

-7
93



BLUE BOOK

학 과

전자핵공학과

이 름

핵융합 기초 중간고사 모범답안

학 번

과 목

핵융기

날 짜

11/1

※ 학칙을 위반하거나 학생의 본분에 어긋난 행위를 하였을 때에는 징계될 수 있습니다.

7 Pages

College of Engineering
Seoul National University

$$\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\right)$$

$$\pm \frac{1}{2} v_{\perp} r_L \frac{\vec{B} \times \nabla B}{B^2}$$

$$\frac{\vec{B} \times \nabla P}{n g B^2}$$

1. (1) Iron ash. (철은 핵융합 X)

(2) Coulomb 에너지 장벽을 넘어서기에는 턱없이

부족한 에너지지만,

가모와 보른의 양자 터널링 효과에 의해

낮은 에너지에서 σ 의 x-sec 으로 fusion이 가능하다.

(3) ~~PP 반응~~ $P+P \rightarrow d + \beta^+ + \nu + E$

위는 PP chain의 첫번째 반응인데,

전반 사반이 10^9 year 정도 아주 길다.

이 이유는 σ 가 아주 작기 때문이다. (\Rightarrow 태양 수명이 긴 이유) + 질량이 크다

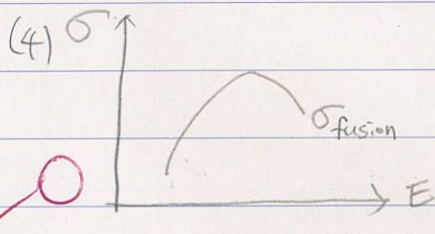
(아주 작아도 confinement 되어있으므로 충분히 fusion 가능)

태양의 P의 비율을 안다면 태양의 life time을

구할 수 있을 것이다. (약 50억년 정도로 알려져있다)

(\because 태양은 작아서 No gde까지는 못가게 때문에)

PP chain만 끝나는 수명 다한다고 생각)



양자 터널링 효과를 이용하며,

(쿨롱 에너지 장벽보다 낮지만)

σ 가 비교적 커지는 100eV keV 이하까지

플라즈마를 가열하여 fusion하는 방식을 의미한다.

thermonuclear fusion에는 confinement가 필요하며,

magnetic confinement, gravitational confinement,

inertia confinement가 있다.

nuclei
nucleus.

-5

2. $R_{\text{fusion}} \propto N_A, N_B$ 이므로

$\Rightarrow R_{\text{fusion}} = N_A N_B \langle \sigma v \rangle_{AB}$ 라 할 수 있다.

$$|\vec{v}_r| = |\vec{v}_a - \vec{v}_b|$$

이때 $\langle \sigma v \rangle_{AB}$ 는, $\langle \sigma v \rangle_{AB} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \sigma v(|\vec{v}_r|) f_A(|\vec{v}_a|) f_B(|\vec{v}_b|) d^3v_a d^3v_b$

f: normalized distribution function

3. Q value $\rightarrow \infty$ 인 상황을 의미하며,

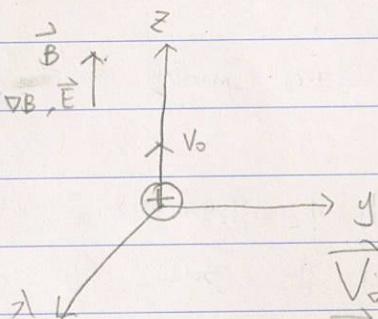
기. T_e, T 로 나타낼 경우 $n T_e T \geq 3 \times 10^{28} \text{ km}^{-3} \text{ s}$ 인 상황이다.

의미는 Q value의 분포형인 $P_{\text{aux}}^* \rightarrow 0$ 이 되는 것인데,

즉 외부에서 플라즈마를 가열하기 위해 추가적으로 에너지를

공급하지 않아도 스스로 핵융합 조건을 유지할 수 있는 상태를 의미한다.

4. (1) \vec{B}, \vec{E} ↑



$$\text{armor radius} = \frac{m v_{\perp}}{B |\beta|} = 0$$

($\because v_{\perp} = 0$ 이고 v_{\parallel} 만 존재!) \Rightarrow gyromotion X

$$\vec{v}_{\text{orb}} = \pm \frac{1}{2} r_L v_{\perp} \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2} \text{ 역시 } 0 \text{ 이고}$$

$$\vec{v}_{\text{ExB}} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2} \text{ 역시 } \vec{E} \parallel \vec{B} \text{ 에서 } 0 \text{ 이다.}$$

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

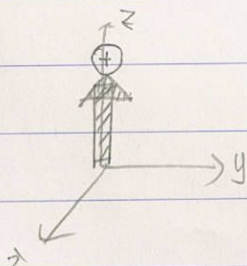
$\hookrightarrow \because \vec{v} \parallel \vec{B}$

