

# Nyt liv i neutrongryden og den eksperimentelle kernefysik

PETER KJELDEN, Rosborg Gymnasium og hf.

For nylig besøgte jeg tilfældigt Ebay og opdagede her, at der udbydes et overraskende stort udvalg af eksotiske grundstoffer og til overkommelige priser. Jeg tog chancen og bestilte 100 g dysprosium, Dy-spåner, der uden problemer dukkede op en lille uge senere.

Baggrunden for indkøbet var dels et gammelt ønske om at neutronaktivere netop dysprosium, der har et meget stort neutrontværsnit for termiske neutroner, og dels at genoplive brugen af neutronkilden i fysiklaboratoriet.

På Rosborg har vi en Phywe 259 MBq RaBe-neutronkilde stående, der lever et meget tilbagetrukket liv med få traditionelle aktiveringer af de to sølvisotoper Ag-107 og Ag-109 samt nogle småforsøg med eksempelvis cadmiums fortræffelige evne til at absorbere neutroner.

Her ud over skete der ikke meget, og på samme måde stod det til med vores nyindkøbte gammaspektrometer. Vi målte på de sædvanlige kommercielle kilder Cs-137, Am-241, Ra-226 og Co-60, de efterhånden gamle og noget 'flade' Na-22 og Cd-109 kilder, samt selvfølgelig glansnummeret med en 'radiumbefængt' nullermand fra krybekælderens.

Samtidig kunne vi konstatere, at udvalget af radioaktive kilder til skolebrug efterhånden er så begrænset, at gammaspektroskopi stille og roligt vil forsvinde, hvis ikke vi finder på alternativer.

Spørgsmålet vi stillede os var derfor, om det var muligt at finde en isotop, der aktiveret i vores neutronkilde kunne detekteres i en gamma- og/eller betadetektor (GM rør).

Nu har en 259 MBq RaBe-kilde for det første ikke nogen imponerende aktivitet. Ved sammenligning med en tilsvarende neutronkilde på IFA, AU kan det vurderes til at svare til en neutronfluks på ca.  $F = 30 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Herefter startede jagten på egnede kandidater. Umiddelbart skulle man tro, at det nu blot drejede sig om at finde en ordentlig tabel over neutronabsorptions-tværsnit, se evt. [ncnr.nist.gov/resources/n-lengths/list.html](http://ncnr.nist.gov/resources/n-lengths/list.html).

Imidlertid er der flere forhold man skal have for øje, eksempelvis den %-vise andel af den pågældende isotop, og massefylden for det pågældende grundstof. Et højt neutrontværsnit er naturligvis underordnet, hvis den pågældende isotop er sjælden i det naturligt forekommende grundstof, ligesom en lille massefyldte begrænser mængden af stof, der kan aktiveres i neutronkilden.

Ligeså vigtigt er det, at den dannede isotop efter neutronbestråling er radioaktiv, og at halveringstiden er 'passende' kort.

Generelt fås for aktiviteten  $A(t)$  af datterkernen:

$$A(\tau) = S \cdot \left( 1 - \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{\tau}{T_{1/2}}} \right)$$

hvor  $S$  er produktionsraten og  $T_{1/2}$  halveringstiden for datterkernen.

Som man kan se, er det vigtigt, at man hurtigt når mætningsniveauet  $S$ , der er den asymptotiske værdi for aktiviteten, når  $T_{1/2} \ll t$ . I praksis er tiden af størrelsesorden (højest) dage, hvis stoffet kan placeres permanent i neutronkilden eller minutter/timer, hvis eksperimentet skal fungere i en almindelig hverdag. Efter ca. 10 halveringstider er der mætning nået, men man kan også stoppe efter bare 3 halveringstider, hvor aktiviteten er nået op på 88 %.

$S$  er givet ved formlen nedenfor og er i eksemplet beregnet med 93 g dysprosium, bestående af 28 % ( $B = 0,28$ ) af isotopen Dy-164 med et neutrontværsnit på  $\sigma = 2840 \text{ barn}$  ( $1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$ ).

$$S = F \cdot \frac{m}{M} \cdot N_A \cdot B \cdot \sigma$$

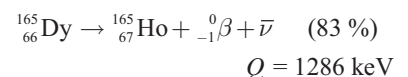
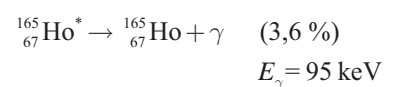
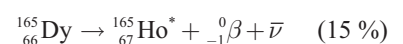
$$\begin{aligned} &= 30 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \frac{93 \text{ g}}{164 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\ &\quad \cdot 0,28 \cdot 2840 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2 \\ &= 8,1 \text{ kBq} \end{aligned}$$

Se [wise-uranium.org/rnac.html](http://wise-uranium.org/rnac.html) for en nem og hurtig beregning af aktivitet.

