

KJM 1060 - Radiokjemidelen

Forelesning 2: Kjernerstruktur

24

Oversikt (2)

- Nukleonenes bevegelsesmønster inne i kjernen.
- Kjernerpotensialet.
- Partikkel i boks.
- Harmonisk oscillator.

25

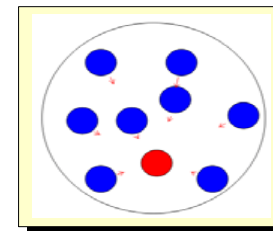
Hva slags kjernemodell?

- Kan vi bruke samme type kvantemekanisk modell for *atomkjernen* som vi gjør for *atomet*?
- I atomet har vi et lite, sentralt punkt som inneholder en kraftig positiv ladning. Denne ladningen er ansvarlig for elektronenes bevegelser.
- I atomkjernen er forholdene helt anderledes!

26

Hva slags kjernemodell?

- Kan vi bruke samme type kvantemekanisk modell for *atomkjernen* som vi gjør for *atomet*?
- I atomet har vi et lite, sentralt punkt som inneholder en kraftig positiv ladning. Denne ladningen er ansvarlig for elektronenes bevegelser.
- I atomkjernen er forholdene helt anderledes!

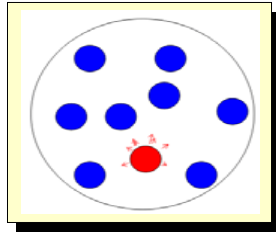


Partiklene er jevnt fordelt inne i et kuleskal!

27

Nukleon vekselvirkning

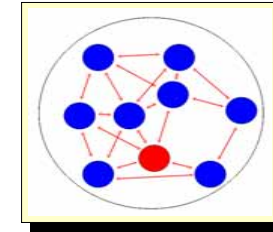
- Nukleonet vi betrakter vil også virke på alle de andre nukleonene.



28

Nukleon vekselvirkning

- Nukleonet vi betrakter vil også virke på alle de andre nukleonene.



Totalresultatet blir at alle nukleonene påvirker hverandre!

29

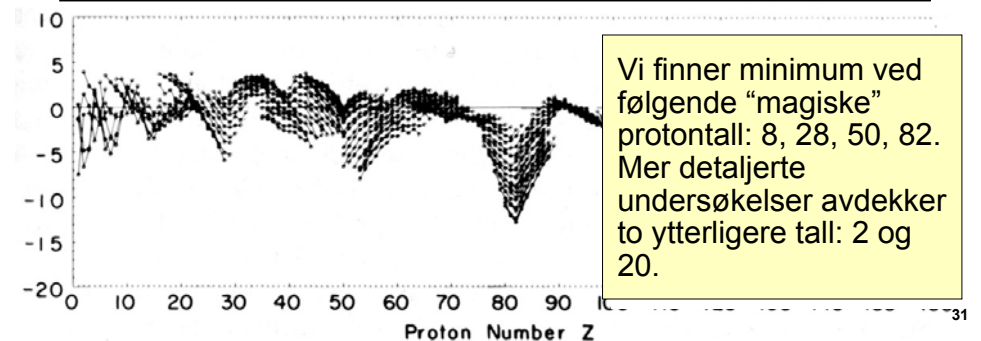
Hjelp - hva gjør vi nå?

- For atomene klarte vi å lage forholdsvis gode modeller fordi vi ikke unngikk å måtte regne på et multipartikkel system direkte:
 - Vi begynte med å lage en enkel modell for *et enkelt elektron* som gikk rundt en sentral, positivt ladet kjerne (dvs. *beveget seg i konstant potensialfelt*).
 - Vi fylte så på med elektroner og antok at de i forholdsvis liten grad påvirker hverandre (de beveget seg i et felles potensialfelt).
- Dette virker helt umulig for selv forholdsvis enkle atomkjerner:
 - Selv det nest letteste grunnstoffet ${}^4\text{He}$ har fire nukleoner som alle påvirker hverandre med sterke krefter.
- Er det bare kaos i atomkjernene?

