

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
 Institutt for fysikk

Fagleg kontakt under eksamen:

Navn: Emil J. Samuelsen

Tlf.: 93412

EKSAMEN I FAG SIF4022 FYSIKK 2

7 august 2001

Tid: 0900 – 1400

Tillatte hjelpemiddel: Rottmann: Matematisk formelsamling.
 Lommekalkulator

For oppgave 3 skal kandidaten velje å svare på fire av dei fem deloppgavene.

Oppgitte formalar og data:

Mekaniske bølger

$$\text{Effekt: } P = \frac{1}{2} \mu A^2 \omega^2 v$$

Lydbølger

$$\text{Fart: Fluidum: } v = (K/\rho_0)^{\frac{1}{2}}, \quad \text{Ideell gass: } K = \gamma P_0, \quad \text{Faststoff: } v = (G/\rho)^{\frac{1}{2}} \text{ og } (E/\rho)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{Intensitet: } I = \frac{1}{2} \rho_0 s_m^2 \omega^2 v = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_m^2}{\rho_0 v}$$

Doppler-effekt:

$$\text{klassisk: } v_D \text{ og } v_s \text{ er valde positive i same retning: } f' = f \frac{1 - v_D/v}{1 - v_s/v}$$

$$\text{relativistisk: } f' = f \cdot \left(\frac{1 - v/c}{1 + v/c} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Maxwells likningar:

$$\oint_{\epsilon_r} \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0} ; \quad \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 ; \quad \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_m}{dt} ; \quad \oint \frac{1}{\mu_r} \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \left(I + \epsilon_0 \cdot \frac{d\Phi_c}{dt} \right)$$

Interferens: N- bølger $I = I_0 \left(\frac{\sin \frac{\phi}{2} N}{\sin \frac{\phi}{2}} \right)^2$ der ϕ er fasevinkelforskjell mellom nabobølger.

Diffraksjon: Enkeltspalte $I = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2$ der $\alpha = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}$ ved loddrett innfall.

FYSISKE KONSTANTAR

gravitasjonskonstanten	G, f	=	66,72 pN · m ² /kg ²
	def		
standard tyngdeakselerasjon	g _n	=	9,806 65 m/s ²
lysfarten i tomt rom	c	=	299,792 458 Mm/s
	def		
tomromspermeabiliteten	μ ₀	=	4π · 10 ⁻⁷ H/m = 1,256 637 061 44 μH/m
tomromspermittiviteten	ε ₀	=	(c ² μ ₀) ⁻¹ = 8,854 187 82 pF/m
elementærladningen	e	=	1,60 2189 · 10 ⁻¹⁹ C
	e'	=	4,803 242 · 10 ⁻¹⁰ ese
Planck-konstanten	h	=	6,626 18 · 10 ⁻³⁴ Js = 4,135 70 feV · s
	ħ	=	h/2π = 1,054 589 · 10 ⁻³⁴ Js
		=	0,658 218 feV · s
molar gasskonstant	R	=	8,314 41 J/(mol · K)
molart volum for idealgass ved			
p ₀ = 1 atm	V ₀	=	RT ₀ /p ₀ = 22,4138 dm ³ /mol
= 101,325 kPa			
og T ₀ = 273,15 K			
Avogadro-konstanten	N _A	=	6,022 045 · 10 ²³ mol ⁻¹
Boltzmann-konstanten	k _B	=	R/N _A = 1,380 66 · 10 ⁻²³ J/K
Faraday-konstanten	F	=	N _A e = 96,484 56 kC/mol
Stefan-Boltzmann-			
konstanten	σ	=	π ² k ⁴ /(60 ħ ³ c ²) = 56,703 nW/(m ² K ⁴)
finstrukturkonstanten	α	=	μ ₀ ce ² /2ħ = e' ² /(ħc)
		=	1/137,036 04 = 7,297 351 · 10 ⁻³
Rydberg-konstanten	R _∞	=	e ⁴ m _e /(8 ε ₀ ² ħ ³ c) = 1,097 373 18 · 10 ⁷ m ⁻¹
Bohr-radien	a ₀	=	4π ε ₀ ħ ² /(m _e e' ²) = a/(4π R _∞) = ħ ² /(m _e e' ²)
		=	52,917 71 pm
elektrónradien	r _e	=	μ ₀ e ² /(4πm _e) = e' ² /(m _e c ²) = 2,817 938 fm
	def		
atommasseenheten	u	=	$\frac{10^{-3}}{N_A}$ kg / mol = 1,660 566 · 10 ⁻²⁷ kg
elektronet	m _e	=	9,10 9530 · 10 ⁻³¹ kg
protonet	m _p	=	1,672 649 · 10 ⁻²⁷ kg
nøytronet	m _n	=	1,674 954 · 10 ⁻²⁷ kg
hydrogenatomet	m(¹ H)	=	1,673 559 · 10 ⁻²⁷ kg
deuteriumatomet	m(² H)	=	3,344 548 · 10 ⁻²⁷ kg
heliumatomet	m(⁴ He)	=	6,646 585 · 10 ⁻²⁷ kg

Oppgave 1

Ein skjerm har N parallelle spalter, kvar med spaltebreidd a , plasserte i jamn avstand d (mellom midtpunkta) av nærliggande spalter. ($d > a$).

Koherent monokromatisk lys med bølglengd λ blir sendt loddrett inn mot skjermen (frå venstre).

