



NTNU

Institutt for fysikk

Eksamen i FY6019 Moderne fysikk

Faglig kontakt under eksamen: Jon Andreas Støvneng

Telefon: 45 45 55 33

Eksamensdato: 31. mai 2017

Eksamenstid (fra – til): 0900 – 1400

Hjelpemiddelkode/Tillatte hjelpemidler: Grafisk eller enkel kalkulator; Rottmann, Matematisk formelsamling; Haugan, Gyldendals tabeller og formler i fysikk

Side 1 – 3: Oppgaver

Side 4 – 6: Formler og uttrykk

Sensurfrist: 21. juni 2017.

Kontrollert:

Dato

Signatur

FORMLER OG UTTRYKK.

Formlenes gyldighetsområde og symbolenes betydning antas å være kjent. Symbolbruk og betegnelser som i forelesningene. Vektorer med fete typer.

- Plancks strålingslov ($I(\nu, T)$ = utstrålt energi pr tids-, flate- og frekvensenhet):

$$I(\nu, T) = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2 (e^{h\nu/k_B T} - 1)}$$

- Fotoelektrisk effekt:

$$U = \frac{h}{e}\nu - \frac{W}{e}$$

- Lorentzfaktor:

$$\gamma = \left(1 - v^2/c^2\right)^{-1/2}$$

- Relativistisk impuls:

$$\mathbf{p} = \gamma m \mathbf{v}$$

- Newtons 2. lov:

$$\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt}$$

- Relativistisk energi:

$$\begin{aligned} E &= \gamma mc^2 \\ E_0 &= mc^2 \\ E_k &= E - E_0 \\ E^2 &= (pc)^2 + (mc^2)^2 \end{aligned}$$

- Elastisk prosess: E , $\mathbf{p}$, E_k og m bevart.

- Uelastisk prosess: E og $\mathbf{p}$ bevart.

- Bølger:

$$c = \lambda \nu$$

- de Broglie:

$$\lambda = h/p \quad , \quad \nu = E/h$$

- Schrödingerligningen (SL):

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \hat{H} \Psi$$

- Tidsuavhengig Schrödingerligning (TUSL):

$$\hat{H}\psi = E\psi$$

- Operatorer:

$$\hat{p}_x = \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x} \quad , \quad \hat{K} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \quad , \quad f(p) \rightarrow f(\hat{p})$$

- Heisenbergs uskarphetsprinsipp:

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$$

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{1}{2} |\langle [\hat{x}, \hat{p}] \rangle|$$

- Kommutator:

$$[\hat{x}, \hat{p}] = \hat{x}\hat{p} - \hat{p}\hat{x}$$

- Stasjonær tilstand:

$$\Psi(x, t) = \psi(x) e^{-iEt/\hbar}$$

- Forventningsverdier:

$$\langle x \rangle = \int \Psi^* x \Psi dx \quad , \quad \langle p_x \rangle = \int \Psi^* \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x} \Psi dx \quad , \quad \langle F \rangle = \int \Psi^* \hat{F} \Psi d\tau$$

- Bølgepakke:

$$\Psi(x, t) = \sum_j c_j \psi_j(x) e^{-iE_j t/\hbar} \quad , \quad \langle F \rangle = \sum_j |c_j|^2 F_j$$

- Grensebetingelser:

$\psi(x)$ kontinuerlig overalt, $d\psi/dx$ diskontinuerlig kun ved ∞ sprang i $V(x)$

- Sannsynlighetsstrøm:

$$j = \text{Re} \left[\Psi^* \left(\frac{\hbar}{mi} \frac{\partial}{\partial x} \right) \Psi \right]$$

- Usikkerhet:

$$\Delta x = \sqrt{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} \quad , \quad \Delta p = \sqrt{\langle p^2 \rangle - \langle p \rangle^2}$$

- Ehrenfests teorem:

$$\frac{d}{dt} \langle \mathbf{r} \rangle = \frac{\mathbf{p}}{m} \quad , \quad \frac{d}{dt} \langle \mathbf{p} \rangle = -\langle \nabla V \rangle$$

- Harmonisk oscillator:

$$E_n = \left(n + \frac{1}{2} \right) \hbar \omega$$

- Stiv rotator:

$$E_l = \frac{l(l+1)\hbar^2}{2I} \quad , \quad l = 0, 1, 2, \dots \quad , \quad I = \text{treghetsmoment} = \sum_j m_j r_j^2$$

- Redusert masse μ :

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \dots$$

- Konstruktiv interferens:

$$d \sin \theta = n \lambda$$

Fundamentale konstanter:

$$\begin{aligned}k_B &= 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \\N_A &= 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\ \hbar &= h/2\pi = 1.055 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \\ e &= 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ m_e &= 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \\ m_p &= 1.673 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ m_n &= 1.675 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ u &= 1.661 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ c &= 2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s} \\ \alpha &= e^2/4\pi\epsilon_0\hbar c = 1/137.0 \\ a_0 &= 4\pi\epsilon_0\hbar^2/e^2m_e = 0.5292 \text{ Å} \\ \mu_B &= e\hbar/2m_e = 9.274 \cdot 10^{-24} \text{ J/T} \\ \mu_N &= e\hbar/2m_p = 5.051 \cdot 10^{-27} \text{ J/T} \\ R_\infty &= \frac{1}{2}m_e c^2 \alpha^2 = 13.61 \text{ eV}\end{aligned}$$

Omregningsfaktorer:

$$\begin{aligned}1 \text{ eV} &= 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J} \\ 1 \text{ Å} &= 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m} \\ 1 \text{ T} &= 10^4 \text{ G (gauss)} \\ k_B T &\simeq \frac{1}{40} \text{ eV ved } T = 300 \text{ K}\end{aligned}$$