

Frågor att diskutera och fundera över

Kapitel 1, Basic concepts

1. I atomfysik finns en heltäckande teori som kan sammanfatta alla fenomen – kvantelektrodynamik, men vilken är den motsvarande fundamentala teorin för kärnfysik?
2. En (atom)kärna består av protoner och neutroner. Vilka beteckningar har man för protontal, neutrontal och masstal?
3. Vad menas med nukleon, isotop, isoton respektive isobar?
4. Vilka måttenheter för längd respektive energi är relevanta inom kärnfysik?
5. Hur konverterar man den atomära massenheten u till energi (i MeV)?

Kapitel 3, Nuclear properties

6. Om man vill fullständigt beskriva alla interaktioner mellan nukleonerna i en $A=50$ kärna skulle det behövas $50!$ termer vilket givetvis inte går att göra. För att förenkla antar man ett antal statiska och dynamiska parametrar hos kärnan som är lätta att beskriva, t ex elektrisk laddning. Vilka ytterligare statiska parametrar kan man ange?
7. Varken en atom eller en atomkärna har en exakt definierad storlek. Vad beror det på?
8. Vilka två (tre) parametrar beskriver man en kärnas storlek med?
9. Varför kan två olika mätmetoder på samma kärna ge olika svar på dess storlek?
10. Förklara hur man kan mäta en kärnas storlek med elektronspridning. Vad visar figur 3.1 och jämför med figur 3.2.
11. Följ härledningen (3.1) och framåt som visar hur man kvantitativt kan få fram kärnors laddningsfördelning, figur 3.4. Förklara hur formel (3.3) beskriver potentiella energin dV .
12. Kommentera de slutsatser man kan dra av resultaten i figur 3.4. Lägg också märke till att "skinn-parametern" t är tämligen oberoende av kärnans storlek.
13. (*) Om man även använder metoderna isotopskift och spegelkärnor för att bestämma kärnans storlek, vilket uttryck kommer man fram till och parametervärdet? (*)
14. Beskriv kortfattat hur man kan mäta en kärnas massfördelning (både elektriskt laddade protoner och neutrala neutroner) med alfapartikelspridning. Vad får man för resultat, jämför med mätning av elektriska laddningsfördelningen ovan. Kommentarer?
15. Läs inledningen till avsnitt 3.2 som jämför bindningsenergin hos en elektron i väteatomen, deuterons bindningsenergi och slutligen tre kvarkars bindning för att forma en nukleon. Kommentera!
16. En masspektrometer kan mäta med en precision av $1:10^6$. Hur fungerar den?
17. Hur uppnår man den höga precisionen?
18. Hur kan man bestämma en massa med hjälp av en kärnreaktion?
19. Begreppet bindningsenergi är centralt i kärnfysiken, begrunda de två alternativa formuleringarna (3.24) och (3.25).
20. Hur får man fram massdefekt, neutronseparationsenergi S_n respektive protonseparationsenergin S_p ?
21. Studera kurvan i figur 3.16. Vad kan man utläsa ur den?

22. Den semi-empiriska massformeln försöker modellera figur 3.16. Med vilka komponenter byggs den upp?
23. För A =konstant uppstår två massparabler, figur 3.18. Vad visar de, vilka typer av sönderfall är möjliga enligt figurerna?
24. Hur sammansätts kärnspinn I ?
25. Vad menas med en kärnas paritet π ?

Läsanvisningar (* kursivt)

Introduktion, grundläggande koncept

Stabila och instabila nuklider	1
Kärnans storlek	3.1 (s: 44-49 mitt på sidan, s: 57-59)
Kärnans massa	3.2
Semi-empiriska massformeln	3.3
Rörelsemängdsmoment och spinn	3.4
Paritet	3.4
* Elektriska och magnetiska moment	3.5
* Exciterade tillstånd	3.6
* Relativitetsteori	Appendix A

Grundläggande koncept, kärnans storlek och egenskaper (Krane 1 och 3)**Problem I.1**

Beräkna kärnradien hos $^{16}\text{O}_8$, $^{120}\text{Sn}_{70}$ och $^{208}\text{Pb}_{126}$. Använd $r_0 = 1,2$ fm.

