

KJM 1060 - Radiokjemidelen

Forelesning 1: Atomkjernen

1

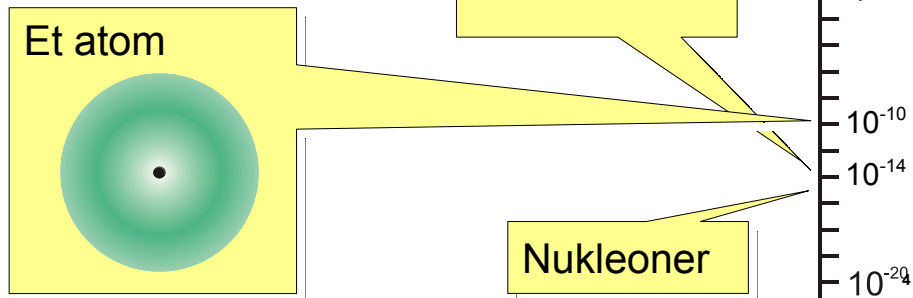
Oversikt (1)

- Innledning - hva er atomkjernene?
- Nomenklatur og begreper.
- Kjernens struktur og størrelse.
- Kjernekrefter og kjernepotensialer.
- Bindingenergi.

2

Atomkjernens byggeklosser

- Atomkjernen er bygget opp av:
 - ▶ **Protoner** (Z stykker).
 - ▶ **Nøytroner** (N stykker).
- Protoner og nøytroner har felles betegnelsen **nukleoner**.

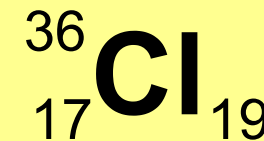


Atomkjerner - Notasjon

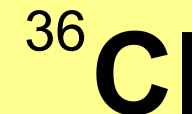


- A - Massetall
- Z - Antall protoner
- N - Antall nøytroner
- X - Grunnstoff symbol

Eksempel:



Eller:



5

Størrelse og vektforhold

| Partikkel: | Radius: | Vekt: |
|------------|------------------------|------------------|
| Atom | 0,1 nm | $\sim A \cdot u$ |
| Kjerne | $1,2 \cdot A^{1/3}$ fm | $\sim A \cdot u$ |
| Nukleon | 1 fm | 1 u |
| Elektron | 2,8 fm | 1/1822 u |

$$\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}; \quad \text{fm} = 10^{-15} \text{ m}$$

$$1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

7

Den atomære masseenheden



- For å måle atomære masser bruker vi vekten av ^{12}C som referanse:

$$1 \text{ u} = 1/12 \text{ av vekten til } ^{12}\text{C}$$

- $1 \text{ u} = 1,6605402 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

8

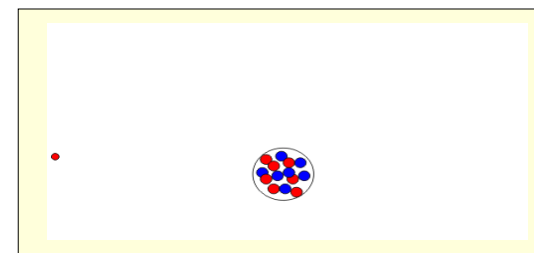
Tetthet

- Atomkjernen har enormt høy massetetthet, siden praktisk talt hele atomets vekt er samlet her.
- Fordelingen av massen er undersøkt i en lang rekke spredningsforsøk med elektroner, nøytroner og protoner.

9

Tetthet

- Atomkjernen har enormt høy massetetthet, siden praktisk talt hele atomets vekt er samlet her.
- Fordelingen av massen er undersøkt i en lang rekke spredningsforsøk med elektroner, nøytroner og protoner.



