# De tre beta-henfald: *Q*-værdi via bindingsenergi

*Tankeeksperiment og teoretisk model.*

*En kerne kan udsende en elektron, en positron eller absorberer en af atomets egne elektroner. Hvor kommer energien fra, når en kerne udsender en elektron? Hvorfor har elektronen fra det samme henfald ikke den samme energi hver gang?*

Kernestoffet er: *Ækvivalensen mellem masse og energi herunder beregning af Q-værdi ved kernereaktioner*

I opslaget gennemgås

1. Bevarelsessætninger ved kernereaktioner
2. De tre henfald på tre niveauer
3. Q-værdi ved nukleonomdannelse
4. Q-værdi af de tre beta-henfald
5. Oversigt over metoden

## 1. De tre henfald på tre niveauer

Bevarelsessætninger ved kerneprocesser

Ved alle kerneprocesser er energi, ladningen og nukleontallet bevaret, dvs.

* ladning før = ladning efter
* antallet af nukleoner før = antallet af nukleoner efter
* energi før = energi efter
* leptontallet før = leptontallet efter

*Leptontal*

Leptontallet for elektroner og neutrinoer er +1 og leptontallet for positroner (elektronens antipartikel) og antineutrinoer er -1. Protoner og neutroner har leptontallet 0.

*Antipartikler.*

Alle atomare partikler har en antipartikel. En partikel og dens antipartiklen har de samme egenskaber, undtaget ladningen. Elektronens antipartikel kaldes en positron.

# Minute physics Antimatter Explained

 <https://www.youtube.com/watch?v=Lo8NmoDL9T8>

## 2. De tre henfald på tre niveauer

Det tre betahenfald

Kalium-40 er en af de få kerner, der kan foretage alle tre beta-henfald.

$β^{-}$ *henfald.* Ved et $β^{-}$ henfald omdannes en af kernens neutroner til en proton, samtidig med der udsendes en elektron og en antineutrino. En neutrino er en partikel, der er elektrisk neutral, har en meget lille masse, og den reagerer meget svagt med andet stof. Den italienske fysiker Fermi kaldte den for en neutrino, fordi det betyder den lille neutrale på italiensk. Et $β^{-}$ henfald finder sted, hvis en kerne har for mange neutroner.

$β^{+}$ *henfald.* Ved et $β^{+}$ henfald omdannes en af kernens protoner til en neutron, samtidig med der udsendes en positron (elektronens antipartikel) og en neutrino. Denne proces finder sted, hvis en kerne har for mange protoner.

*Minute Physics om antistof*

<https://www.youtube.com/watch?v=Lo8NmoDL9T8>

*Elektronindfangning.*  Atomets inderste elektroner har en lille sandsynlighed for at opholde sig på kernens plads, og der er derfor en lille sandsynlighed for, at elektronen kan blive absorberet af en proton.Der ses bort fra protonens og elektronens kinetisk energi inden absorptionen. Elektronindfang hedder *electron* *capture* (EC) på engelsk. Denne proces finder sted, hvis en kerne har for mange protoner.

*kerneniveau*

$$β^{-} : \rightarrow + +antineutrino$$

$$β^{+}: \rightarrow + +neutrino$$

$$EC: \rightarrow +neutrino$$

*nukleonniveau*

## $$β^{-} : +antineutrino$$

$$β^{+} : +neutrino $$

$$EC: +neutrino$$

hvor p er en proton, n er en neutron,$ $er en elektron og $$ er en positron.

*kvarkniveau*

$$β^{-}: d\rightarrow u+$$

$$β^{+}: u\rightarrow d+$$

$$EC: u +\rightarrow d+ neutrino$$

hvor en d-kvark (d = down) har ladningen -1/3 e og en u-kvark (u = up) har ladningen 2/3 e

**Teoretisk model af de tre betahenfald.**

*Forenklinger*

* Neutronen ligger stille før henfaldet
* Der ses bort fra antineutrinoens masse

*Teori* Den energi *E* en partikel har alene i kraft af sin masse *m*, kaldes hvilenergien (energien af partiklen, når den ligger stille), er givet ved

$$E=m∙c^{2} $$

hvor *c* er lysets fart. Partiklens totale energi $E\_{total}$ består af bevægelsesenergi (kinetisk energi) $E\_{kin}$ og hvileenergi

$$E\_{total}=E\_{kin}+m∙c^{2}$$

## 4. Q-værdi ved nukleonomdannelse

**Eksempel 1.** *Frigivne energi, når en neutron henfalder.*

*Data.*

Neutronen, protonen og elektronen har energi i kraft af deres masser

* Massen af neutronen kaldes *m*n og det svarer til energien: $m\_{n}∙c^{2}=939,6 MeV$
* Massen af protonen kaldes *m*p og det svarer til energien: $m\_{p}∙c^{2}=938,3 MeV$
* Massen af elektronen kaldes $m\_{e}$ og det svarer til energien: $m\_{e}∙c^{2}=0,5 MeV$.

