

Cyclotron- en Reactorproductie van medische isotopen

Algemene achtergrond

Moleculen

zijn de bouwstenen van alle stoffen die wij kennen. Moleculen op hun beurt bestaan weer uit aan elkaar verbonden atomen. Zo bestaat een watermolecuul (H_2O) uit 2 waterstofatomen (H) verbonden aan één zuurstofmolecuul (O).

Atomen

bestaan uit atoomkernen en de daaromheen bewegende elektronen. Elektronen hebben een negatieve lading.

Atoomkernen

bestaan uit kerndeeltjes, de neutronen (symbool = n) en protonen (symbool = p). Protonen hebben een positieve lading, neutronen hebben geen lading. Een atoom is neutraal als het aantal protonen in de kern precies gelijk is aan het aantal elektronen dat om de kern beweegt.

Ionen

zijn (elektrisch geladen) atomen, dwz het aantal elektronen is niet gelijk is aan het aantal protonen in de kern: je kunt dus een positief ion hebben (meer protonen dan elektronen in het atoom) of een negatief ion (meer elektronen dan protonen in het atoom).

Isotopen

zijn kernen waarbij het aantal protonen gelijk is maar het aantal neutronen verschillend. Het aantal protonen in de kern bepaalt over welk element we het hebben: Als voorbeeld: koper (symbool = Cu) heeft 29 protonen in zijn kern, en ijzer (symbool = Fe) heeft er 26. En zo bestaat koper zoals we dat kennen ("natuurlijk" koper, zoals het o.a. in onze waterleiding aanwezig is) uit 2 van nature voorkomende isotopen: Cu met 34 neutronen in de koper-kern en Cu met 36 neutronen in de kern. In totaal heeft het natuurlijk koper dus ofwel $29+34 = 63$ ofwel $29+36 = 65$ kerndeeltjes. Dit zijn de natuurlijk voorkomende stabiele isotopen van koper. Natuurlijk koper bestaat voor 69 % uit het 63-kerndeeltjes Cu -isotoop en voor 31 % uit het 65-kerndeeltjes Cu -isotoop.

Radio-isotopen:

Schieten met neutronen:

Stel nu dat we een extra neutron in de koper-kern schieten (de te beschieten koperkern noemen we dan het "target"-isotoop). Dan heeft de koperkern dus of 29 protonen + 35 neutronen = 64 kerndeeltjes, of de koperkern heeft 29 protonen + 37 neutronen = 66 kerndeeltjes (afhankelijk van in welke natuurlijke koperkern we dat neutron inschieten). Deze nu door ons gemaakte koperkernen komen in de natuur niet voor, zijn niet stabiel, en "veranderen" zichzelf weer in een stabiele kern via de uitzending van straling.

Schieten met protonen:

Wat ook kan is dat we een extra proton in de koperkern schieten: dit betekent dan dat die kern nu $29+1=30$ protonen bevat. Hiermee verandert het *element*, d.w.z. koper verandert in zink (symbool = Zn), want zink heeft 30 protonen in de kern. We krijgen dan dus zink met 30 protonen in de kern en 34 of 36 neutronen, dwz zink met ofwel 64 kerndeeltjes ofwel 66 (voor de volledigheid: in deze beschieting met protonen verliest de gevormde Zn -kern veelal een neutron, dus het uiteindelijke product wordt dan Zn met ofwel 63 ofwel 65 kerndeeltjes).

Isotoop-notaties

Isotopen worden op een specifieke wijze genoteerd: zo noteren we koper met 64 kerndeeltjes als ^{64}Cu (we weten dan direct het aantal protonen en neutronen, want we weten dat koper 29 protonen in de kern heeft), en zo noteren we zink met 66 kerndeeltjes als ^{66}Zn (en dan weten we direct dat het gaat om een kern met 30 protonen).

Productie van medische radioisotopen

Cyclotron

Een cyclotron is een circulaire deeltjesversneller, waarmee elektrisch geladen (sub)atomaire deeltjes (vnl. ionen, atoomkernen) een hoge snelheid (=energie) wordt gegeven. De versnelde deeltjes kunnen worden gebruikt voor bestralingen. In veel gevallen worden in een cyclotron protonen versneld:

Voor de productie van veel medische radioisotopen wordt dus vaak een beschieting van zgn. target-isotopen uitgevoerd met protonen. (Er kunnen echter ook andere geladen deeltjes worden gebruikt).

