

LÄSHANDLEDNING

# SUBATOMÄR FYSIK

F3, 2004

Kursbok:  
**Introductory Nuclear Physics,**  
K. S. Krane, J. Wiley & Sons, New York

Nedan sammanfattas de delar av Kranes bok som ingår i kursen. Varje enskilt avsnitt är markerat med ett antal ”#” enligt följande:

- [ # ] Genomläsning. Dessa avsnitt behövs för sammanhanget.
- [ ## ] Noggrann genomläsning.
- [ ### ] Mycket viktiga avsnitt. Bör kunnas i detalj.

## **Kapitel 1. BASIC CONCEPTS**

Detta kapitel sammanfattar ett antal viktiga grundbegrepp.  
Genomläsning pp. 1-8 [ # ].

## **Kapitel 2. ELEMENTS OF QUANTUM MECHANICS**

Detta kapitel ger en kort sammanfattning av några för kursen viktiga delar av kvantfysiken. Det är säkert nyttigt om ni tittar igenom detta kapitel innan ni startar inläringen. I övrigt används detta kapitel huvudsakligen som en ”uppslagsbok” vid behov.

## **Kapitel 3. NUCLEAR PROPERTIES**

### **3.1 { Sid. 44 -49 [###], 57 – 59 [#] }**

I detta avsnitt diskuteras atomkärnans radie, kärnans laddningsfördelning och begreppet formfaktor. Formlerna (3.7) och (3.8) är viktiga. Studera också Fig. 3.4 där den radiella laddningsfördelningen är avbildad.

### **3.2 { Sid. 59 – 61 [#] }**

Kärnmassor och mängden av olika isotoper är mycket viktiga data för vår förståelse av materien. Kopplingar finns till de flesta delarna av den fundamentala fysiken.

### **3.3 { Sid. 65 – 70 [###] }**

Detta är ett mycket viktigt avsnitt! Begreppet bindningsenergi diskuteras för atomkärnor. En kärnas massa utgör summan av massorna hos de ingående nukleonerna minus kärnans totala bindningsenergi. En mycket enkel massformel, där kärnan beskrivs som en liten droppe av kärnmateria presenteras. Figur 3.16 är central både för att förstå fission och fusion.

### 3.4 { Sid. 70 – 71 [##] }, 3.5 { Sid. 71 – 75 [##] }

Genomläses *noggrant*. Kärnans spinn ( $I$ ) och paritet ( $\pi$ ) är mycket viktiga begrepp. Kärnans laddning och laddningsrörelser ger upphov till både magnetiska och elektriska magnetiska multipolmoment. Lägga speciellt märke till att neutronen har en  $g$ -faktor som är skild från noll. Det är kvarakarna som ”visar” sig.

### 3.6 { Sid. 75 – 76 [#] }

Kort introduktion till inlämningsuppgiften.

## Kapitel 4. THE FORCE BETWEEN NUCLEONS

### 4.1 { Sid. 80 – 85 [###] }

Kärnan i den tunga väteisotopen, deuterium, är sammansatt av en proton och en neutron. Ibland kallar man deuteronen för kärnfysikens väteatom eftersom den är relativt enkel att beskriva kvantmekaniskt. Detta är ett viktigt avsnitt där speciellt figurerna 4.1 och 4.2 bör studeras. Man skall kunna deuteronens bindningsenergi, den kvantmekaniska behandlingen av deuteronproblemet ekv. (4.1 - 4.5), samt vad deuteronens spinn, paritet och multipolmoment kan lära oss.

### 4.4 { Sid. 100 – 108 [#] }

### 4.5 { Sid. 108 – 112 [##] }

Avsnitt att tänka över. Utbyteskrafter är viktiga att förstå. Ett första begrepp om räckvidder hos växelverkan kan man få från ekv. 4.53. Ekvation 4.54 ger formen för den så kallade  $en$ -meson utbytespotentialen.

## Kapitel 5. NUCLEAR MODELS

Atomkärnan utgör ett mycket komplicerat kvantsystem och det finns inte någon teori som på ett enhetligt sätt kan beskriva alla de egenskaper som olika kärnor uppvisar. Olika experimentella data har genom åren sammanställts och vissa speciella särdrag har observerats. Skalmodellen och den kollektiva modellen ger exempel på hur man med hjälp av dem kan beskriva experimentella observationer, samtidigt som man i viss utsträckning kan förutsäga resultatet av nya mätningar.

