如果这光脉冲是在 1 ms 内被物体吸收的, 物体所受到的光压是多少?



例9

在 S 系中观察到两个事件同时发生在 x 轴上, 其间距离是 1 m 。在 S' 系中观察这两个事件之间的距离是 2 m 。求在 S' 系中这两个事件的时间间隔。





例18

理想气体的既非等温也非绝热而其过程方程可表示为 $pV^n = \text{常量}$ 的过程叫多方过程, n 叫多方指数。

(1) 说明 $n=0, 1, \gamma$ 和 ∞ 时各是什么过程。

(2) 证明: 多方过程中外界对理想气体做的功为

$$\frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{n - 1}$$

(3) 证明: 多方过程中理想气体的摩尔热容为

$$C_m = C_{V,m} \left(\frac{\gamma - n}{1 - n} \right)$$

并就此说明(1)中各过程的 C_m 值。

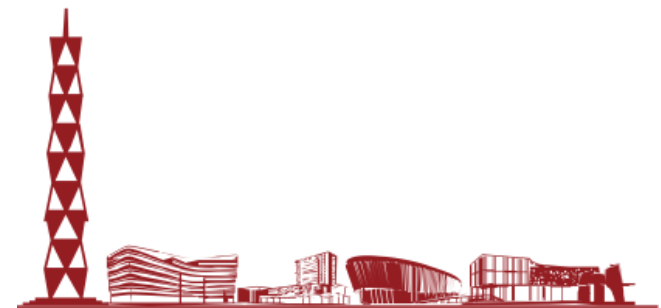




例17 某系统有 N 个粒子，其速率分布函数为

$$\begin{cases} f(v) = \frac{dN}{n dv} = C & (v_0 \geq v \geq 0) \\ f(v) = 0 & (v > v_0) \end{cases}$$

求：(1) 速率分布曲线； (2) 由 v_0 求常数 C ；
(3) 求粒子的平均速率.





例5

例 静止的带电 π 介子的半衰期为 $1.77 \times 10^{-8} \text{s}$ (不稳定粒子数目减少一半经历的时间称为半衰期, 即当 $t=T_{1/2}$ 时 $N=N_0/2$) . 今有一束平行运动的介子, 速率为 $0.99c$, 在离开 π 介子源 (加速器中的靶) 39m 处, 发现它的强度已减少为原来强度的一半.

求 试解释这一实验结果.