Problem I.2

Hur stor energimängd i MeV fordras för att ta bort en neutron eller proton från ^{42}Ca ?

Atommassorna är:

$$M(^{42}\text{Ca}) = 41,958625 \text{ u} \quad m_n = 1,008665 \text{ u}$$

$$M(^{41}\text{Ca}) = 40,962275 \text{ u} \quad m_p = 1,007277 \text{ u}$$

$$M(^{41}\text{K}) = 40,961832 \text{ u} \quad M(^1\text{H}) = 1,007825 \text{ u}$$

(Ledning: skilj på atommassor och kärnmassor)

Problem I.3

Visa att fotonens rörelsemängd är E/c . (Relativistiskt)

Problem I.4

Hur stor hastighet har en β -partikel som har den kinetiska energin 1 MeV? (Relativistiskt)

Problem I.5

Vid vilken hastighet har en accelererad proton en total energi $= 2m_p c^2$? Hur stor är då protonens kinetiska energi uttryckt i MeV? (Relativistiskt)

m_p = protonens vilomassa

Problem I.6

Beräkna bindningsenergin hos den sista neutronen i ^{208}Pb med hjälp av semiempiriska massformeln

Problem I.7

Beräkna med hjälp av semiempiriska massformeln den totala bindningsenergin och Coulombenergin för (a) ^{21}Ne , (b) ^{57}Fe , (c) ^{209}Bi och (d) ^{256}Fm .

Problem I.8

Givet massdefekterna, beräkna atommassorna för (a) ^{24}Na : -8.418 MeV, (b) ^{144}Sm : -81.964 MeV, (c) ^{240}Pu : +50.123 MeV.

Svar till övningsproblem

I.1 3.0 fm, 5.9 fm, 7.1 fm

I.2 11.470 MeV, 10.275 MeV

I.4 $0.94 \cdot c = 2.8 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ I.5 $v = 2.60 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $T = 938 \text{ MeV}$

I.6 6.8 MeV

I.7

Nuklid	Z	A	N	B-energi	E_{Coulomb}
Ne	10	21	11	173.04	23.5
Fe	26	57	31	503.0	122
Bi	83	209	126	1619	826
Fm	100	256	156	1887	1123

I.8 $M[^{24}\text{Ne}] = 23.99096 \text{ u}$
 $M[^{144}\text{Sm}] = 143.912 \text{ u}$
 $M[^{240}\text{Pu}] = 240.0538 \text{ u}$

Frågor att diskutera

Kapitel 6, Radioactive decay

1. Vilka är förutsättningarna som leder fram till den exponentiella sönderfallslagen?
2. Hur får man fram medellivslängd från halveringstid?
3. Vilken är relationen mellan aktivitet och antalet kärnor? Vilket (tids)ivillkor måste då vara uppfyllt?
4. Vad menas med partiell sönderfallskonstant?
5. Ställ upp och härled ekvation (6.23).
6. Hur länge (uttryckt i halveringstider) är det lönt att göra en aktivering? Motivera!
7. Från de generella uttrycken för seriesönderfall (6.31,6.32) kan man reducera ut specialfallen sekulär jämvikt och transient jämvikt. Vad gäller då?
8. Vilka typer av sönderfall kan förekomma?
9. I naturen kan fyra sönderfallskedjor förekomma (vilka?) men endast tre finns kvar idag. Motivera varför?
10. Vad är absorberad dos, och vilken enhet mäts det med?
11. Hur tar man hänsyn till att olika strålslag (och även energi) har olika effekter rent biologiskt?'
12. Läs på strålsäkerhetsmyndighetens hemsida om regler och föreskrifter för hantering av strålning: <http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Yrkesverksam/Forskning/>
13. Vilka strålnivåer får ni som studenter utsättas för? Läs strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om grundläggande bestämmelser för skydd av arbetstagare och allmänhet vid verksamhet med joniserande strålning: <http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Forfattning/SSMFS/2008/SSMFS2008-51.pdf>

