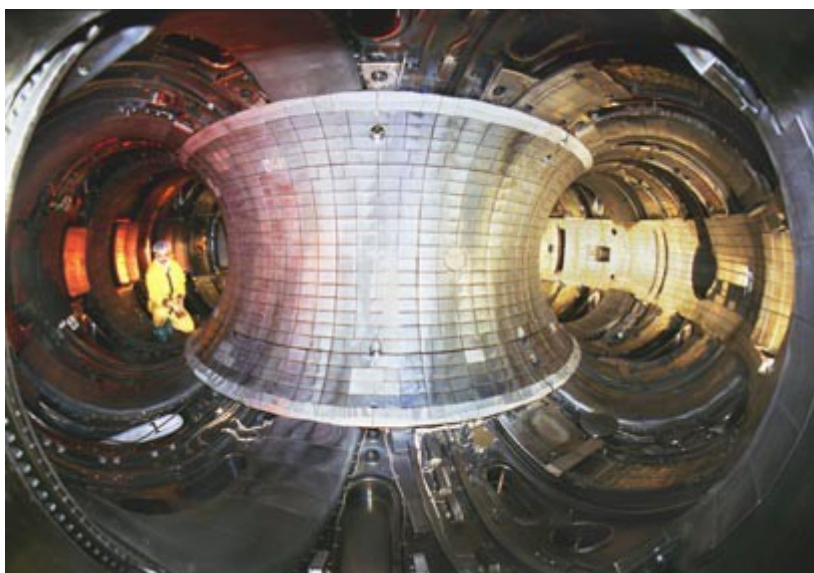




Vejledende eksempler på opgaver til den skriftlige prøve i fysik A (stx)
Fysik i det 21. århundrede
Skoleåret 2017-18

Plasmafysik og fusionsenergi

Opgave 1 TFTR



Fusionsreaktoren TFTR var placeret i Princeton, USA, og var i drift fra 1982 til 1997.

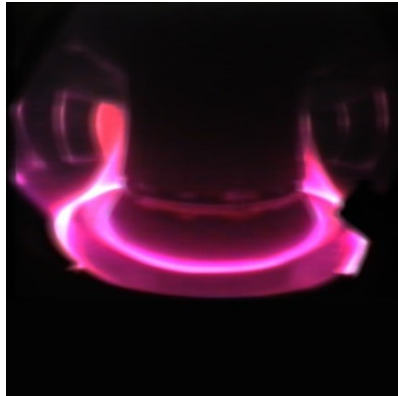
TFTR var opbygget som en tokamak med en torus med storradius 2,48 m og 20 vindinger. Den maksimale strømstyrke i vindingerne var 3,22 MA.

- a) Beregn størrelsen af magnetfeltet midt i torussen.

Reaktoren TFTR slog mange rekorder for fusionsreaktorer. Plasmaet var sammensat af deuterium og tritium og opnåede i 1995 temperaturen $5,1 \cdot 10^7$ K.

- b) Bestem den gennemsnitlige kinetiske energi for deuteriumkerner ved denne temperatur.
Hvilken fart har deuteriumkerner med denne kinetiske energi?

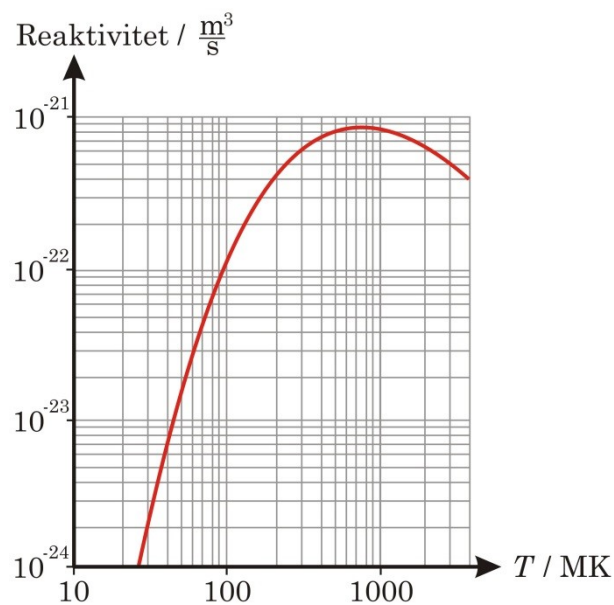
Opgave 2 Fusion



I et plasma bestående af deuterium D og tritium T er temperaturen $100 \cdot 10^6 \text{ K}$, og tætheden af såvel deuteriumioner som tritiumioner er $0,80 \cdot 10^{20}$ pr m^3 .

