# De tre beta-henfald. Q-værdi ud fra atommasser.

*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*

Opslaget indeholder

1. Beregning af Q-værdien af et $β^{-}$**-** henfald beregnes via atommasser
2. Beregning af Q-værdien af et $β^{+}$**-** henfald beregnes via atommasser
3. Beregning af Q-værdien af EC beregnes via atommasser

## Beregning af *Q*-værdien i et $β^{-}$- henfald beregnes via atommasser?

**Skabelon for** $β^{-}$**-** **henfald på kerne-niveau.**

En moderkerne M henfalder til en datterkerne D

$$+$$

hvor *Z* er antallet af protoner i kernen og *A* er antallet af nukleoner. En neutrino er en partikel, der er elektrisk neutral, har en meget lille masse, og den reagerer meget svagt med andet stof. Opkaldt af den italienske fysiker Fermi. Neutrino betyder den lille neutrale på italiensk.

*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.

*Q-værdi beregnet ud fra atommasser.*

Hvis den frigjorte energi beregnes ud fra atommasser målt i units u, fås

$$Q\_{β^{-}}=\left(m\_{atom, M}-m\_{atom, D}\right)∙\frac{931,5 MeV}{u}$$

hvor $m\_{atom, M}$ er atommassen af moderkernen og $m\_{atom, D}$ er atommassen af datterkernen.

*I formlen anvendes atommasser, selvom det er kernemasser der skal bruges. Hvis der ses bort fra elektronernes bindingsenergi, betyder det ikke noget, da antallet af elektroner før og efter henfaldet er ens.*

**Eksempel 1.** *Q-værdien af et* $β^{-}$- *henfald via atommasser*.

Cæsium (Cs) henfalder til barium (Ba)

$$\rightarrow +$$

Atommasserne er

$m\_{atom, Cs}$ = 136,9070895 u $m\_{atom, Ba}$ = 136,9058274 u

$$Q\_{β^{-}}=\left(m\_{atom, Cs}-m\_{atom, Ba}\right)∙\frac{931,5 MeV}{u}$$

$$ =\left(0,0012621 u\right)∙\frac{931,5 MeV}{u}=1,18 MeV$$

**Opgave 1**

Beregn *Q*-værdi af $β^{-}$henfaldet,der finder sted i skolens betakilde

$$\rightarrow +$$

når atommasserne er:

$m\_{atom, Sr}$ = 89,907738 u $m\_{atom, Y}$= 89,907152 u

**Begrundelse for formelsamlingens formel for Q-værdi**

Ifølge relativitetsteorien er en 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 og Q-værdien er defineret som $Q=∆E\_{kin}$

$$E\_{kin}+m∙c^{2}=E\_{total}$$

$$∆E\_{kin}+∆m∙c^{2}=∆E\_{total}$$

$$∆E\_{kin}+∆m∙c^{2}=0 $$

$$∆E\_{kin}=-∆m∙c^{2}=Q$$

**Omskrivning af formelsamlingens formel for Q-værdi.**

$$Q=-∆m∙c^{2}$$

$$ =-(m\_{efter}-m\_{før})∙c^{2}$$

$$ =(m\_{før}-m\_{efter})∙c^{2}$$

$$ =(m\_{kerne, M}-m\_{kerne, D}-m\_{e})∙c^{2} $$

$$ =\left(m\_{atom, M}-m\_{atom, D}\right)∙c^{2}$$

$$ =\left(m\_{atom, M}-m\_{atom, D}\right)∙ \frac{931,5 MeV}{u}$$

**Eksempel 2.** *Begrundelse for at elektronerne ikke indgår i regnskabet*

Betragt henfaldet

$$\rightarrow +$$

Elektronerne indgår *ikke* i masseregnskabet, fordi

$$ m\_{kerne, Cs}-m\_{kerne, Ba}-m\_{e}=\left(m\_{atom, Cs}-55∙m\_{e}\right)-\left(m\_{atom, Ba}-56∙m\_{e}\right)- m\_{e}$$

$$ =m\_{atom, Cs}-55∙m\_{e}-m\_{atom, Ba}+56∙m\_{e}- m\_{e}$$

$$ =m\_{atom, Cs}-m\_{atom, Ba}$$

## 2. Beregning af *Q*-værdien i et $β^{+}$ henfald beregnes via atommasser?

**Antipartikler.**

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

$β^{+}$ **henfald på kerne-niveau**.

$β^{+}$- henfald af natrium (Na) til neon (Ne)

$$\rightarrow +$$

hvor $$ er symbolet på positronen

*Skabelon for* $β^{+}$ *henfald på kerne-niveau.*

En moderkerne (M) henfalder til en datterkerne (D)

$$+$$

hvor *Z* er antallet af protoner i kernen og *A* er antallet af nukleoner.