- Vis ved utleiing at uttrykket for lys-intensiteten i retning θ (i forhold til innfallsretninga) i stor avstand bak skjermen (til høgre) kan uttrykkast som produktet av bidrag frå enkeltspaltdiffraksjon og N -bølgje-interferens.
- Lag kvalitative skisser av diffraksjonsmønstra for tilfellet $N = 3$ med
 - $a \ll d$
 - $a = d/2$
 - $a = d$
 og kommentér resultatata i kvart tilfelle med omsyn på hovud- og bimaksima.
- Tre koherente strålingskjelder, som sender på same frekvens, er plasserte i ei rekke som Figur 1 viser, med avstand d mellom den midterste og kvar av dei to andre.

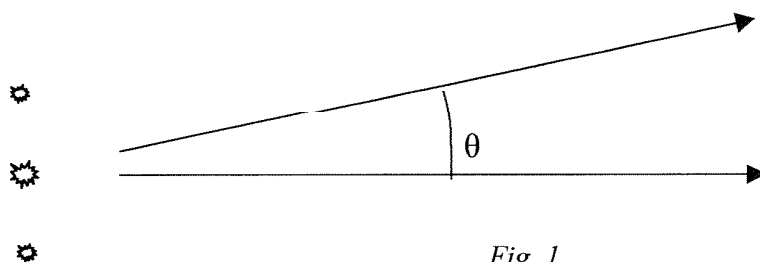


Fig. 1

Utstrålt effekt frå den midterste er fire gonger så stor som frå kvar av dei to ytterste, som har like stor effekt.

Utlei uttrykk for intensiteten observert i stor avstand i retning θ (i forhold til normalen til rekka), og drøft kva som skjer med mønstret når ein koplar ut den midtre kjelda.

Oppgave 2

Ein skal jamføre tilstandane for kvantemekaniske partiklar (med same masse m) i to ulike, eindimensjonale potensial, begge illustrert i Figur 2.

- Eit firkantpotensial med utstrekning a , der potensialet er $U = 0$ for $|x| < a/2$, og $U = U_0$ utanfor (markert på figuren som mørke felt). Still opp tidsuavhengig Schrödingerlikning, og finn tilstandane (bølgjefunksjonar og energiar E_n) for tilfellet $U_0 \rightarrow \infty$.

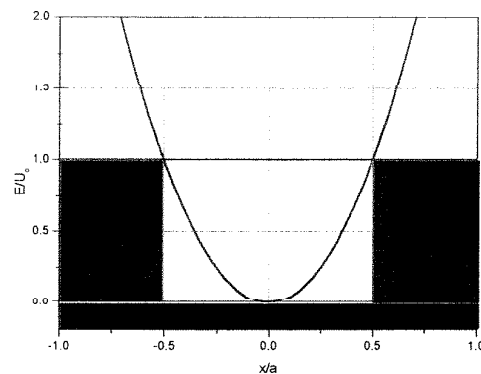


Fig.2 Firkant-potensial og parabol-potensial

Beskriv så kvalitativt (utan å rekne) tilstandane når potensialet ikkje lenger er uendeleg stort.

- b) Eit potensial som er ein parabel $\left(U = \frac{1}{2} K x^2 \right)$, kurven i Figur 2, og som er slik at $U = U_0$ når $|x| = a/2$ (dvs. $K = 8U_0/a^2$). Still også her opp Schrödingerlikninga, og påvis at ei løysing har bølgefunksjon av form

$$\psi = A e^{-\beta x^2}$$

med eigenverdier (energiar) av form $E_n = \hbar \sqrt{\frac{K}{m}} \left(n + \frac{1}{2} \right)$ med høveleg verdi av kvantetallet n .

- c) Vi har kome på (den feilaktige) ideen at desse partikkel-potensiala kanskje kan tjene som forenkla modellar av elektronet i eit hydrogen-atom. Kor mange kvantetilstandar med energi mindre enn ein frigjeringsenergi $U_0 = 13,6 \text{ eV}$ vil kvar av modellane ha, når potensial-dimensjonen er $a = 1 \text{ nm}$? Kommentér kort korleis det samsvarar med det ein observerer av tilstandar i hydrogen-atomet.

Oppgave 3. Svar på fire av fem delspørsmål.

- a) Gitt ei punktforma lydkjelde som sender ut lyd med konstant styrke. Ved å flytte deg radielt utover frå eit punkt "1" i avstand ℓ_1 frå kjelda til eit punkt "2" i avstand $\ell_2 = \ell_1 + 25 \text{ m}$, registrerer du at lydstyrkenivået endrar seg med 1,3 dB. Kor stor er ℓ_1 ?
- b) Forklar kort korleis vinkel-oppløysinga i eit optisk instrument er diffraksjonsavgrensa.

- c) Forklar kort fenomenet sveving (beat) og utlei eit uttrykk for utsvinget som funksjon av tid og stad for tilfellet sveving mellom to bølger med frekvensar f_1 og f_2 og vinkelbølgetall k_1 og k_2 .
- d) Kva forstår ein med Fermi-energien i eit system av frie elektron? Utlei uttrykket
- $$E_F = \frac{\hbar^2}{2m} (3n_e \pi^2)^{2/3}$$
- e) Kva forstår vi med Heisenbergs usikkerhetsprinsipp (Heisenberg uncertainty principle), og kva er fortolkinga av det?