- Bestem trykket i plasmaet.
- Bestem tritiumionernes gennemsnitlige kinetiske energi.
Hvilken fart har tritiumioner med denne kinetiske energi?

Figuren viser reaktiviteten $\overline{\sigma \cdot v_{12}}$ som funktion af temperaturen T for fusion mellem deuterium og tritium.



- Bestem reaktionsraten for fusion mellem deuterium og tritium i plasmaet.

Opgave 3 Fusionsreaktor

En fusionsreaktor indeholder kerner af deuterium og tritium, der begge har tæthederne $8,5 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$. Reaktionsraten for fusionen mellem deuterium og tritium i reaktoren er $5,7 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$.

- a) Bestem reaktiviteten for fusionen mellem deuterium og tritium i reaktoren.

Opgave 4 Plasma

En blanding af lige mange deuterium og tritium kerner skal bruges i et eksperiment til undersøgelse af plasma og fusion. Blandingen har inden eksperimentet densiteten $1,00 \text{ kg/m}^3$ og temperaturen 300 K .

- a) Vis, at tætheden af atomkerner er $2,4 \cdot 10^{26}$ pr m^3 .

Med henblik på at kunne lave fusion mellem deuterium og tritium sammenpresses gasblandingen, så atomkernerne får den gennemsnitlige kinetiske energi 10 keV .

Under sammenpresningen kan man regne med, at der gælder følgende sammenhæng mellem tætheden n af atomkerner og kelvintemperaturen T

$$n \cdot T^{\frac{3}{2}} = \text{konstant} .$$

Deuterium og tritium fusionerer ved energien 10 keV .

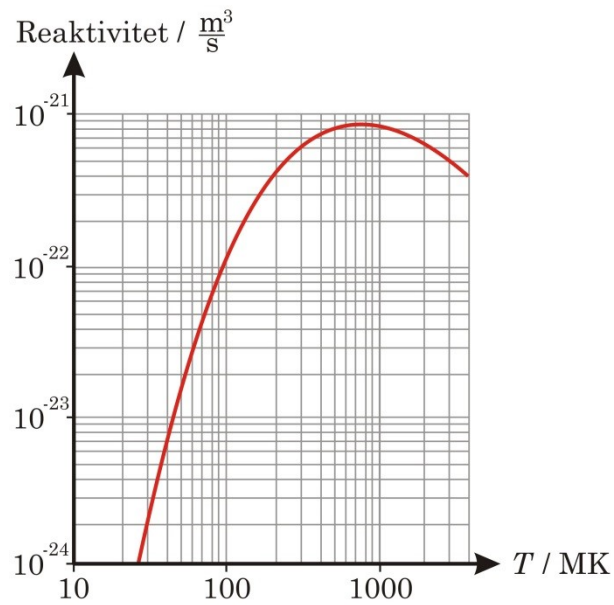
- b) Bestem tætheden af atomkerner, når deuterium og tritium fusionerer.

Ifølge en udgave af det såkaldte *Lawson-kriterium* er det nødvendigt for, at en fusionsreaktor kan køre, at indeslutningstiden τ opfylder