10

Ladningstetthet - formel

Resultatene av en lang rekke slike forsøk er at

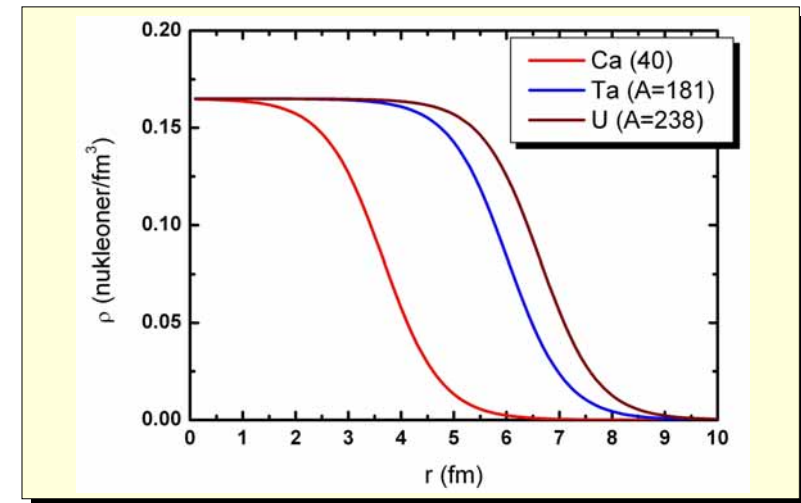
$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1 + e^{\frac{r-R}{a}}}$$

$\rho(r)$ er ladningstettheten i avstand r fra sentrum,
 ρ_0 er ladningstettheten i sentrum,
 R er kjernens diameter (egentlig avstanden der $\rho = \frac{1}{2}\rho_0$) og
 a angir hvor tykt "skinn" er.

11

Ladningstetthet - plot

$$\begin{aligned}\rho_0 &\approx 0.165 \text{ nukleoner/fm}^3 \\ R &\approx 1,07 A^{1/3} \text{ fm} \\ a &\approx 0,55 \text{ fm}\end{aligned}$$



12

Masse

- Er kjernens masse = $\sum m_n + \sum m_p$???
- Massen til ⁴He er målt til å være **4.0026033 u**
 - ▶ 2 protoner = $2 \cdot 1,0072765 \text{ u} = 2,0146 \text{ u}$
 - ▶ 2 nøytroner = $2 \cdot 1,0086649 \text{ u} = 2,0173 \text{ u}$
 - ▶ 2 elektroner = $2 \cdot 0,0005484799 = 0,0011 \text{ u}$
 - ▶ Totalt blir dette **4,0329 u**
 - ▶ Forskjellen på målt og beregnet masse blir da **0.0303 u!**
- Denne massen er frigjort i form av energi når kjernen ble satt sammen!

$$E = mc^2$$



13

Energi og masse

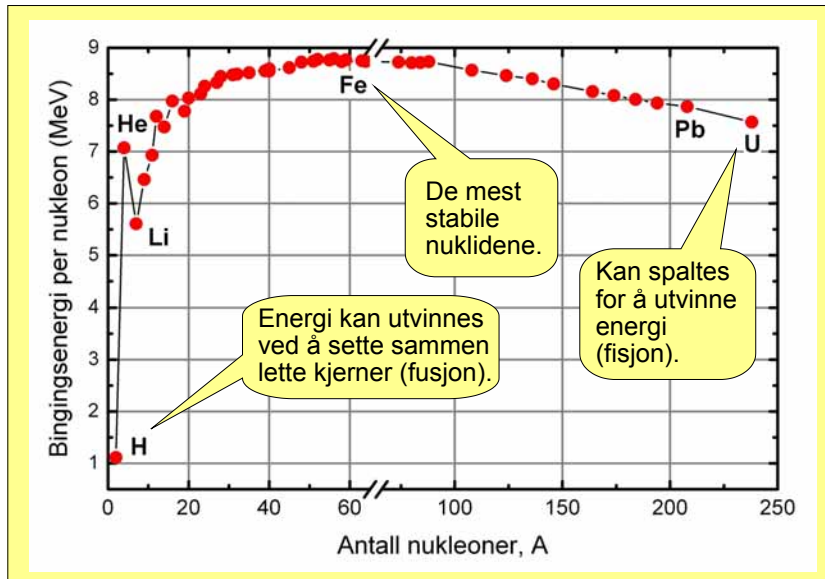
- Et proton har masse **1,007276 u**
- Tilsvarende $1,6705 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- $E = mc^2 = 1,6705 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot (2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2$
- $= 1,5033 \cdot 10^{-10} \text{ kg m}^2/\text{s}^2 = 1,5033 \cdot 10^{-10} \text{ J}$
- Energienheten MeV (10^6 elektron-volt) foretrekkes.
- $1 \text{ J} = 6,2415 \cdot 10^{12} \text{ MeV}$.
- Protonets energiinnhold blir derfor **938,3 MeV**.

