

**Frågor att diskutera****Kapitel 4, The force between nucleons**

1. Ange egenskaperna för den starka kraften (växelverkan) mellan nukleoner.
2. Deuterium är en mycket speciell nuklid när det gäller bindningsenergi och exciterade tillstånd. På vad sätt?
3. Ange några sätt att bestämma dess bindningsenergi.
4. Hur kan man beräkna deutronens vågfunktion och vad blir resultatet?
5. Man vet att deutronens totala kärnspinn är  $I=1$ . Nukleonernas egenspinn  $s_n$  och  $s_p$  är  $\frac{1}{2}$  vardera, vilka kombinationer med banrörelsemängdsmomentet  $l$  är tänkbara?
6. Man vet också att pariteten är udda. Vilka kombinationer återstår?
7. Vilken kombination dominerar?

**Läsanvisningar****Nukleon-nukleon växelverkan**

Deutronen	4.1
* Nukleon-nukleon-spridning	4.2

**Kapitel 5, Nuclear models**

1. Vilka två viktiga grundkrav ställer man på en kärnmodell?
2. Det finns analogier mellan atomens skalmodell och kärnans, men också viktiga skillnader. Vilka?
3. Ange några exempel på observationer som stöder tanken på en skalstruktur i kärnan.
4. Hur uppstår den attraktiva potentialen i skalmodellen?
5. Vilken form bör den ha?
6. Förklara hur spinn-banväxelverkan åstadkommer den uppsplittring som slutligen ger de magiska talen.
7. Titta på figur 5.7. Vilka blir kärnornas grundtillstånd (spinn och paritet)? Förklara varför.

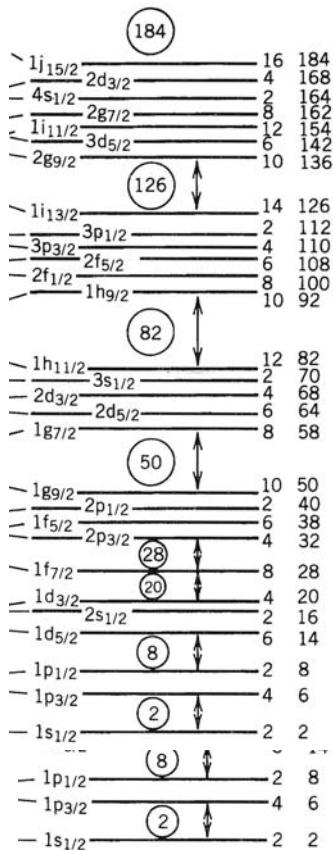
**Läsanvisningar****Kärnmodeller**

Skalmodellen	5.1
* Kollektiva modellen	5.2

I **Fördjupningskurs i kärnfysik**, FKF021/FYSC12 som ges (HT1) kan man läsa grundligare om bland annat kärnmodeller och reaktionsmekanismer. [http://www.nuclear.lu.se/utbildning/valfria\\_kurser/foerdjupningskurs\\_i\\_kaernfysik/](http://www.nuclear.lu.se/utbildning/valfria_kurser/foerdjupningskurs_i_kaernfysik/)

Kursen **Modern subatomär fysik, FKF070/FYST16/FYS246** som ges (VT2) har som mål att presentera och illustrera modeller och kärnreaktioner som idag används för att beskriva materiens fundamentala byggstenar. I kursen får man följa ett antal aktuella forskningsprojekt med anknytning till Lund, från deras tillblivelse, genom experiment och dataanalys, till den slutliga tolkningen och jämförelsen med teori.

[http://www.nuclear.lu.se/utbildning/valfria\\_kurser/modern\\_subatomaer\\_fysik/](http://www.nuclear.lu.se/utbildning/valfria_kurser/modern_subatomaer_fysik/)



### Problem II. 1

Kärnan  $^{59}\text{Co}$  ( $Z=27$ ) har i grundtillståndet kärnspinn och paritet  $7/2^-$ , och kärnan  $^{59}\text{Ni}$  ( $Z=28$ ) har kärnspinn och paritet  $3/2^-$ . Hur kan dessa fakta förklaras enligt skalmodellen?