Läsanvisningar

Labintroduktion

Naturlig radioaktivitet (läs igenom)	6.6	
Enheter (kunna)	6.8,	Introduktion till strålskyddsläran
Joniserande strålningens verkan på levande materia		Introduktion till strålskyddsläran
Medicinska effekter av strålning		Introduktion till strålskyddsläran
Det radioaktiva sönderfallet	6	
Radioaktivitetens tidsberoende	6.1, 6.3	
Seriesönderfall, sönderfallstyper	6.4 - 6.5	
De naturliga radioaktiva ämnena	6.6	

Kapitel 7, Detecting nuclear radiation

1. De flesta detektorer för radioaktiv strålning fungerar enligt samma enkla schematiska principer. Beskriv dessa!
2. Med vilka mekanismer förlorar tunga laddade partiklar (protoner, alfapartiklar..) sin energi när de passerar in i ett material, t ex en detektor?
3. Hur ser partikelns bana ut?
4. Vilka är de väsentliga parametrarna i uttrycket för stopping power (nedbromsningsförmåga)?
5. Hur kan man bestämma en partikels räckvidd (range) i material utgående från stopping power?
6. För exaktare kalkyler kan man använda simuleringsprogrammet SRIM som gratis kan laddas ned från <http://www.srim.org/>. Prova gärna demo-simuleringarna!
7. Elektroner förlorar precis som tunga joner sin energi genom coulombväxelverkan med andra elektroner, men det finns ytterligare en effekt som bidrar i växande grad för energier över 1 MeV. Beskriv hur!
8. (Ingår ej – men för den vetgirige) En känd accelerator i Lund (nationell facilitet) utnyttjar denna princip. Ta reda på hur den fungerar!
9. Beskriv hur den fotoelektriska effekten uppstår samt hur den varierar med energi och absorbatormaterialets Z .
10. Studera figur 7.5 och förklara hur hacken i kurvan uppstår.
11. Förklara hur Comptoneffekt uppstår. Skissa ansatsen för att kunna härleda uttrycket för Comptonspridning, (7.15).
12. Beskriv hur parproduktion sker.
13. Alla tre processerna samverkar och beror på γ -energi och Z , se figur 7.8 och 7.10. Läggs speciellt märke till hur andelen fotoelektrisk effekt kraftigt minskar med sjunkande Z . I laborationen Gammasppektroskopi kommer ni att stöta på plast-scintillatorer (låg- Z) där fotoelektriska effekten är helt försumbar!
14. Den transmitterade intensiteten avtar på olika sätt för tunga joner, elektroner respektive fotoner. Se sammanfattningen i figur 7.11 och läs kommentaren överst på sidan 204!
15. Beskriv hur en gasfylld detektor fungerar, ta hänsyn till pålagd spänning. Hur beror utgångspulsernas storlek på deponerad strålningsenergi och pålagd spänning?
16. Beskriv med vilka fyra processer som pulser skapas i en scintillationsdetektor då strålning faller in mot den.
17. Hur sker förstärkningen i fotomultiplikatordelen av detektorn?
18. Beskriv hur en pn-övergång fungerar, vad händer då man lägger på en backspänning?
19. Vilken typ av "informationsbärare" bildas i en halvledardetektor då strålningskvanta har växelverkat i materialet?
20. Ungefär hur mycket energi krävs? Jämför med situationen i en gasdetektor eller scintillationsdetektor. Hur påverkar detta det slutliga spektrats utseende? Se även figur 7.26. Figur 7.24 sammanfattar en mängd av de händelsesekvenser som kan uppstå då gammastrålning uppfångas i en detektor. Förklara vad som sker och hur detta ger upphov till ett spektrum som i figur 7.25!