$$n \cdot \tau > \frac{12k_B T}{Q \cdot \sigma \cdot v_{12}}$$

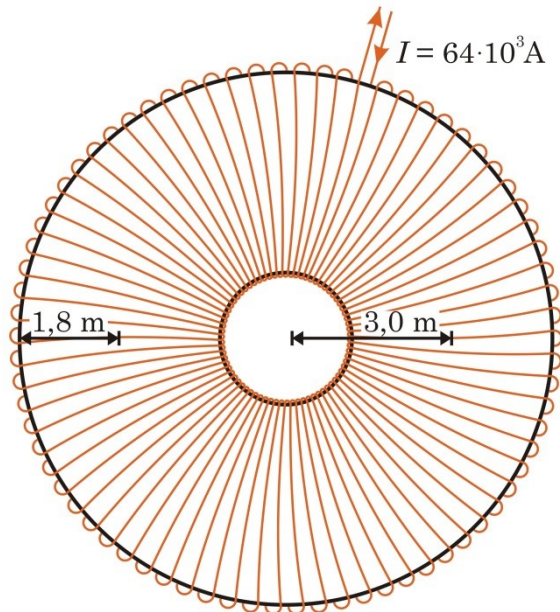
hvor n er tætheden af partikler i plasmaet, T dets temperatur, Q er Q -værdien for fusionsprocessen, og $\sigma \cdot v_{12}$ er reaktiviteten.

Diagrammet nedenfor viser sammenhængen mellem temperaturen i reaktoren med deuterium og tritium og reaktivitet for fusion mellem deuterium og tritium.



- c) Vurdér, hvor stor indeslutningstiden τ skal være, for at kriteriet ovenfor er opfyldt.

Opgave 5 Fusion i JET



Storradius i torussen i JET er 3,0 m, lilleradius er 1,8 m, og der er 768 vindinger rundt om torussen.

Strømstyrken i ledningen rundt om torussen er $64 \cdot 10^3$ A.

- a) Bestem størrelsen af magnetfeltet fra strømstyrken i vindingerne i centrum af plasmaet.

Resistiviteten for et plasma er givet ved

$$\rho = k \cdot T^{-3/2}$$

hvor T er temperaturen i K og konstanten $k = 1,1 \cdot 10^3 \Omega \cdot \text{m} \cdot \text{K}^{3/2}$.

Strømstyrken i plasmaet er $5,3 \cdot 10^6$ A.

- b) Vurder den afsatte effekt i plasmaet, når temperaturen er $120 \cdot 10^6$ K.

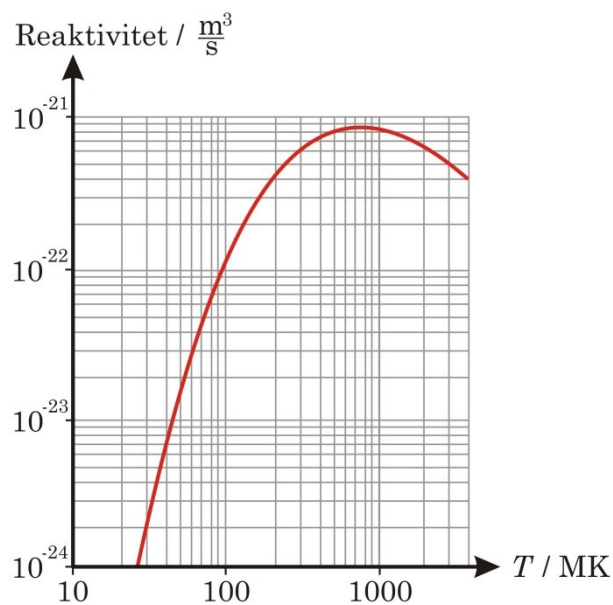
Opgave 6 Fusionsreaktor

Temperaturen i en fusionsreaktor med deuterium og tritium er 230 MK. Såvel deuterium som tritium i reaktoren har tætheden $1,2 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$.

- a) Bestem trykket i reaktoren.

Reaktoren har rumfanget 24 m^3 .

Diagrammet nedenfor viser sammenhængen mellem temperaturen i reaktoren og reaktivitet for fusion mellem deuterium og tritium.



- b) Bestem den effekt, hvormed der frigøres energi ved fusion i reaktoren.

Billedkilder

Opgave 1:

<http://www.iter.org/newsline/10>

Opgave 2:

https://portal.mytum.de/pressestelle/meldungen/NewsArticle_20110414_094719/110414_IPP-Plasma_600.jpg/view