### Problem II. 2

I en viss kärna är alla skalmodellnivåer upp till och med  $1d_{3/2}$  fyllda med protoner och alla nivåer upp till och med  $1f_{7/2}$  fyllda med neutroner. Vilken är kärnan och vilket kärnspinn och paritet ger den i sitt grundtillstånd?

## Svar till problem

- II.1 (Kärn)spinn och paritet för kärnan bestäms av den udda nukleonen. För  $^{59}\text{Co}$  ( $Z=27$ ) hamnar den udda protonen i nivån  $1f_{7/2}$ . För f gäller att  $\ell=3$ , pariteten ges av  $(-1)^\ell$ , alltså udda. För nickel gäller att den udda nukleonen är den 31:a neutronen som lägger sig på nivån  $2p_{3/2}$  med  $\ell=1$ , alltså också udda paritet.
- II.2 Nivåskemat ger  $Z=20$  och  $N=28$ , dvs  $^{48}\text{Ca}$ . Slutna skal ger kärnspinn =0 och därmed jämn paritet, alltså  $0^+$ .

## Kapitel 11, Nuclear reactions

1. Vilken formalism använder man för att beskriva en kärnreaktion?
2. Ge några exempel på olika sorters reaktioner.
3. Vad menas med tvärsnitt och differentiellt tvärsnitt? Vilka symboler?
4. Hur räknar man ut det makroskopiska tvärsnittet? Symbol?
5. Ange vilka konserveringslagar som man måste ta hänsyn till vid kärnreaktioner.
6. Visa hur man får fram två alternativa formuleringar av Q-värdet.

## Läsanvisningar

### Kärnreaktioner

Kinematik	11.1, 11.2
Tvärsnitt	11.4, 11.5
* Kärnspridning	11.7

**Kinematik, reaktioner, (Krane 7 - 11)****Problem II. 3**

Kärnan  $^{14}\text{O}$  sönderfaller under utsändning av en positiv elektron till en exciterad nivå i  $^{14}\text{N}$ , vilken i sin tur sönderfaller till grundtillståndet under emission av ett  $\gamma$ -kvantum med energin 2,312 MeV.  $\beta$ -spektrums maximumenergi är 1,813 MeV. Beräkna massan för  $^{14}\text{O}$ . Massan för  $^{14}\text{N}$  är 14,003074 u.

**Problem II. 4**

Beräkna Q-värdet för reaktionen  $d + ^{14}\text{N} \rightarrow ^{15}\text{N} + p$  då massorna i u ges av

Kärna	massa (u)
$M(^2\text{H})$	2,014102
$M(^{14}\text{N})$	14,003074
$M(^{15}\text{N})$	15,000108
$M(^1\text{H})$	1,007825

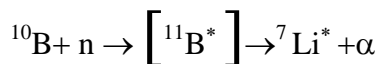
**Problem II. 5**

Beräkna positronens maximala energi i följande reaktion

$^{13}\text{N} \rightarrow ^{13}\text{C} + e^+ + \nu$ . Reaktionen  $^{13}\text{C} + p \rightarrow ^{13}\text{N} + n$  är endoterm med Q-värdet  $-3$  MeV.  $m_n = 1,0086654$  u,  $m(^1\text{H}) = 1,0078252$

**Problem II. 6**

Med termiska neutroner kan följande reaktion ske



Blandkärnan spaltas således upp i en  $\alpha$ -partikel och en Li-kärna. Li-kärnan blir exciterad med excitationenergin 0,48 MeV. Hur stor kinetisk energi får  $\alpha$ -partikeln?

kärna	Massa (u)
$m_n$	1,008665
$M ^4\text{He}$	4,002603
$M ^7\text{Li}$	7,016004
$M ^{10}\text{B}$	10,012939

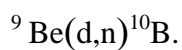
**Problem II. 7**

En av de reaktioner som är möjliga då bor beskjuts med 1,600 MeV's deutroner är  $^{11}\text{B}(d,\alpha)^9\text{Be}$ . De alfapartiklar som går ut i  $90^\circ$  relativt den inkommande deutronstrålen studeras. Därvid erhålles bland annat en grupp alfapartiklar med energin 5,216 MeV. I vilket energitillstånd lämnas  $^9\text{Be}$  kärnan av dessa alfapartiklar?