Läsanvisningar (* kursivt)

Kärnfysikaliska mätmetoder	
Strålnings vxl med materia	7
Tunga, laddade partiklars energiförlust	7.1
Elektroners energiförlust	7.1
Absorption av gammastrålning	7.1 (ej härledning s.200)
* Acceleratorer	15
* Elektrostatiska acceleratorer	15.1
* Cyklotronen	15.2
Detektorer	
Gasfyllda detektorer	7.2
Scintillationsdetektorn	7.3
Halvledardetektorn	7.4 + 7.6 (t.o.m. översta stycket s. 224)

Kursen Experimentella verktyg i fysik, FYSN15/FKFN05 (HT2) syftar till att ge fördjupade kunskaper om kärnfysikalisk mätteknik och att ge en överblick över de metoder och möjligheter som erbjuds experimentalisten.

http://www.nuclear.lu.se/utbildning/valfria_kurser/experimentella_verktyg_i_fysik/

Kapitel 8, Alpha decay

1. Hur kommer det sig att tyngre kärnor föredrar att sända ut en ${}^4\text{He}$ -kärna jämfört med andra kärnor, t ex ${}^8\text{Be}$ eller ${}^{12}\text{C}$?
2. För att en kärna ska kunna räknas som en alfa-emitterare ställs också förväntningar på sönderfallskonstanten. Vilken?
3. Ställ upp/ härled ett uttryck för den kinetiska energin en alfa-partikel får vid ett sönderfall!
4. Definiera Q-värdet på två olika sätt!
5. Hur kan man se att beräkningarna kan göras klassiskt och inte relativistiskt?
6. Vad beskriver Geiger-Nutalls lag?
7. Vilken ansats gör man för att beskriva mekanismen vid sönderfallet?
8. Beskriv den förenklade modellen för barriärpenetration.
9. Hur bra lyckas teorin förutsäga alfa-halveringstiderna ?
10. Vad har man bortsett från i modellen?

Läsanvisningar

Alfasönderfallet	8.1 - 8.4 fram till tab. 8.2 med kommentarer,
*	(formler 8.12-8.18 kursivt)

Kapitel 9, Beta decay

1. Vilka är de tre typer av beta-sönderfall som kan förekomma?
2. Vilka egenskaper har neutrinet i β -sönderfallet?
3. Vilket är sambandet mellan β -partikelns kinetiska energi och dess totala energi?
Motsvarande fråga för neutrinet.
4. Härled sambandet för Q-värdet vid β^- -sönderfall!
5. Härled sambandet för Q-värdet vid β^+ -sönderfall respektive elektroninfångning!
6. Vilka uppskattningar finns om neutrinets massa, och nämn några konsekvenser av att neutrinet inte skulle vara masslös.

Läsanvisningar

Betasönderfallet	9.1
Neutrinets massa	sid 286-288

Kapitel 10, Gamma decay

1. Vilka är fördelarna med att mäta gammastrålning (jämfört med α och β) om man vill studera kärnors struktur?
2. Vilken typ av omvandling i en kärna leder till gammastrålning och vad får den för energi?
3. Beskriv processen för inre konversion och vilken energi som frigörs! Jämför med lab KF3, β -spektroskopi och användningen av inre-konversionselektroner för tjockleksbestämning!

Läsanvisningar

Gammasönderfallet	10.1,
Rörelsemängdsmoment och urvalsregler	10.4 - mitt på sid 334,
Inre konversion	10.6 - sid 342

Radioaktivitet (Krane 6-10)**Problem I.9**

Naturligt samarium (Sm) har visat sig emittera 135 alfapartiklar per gram och sekund. Isotopen ^{147}Sm (15 viktprocents isotopförekomst) är ansvarig för aktiviteten. Beräkna halveringstiden för ^{147}Sm uttryckt i år.

Problem I.10

Beräkna den energi uttryckt i joule som totalt frigjorts, när 1 curie ^{24}Na helt och hållet sönderfallit. Vid varje sönderfall frigöres 5,53 MeV.

1 curie = $3,7 \cdot 10^{10}$ sönderfall/s. $t_{1/2} = 15$ tim.

Problem I.11

1,80 MeV gammastrålning från ^{214}Bi undergår Comptonspridning. Hur stor är energien för den spridda strålningen om spridningsvinkeln är 90° respektive 180° ?

Se formelsamling eller ekvation 7.15 i Krane.

