

Úloha V.S ... stabilizujeme

10 bodů; průměr 4,00; řešil 1 student

1. Jakou intenzitu musí mít laser o vlnové délce 351 nm, aby prostřednictvím ablace povrchu palivové peletky stabilizoval Rayleighovu-Taylorovu (RT) nestabilitu? Předpokládejte, že rozhraní ablátoru s DT ledem je vlnité s vlnovou délkou
 - (a) 0,2 μm ,
 - (b) 5 μm .
2. Jak se změní intenzita laseru, pokud na peletku aplikujeme ještě magnetické pole o velikosti 5 T?
3. Co dalšího může napomoci minimalizovat RT nestabilitu?

Podľa vzťahu z textu seriálu

$$\gamma_{RT} = \sqrt{\frac{ka}{1 + kL}} - kv_{abl},$$

vieme, že nestabilita zanikne, ak $\gamma_{RT} < 0$, teda budeme hľadať hraničný prípad. Keďže predpokladáme, že ablátor má približne rovnakú hustotu ako palivo, tak môžeme povedať, že $L \rightarrow 0$. Rýchlosť v_{abl} je v našom prípade rýchlosť šírenia rázovej vlny a z predchádzajúcich úloh vieme, že to je približne $v_{Raz} = v_{abl} = 600\,000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Posledný údaj, ktorý potrebujeme zistiť je zrýchlenie a , ktoré môžeme dostať z druhého Newtonovho zákona $F = ma$, kde m je hmotnosť implodujúcej šupky a F sila, ktorou „pôsobí“ laser prostredníctvom ablačného tlaku $P = F/S$ na plochu S . Hmotnosť šupky dostaneme z hustoty $\rho = 225 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a objemu V , resp. hrúbky šupky d .

Potom máme po postupnom dosadení

$$0 > \sqrt{\frac{k \frac{PS}{\rho S d}}{1 + kL}} - \frac{2\pi}{\lambda_p} v_{abl},$$

predpokladajme $L = 0$

$$\begin{aligned} \frac{2\pi}{\lambda_p} v_{abl} &> \sqrt{\frac{P2\pi}{\rho d \lambda_p}}, \\ \left(\frac{2\pi}{\lambda_p} v_{abl}\right)^2 &> \frac{P2\pi}{\rho d \lambda_p}, \\ \frac{2\pi}{\lambda_p} v_{abl}^2 \rho d &> P. \end{aligned}$$

Pričom hrúbku vrstvy uvažujeme okolo $d = 10 \mu\text{m}$

1. pre $\lambda_p = 0,2 \mu\text{m}$

$$P_1 \approx 2,5 \cdot 10^{16} \text{ Pa} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ MBar},$$

2. pre $\lambda_p = 5 \mu\text{m}$

$$P_2 > 1,0 \cdot 10^{15} \text{ Pa} = 1,0 \cdot 10^4 \text{ MBar}.$$

Z tlaku P v jednotkách MBar můžeme dopočítat intenzitu I podľa vzťahu

$$I = \left(\frac{P}{8.6} \left(\frac{\lambda}{1 \mu\text{m}} \right)^{2/3} (10^{14} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2})^{2/3} \right)^{3/2},$$

$$I = \left(\frac{P}{8.6} \right)^{3/2} \frac{\lambda}{1 \mu\text{m}} 10^{14} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2},$$

a pre jednotlivé prípady dostávame

1. pre $\lambda_p = 0,2 \mu\text{m}$

$$I_1 > 1,8 \cdot 10^{20} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2},$$

2. pre $\lambda_p = 5 \mu\text{m}$

$$I_2 > 1,4 \cdot 10^{18} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2},$$

Obdobne postupujeme v druhej časti úlohy

$$\sqrt{\frac{P2\pi}{\rho d \lambda_p} - \frac{2B^2 k^2 \cos^2 \theta}{\mu_0(\rho_2 - \rho_1)}} - k v_{\text{abl}} < 0,$$

$$\left(\frac{2\pi}{\lambda_p} v_{\text{abl}} \right)^2 \frac{\rho d \lambda_p}{2\pi} + \frac{2B^2 \left(\frac{2\pi}{\lambda_p} \right)^2 \cos^2 \theta}{\mu_0(\rho_2 - \rho_1)} \frac{\rho d \lambda_p}{2\pi} > P.$$

Vidíme, že prvá časť výrazu je zhodná s prvou časťou úlohy. Označme P_i tlak z prvej časti úlohy a dosadíme

$$P_i + \frac{2B^2 \left(\frac{2\pi}{\lambda_p} \right)^2 \cos^2 \theta}{\mu_0(\rho_2 - \rho_1)} \rho d > P.$$

Počítajme s týmto vzťahom pre jednotlivé prípady s tým, že hustotu uhlíka uvažujeme $\rho_2 = = 2270 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, hustotu DT $\rho_1 = 225 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a $\cos \theta = 1$

1. pre $\lambda_p = 0,2 \mu\text{m}$

$$2,5 \cdot 10^{16} \text{ Pa} + 1,4 \cdot 10^9 \text{ Pa} > P,$$

2. pre $\lambda_p = 5 \mu\text{m}$

$$1,0 \cdot 10^{15} \text{ Pa} + 5,6 \cdot 10^7 \text{ Pa} > P.$$

Vidíme, že v oboch prípadoch je tlak, ktorý vznikol magnetickým polom o niekoľko rádov menší, a teda jeho vplyv môžeme zanedbať.

Z toho nám vyplýva, že pre výrazný vplyv pri stabilizácii potrebujeme magnetické pole o niekoľko rádov väčšie ako to, s ktorým sme počítali.

Michal Červeňák
miso@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.