$$V_x' = 0 \rightarrow V_x = V_{0x} = 0 \rightarrow x = x_0 = 0$$

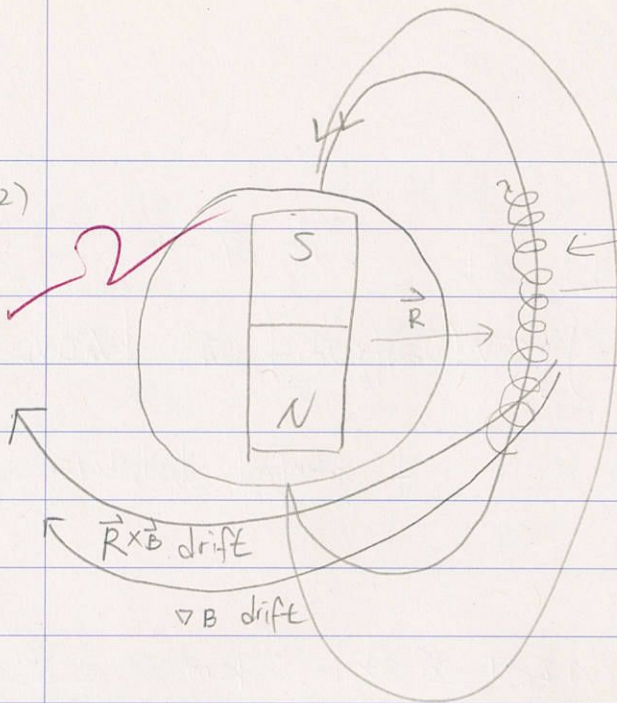
$$V_y' = 0 \rightarrow V_y = V_{0y} = 0 \rightarrow y = y_0 = 0$$

$$V_z' = \frac{q}{m} E_z \rightarrow V_z = \frac{q}{m} E_z t + V_{0z} \rightarrow z = \frac{q}{2m} E_z t^2 + \underbrace{V_{0z} t}_{v_0} + z_0$$

$\therefore z$ 방향으로 가속운동한다.



(2)



이온의 경우 gyromotion에 의해
 왼쪽 방향으로 움직인다.

이때 $r_L = \frac{m v_{\perp}}{B |q|}$ 에서

극지방으로 갈수록 B가 커지므로
 극지방에서의 r_L 은 작은 것이다.

또, curvature drift에 대해

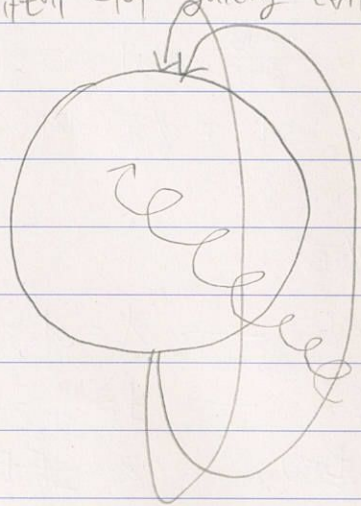
$$\vec{V}_{R \times B} = \frac{m v_{\perp}^2}{R^2} \frac{\vec{R} \times \vec{B}}{B^2} \text{ 위 그림처럼 guiding center가 변한다.}$$

또, grad B drift에 대해

$$\vec{V}_{\nabla B} = \pm \frac{1}{2} r_L v_{\perp} \frac{\vec{B} \times \nabla B}{B^2}$$

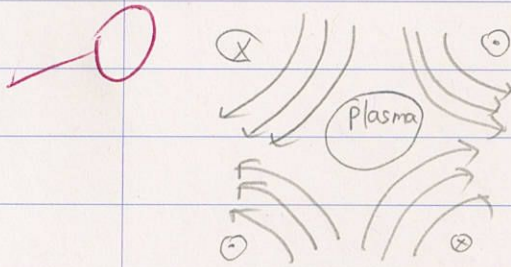
$$\stackrel{\text{이온}}{\uparrow} = \frac{1}{2} r_L v_{\perp} \frac{\vec{B} \times \nabla B}{B^2} \text{ 위 그림처럼 guiding center가 변한다.}$$

drift에 의해 guiding center가 변하여 하는 gyromotion은 대략적으로
 왼쪽과 같은 것이다 생각된다.



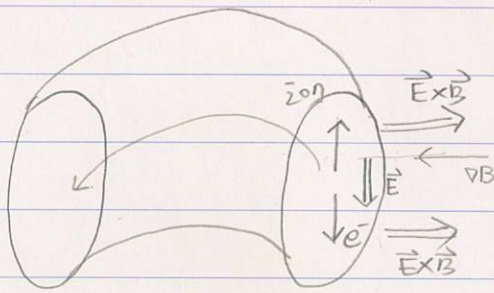
(3) 플루트 불안정성이다.

이를 해소하기 위해서는 아래와 같이 plasma well을 만들 수 있다.



가운데는 B가 낮고 외곽이 B가 강해 잘 가두어질 수 있다.

5.



$$\vec{v}_D = \frac{\vec{B} \times \nabla p}{\mu_0 B^2}$$

$$\vec{v}_{\perp} = \pm \frac{1}{2} r_L v_{\perp} \frac{\vec{B} \times \nabla B}{B^2}$$

$$\vec{v}_R = \frac{m v_{\perp}^2}{R^2} \frac{\vec{R} \times \vec{B}}{\epsilon_0 B^2}$$

두 drift에 의해 외쪽처럼 ion과 e-가 나누어진다

ion과 e-가 나누어지

는 E가 유도되고,

$\vec{E} \times \vec{B}$ drift에 의해 radial 방향으로 ion과 e-가 빠져나간다.

$-\vec{r} \times \vec{B}$

따라서 이를 막기 위해 토카막에서는 가운데에

솔레노이드를 이용한 toroidal 방향의 플라즈마 전류를 유도하여 흘리고,

이에 의해 만들어지는 poloidal 방향 자기장으로

$\vec{E} \times \vec{B}$ drift를 억제할 수 있다.

6. (1) ITER의 목적은 $Q=10$ 을 달성하는 것이므로 옳다고 볼 수 있을 것이다.

($Q=10$ 을 달성하겠다는 말과 $Q>10$ 이나 결국 목표의 측면에서는 같다고 생각하였다) (물론 엄밀하게는 $Q=10$ 과 $Q>10$ 은 다르지만).

(2) (X) cone을 이용하는 것은 fast ignition.

(3) (X) $Q \approx 0.64$ 는 JET.

(4) (X) magnetic tension이 아니라 magnetic pressure.