Problem I.12

En 12 MeV:s proton bromsas 50 keV i ett visst magnesiumfolium. Uppskatta hur mycket en 24 MeV alfa-partikel bromsas i ett kolfolium med samma tjocklek.

Medelexcitationspotentialen I kan skrivas $I = I_0 Z$, där $I_0 = 11,5$ eV. Se ekvation 7.3 i Krane eller formelsamling.

Problem I.13

1 g jod, som består enbart av isotopen ^{127}I bestrålas i en reaktor under ett dygn i ett flöde av $1,0 \cdot 10^{13}$ neutroner/cm²/sek. Tvärsnittet för reaktion $^{127}\text{I}(n,\gamma)^{128}\text{I}$ är $7 \cdot 10^{-24}$ cm².

Vad är aktiviteten i provet 10 minuter efter det att det tagits ut ur reaktorn?

Halveringstiden för ^{128}I är 25 minuter. (Ledning: se laboration KF1)

Problem I.14

En stråle av radioaktiva kärnor genomlöper ett evakuerat rör som är 1,0 m långt.

Hastigheten är 10^5 m/s. Den radioaktiva intensiteten i strålen minskar till 1/32 vid

passagen genom röret. Bestäm halveringstiden för kärnan. (Ledning: lätt – huvudräkning)

Problem I.15

^{234}U sönderfaller från sitt grundtillstånd genom α -emission. Beräkna

1. kinetiska energin hos den energirikaste α -partikeln.

2. maximum på den potentialbarriär som α -partikeln måste passera ($R=1,2 A^{1/3}$ fm).

3. avståndet från kärnans centrum då α -partikeln passerat barriären

$$M(^{234}\text{U}) \quad 234,040904 \text{ u}$$

$$M(^{230}\text{Th}) \quad 230,033087 \text{ u}$$

$$M(^4\text{He}) \quad 4,002603 \text{ u}$$

(Ledning: 1) rörelsemängdens bevarande, 2) coulombrepulsion vid kontakt).

Svar till övningsproblem

- I.9 $1.0 \cdot 10^{11}$ år
- I.10 2550 J
- I.11 90 grader: 0.40 MeV,
180 grader: 0.22 MeV
- I.12 510 keV
- I.13 $0.25 \cdot 10^{12}$ Bq
- I.14 2 μ s
- I.15 a) 4.773 MeV
b) ca 28 MeV
c) 53 fm

Repetitionsuppgifter

Problem R1

Avgör med hjälp av den semiempiriska massformeln huruvida ^{55}Fe är stabil mot β -sönderfall. Om nukliden är instabil så ange vilka partiklar som emitteras vid sönderfall enligt massformeln. Parametrar till massformeln fås ur 3.29 eller formelsamling.

Problem R2

Ett plutoniumprov består av en okänd mängd av ^{239}Pu och ^{240}Pu . Provets specifika aktivitet uppmättes till $1,72 \cdot 10^8$ sönderfall per minut och milligram. Halveringstiderna för ^{239}Pu och ^{240}Pu är respektive $2,436 \cdot 10^4$ år och $6,58 \cdot 10^3$ år. Vilken procentuell viktssammansättning har provet?

Problem R3

Den naturligt förekommande toriumisotopen ^{232}Th ger upphov till en sönderfallskedja enligt

$^{232}\text{Th} \rightarrow$	$^{228}\text{Ra} \rightarrow$	$^{228}\text{Ac} \rightarrow$	$^{228}\text{Th} \rightarrow$	$^{224}\text{Ra} \rightarrow$	^{220}Rn
$k = 1$	2	3	4	5	6
$t_k = 1,4 \cdot 10^{10}$ år	6.7 år	6.1 tim	1.9 år	3.6 dag	52 s

o.s.v. Antag att 1 g ^{232}Th får stå till radioaktiv jämvikt inträder (> 25 år). Hur många ^{224}Ra -atomer finns det då i provet?

Problem R4

Ett ursprungligen rent prov av ^{227}Th ($t_{1/2} = 18,2$ d) sönderfaller till ^{223}Ra genom alfaemission. ^{223}Ra är också alfa-strålande med halveringstiden 11,7 d. Hur stort kommer förhållandet mellan aktiviteterna $^{227}\text{Th} / ^{223}\text{Ra}$, att vara efter flera månader?

