

KJM 1060 - Radiokjemidelen

Forelesning 1: Atomkjernen

1

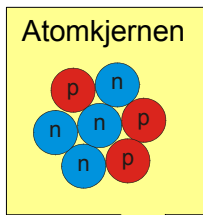
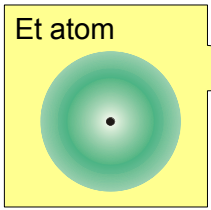
Oversikt (1)

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

2

Atomkjernens byggeklosser

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



Nukleoner

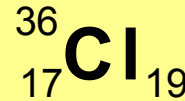


Atomkjerner - Notasjon

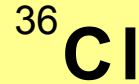


- A - Massetall
- Z - Antall protoner
- N - Antall nøytroner
- X - Grunnstoff symbol

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 ${}^{12}\text{C}$ 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

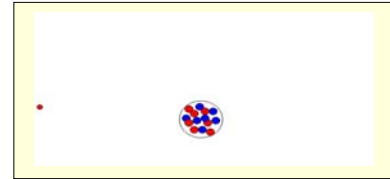
Tetthet

- 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

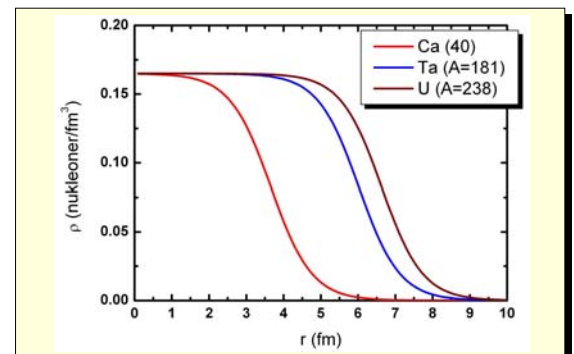
$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1 + e^{\frac{r-R}{a}}}$$

$\rho(r)$ 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 "skinnet" er.

11

Ladningstetthet - plot

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



12

Masse

- Er kjernens masse = $\sum m_n + \sum m_p$???
- Massen til ${}^4\text{He}$ 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

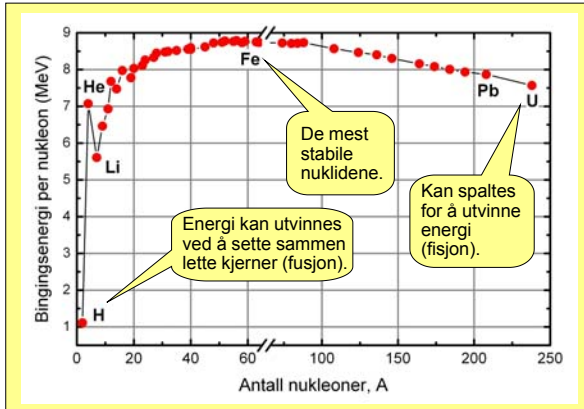
- Et proton har masse **1,007276 u**
- Tilsvarende $1,6705 \cdot 10^{-27}$ kg
- $E = mc^2 = 1,6705 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot (2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2$
- $= 1,5033 \cdot 10^{-10} \text{ kg m}^2/\text{s}^2 = 1,5033 \cdot 10^{-10} \text{ J}$
- Energienheten MeV (10^6 elektron-volt) foretrekkes.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

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



14

Bindingsenergi systematik



15

Relevant kollokvieoppgaver

- 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 kventemekanikk?

- 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**.

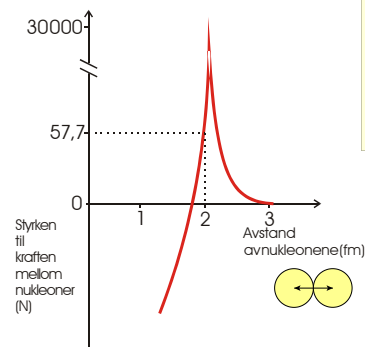
18

Kjernekraften

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

19

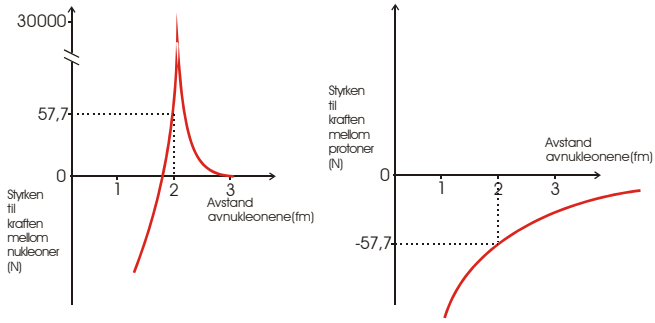
Rekkevidden av kjernekraften



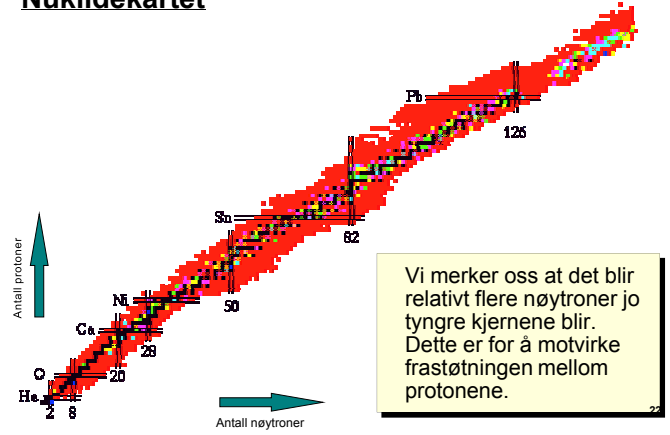
- Kjernekraften virker kun over korte avstander.
- Kjernekraften er frastøtende for avstander mindre en diameteren for nukleoner.

20

Rekkevidden av kjernekraften



Nuklidekartet



Isotoper

- Isotoper er atomkjerner 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 ⁻