Reactor

In een reactor worden neutronen geproduceerd, via de splijting van splijtbaar uranium (^{235}U : dus uranium met 235 kerndeeltjes). Splijting van ^{235}U levert ook de “brokstukken” van die splijting op: de splijtingsproducten.

De productie van medische isotopen in een reactor vindt nu plaats op 2 manieren:

- 1) Medische radioisotopen worden geproduceerd via de beschieting van target-isotopen met de geproduceerde neutronen
- 2) Medische radioisotopen worden geproduceerd direct uit de uraniumsplijting, omdat diverse splijtingsproducten direct als medisch radioisotoop kunnen worden gebruikt.

Medische radioisotopen uit cyclotron en reactor

In het onderstaande schema is te zien dat via de reactor en het cyclotron (=versneller) verschillende medische radioisotopen (radionucliden) worden geproduceerd. Duidelijk is dat cyclotron en reactor elkaar aanvullen in deze totale productie, in algemene zin dus complementair zijn in plaats van competitief. De geproduceerde radioisotopen worden ingezet voor zowel radio-diagnostiek als voor radio-therapie.

Belangrijkste radionucliden voor de nucleaire geneeskunde

Reactor-geproduceerd	Versneller-geproduceerd
^{64}Cu ^{67}Cu ^{90}Sr ^{90}Y ^{99}Mo ^{103}Pd $^{114\text{m}}\text{In}$ $^{117\text{m}}\text{Sn}$ ^{125}I ^{131}I ^{153}Sm ^{166}Ho ^{169}Yb ^{177}Lu ^{186}Re ^{188}Re ^{188}W $^{191\text{m}}\text{Ir}$ ^{194}Ir $^{195\text{m}}\text{Pt}$ ^{199}Au	^{11}C ^{13}N ^{15}O ^{18}F ^{22}Na ^{26}Al ^{28}Mg ^{38}K ^{44}Ti ^{57}Co ^{67}Ga ^{67}Cu ^{68}Ge ^{72}As $^{72-73}\text{Se}$ $^{75-77}\text{Br}$ ^{81}Rb (^{81}Kr) ^{82}Sr ^{111}In $^{123-124}\text{I}$ ^{140}Nd ^{201}Tl

Molybdeen

reactor

Het radioisotoop ^{99}Mo (Mo = Molybdeen) is van zeer groot belang voor de medische radiodiagnostiek. Dit ^{99}Mo wordt in een reactor geproduceerd (zie ook in het schema hierboven), direct als splijtingsproduct uit de splijting van ^{235}U . Dit heeft 2 zeer grote voordelen: a) de noodzakelijke kwaliteit van het geproduceerde ^{99}Mo is zeer hoog (er zit nagenoeg geen ander Mo in het product dan ^{99}Mo) en ook de hoeveelheid geproduceerde ^{99}Mo -activiteit is zeer hoog (per eenheid target). In een reactor kan ^{99}Mo ook geproduceerd worden via de neutronenbeschieting van het targetisotoop ^{98}Mo (een van de van nature voortkomende stabiele Mo-isotopen), maar het product is dan een mix van ^{98}Mo en ^{99}Mo , dwz de kwaliteit is niet zo goed als uit de splijtingsproductieroute.

Cyclotron

De productie van ^{99}Mo uit een cyclotron is een ingewikkelde procedure, en leidt niet tot ^{99}Mo met dezelfde kwaliteit en opbrengst als uit de splijtingsproductie in een reactor. Een van de recent onderzochte productieroutes via het cyclotron is de beschieting van stabiel (natuurlijk) ^{100}Mo met protonen, waarbij als gevolg van deze beschieting dan zowel een proton als een neutron uit de molybdeenkern moet worden losgemaakt. Het totaal leidt dan dus tot ^{100}Mo + een proton uit de beschieting – een proton - een neutron als gevolg daarvan, en dat zou dan netto leiden tot het gewenste ^{99}Mo .

Deze reactie is complex, is niet eenduidig (er worden veel “bijproducten” geproduceerd), en het product ^{99}Mo is zowel van mindere kwaliteit (al het target ^{100}Mo is vermengd met het geproduceerde ^{99}Mo), als dat ook de hoeveelheid ^{99}Mo minder (per eenheid target) is dan via de reactor.

Conclusie:

- 1 Het cyclotron is geen adequaat alternatief voor de reactor voor de productie van medisch ^{99}Mo .
- 2 Cyclotrons en reactoren zijn complementair in plaats van competitief