30

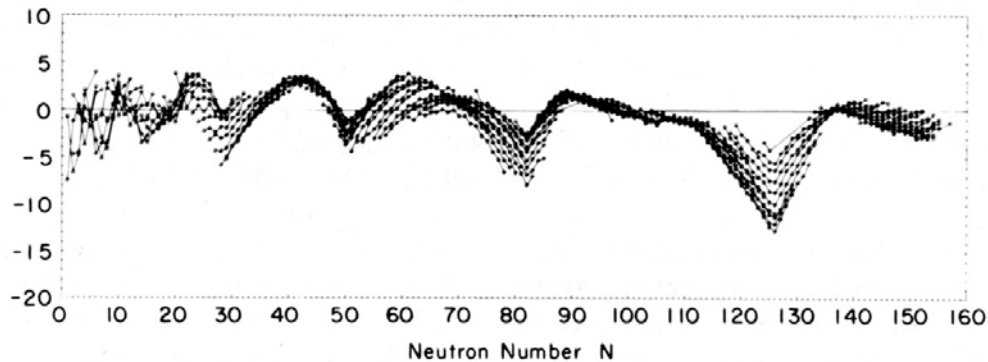
Tegn som tyder på struktur i atomkjernen

- Bruker vi en såkalt væskedråpemodell til å beskrive kjernen som en kule av partikler som alle vekselvirker på samme måte, får vi en god beskrivelse av kjernenes masse for store deler av nuklidekartet.
- Plotter vi avviket mellom denne gjennomsnittsbeskrivelsen og målte atommasser får vi plott som ser slik ut:



31

Magiske tall



Også for nøytronene finner man den magiske tallrekken: 2, 8, 20, 28, 50, 82 og i tillegg 126.

32

Det må være en struktur i atomkjernen!

- At vi får samme tallrekken både for nøytroner og protoner tyder på at det må være en systematikk som gjelder for alle nukleoner, uansett om de er nøytroner eller protoner.
- Konfigurasjoner med antall nøytroner og/eller protoner lik de magiske tallene er spesielt stabile:
 - Væskedråpemodellene underestimerer bindingsenergien til slike kjerner.
- Dette tyder på at det er en skallstruktur slik som vi finner for atomene.
 - Det vil si at orbitalene er gruppert sammen i grupper med relativt stor avstand (i energi) til neste gruppe orbitaler.



33

Pauli - en hjelper i nøden!

- Nukleonen er fermioner (spinn- $\frac{1}{2}$ partikler). Det vil si at ingen like nukleoner kan være beskrevet av samme sett kvantetall og dermed heller ikke befinne seg i samme orbital. (Pauli's eksklusjonsprinsipp)
- Man skjønnte at dette i stor grad hindret nukleonene i å påvirke hverandre - husk at kjernekräften har forholdsvis kort rekkevidde!
 - Tiden mellom hver gang to nukleoner kommer nærmere nok hverandre til å vekselvirke er forholdsvis lang.



Mange vekselvirkninger



Få vekselvirkninger

34

Fellespotensial

- På bakgrunn av dette kan vi bruke et **fellespotensial**:
 - Individuell vekselvirkning mellom partiklene ses bort i fra.
 - En enkelt-partikkels bevegelse beskrives utfra hvordan partiklen beveger seg i **fellespotensialet**.
 - **Fellespotensialet** er gjennomsnittet av alle partiklenes vv. over tid.
- Denne problemstillingen var velkjent fra atomfysikken: "Partikkel i boks".
- Innføringen av et fellespotensial kan sammenlignes med Hartree-metoden for atomer med mange elektroner:
 - Man løser Schrödinger ligningen i et valgt, felles potensialfelt.
- Potensialet må være en eller annen form for brønn.
- Kvaliteteten på løsningene er i stor grad avhengig av hvor godt fellespotensialet ("brønnpotensialet") kan beskrives.

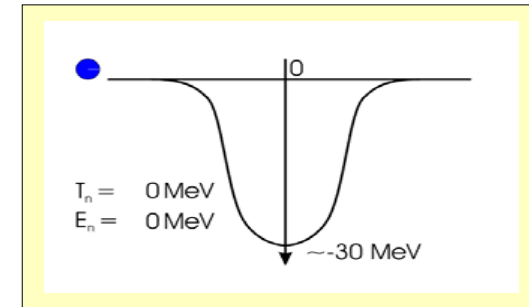
35

JPO notasjon

vv = vekselvirkning

36

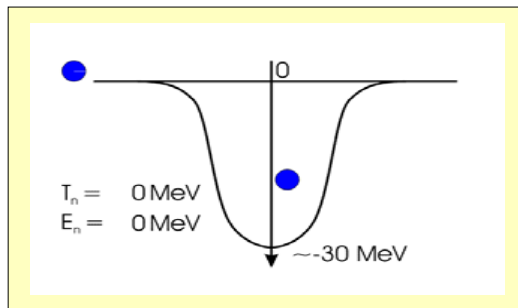
Potensiell energi til et nøytron



37

Potensiell energi til et nøytron

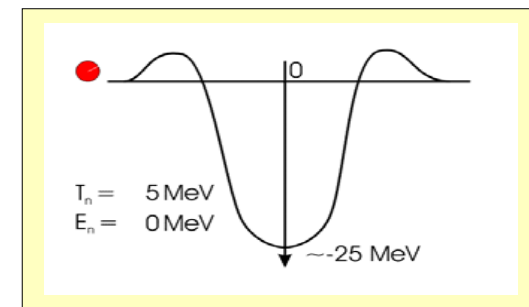
- Hvis nøytronet vv med andre partikler i potensialbrønnen (kjernen):