### 5.1 { Sid. 117 – 120 [#], 121 – 125 [###], 125 – 134 [#] }

Atomkärnan uppvisar på samma sätt som atomen en skalstruktur. För nukleontalen 2, 8, 20, 28, 50, 82 och 126 (kallade magiska) är kärnan extra stabil. Figurerna 5.1 och 5.2 ger ett par exempel och vid föreläsningarna visas några andra. Skalstrukturen hos atomkärnan kan i en första approximation beskrivas med en harmonisk oscillator potential, där de ingående partiklarna själva bildar potentialen (jfr. atomen med en central kärna och ett utsträckt elektronmoln). För en full härledning av alla de magiska talen måste man införa en spinnbankopplingsväxelverkan.. Sidorna 122 - 125 med figurer ger huvuddragen i modellen. Skalmodellen i den enkla version vi behandlar ger god överensstämmelse med data för kärnor i närheten av de magiska talen. Speciellt stabila kärnor är sådana där både proton- och

neutrontalet är magiska. Modern forskning har utvecklat metoder att framställa de dubbelmagiska kärnorna  $^{100}\text{Sn}$  och  $^{132}\text{Sn}$  – båda kortlivade och mycket exotiska. Läggs slutligen märke till det vackra exemplet i fig. 5.13 där man i elektronspridningsexperiment kunnat renodla en 3s vågfunktion!

## 5.2. { Sid. 134 – 139 [##], 139 – 149 [###] }

Här börjar vi med att studera exciterade tillstånd hos  $^{130}\text{Sn}$  – en atomkärna som endast är två neutroner från den dubbelmagiska  $^{132}\text{Sn}$ . Kollektiva effekter börjar redan här visa sig. Tänk igenom varför två nukleoner i  $h_{1/2}$  skalet ger spinnen  $0^+$ ,  $2^+$ ,  $4^+$ ,  $6^+$ ,  $8^+$  och  $10^+$ .

Liksom hos molekyler kan man hos atomkärnor finna både rotations och vibrationstillstånd. Figureerna 5.17 till 5.22 med text beskriver detta.

## 5.3 { 149 – 151 [#], 151 – 156 [###] }

Nilssonmodellen, som är en skalmodell i en deformerad potential kommer diskuteras i detta avsnitt figurena 5.26 och 5.29 ger huvuddragen. Figur 5.29 är ett så kallat Nilsson-diagram som visar hur ett degenererat skalmodellstillstånd splittas upp då kärnan deformeras. Att behärska ett Nilsson-diagram är inte så svårt men kräver en viss träning.

# Kapitel 6. RADIOACTIVE DECAYS

## 6.1 { Sid. 161 – 165 [#] }

Ekvationerna 6.1 och 6.2 är centrala och i stort sett triviala. Längre sönerfallskedjor ger mera komplicerade uttryck som i avsnitt 6.4.

## 6.2 { Sid. 165 – 168 [###] }

Detta avsnitt behandlar sönderfallande kvanttillstånd. Experimentell bestämning av livslängden hos mycket kortlivade tillstånd kan inte göras med konventionella tidmätningmetoder. Energibredd hos tillståndet (Heisenberg) ger emellertid ett direkt samband till livslängden. Detta avsnitt behandlas i samband med mesonresonanser i kapitel 17 ( 17.4 ).

## 6.3 – 6.4 { Sid. 169 – 173 [##] }

Räkneövningar

## 6.5 { Sid. 173 – 178 [###] }

Detta är ren allmänbildning som ni troligen redan känner till och som det är mycket viktigt att ha full kontroll över. Mera detaljer om de olika typerna av sönderfall kommer i kapitel längre fram.

## 6.7 { Sid. 181 – 184 [###] }

Det finns ett antal olika sätt att få en uppfattning om vår planets ålder. I detta avsnitt presenteras den mest noggranna metoden, baserad på att studera förhållanden mellan olika isotoper av elementen Rb-Sr. Dessutom presenteras den så kallade  $^{14}\text{C}$  metoden som haft en stor betydelse för bestämning av vissa historiska föremåls ålder.

## Kapitel 7. DETECTING NUCLEAR RADIATIONS

Radioaktiv strålning växelverkar på olika sätt med sin omgivning och detta är basen för all experimentell verksamhet inom den subatomära fysiken. Detta kapitel beskriver växelverkan för olika typer av strålning samt några vanliga typer av detektorer.

### 7.1 { Sid. 193 – 197 [#], 198 -204 [###] }

Den elektromagnetiska strålningens växelverkan vid olika energier är mest intressant. Här skall ni kunna beskriva figur 7.10 i detalj.

### 7.3 – 7.4 { Sid. 207 – 217 [#] }

Läs igenom dessa avsnitt.

## Kapitel 8. ALPHA DECAY

Ett av kvantfysikens stora genombrott var då G. Gamov visade att den kunde tillämpas på  $\alpha$ -sönderfall.

### 8.1 - 8.3 { Sid. 246 – 247 [#], 247 – 248 [##], 249 – 250 [#] }

Dessa tre avsnitt ger en inledning till nästa viktiga avsnitt.