*Q-værdi ud fra atommasser i et* $β^{+}$ *henfald.*  Hvis den frigjorte energi beregnes ud fra atommasser målt i units u, fås

$$Q\_{β^{+}}=\left(m\_{atom, M}-m\_{atom, D}-2∙m\_{e}\right)∙\frac{931,5 MeV}{u}$$

hvor $m\_{atom, M}$ er atommassen af moderkernen, $m\_{atom, D}$ er atommassen af datterkernen og $m\_{e}$ er elektronens masse. Læg mærke til at masseforskellen mellem moder og datterkernen skal være mindst 2 elektronmasser ($1,022 MeV$), for at henfaldet kan forløbe af sig selv.

**Eksempel 3.** *Q-værdien af et* $β^{+}$ henfald *via atommasser*.

Natrium (Na) henfalder til Neon (Ne)

$$\rightarrow +$$

Atommasser og elektronens masse ifølge databogen:

$m\_{atom, Na}$ = 21,994436 u $m\_{atom, Ne}$ = 21,991385 u $m\_{e}$= 0,000548580 u

$$ Q\_{β^{+}} =\left(m\_{atom, Na}-m\_{atom, Ne}-2∙m\_{e}\right)∙\frac{931,5 MeV}{u}$$

$$ =\left(0,001954 u\right)∙\frac{931,5 MeV}{u}=1,82 MeV$$

**Opgave 2 a.**

Magnesium Mg-22 foretager et $β^{+}$ henfald. Opskriv processen og beregn *Q*-værdien ud fra atommasserne.

**Eksempel 4.** *Begrundelse for at 2 elektroner skal trækkes fra i masseregnskabet*

Betragt henfaldet

$$\rightarrow +$$

Husk at trække 2 elektronmasser fra i atomernes masseregnskab, fordi

$$ m\_{kerne, Na}-m\_{kerne, Ne}-m\_{e}=\left(m\_{atom, Na}-11∙m\_{e}\right)-\left(m\_{atom, Ne}-10∙m\_{e}\right)-m\_{e}$$

$$ = m\_{atom, Na}-11∙m\_{e}-m\_{atom, Ne}+10∙m\_{e}- m\_{e}$$

$$ =m\_{atom, Na}-m\_{atom, Ne}-2∙m\_{e}$$

## 3. Beregning af *Q*-værdien i EC beregnes ud fra atommasser?

Elektronindfangning på kerneniveau

En elektron fra atomets inderste skal, kan absorberes af en proton. Protonen bliver til en neutron og der udsendes en neutrino. Alle kernes der kan fortage et $β^{+}$ henfald, kan også indfange en elektron. Det omvendte gælder ikke.

$$\rightarrow +neutrino$$

*Skabelon for elektronindfangning*$ $*på kerne-niveau.*

$$+neutrino$$

*Q-værdi beregnet ud fra atommasser i en elektronindfangning.* Hvis den frigjorte energi beregnes ud fra atommasser målt i units u, fås

$$Q\_{EC}=\left(m\_{atom, M}-m\_{atom,D}\right)∙\frac{931,5 MeV}{u}$$

hvor $m\_{atom, M}$ er atommassen af moderkernen og $m\_{atom, D}$ er atommassen af datterkernen. Her skal moderkernen blot have større masse end datterkernen for at fortage en elektronindfangning. En kerne, der kan foretage et $β^{+}$ henfald, kan også indfange en elektron, men en kerne der kan indfange en elektron, kan ikke nødvendigvis fortage et $β^{+}$ henfald.

*Hvorfor ikke indfangning af en positron?*  En positron-indfangning er i princippet muligt, men ikke i praksis, fordi positroner er uhyre sjældne og fordi positronen og kernen frastøder hinanden.

**Eksempel 5.** *Q-værdien af elektronindfangning via atommasser*.

Natrium (Na) henfalder til Neon (Ne)

$$\rightarrow +neutrino$$

Atommasserne er:

$m\_{atom, Na}$ = 21,994436 u $m\_{atom, Ne}$ = 21,991385 u

$$Q\_{EC}=\left(m\_{atom, Na}-m\_{atom, Ne}\right)∙\frac{931,5 MeV}{u}$$

$$ =\left(0,003051 u\right)∙\frac{931,5 MeV}{u} =2,84 MeV$$

**Opgave 3 a**. Jern-55 kan indfange en elektron.Opskriv processen og beregn *Q*-værdien via atommasser.

**Eksempel 6.** *Begrundelse for at elektronerne ikke indgår i regnskabet*

Betragt henfaldet

$$\rightarrow +neutrino$$

Elektronerne indgår *ikke* i masseregnskabet, fordi

$$ m\_{kerne, Na}-m\_{kerne, Ne}+m\_{e}=\left(m\_{atom, Na}-11∙m\_{e}\right)-\left(m\_{atom, Ne}-10∙m\_{e}\right) + m\_{e}$$

$$ =m\_{atom, Na}-11∙m\_{e}-m\_{atom, Ne}+10∙m\_{e} + m\_{e}$$

$$ = m\_{atom, Na}-m\_{atom, Ne}$$