

# Kvantemekanik – ugeseddel 2

---

I sidste uge gennemgik vi først §1.1, §1.2 og §1.4 til forelæsningsne, mens §1.3, §1.5 og §1.6 blev gennemgået via video. Desuden gik vi igennem §2.1, men husk at tænke over alle de fysiske pointer (de sidste spørgsmål i læringsstien "Sandsynligheder, forventningsværdier, og målinger" fra uge 1). Endeligt diskuterede vi den uendelige brønd i §2.2 samt eksamensopgave 1, spørgsmål (a)-(d) fra januar 2015. Et udvalg af gamle eksamensopgaver kan findes på Blackboard under "diverse noter" i menuen til venstre.

## Undervisning i uge 2 (3/9 - 7/9)

### Forelæsninger:

§2.3 om den harmoniske oscillator. Kig selv på §2.4 via video (klik på "Den fri partikel" under uge 2).

### Teoretiske øvelser:

Bemærk, at de teoretiske øvelser primært foregår som gruppearbejde – se separat note herom på sidste side af denne ugeseddel.

### Standardopgaver:

- G1.3, G1.4, G1.7, G1.8, G1.9, G1.15 (G1.16 i 2. udgave), G2.1.  
Her står G1.3 for Griffiths, kapitel 1, opgave 3. Opgavenumrene passer til 3. udgave, og hvis opgavenummeret er anderledes i 2. udgave, anføres dette.
- Diskutér spørgsmålene "Overvejelser om forventningsværdier og stationære tilstande" fra uge 1 (findes på Blackboard). Diskutér også målinger og statistik i bredere forstand – har I forstået pointerne?

Lette opgaver: L1, L2, L3, L4, se næste side.

**Afleveringsopgave 2:** S2005-4 (Betyder sommereksamen 2005, opgave 4).

## Forventet program i uge 3

### Forelæsninger:

§2.5 via video (klik på "Delta-funktionspotential" under uge 3). Til forelæsningsne gennemgås §2.6 om den endelige potentialbrønd.

### Teoretiske øvelser:

### Standardopgaver:

- Opgave 5 nedenfor, G1.16 (G1.17 i 2. udgave), G2.2, G2.4, G2.5, G2.8.
- Matlab-illustrationerne fra "Diskussion om wavepacket.m", se uge 2 på Blackboard.

Lette opgaver: L5, L6, L7, se næste side.

Composer-opgave: C1 ("C" for "Composer", findes under uge 3).

Mvh Brian Julsgaard.

## Opgave 5

Vis at linearkombinationen [2.15] er en løsning til [2.1], når  $\psi_n(x)$ 'erne er stationære løsninger med tilhørende energi  $E_n$ .

## Lette opgaver til uge 2:

### Opgave L1:

Normer hver af de tre følgende bølgefunktioner:

(i)  $\Psi(x, 0) = Ne^{-|x|/a}$ ,

(ii)  $\Psi(x, 0) = Ne^{-bx^2}$ ,

(iii)  $\Psi(x, 0) = N \cos(\pi x/a)$  for  $-\frac{a}{2} \leq x \leq \frac{a}{2}$  og  $\Psi(x, 0) = 0$  ellers.

### Opgave L2:

Bemærk, regn opgave L1 først!

(1) For alle tre bølgefunktioner ovenfor, bestem sandsynligheden for at en måling af partiklens position giver et resultat større end nul.

(2) For ovenstående bølgefunktion (i), bestem sandsynligheden for at en måling af partiklens position giver et resultat i intervallet  $0 \leq x \leq a$ .

(3) For ovenstående bølgefunktion (ii), bestem sandsynligheden for at en måling af partiklens position giver et resultat i intervallet  $0 \leq x \leq \Delta x$ , hvor  $\Delta x > 0$  kan antages at være infinitesimal.

(4) For ovenstående bølgefunktion (iii), bestem sandsynligheden for at en måling af partiklens position giver et resultat i intervallet  $-a \leq x \leq a$ .

### Opgave L3:

Er der en fysisk forskel på følgende tre bølgefunktioner? Hvis ja, hvilken? Hvis nej, hvorfor ikke?

(i)  $\Psi(x, 0) = 5e^{-ax^2}$ ,

(ii)  $\Psi(x, 0) = \frac{1+i}{\sqrt{3}}e^{-ax^2}$ ,

(iii)  $\Psi(x, 0) = e^{i\pi/7}e^{-ax^2}$ .

### Opgave L4:

Om en partikel, beskrevet ved bølgefunktion  $\Psi(x, 0)$  oplyses, at partiklens position er bestemt inden for en usikkerhed  $\sigma_x$  på 1 nanometer. Beregn en minimal værdi for usikkerheden  $\sigma_p$  af partiklens impuls.

## Lette opgaver til uge 3:

Vi betragter i det følgende det uendelige brøndpotential den tilhørende notation fra kapitel 2.2.