### 8.4 { Sid. 251 – 253 [###], 254 – 257 [##] }

Boken ger i detta avsnitt en schematisk beskrivning av hur man kan förstå relationen mellan  $\alpha$ -sönderfallsenergi och halveringstider. Det mest intressanta är hur man med ett antal ganska grova approximationer får en ganska bra beskrivning av den enorma förändringen av halveringstiderna som funktion av sönderfallsenergin.

Emission av protoner förekommer endast för mycket exotiska kärnor. Emission av tyngre kärnor än  ${}^4\text{He}$  kan också förekomma som till exempel  ${}^{14}\text{C}$ .

## Kapitel 9. BETA DECAY

Betasönderfall hos atomkärnor styrs av den svaga växelverkan. I lågenergiprocesser kan vi observera emission av elektroner eller positroner. Kärnan kan också fånga in en atomär elektron vid sitt sönderfall. Tillsammans med de laddade leptonerna förekommer också en neutrino vid betasönderfallet för att leptontalet skall bevaras.

### 9.1 { Sid. 273 – 277 [##] }

Vi har tre olika typer av betasönderfall :  $\beta^+$ ,  $\beta^-$  och elektron-infångning. I detta avsnitt ger ekvationerna 9.3, 9.9 och 9.10 Q-värdena för de tre processerna.

### 9.2 { Sid. 277 – 279 [###] }

Fermis teori för betasönderfall är ett mycket viktigt avsnitt som alla bör kunna i detalj. Teorin illustreras bra i figurerna 9.2 och 9.3. Avsnittet behandlas också i laboration K5.

### **9.3 { Sid. 282 – 285 [##], 286 – 288 [###] }**

I detta avsnitt diskuteras några ”tillämpningar” av Fermis teori för betasönderfall. Fermi-Kurie (inte madame Curie!) plot för att bestämma ändpunktsenergi, ekvation 9.30 som direkt kan relateras till intermediära vektorbosonens massa och sist, men inte minst, neutrinomassan.

### **9.4 { Sid. 289 – 292 [##] }**

Tillåtna, s.k Fermi, Gamow-Teller, och förbjudna betasönderfall. Typiska ft-värden ges i figur 9.9.

### **9.7 { Sid. 298 – 302 [#] }**

Man bör känna till dubbelt betasönderfall.

### **9.9 { Sid. 309 – 315 [##] }**

Den svaga växelverkan bevarar inte paritet. Ni skall känna till och kunna beskriva Wu’s experiment (figs. 9.22 och 9.23). Ganska svårt avsnitt.

## **Kapitel 10. GAMMA DECAY**

### **10.1 { Sid. 327 – 328 [##] }**

Ekvationerna 10.1 – 10.4 är enkla men viktiga – inte minst för avsnitt 10.9.

### **10.3 { Sid. 331 – 333 [#] }**

Formlerna 10.12 och 10.14 skall ni kunna använda vid lösning av räkneuppgifter. Formlerna finns i Physics Handbook.

### **10.4 { Sid. 333 – 335 [##] }**

Urvalsreglerna går igenom på föreläsningar och räkneövningar.

### **10.6 { Sid. 341 – 348 [#] }**

Inre konversion är en alternativ desexcitationsprocess hos exciterade tillstånd. Läs igenom så att ni förstår vad det handlar om.

### **10.9 { Sid. 361 – 369 [###] }**

Mössbauer-effekten är viktig att förstå. Den är mycket praktiskt tillämpbar. Läs speciellt sidorna 367 – 369 och studera figur 10.28.

## **Kapitel 11. NUCLEAR REACTIONS**

### **11.1 - 11.2 { Sid. 378 – 380 [#], 380 – 384 [##] }**

Studera de olika ekvationerna.

### **11.3 { Sid. 388 – 392 [###] }**

Isospinn är ett mycket viktigt kvanttal inom den subatomära fysiken! Den starka växelverkan är laddningsoberoende och man behöver därför inte behandla neutronen och protonen som olika partiklar utan beskriver dem som två medlemmar av en gemensam familj: nukleonen. Isospinnformalismen påminner mycket om behandlingen av spinn hos partiklar.

### **11.4 { Sid. 392 – 394 [###] }**

I detta avsnitt diskuteras begreppet tvärsnitt som är viktigt att kunna tillämpa vid beräkningar.

### **11.6 { Sid. 396 – 405 [###] }**

Då Rutherford analyserade Geiger och Masdens resultat för spridning av  $\alpha$ -partiklar i en guldfolie fann han att resultaten endast kunde förklaras om man antog att atomen hade en mycket liten, positivt laddad, central kärna. Formel 11.29 var ett viktigt samband han använde sig av. Härledningen görs vid första räkneövningen.)