For dysprosioms vedkommende er halveringstiden for isotopen Dy-165,  $T_{1/2} = 2,33 \text{ h}$ , og derfor kræves en aktiveringstid på ca. et halvt til et helt døgn.

Hvis man således efter lang tids søgen har fundet en egnet isotopkandidat, skal man til at analysere henfaldet af datterkernen, se [nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/toi/nucSearch.asp](http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/toi/nucSearch.asp).

For isotopen Dy-165 er aktiveringen og de efterfølgende henfald beskrevet ved reaktionsligningerne nedenfor, hvor %-tallet i parentes angiver den pågældende aktivitet målt i forhold til den samlede aktivitet.



Yderligere udsendes  $K_\alpha$ -stråling med energien  $E_\gamma = 47 \text{ keV}$  (7,2 %) fra Holmium – en såkaldt Internal Conversion proces, IT, hvor kernens excitationenergi skyder en orbitalelektron ud af atomet, hvorefter den karakteristiske røntgenstråling udsendes.

Heraf kan man se, at henfaldet i 83 % af tilfældene sker til grundtilstanden af Ho-165 med en forholdsvis lille  $Q$ -værdi, og kun i meget ringe udstrækning (3,6 %)

ved udsendelse af gammastråling med energien 95 keV samt karakteristisk  $K_{\alpha}$ -røntgenstråling med 7,2 %.

I sammenligning med den traditionelle sølvaktivering kan man beregne, at  $\beta^-$ -aktiviteten af det samlede dysprosiumindhold (93 g) giver hele 50 gange så stor aktivitet, men omvendt kun med ca. 1/3 så stor  $Q$ -værdi.

Heldigvis har vi en meget følsom GM-’fingerdetektor’ med et stort overfladeareal, der tillader, at dysprosiumspånerne kan bredes ud i et tyndt lag omkring en stor cylinderformet flade. Hermed når de udsendte elektroner trods den beskedne energi frem til GM røret og kan registreres. Vedhæftet ses henfaldscurven og resultatet af halveringstidsbestemmelsen til  $T_{1/2} = 2,5$  h.

I gammadetektoren skal man vente i ca. 15 minutter før de omtalte gammatoppe (47 keV; 95 keV) træder tilstrækkeligt tydeligt frem, hvilket selvfølgelig skyldes de ringe sandsynligheder. Til syne kommer de dog, og dermed har vi altså kunstigt produceret både en gammakilde og en betakilde.

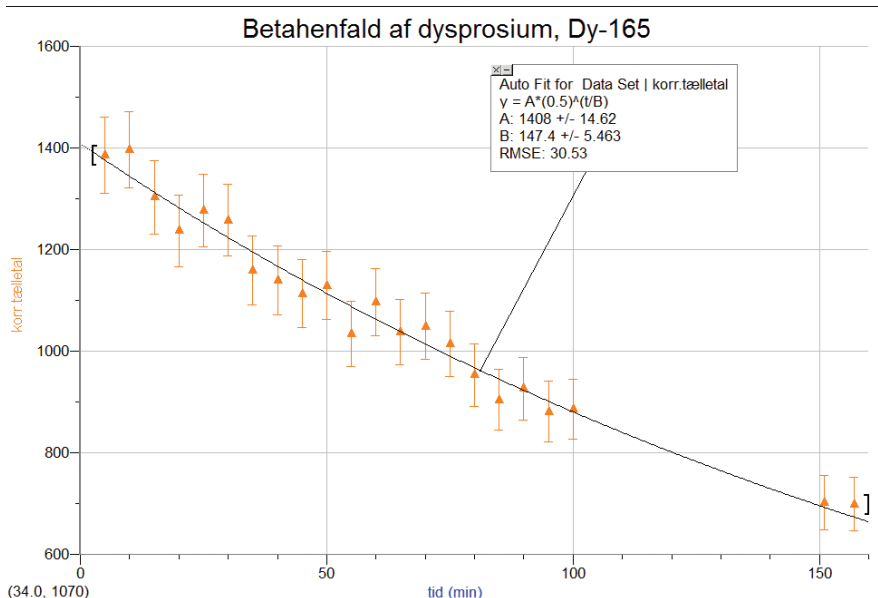
Til slut kan det nævnes, at også mangan (36 g  $MnO_2$ ) kan aktiveres og identificeres ( $E_{\gamma} = 847$  keV) efter en ventetid på 20–30 minutter i gammadetektoren.