*Beregning af den frigiven energi, når en neutron henfalder*

$$+antineutrino$$

den totale energi efter henfald = den totale energi før henfald

hvileenergi af proton + hvileenergi af elektron + frigivet energi = hvileenergi af neutron

$$m\_{p}∙c^{2}+m\_{e}∙c^{2}+Q\_{β^{-}}=m\_{n}∙c^{2}$$

$$ Q\_{β^{-}}= m\_{n}∙c^{2}-m\_{p}∙c^{2}-m\_{e}∙c^{2}$$

 $ =939,6 MeV-938,3 MeV-0,5 MeV$

$$ =0,8 MeV$$

*Den frigjorte kinetiske energi* $Q\_{β^{-}}$ *deles mellem elektronen og antineutrinoen, hvis der ses bort fra protonens rekylbevægelse. Eksperimentelt kan det måles, at elektronen kommer ud med meget forskellige energier, og det gav anledning til hypotesen om, at elektronen delte den frigiven energi med en anden partikel. I et* $β^{-}$*henfald deles energien mellem den udsendte elektron, antineutrinoen, og kernen der henfalder. Neutrino-hypotesen blev fremsat i 1930, men neutrinoen blev først observeret i 1956.*

**Opgave 1.** *Energitilførsel, når en proton omdannes til en neutron.* Her antages det, at protonen ligger stille før henfaldet.

$$+neutrino$$

$$m\_{p}∙c^{2}= m\_{n}∙c^{2}+m\_{e}∙c^{2}+Q\_{β^{+}}$$

Vis at $Q\_{β^{+}}=-1,8 MeV$

*Da den frigjorte energi er negativ, kræves der energi for at omdanne en proton til en neutron og en positron. Protonen kan ikke henfalde uden for kernen.*

**Opgave 2.** *Energitilførsel, når en proton omdannes til en neutron ved at indfange en elektron.*

$$+neutrino$$

$$m\_{p}∙c^{2}+m\_{e}∙c^{2}= m\_{n}∙c^{2}+Q\_{EC}$$

Vis, at $Q\_{EC}=-0,8 MeV$

Alle kerner der kan fortage et $β^{+}$ henfald, kan også indfange en elektron. Det omvendte gælder ikke. Der skal tilføres $0,8 MeV$ for at elektronindfangningen kan foregå, men det er jo ikke nok energitilførsel til et$β^{+}$henfald.

5. Q-værdier af de tre beta-henfald

Eksempel 2. Energifrigivelse ved et $β^{-}$- henfald.

Der ses bort fra elektronens bindingsenergi og det antages at moderkernen ligger stille inden henfaldet.

$$\rightarrow + +antineutrino$$

*Tankeeksperiment.* Processen tænkes opdelt i 3 dele

1. Energitilførsel for at adskille kaliumkernen i sine bestanddele: $341,5 MeV$
2. Energi, der frigives ved at omdanne en neutron til en proton og en elektron: $0,8 MeV$
3. Energifrigivelse når calsiumkernen samles: $342,1 MeV$

$$Q=∆E\_{bind}$$

$ =342,1 MeV+0,8 MeV – 341,5 MeV $

 $=1,3 MeV$

Den frigjorte energi deles mellem elektronen og antineutrinoen. Den maksimale energi betapartiklen kan få er $1,3 MeV$ og det sker i det tænkte tilfælde, hvor antineutrinoen ikke får noget energi.

**Opgave 3.** *Beregning Q-værdi af et* $β^{+}$ *henfald*

$$\rightarrow + +neutrino$$

Vis, at Q-værdien er $0,5 MeV$, når $E\_{bind, K}=341,5 MeV$ $E\_{bind, Ar}=343,8 MeV$

**Opgave 4.** Q*-værdi, når en proton indfanger en elektron***.**

$$\rightarrow +neutrino$$

Vis, at Q-værdien er $1,5 MeV$

6. Oversigt over metoden

**Metode til beregning af *Q*-værdi via bindingsenergi**

$$β^{-}: Q=E\_{bin,D}-E\_{bin,M}+0,8 MeV$$

$$β^{+}: Q=E\_{bin,D}-E\_{bin,M}-1,8 MeV$$

$$EC: Q=E\_{bin,D}-E\_{bin,M}-0,8 MeV$$

**Sammenligning af Q-værdi for de tre beta-henfald**

$$β^{-} :\rightarrow + +antineutrino$$

$$Q=E\_{bin,Ca}-E\_{bin,K}+0,8 MeV$$

$$ =\left(342,1-341,5+0,8\right) MeV=1,4 MeV$$

$$β^{+}: \rightarrow + +neutrino$$

$$Q=E\_{bin,Ar}-E\_{bin,K}-1,8 MeV $$

$$ =\left(343,8-341,5-1,8\right) MeV=0,5 MeV$$

$$EC: \rightarrow +neutrino$$

$$Q=E\_{bin, Ar}-E\_{bin,K}-0,8 MeV$$

$$ =\left(343,8-341,5-0,8\right) MeV=1,5 MeV$$