### **11.10 { Sid. 416 – 419 [##] }**

Det viktigaste står på sidan 417.

## **Kapitel 13. NUCLEAR FISSION**

Ända sedan Liese Meitner och Otto Frisch, under jul-nyårshelgen 1938-39 i Kungälv, förklarade fissionen har denna nukleära process rönt mycket stort intresse. Detta kapitel handlar om fissionens fysik. Avsnitten om fissionsreaktorer ingår inte i kursen.

### **13.1 { Sid. 479 – 484 [###] }**

Text och figurer samt härledningen av ekvation 13.3 ger en bra bild av fissionsprocessen.

### **13.2 { Sid. 484 – 488 [#] }**

I detta avsnitt är figur 13.9 viktigast.

### **13.3 { Sid. 488 – 491 [#] }**

Figur 13.11 med text är viktigast.

### **13.8 { Sid. 516 – 520 [###] }**

Det har talats mycket om den naturliga reaktorn i Gabon. En intressant historia som ni bör känna till!

## **Kapitel 14. NUCLEAR FUSION**

Fusion är en viktig förutsättning för vårt liv (solen). Ett mycket viktigt kapitel!

### **14.1-14.2 { Sid. 529 – 532 [##] }**

Dessa avsnitt är grundläggande och viktiga.

### **14.3 { Sid. 534 – 538 [###] }**

Förbränning av väte till helium i solen och stjärnorna sker genom pp och CNO cyklerna. Detta är ett mycket viktigt avsnitt!

## **Kapitel 15. ACCELERATORS**

Acceleratorer tillhör den subatomära fysikens centrala utrustning. Under föreläsningarna kommer acceleratorer att diskuteras vid olika tillfällen. Kapitlet kan därför användas som referens men ingår inte direkt i kunskapskravet för tentamen. Rekommenderas dock för alla som inte följer föreläsningarna!

## **Kapitel 17. MESON PHYSICS**

Vår lärobok tar upp mesonfysiken som ett speciellt område. Ibland kallas detta område "intermediate energy physics". Det finns starka kopplingar mellan kapitel 17 och 18. Vi tar endast upp 2 avsnitt i kursen.

### **17.1 { Sid. 653 – 655 [##] }**

Yukawas teori beskrivs här kortfattat. Ni skall kunna beskriva huvuddragen i den.

### **17.4 { Sid. 679 – 686 [###] }**

Mätningar av invarianta massan ger en intressant metod att bestämma massan och livslängden på mycket kortlivade partiklar. Texten på sidan 680 är speciellt viktig.

## **Kapitel 18. PARTICLE PHYSICS**

### **18.1 { Sid. 701 – 710 [#] }**

Detta avsnitt visar exempel på Feynman diagram. Kommenteras mera på föreläsningarna.

### **18.2 { Sid. 710 – 718 [##] }**

Genomläses omsorgsfullt. Ni skall veta vad baryontal, leptontal, isospinn, särhet (strangeness) och charm är. Energirelationerna är viktiga.

### **18.3 { Sid. 718 – 721 [###] }**

**Kvarkmodellen skall alla kunna perfekt!**

### **18.4 { Sid. 721 – 725 [##] }**

Färgkvanttalet är ett kvanttal som man måste införa bland annat för att kunna förklara varför  $\Omega^-$ -partikeln existerar. Det experimentella beviset för färgkvanttalet är elegant!

### **18.5 { Sid. 725 – 732 [##] }**

Kvarkdiagrammen i detta avsnitt skall ni studera noggrant.

### **18.6 { Sid. 733 – 742 [#] }**

Nya kvanttal igen! 18.34 är viktigast.

### **18.8 { Sid. 746 – 752 [#] }**

Ett genomläsningsavsnitt där ni skall kunna säga något om figurerna 18.40 och 41

## **Kapitel 18. NUCLEAR ASTROPHYSICS**

### **19.1 { Sid. 756 – 760 [##] }**

Detta är ett viktigt avsnitt. Ekvationerna. 19.1, 19.7 och fig. 19.3 är centrala.

### **19.2 - 19.3 { Sid. 760 – 764 [##], 764 – 768 [###] }**

Här behandlas kärnsyntesen just efter Big Bang. Notera speciellt figurerna 19.6 och 19.7.

### **19.4 -19.5 { Sid. 769 – 780 [####] }**

Dessa två avsnitt är *mycket* viktiga. Här behandlas kärnsyntesen som har gett de element vi har runt oss i Naturen.

### **19.6 { Sid. 780 – 785 [#] }**

Universums ålder är inte helt känd. I detta avsnitt beskrivs hur man kan göra en grov uppskattning baserat på ett antal olika observationer.