Vi bruker ofte energienheten **MeV** som enhet for vektmengder i nukleær sammenheng.



14

Bindingsenergi systematik



15

Relevante kollokveoppgaver

- Regn ut massene til et proton og et elektron i MeV, samt hva 1 u tilsvarer i MeV.
- Regn ut hvor mye energi som frigjøres når hydrogen reagerer med oksygen og sammenlign med energien som ble frigjort når vi laget He fra nøytroner og protoner!
 - Er det stor forskjell?
- Hvor mye energi frigjøres hvis uran spaltes?



16

Klassisk mekanikk eller kvantemekanikk?

- Før vi kan studere atomkjernen i mer detalj må vi avgjøre hva slags mekanikk (matematikk) vi må bruke:
 - Nukleonene er bundet med energier som minst er i størrelsesorden 10 MeV.
 - De Broglie bølgelengden: $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}} = 9,1 \text{ fm}$
 - Dette er i samme størrelsesorden som kjernens utstrekning, slik at vi må ta hensyn til nøytronenes og protonenes bølgenatur.
 - Vi må bruke kvantemekanikk for å regne på atomkjerner!

17

Kjernekrefter

- Hva holder nukleonene sammen i kjernen?
- Fra klassisk fysikk og atomfysikk kjenner vi to krefter: Tyngdekraften og den elektromagnetiske kraften.
 - Den elektromagnetiske kraften kan opplagt ikke brukes siden nøytronene er nøytrale.
 - Videre så er alle protonene positivt ladet, så den elektromagnetiske kraften dytter protonene fra hverandre!
 - Gravitasjonskraften er attraktiv mellom nukleonene, men er 10^{29} ganger svakere enn den elektromagnetiske kraften.
- Vi trenger nye krefter!
 - Det må være en tredje kraft i naturen som holder nukleonene i kjernen sammen. Vi kaller denne for **kjernekraften**.

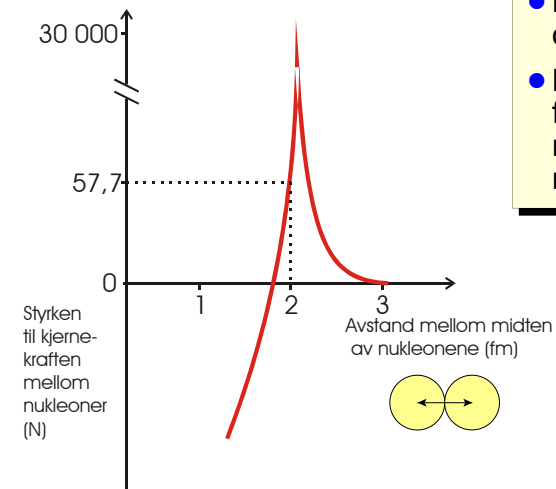
18

Kjernekräften

- Kjernekräften må være svært sterk siden den motvirker den sterke Coulomb frastøtningen mellom protonene.
- Siden molekylstruktur kan modelleres nøyaktig uten å ta hensyn til kjernekräften, må kjernekräften for avstander større eller lik atomenes diameter være uten betydning.
- Kjernekräften har derfor kort rekkevidde, og avtar mye raskere med avstanden enn $1/r^2$.