38

Potensiell energi til et proton

- Et proton vil oppføre seg som et nøytron.
- I tillegg får vi Coulomb-frastøtningen.
- Vi får derfor en Coulomb-barriere som må overvinnnes før protonet kan trenge inn i atomkjernen.



39

Konsekvenser for kjernereaksjoner

- Et nøytron trenger praktisk talt ikke noen bevegelsesenergi for å trenge inn i en atomkjerne. Nøytroner med bevegelsesenergi omkring 0.025 eV (termisk bevegelsesenergi) viser seg å være uhyre reaktive.
 - Enkelt forklart kan vi si at de beveger seg så langsomt at det er stor sannsynlighet for at de fanges opp av og vev med en atomkjerne de møter.
- Et proton må skytes inn i en atomkjerne med forholdsvis høy bevegelsesenergi, minimum tilsvarende Coulomb-barrieren.
 - Protonene vil derfor ha stor fart og sannsynligheten for at de raser forbi atomkjerner uten å vev er derfor relativt stor.

40

Coulomb-barrieren

- Størrelsen på Coulomb-barrieren E_b tilsvarer omtrent frastøtningen av to kuler (radius R_1 og R_2) som ligger inntil hverandre og som har ladning z_1 og z_2 :

$$E_b = \frac{z_1 z_2 e^2}{4\pi\epsilon_0 R}$$

der $R = R_1 + R_2$ og ϵ_0 er permittiviteten i vacuum

41

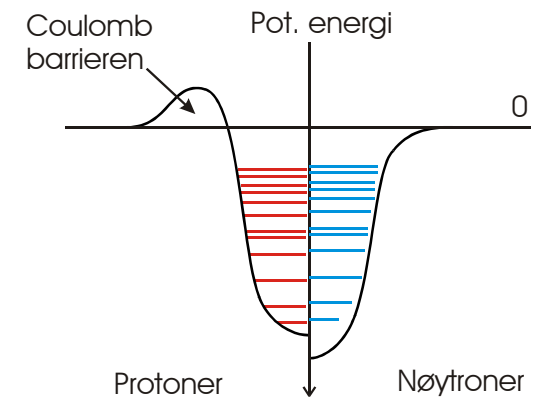
Kjernereaksjoner med protoner

- I kollokvieoppgavene skal dere regne ut hvor stor Coulomb-barrieren er for å skyte et proton inn i en ^{12}C og en ^{238}U kjerne.
- Husk at maks bindingsenergi for nukleoner er 7-8 MeV, hva skjer hvis protonet må ha mer energi enn dette?

42

Kjernepotensiallet

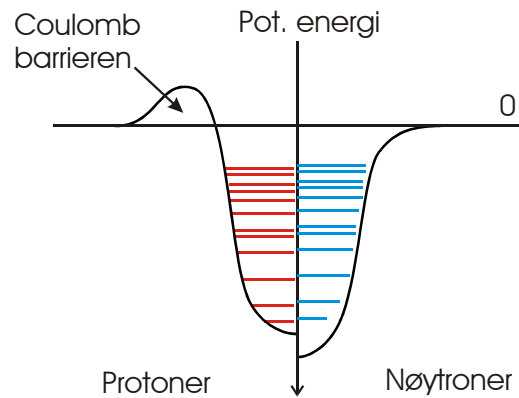
- Spredningsforsøk viser at kernepotensialet har en dybde på omkring 30 MeV.
- Siden bindingsenergien til nukleoner er i størrelsesorden 7-8 MeV, er det opplagt at ikke alle partiklene ligger på bunn!



43

Kjernepotensialet - et kvantisert system

- Et potensial som på bildet er nøyaktig hva vi forventer av et kvantisert system.
- Partiklene vil okkupere et sett med diskrete energinivåer som bestemmer deres bevegelsesmønster (orbital).
- Vi vil få to sett med energinivåer, et for protoner og ett for nøytroner.



44

KJM 1060 - Radiokjemidelen

Forelesning 3: Skallmodellen

45