

1

一个 $Q_E = 10$ 的磁约束氦聚变反应堆，能量约束时间 τ_E 为 1s, $T = 15\text{keV}$, 忽略韧致辐射效应, $\eta_e \approx 0.7$; $\eta_a \approx 0.7$; $\eta_t \approx 0.4$ 。如果要产生百万千瓦电力, 需要多少外部加热功率? 如果这个聚变反应堆中的等离子体体积为 1800 立方米, 氦氘配比如是 1:1, 单位时间 (1s) 内要燃烧掉多少克氦和氘? 【10 分】

2

针对以下每一磁场配置, 在柱坐标 (r, θ, z) 情况下确定并绘出磁力线轨迹和磁面的形状:

A.

$$\begin{aligned} B_r &= 0 \\ B_\theta &= B_{\theta 0} \left[\frac{ar}{r^2 + a^2} \right] \\ B_z &= B_{z0} \end{aligned}$$

其中 $B_{\theta 0}$ 、 B_{z0} 和 a 为常数。【5 分】

B.

$$\begin{aligned} B_\theta &= 0 \\ B_z &= B_{z0}(1 + \delta \cos kz) \end{aligned}$$

其中 B_{z0} 和 δ 是常数, 这里需要计算 B_r 。【5 分】

C.

$$\begin{aligned} B_\theta &= B_{\theta 0} \left(\frac{r + \Delta \cos \theta}{a} \right) \\ B_z &= B_{z0} \end{aligned}$$

其中 B_{z0} 、 $B_{\theta 0}$ 、 a 和 Δ 都是常数, 这里需要计算 B_r 。【5 分】

3

考虑一个磁场为 $\mathbf{B} = B(r)\mathbf{e}_z$, 压力为 $p = p(r)$ 的 θ 压缩。假设 $p(r) = p_0 \exp\left(-\frac{r^2}{a^2}\right)$, $B(\infty) = B_0$, $n(0) = 3 \times 10^{22} \text{m}^{-3}$, $T_i(0) = 2 \text{keV}$, $T_e(0) = 0.8 \text{keV}$, 和 $B_0 = 8 \text{T}$, 以及 $a = 0.01 \text{m}$ 。温度剖面 and 密度剖面相关联, 有 $T_i(r)/T_i(0) = T_e(r)/T_e(0) = n^2(r)/n^2(0)$ 。

A. 计算 $\beta_0 (\equiv \beta(0))$ 。【5 分】

B. 绘图说明 $\mathbf{B}$ 的方向和等离子体电流密度 $\mathbf{J}$ 的方向。【5 分】

C. 分别计算热离子和热电子在 $r = a$ 时曲率漂移、 ∇B 漂移的大小, 并给出方向 (相对于 $\mathbf{B}$ 和 $\mathbf{J}$)。【10 分】

4

初始时刻，无限长圆柱形管道内在 $x > 0$ 的半无限大空间内充满压强为 p_0 、密度为 ρ_0 的理想气体，其比热比为 γ ； $x < 0$ 的半无限大空间是真空。气体和真空之间由一个活塞隔开。从 $t = 0$ 开始，活塞以加速度 $a(t) = \alpha t^2$ 向气体（右侧）运动，

(1) 求流体的密度和流速演化 【10 分】；

(2) 求激波出现的时刻和坐标 【10 分】。

5

初始时刻半径为 R_0 球对称燃料发生绝热稀疏，初始时刻燃料的密度和压强满足如下分布

$$p\rho^{-5/3} = p_0\rho_0^{-5/3}e^{-\sigma(r/R_0)^2},$$

这里 p_0 和 ρ_0 是初始时刻密度球心处的压强和密度。稀疏过程中，流速满足条件

$$u(r, t) = \frac{r}{r_0(t)} \frac{dr_0}{dt},$$

这里 $r_0(t)$ 是燃料外边界，且 $r_0(t) = R_0$ 。求稀疏过程中密度和压强的演化 【20 分】。

6

高功率激光脉冲辐照固体材料可产生很高的烧蚀压，驱动燃料内爆。选择适当的激光工作波长、激光功率密度以及靶材料对直接驱动激光十分重要。下面的左图是激光吸收效率与激光功率密度和波长的实验测量结果，右图是烧蚀压与靶材料之间的依赖关系。请说明相关实验结果的物理机制：

(1) 其他条件不变，激光的吸收效率随激光功率密度的增加而降低 【5 分】；

(2) 其他条件不变，激光的吸收效率随激光波长的减小而增加 【5 分】；

(3) 烧蚀压随靶材料的负荷比的增加而增加 【5 分】。