19

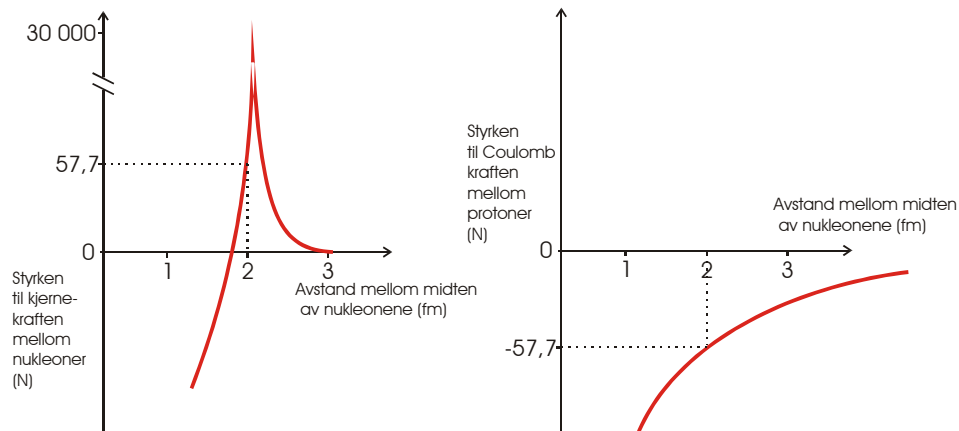
Rekkevidden av kjernekräften



- Kjernekräften virker kun over korte avstander.
- Kjernekräften er frastøtende for avstander mindre en diameteren for nukleonene.

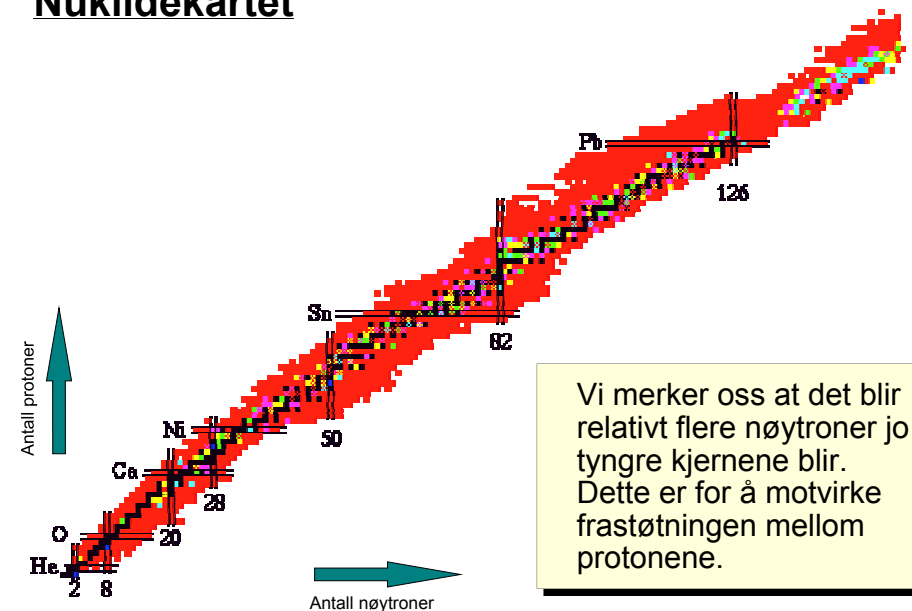
20

Rekkevidden av kjernekräften



21

Nuklidekartet



Vi merker oss at det blir relativt flere nøytroner jo tyngre kjernene blir. Dette er for å motvirke frastøtningen mellom protonene.

22

Isotoper

- Isotoper er atomkjerener med samme antall protoner (Z), men ulike antall nøytroner (N).
- De står på samme linje i nuklidekartet.

| | | | | | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | ¹⁷ F | ¹⁸ F | ¹⁹ F | ²⁰ F | ²¹ F | ²² F | ²³ F | ²⁴ F |
| | 64.5s | 1.82h | stabil | 11.0s | 4.4 s | 4.2 s | 2.3 s | 0.3 s |
| | β ⁺ | β ⁺ | 100% | β ⁻ | β ⁻ | β ⁻ | β ⁻ | β ⁻ |