### Opgave L5:

Betragt startbølgefunktionen  $\Psi(x, 0) = N(\psi_1(x) + 3\psi_2(x))$ .

(1) Bestem  $N$ , så bølgefunktionen bliver normeret.

(2) Hvilke resultater kan fremkomme ved en måling af partiklens totale energi? Hvad er sandsynligheden for at opnå hvert af disse resultater?

(3) Beregn middelværdien og spredningen af den totale energi. Udtryk svaret i enheder af  $E_1 = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$ .

### Opgave L6:

Betragt startbølgefunktionen  $\Psi(x, 0) = N(\sin(\frac{3\pi x}{a}) + \sin(\frac{4\pi x}{a}))$ .

(1) Hvilke egenfunktioner  $\psi_n(x)$  består denne bølgefunktion af?

(2) Opskriv vha. disse  $\psi_n$ 'er et normeret udtryk for  $\Psi(x, 0)$ .

(3) Angiv  $\Psi(x, t)$  til alle senere tidspunkter  $t$ .

### Opgave L7:

Betragt den normerede startbølgefunktion  $\Psi(x, 0) = \frac{1}{\sqrt{a}}(\sin(\frac{\pi x}{a}) + i \sin(\frac{2\pi x}{a}))$ .

(1) Bestem middelværdien  $\langle x \rangle$  af partiklens position. Du kan måske "indse" hvad nogle af integralerne giver.

(2) Bestem middelværdien  $\langle p \rangle$  af partiklens impuls (svar:  $-\frac{8\hbar}{3a}$ ). Lidt regnetung delopgave, så slå evt. integraler op.

(3) Bestem middelværdien  $\langle H \rangle$  af partiklens totale energi. Her kan du måske let "indse" resultatet.

## Arbejdsform ved teoretiske øvelser

For at favne et bredt publikum af studerende, stilles der opgaver af varierende sværhedsgrad. **Standardopgaverne** dækker i sig selv bredt i pensum med varierende sværhedsgrad. De indeholder både eksamenstypiske regneopgaver og perspektiverende overvejelser. De **lette opgaver** er tænkt som en ekstra træning med direkte fokus på typiske lette delspørgsmål til den skriftelige eksamen. Nu og da stilles også **ekstraopgaver** for dem, der har mod på mere (ikke eksamenspensum).

**Ved starten af første øvelsesgang hver uge:** De studerende inddeler sig i tre grupper:

*De velforberedte:* "Jeg har regnet ca. 75 % af standardopgaverne eller mere".

*De mellemforberedte:* "Jeg har ikke problemer med de lette opgaver, og har forberedt mindst 25 % af standardopgaverne".

*De uforberedte:* "Jeg har problemer med de lette opgaver, eller har regnet mindre end 25 % af standardopgaverne".

Grænserne for denne opdeling er kun et forslag – instruktoren og de studerende justerer efter behov.

Over de to øvelsesgange arbejdes der herefter internt i de tre grupper. Inddel gerne yderligere i undergrupper for at opnå passende gruppestørrelser. Fokuser så på følgende program:

*Fokusspørgsmål for de velforberedte:*

- Hvilke opgaver mangler vi at regne?
- Fik vi de samme resultater for de opgaver, som vi allerede har regnet?
- Hvilke metoder anvendte vi? Hvem fandt den smarteste metode? Hvilken metode foretrak instruktoren?
- Herefter: Regn evt. manglende opgaver, og gennemgå for hinanden efter behov.
- Hjælp gerne de andre grupper. Kan du klare "de lette opgaver" uden forberedelse? Del gerne ud af smarte tricks, hvis de andre grupper ikke har opdaget evt. sådanne.

*Fokusspørgsmål for de mellemforberedte:*

- Hvilke opgaver er regnet, og af hvem?
- Hvilke forhindringer har vi for at kunne regne resten af opgaverne?
- Hvem kan hjælpe med disse forhindringer – kan det klares internt i gruppen eller af instruktoren?
- Aftal en arbejdsfordeling i de forskellige undergrupper, og forsøg at regne nogle flere opgaver.
- Gennemgå for hinanden.

*Fokusspørgsmål til de uforberedte:*

- Hvilke opgaver har vi regnet?
- Hvem gennemgår de lette opgaver? Hvilke standardopgaver skal vi forsøge at nå?
- Hvor meget regnetid skal vi afsætte inden vi begynder at gennemgå opgaverne?
- Hvilken hjælp mangler vi for at kunne komme igennem ovenstående program?

## Specielt for anden øvelsesgang:

Ved anden øvelsesgang fortsættes arbejdet i grupper som angivet ovenfor. Instruktoren sørger desuden for at afsætte tid til eventuelle diskussions-opgaver, som gennemgås i plenum på tværs af alle grupperne. Her kan evt. diskussioner/feedback om afleveringsopgaven også komme på tale. Den sidste del af øvelsesgangen gennemgås en eller max. to af opgaverne på tavlen i plenum, udvalgt på demokratisk vis blandt alle grupper.