Problem R5

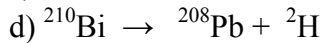
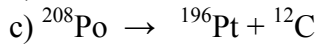
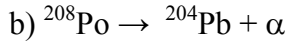
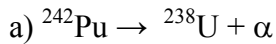
^{214}Po utsänder alfapartiklar med energin 7,69 MeV. Dessa får infalla mot ett strålmål. Vilken är den största laddning (Z) strålmålet kan ha ifall dess kärnpotential skall påverka alfapartiklarnas spridning. Alfapartikelns radie är 2,1 fm.

Problem R6

Härled formeln för Comptonspridning. Relativistisk behandling krävs.

Problem R7

Från kända atommassor (t ex Appendix C, Krane eller IAEA:s databas <http://www-nds.iaea.org/relnsd/vchart/>), beräkna Q-värdena för följande sönderfall:

**Problem R8**

Använd semiempiriska massformeln för att beräkna α -sönderfallsenergin för ^{242}Cf och jämför med uppmätta värden (se Krane, figur 8.1).

Problem R9

^{196}Au kan sönderfalla med β^- , β^+ och EC. Beräkna Q-värdena för de tre fallen med hjälp av kända atommassor.

Problem R10

Sönderfallskedjan $^{139}\text{Cs} \rightarrow ^{139}\text{Ba} \rightarrow ^{139}\text{La}$ observeras utgående från ett ursprungligen rent prov av 1 mCi ^{139}Cs . Halveringstiderna för ^{139}Cs är 9,5 min, ^{139}Ba 82,9 min medan ^{139}La är stabil. Vilken blir den maximala aktiviteten hos ^{139}Ba och när inträffar den? (1 Ci är $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq)

Problem R11

Pulshöjdspektrat från ett radioaktivt preparat som emitterar enbart monoenergetisk gammastrålning med ganska hög energi uppvisar tre skarpa, distinkta toppar i kanalnummer 7389, 6490 och 5600.

- Förklara vilka processer som har gett upphov till de tre topparna!
- Vilken energi har gammastrålningen?

Svar till repetitionsuppgifter.

R1:

Enligt massformeln är ^{55}Fe tyngre än ^{55}Mn med mer än $2m_e c^2 = 1.02 \text{ MeV}$ varför ^{55}Fe borde vara instabil mot både K-infångning och β^+ -sönderfall. (Troligtvis förutsäger massformeln en för stor massdifferens eftersom Tefyma ej säger något om β^+ -sönderfall*). Vid β^+ -sönderfall emitteras en neutrino förutom positronen och vid K-ingångning emitteras en neutrino. (Efter K-infångningsprocessen deexciteras dotteratomen genom att emittera röntgen-kvanta och/eller Augerelektroner).

* Experimentellt är massdifferensen 0,23 MeV.

R2: 90 viktsprocent ^{239}Pu .**R3:** $1.8 \cdot 10^9$ ^{224}Ra -atomer**R4:** Förhållandet blir 0.3**R5:** Villkoret är uppfyllt för $Z \leq 15$ **R7:**a) $Q = 4.9846 \text{ MeV}$ b) $Q = 5.2153 \text{ MeV}$ c) $Q = 15.1779 \text{ MeV}$ d) $Q = -6.1790 \text{ MeV}$ Kan alltså inte ske utan energitillförsel!**R8:** Semiempiriska formeln ger 11.3 MeV. Figur 8.1 ger 7.3 MeV och databasen i **R7** ger 7.5 MeV. Tolkning?**R9:** $Q_{\beta^-} = 0.687 \text{ MeV}$ $Q_{\beta^+} = 0.4854 \text{ MeV}$ $Q_{\text{EC}} = 1.4267 \text{ MeV}$ **R10:** $t = 2012\text{s}$, maximal aktivitet blir **3.2 MBq****R11:** a) Fototopp, single escape och double escape
b) Energin för gammakvantat är **4.2202 MeV**.