### Konklusion

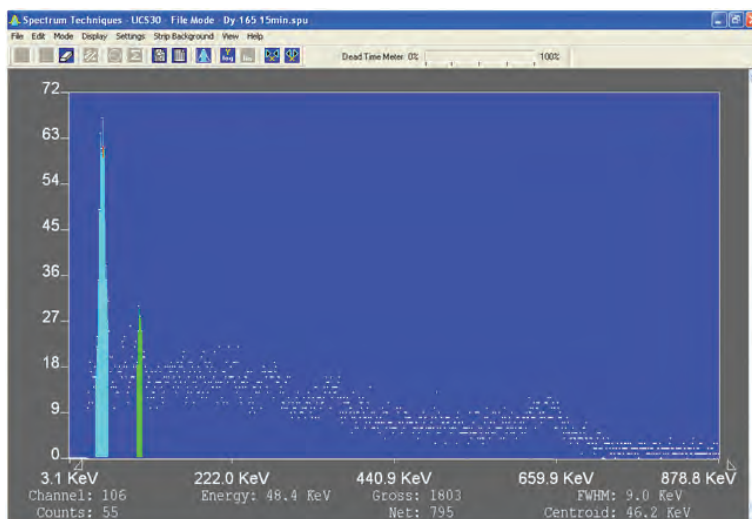
Dysprosiumspåner og mangan kan neutronaktiveres i neutronkilden på skolen, og de dannede isotoper Dy-165 og Mn-56 identificeres i gammadetektoren. Dysprosium kan endvidere måles med et følsomt GM-rør.

Det eneste problem er halveringstiderne, der er for lange i forhold til et almindeligt fysikmodul. Næste udfordring er derfor at finde en isotop med en tilpas kort halveringstid, så både aktivering og det efterfølgende henfald kan studeres i løbet af et undervisningsmodul og måske endda gentages?

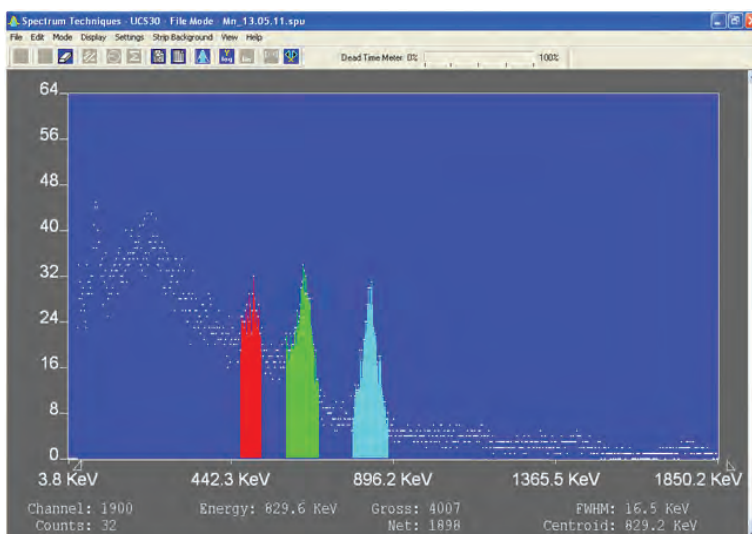
NB: For de ambitiøse kan det nævnes, at der skabes en metastabil tilstand Dy-165<sup>m</sup>, der henfalder ved IT med en halveringstid på kun 1,3 min. God jagt og god fornøjelse.



Figur 1. Betahenfald af Dy-165



Figur 2. Dy-165 (måletid 15 min): 46,2 keV og 95 keV.



Figur 3. Mn-56 (måletid 28 min):  $E_{\text{målt}} = 829$  keV ( $E_{\text{tabel}} = 849$  keV).