

FYS2140 Kvantefysikk - Vår 2021

Oblig 2

(Versjon 25. januar 2021)

Dokumentet inneholder følgende tre deler:

- A Diskusjonsoppgaver
- B Regneoppgaver
- C Tilleggsoppgaver (ikke obligatorisk)

Du finner frister for innlevering av obliger på Canvas. For å få obligen godkjent, må du vise at du har gjort et ordentlig forsøk på alle oppgavene. 6/11 obliger må være godkjent for å gå opp til eksamen.

A Diskusjonsoppgaver om lysets partikkelegenskaper

Oppgave 1 En laserpeker med rødt lys og en annen med grønt lys er merket med samme effekt 2.0 mW. Produserer én av dem flere fotoner enn den andre? I så fall hvilken? Begrunn svaret.

Oppgave 2 Lys med en gitt frekvens og intensitet treffer en metallflate, og du måler at elektroner sendes ut fra denne flata (fotoelektrisk effekt). Hva skjer hvis intensiteten til lyset øker?

- a) flere elektroner sendes ut fra metallflata
- b) elektroner med høyere kinetisk energi sendes ut fra metallflata
- c) ingenting forandrer seg

Begrunn svaret.

Oppgave 3 Nå sender du lys med en annen gitt frekvens og intensitet mot metallflata. Denne gangen registrerer du at ingen elektroner sendes ut fra flata. Hva skjer nå hvis intensiteten til lyset øker?

- a) flere elektroner sendes ut fra metallflata
- b) elektroner med høyere kinetisk energi sendes ut fra metallflata
- c) ingenting forandrer seg

Begrunn svaret.

Oppgave 4 I fotoelektrisk effekt blir hvert foton fullstendig absorbert av metallflata. Hva brukes og/eller omdannes fotonenergien til?

Oppgave 5 På hvilken måte tvang eksperimenter med fotoelektrisk effekt fram en partikkelforståelse av lys? Hvilke resultater er uforenelige med en klassisk bølgeforståelse av lys? Einstein publiserte banebrytende arbeid med denne forståelsen av fotoelektrisk effekt i 1905, og fikk Nobelprisen for det i 1921.

Oppgave 6 I kompendiet s. 31 står det at elektromagnetisk stråling viser både partikkel- og bølgeegenskaper, og at Compton-spredning oppviser begge deler i samme eksperiment. Hva er det med Compton-eksperimentet som viser at lys har bølgeegenskaper og hva er det som viser at det har partikkelegenskaper?

B Regneoppgaver

Oppgave 7 Arbeidsfunksjon og effekt

- a) Den fotoelektriske arbeidsfunksjonen (løsrivningsarbeid) for kalium (K) er 2.0 eV. Anta at lys med en bølgelengde på 360 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) faller på kaliumet. Finn stoppepotensialet for fotoelektronene, den kinetiske energien og hastigheten for de hurtigste av de emitterte elektronene. *Hint:* Det kan være lurt å bruke $0.511 \text{ MeV}/c^2$ for elektronets hvilemasse, og oppgi hastigheten som multiplum av c .
- b) En uniform monokromatisk lysstråle med bølgelengde 400 nm faller på et materiale med arbeidsfunksjon på 2.0 eV, og med en intensitet på $3.0 \times 10^{-9} \text{ W m}^{-2}$. Anta at materialet reflekterer 50% av den innfallende stråle, og at 10% av de absorberte fotoner fører til et emittert elektron. Finn antall elektroner emittert per kvadratmeter og per sekund, den absorberte energi per kvadratmeter og per sekund, samt den kinetiske energi for fotoelektronene.

Oppgave 8 Kinematikk i Comptonspredning

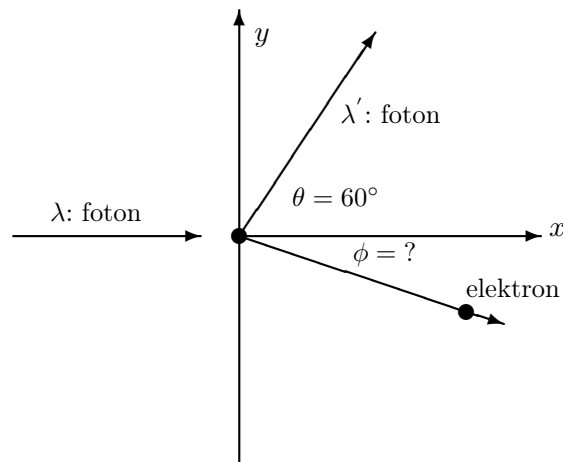
Et foton med bølgelengde $\lambda = 1.00 \times 10^{-11} \text{ m}$ treffer et fritt elektron i ro. Fotonet blir spredt i en vinkel θ , og får en bølgelengdeforandring gitt ved Comptons formel

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_c (1 - \cos \theta),$$

hvor Comptonbølgelengden er $\lambda_c = 2.426 \times 10^{-12} \text{ m}$. I denne oppgaven skal vi bare se på det som observeres i en vinkel $\theta = 60^\circ$ (se Fig. 1).

Energi og bevegelsesmengde beregningene skal uttrykkes ved enheten eV.

- a) Beregn energien og bevegelsesmengden til det innkommende fotonet. *Hint:* Det kan være lurt å bruke enhet keV/c for bevegelsesmengden.



Figur 1: Comptonspredning i vinkel $\theta = 60^\circ$.

- b) Finn bølgelengden, bevegelsesmengde og den kinetiske energien til det spredte fotonet.
- c) Finn den kinetiske energien, bevegelsesmengden og spredningsvinkelen for elektronet.

C Tilleggsoppgaver (ikke obligatorisk)

Oppgave 9 Oppgave 3.3 i Kompendiet

Et atom med masse M , opprinnelig i ro, emitterer et foton ved en overgang fra et energinivå E_1 til et annet nivå E_2 . Det sies vanligvis at det emitterte fotonets energi er gitt ved $h\nu = E_1 - E_2$, der ν er fotonets frekvens og h er Plancks konstant. Imidlertid vil en liten del av energien overføres til atomet som kinetisk energi (rekylvirkning), og fotonet får derfor en tilsvarende mindre energi: $h\nu = E_1 - E_2 - \Delta E$.

- a) Finn et uttrykk for denne korreksjonen ΔE . Gå ut fra at fotonet har en bevegelsesmengde lik $h\nu/c$.
- b) Gjennomfør en tilsvarende diskusjon for det tilfellet at atomet absorberer et foton.
- c) Regn ut den numeriske verdien av $\Delta E/h\nu$ for en overgang $E_1 - E_2$ i et kvikksølvatom som har masse lik $200 \times$ massen til et proton, der fotonet har bølgelengde $\lambda = 255 \text{ nm}$.

Oppgave 10 Korreksjoner i hydrogenatomet

Anta at vi nå ser på hydrogenatomet som sender ut lys med typisk bølglengde på 550 nm. Hvor mye rekylen energi ΔE vil atomet få på grunn av fotonutsendelsen i forhold til fotonets energi E , altså hva er størrelsesordenen av $\Delta E/E$. Sammenlikn dette med effekten av korreksjonen fra å bytte ut elektronmassen med **reduisert masse**

$$\mu = \frac{m_e m_k}{(m_e + m_k)},$$

hvor m_e og m_k er massen til elektronet og kjernen. Hvilken korreksjon er størst, $\Delta E/E$ (rekyl) eller $\Delta E/E$ (reduisert masse)?