Kärna	massa (u)
$M(^2\text{H})$	2,014102
$M(^4\text{He})$	4,002603
$M(^9\text{Be})$	9,012186
$M(^{11}\text{B})$	11,009305

**Problem II. 8**

Deutroner med energin 0,92 MeV får träffa ett tunt berylliumfolie placerat i vakuum, varvid följande direkta reaktion inträffar:



- a) Beräkna reaktionens Q-värde.  
 b) Till vilken energi exciteras  $^{10}\text{B}$  kärnan om den utgående neutronens energi

Kärna	massa (u)
$m_n$	1,008665
$M(^2\text{H})$	2,014102
$M(^9\text{Be})$	9,012186
$M(^{10}\text{B})$	10,012939

**Problem II. 9 (\* gammal tentamensuppgift)**

Kärnan  $^{11}\text{Be}$  sönderfaller genom  $\beta^-$ -emission till  $^{11}\text{B}$ . Beräkna rekylkärnans maximala kinetiska energi då  $Q_{\beta^-} = 11,5$  MeV. (Obs – relativistiskt för beta-partikeln)

**Svar till problem**

II. 3	14.008600 u
II. 4	8.61 MeV
II. 5	1.20 MeV
II. 6	1.47 MeV
II. 7	$E^* = 1.73$ MeV
II. 8	$E^* = 5.10$ MeV
II. 9	$7 \cdot 10^{-3}$ MeV

## Kapitel 12, Neutron Physics

1. Med vilken reaktion påvisades neutronen?
2. Ange några basdata om neutronen.
3. Hur kan en neutral partikel som neutronen ha magnetiskt (och elektriskt) dipolmoment?
4. Hur ändrar man hastigheten på neutroner?
5. Ange några energiklasser för neutroner.
6. Beskriv några sätt att producera neutroner. Ange också ungefärlig energi(fördelning).
7. På MAX-lab i Lund produceras neutroner med hjälp av högenergetiska elektroner. Ta reda på hur!
8. För att beskriva neutroners nedbromsning genom kollisioner med ett material med masstalet  $A$  inför man en parameter  $\xi$ . Hur definieras den?
9. Kommentera tabell 12.1!

### Läsanvisningar

#### Neutronfysik och fission

Framställning av neutroner	12.1
* Absorption och moderering	12.2
Detektering av neutroner	12.3 (t o m Fig 12.5)
<b>Fission</b>	13
Fissionens mekanism och egenskaper	13.1, 13.2
Kontrollerad fission	
Fissionsreaktorer	13.6

## Kapitel 13, Nuclear fission

1. Vilken balansgång i kärnan är det som leder till att (just) tunga kärnor kan klyvas spontant?
2. Ungefär hur mycket energi frigörs vid fission?
3. Varför är spontan fission av t ex  $^{238}\text{U}$  mycket ovanligare än alfa-emission?
4. Beskriv processen i fissionsförloppet, begränsningar mm.
5. Hur kan man uppskatta en gräns ( $Z, A$ ) för när spontan fission bör uppträda?
6. Hur uppstår prompta respektive fördröjda neutroner?
7. I en kontrollerad fission (i en reaktor) krävs en kedjereaktion. Vad innebär det och vilket begrepp införs för att beskriva detta?
8. Vilka komponenter ingår i den sk fyrfaktorformeln?
9. Ange huvudkomponenterna i en reaktor och vilken funktion de har.
10. Studera figur 13.29 och 13.30 i perspektiv av olyckan i Fukushima där kylningen av bränslet blev undermåligt.

