

# KJM 1060 - Radiokjemidelen

## Forelesning 2: Kjernestruktur

24

### Oversikt (2)

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

25

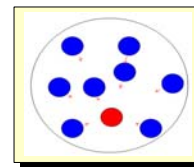
### Hva slags kjernemodell?

- 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!

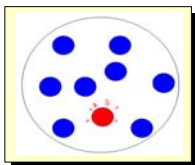


Partiklene er jevnt fordelt inne i et kuleskal!

27

### Nukleon vekselvirkning

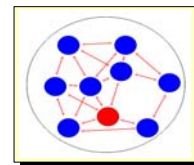
- Nukleonet vi betrakter vil også virke på alle de andre nukleonene



28

### Nukleon vekselvirkning

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



Totalresultatet blir at alle nukleonene påvirker hverandre!

29

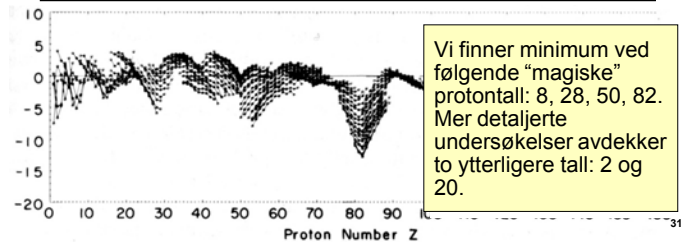
## Hjelp - hva gjør vi nå?

- 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 påvirket 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

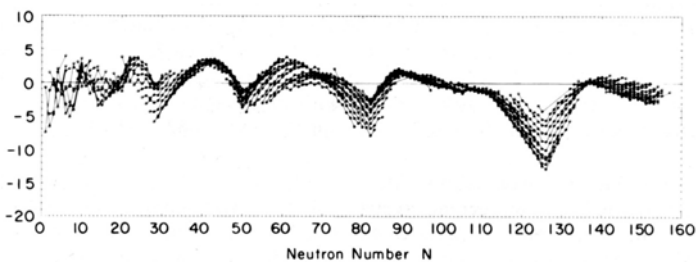
## Tegn som tyder på struktur i atomkjernen

- 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 nærme nok hverandre til å vekselvirke er forholdsvis lang.



Mange vekselvirkninger



Få vekselvirkninger

34

## Fellespotensial

- På bakgrunn av 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.

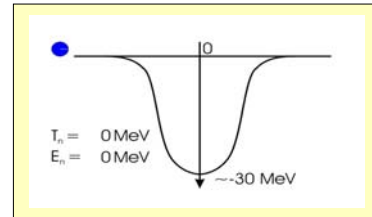
35

## JPO notasjon

vv = vekselvirkning

36

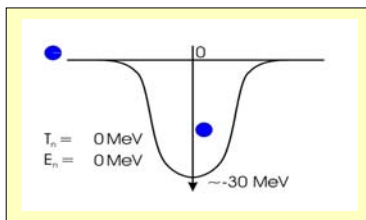
## Potensiell energi til et nøytron



37

## Potensiell energi til et nøytron

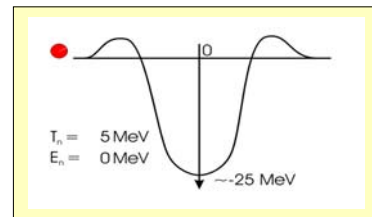
- Hvis nøytronet vv med andre partikler i potensialbrønnen (kjernen):



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 overvinnes 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 vv 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 vv 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  $\epsilon_0$  er permittiviteten i vacuum

41

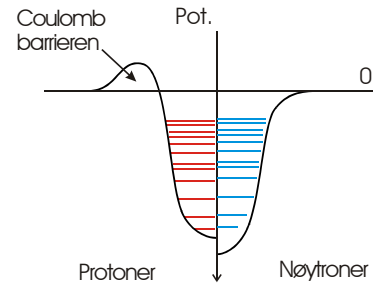
## Kjernereaksjoner med protoner

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

42

## Kjernepotensialet

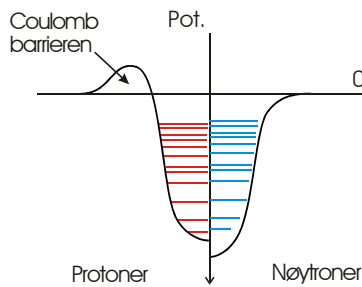
- Spredningsforsøk viser at kernepotensialet har en dybde på omkring 30 MeV.
- Siden bindingsenergien til nukleoner er i størrelsesorden 7-8 MeV, er det opplagt at ikke alle partiklene ligger på bunn!



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