Mer om neutronfysik och reaktorteknologi kan man läsa i fortsättningskurserna

**Tillämpad subatomär fysik FKFN01/FYST18(VT1)**

[http://www.nuclear.lu.se/utbildning/valfria\\_kurser/tillaempad\\_subatomaer\\_fysik/](http://www.nuclear.lu.se/utbildning/valfria_kurser/tillaempad_subatomaer_fysik/)

respektive **Reaktorfysik FKFN10/FYST44 (VT2)**

[http://www.nuclear.lu.se/utbildning/valfria\\_kurser/reaktorfysik/](http://www.nuclear.lu.se/utbildning/valfria_kurser/reaktorfysik/)

**Problem II. 10**

Beräkna

1. antalet kollisioner som i medeltal behövs för att reducera neutronenergin från 2MeV till 0,025 eV,
2. bromsförmågan och
3. modereringsförhållandet i ämnena fluor (100%  $^{19}\text{F}$ ), magnesium ( $\sim 80\%$   $^{24}\text{Mg}$ ) och vismut (100%  $^{209}\text{Bi}$ ) vid  $0^\circ\text{C}$  och 1,013 bar.

Använd följande tvärsnittsvärde och antag att magnesium till 100% består av  $^{24}\text{Mg}$ .

Ämne	$\sigma_a$	$\sigma_s$
$^{19}\text{F}$	9 mb	5b
$^{24}\text{Mg}$	59 mb	6b
$^{209}\text{Bi}$	30 mb	9 b

**Problem II. 11**

Beräkna atomförhållandet  $^{236}\text{U}/^{235}\text{U}$  för ett prov som från början består av rent  $^{235}\text{U}$  och som sedan bestrålas under 10 dagar i ett neutronflöde av  $1,00 \cdot 10^{14}$  termiska neutroner  $\text{cm}^{-2} \text{sek}^{-1}$ . Det förutsätts att inget  $^{236}\text{U}$  försvinner genom neutronabsorption. Tvärsnittet för fission av  $^{235}\text{U}$  är  $576 \cdot 10^{-24} \text{cm}^2$  och för neutroninfångning  $104 \cdot 10^{-24} \text{cm}^2$ . De båda uranisotopernas halveringstider är långa.

**Problem II. 12**

Vid fission av  $^{235}\text{U}$  med termiska neutroner är det mest sannolika massförhållandet på fissionsfragmenten 1,45 och fragmentens sammanlagda kinetiska energi 168 MeV. Beräkna hastigheten för de två primära fragmenten före neutronemission.

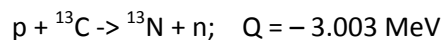
**Problem II. 13**

En cyklotron används för att accelerera protoner.

- a) Skissa hur en cyklotron ser ut, förklara hur den fungerar och visa att den kinetiska energin ges av:

$$T = (z \cdot e \cdot B)^2 \cdot R^2 / (2m)$$

- b) Antag att radien på cyklotronen är 30 cm. Vilket är det minsta värde på B-fältet som gör det möjligt att producera neutroner med hjälp av reaktionen:



- c) (Hur kan man inse att enheten för B-fältet  $[T] = [\text{Vs}/\text{m}^2]$  ?)

## Kapitel 14, Nuclear fusion

1. Varför alstrar fusion av lätta kärnor energi?
2. Vilken är den fundamentala tröskeln som försvårar fusion?
3. Vilka reaktioner skulle vara mest gynnsamma och lättast att åstadkomma för att få kontrollerad fusion i en termonukleär reaktor?
4. Vilken process i solen är huvudansvarig för dess energiproduktion?
5. Vilket är "nålsögat" i denna process?
6. För tyngre och hetare stjärnor är en annan process betydelsefull, vilken?

### Läsanvisningar

#### Fusion

Fusion	14.1-14.3
* Fusionsreaktorer	14.4
Astrofysikaliska tillämpningar	19.5

## Svar till problem

II. 10

	<b>A</b>	$\zeta$	$n_t$	$\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> )	<b>S</b> (cm <sup>-1</sup> )	<b>M</b>
	Tefyma			Tefyma		
F	19.0	0.102	180	0.00170	$2.7 \cdot 10^{-5}$	57
Mg	24.3	0.080	230	1.74	0.021	8.1
Bi	209.0	0.0095	1900	9.80	0.0024	2.8

II. 11      0.0092

II. 12       $0.97 \cdot 10^7$  m/s och  $1.41 \cdot 10^7$  m/s

II. 13      Tröskelenergin som krävs är 3.234 MeV. Magnetfältet som krävs i cyklotronen är 0.86 T.