Ioniserende straling

Antwoorden bij de tien vragen onder **Zelf proberen**, inclusief de nieuwe uraniumvraag. Gebaseerd op jouw gewijzigde ZIP. Bronnen: pagina 7.

1. Wat is het verschil tussen een isotoop en een element?

Het aantal protonen bepaalt het element. Isotopen van hetzelfde element hebben evenveel protonen, maar een verschillend aantal neutronen.

Het **atoomnummer Z** is het aantal protonen. Het **massagetal A** is het aantal protonen plus neutronen. Dus: **aantal neutronen = A − Z**. Een isotoop is een bepaalde variant van een element.

Voorbeeld: koolstof-12 heeft 6 protonen en 6 neutronen; koolstof-14 heeft 6 protonen en 8 neutronen.

Beide zijn koolstof omdat Z = 6. Koolstof-12 is stabiel, koolstof-14 radioactief. **Een isotoop hoeft dus niet radioactief te zijn.** Een ion is iets anders: daarbij is het aantal elektronen veranderd en ontstaat elektrische lading.

Waar komt dit vandaan? Les §1; BINAS 99 voor het element en 25A voor isotopen en vervalgegevens. De definitie wordt bevestigd door IAEA [1].

2. Uranium-235 en uranium-238: protonen, neutronen en isotopen

Gegeven: $^{235}_{92}\mathrm{U}$ en $^{238}_{92}\mathrm{U}$. Het bovenste getal is A; het onderste is Z.

Uranium-235 heeft 92 protonen en 235 − 92 = 143 neutronen. Uranium-238 heeft ook 92 protonen, maar 238 − 92 = 146 neutronen. Ja: het zijn isotopen van hetzelfde element uranium.

Stap 1: Z = 92, dus 92 protonen. De letter U staat voor uranium.

Stap 2: A telt protonen en neutronen samen. Trek Z af om het neutronental te vinden: **N = A − Z**.

Kern	Massagetal A	Protonen Z	Neutronen N
Uranium-235	235	92	235 − 92 = 143
Uranium-238	238	92	238 − 92 = 146

Stap 3 - Vergelijk. Het protonental is gelijk, dus het element is gelijk. Het neutronental verschilt met drie, dus het gaat om twee verschillende isotopen. Het woord “stof” in de vraag lees je hier als “element”.

Doorvraag: “Is 235 het aantal neutronen?”
Verwacht: nee, het is het totale aantal protonen plus neutronen. “Heeft uranium-238 drie protonen meer?” Nee, drie neutronen meer.

Waar komt dit vandaan? De waarden 235, 238 en 92 staan in vraag 2. N = A − Z volgt uit de definitie van massagetal in les §1. BINAS 99 koppelt Z = 92 aan uranium; 25A geeft isotopengegevens. Zie ook [1].

Stralingssoorten en dosisgrootheden

3. Welke straling heeft een groot ioniserend vermogen maar een kleine dracht?

Alfastraling (α). Zij veroorzaakt veel ionisaties langs een korte baan.

Ioniseren betekent dat een elektron uit een atoom of molecuul wordt losgemaakt. Een alfadeeltje geeft zijn energie over een korte afstand af. Veel ionisatie per afgelegde afstand betekent dus niet dat de straling ver doordringt.

Straling	Waaruit bestaat zij?	Vergelijking
α (alfa)	Heliumkern: 2 protonen en 2 neutronen; lading +2e.	Sterke lokale ionisatie; kleine dracht.
β (bèta)	Elektron (β−) of positron (β+).	Minder dichte ionisatie; doorgaans grotere dracht dan α.
γ (gamma)	Foton; geen elektrische lading.	Doordringend. Kan via vrijgemaakte elektronen ioniseren.

Waar komt dit vandaan? Les §2; toelichting stralingstypen: EPA [2]. BINAS 19B toont het elektromagnetische spectrum: γ hoort daarin, α en β niet. Dracht hangt af van energie en materiaal; γ heeft geen vaste einddracht zoals een geladen deeltje.

Houd deze grootheden uit elkaar

Grootheid	Eenheid	Betekenis
Activiteit A	Bq = s^{-1}	Aantal kernvervallen per seconde; eigenschap van de bron.
Geabsorbeerde energie E_{abs}	J	Energie die in het weefsel terechtkomt.
Geabsorbeerde dosis D	Gy = J/kg	Opgenomen energie per kilogram weefsel.
Equivalente dosis H	Sv	Dosis gewogen naar stralingssoort: $H = w_R D$.
Effectieve dosis	Sv	Combineert orgaandoses en weegt ook de gevoeligheid van de weefsels.

Bij β en γ is $w_R = 1$: D in Gy en H in Sv hebben dan dezelfde **getalswaarde**, maar blijven verschillende grootheden. Een H voor één weefsel is ook niet vanzelf de effectieve totale lichaamsdosis. [4, 5]

Bestraling of besmetting?

4. Een radioactieve bron ligt naast je hand. Is dit bestraling of besmetting?

Bestraling: de hand wordt blootgesteld aan straling van een bron buiten het lichaam, zonder dat radioactieve stof op of in de hand terechtkomt.

Het beslissende kenmerk is **of radioactief materiaal wordt overgedragen**. Alleen zeggen “de bron zit buiten het lichaam” is niet voldoende: radioactief stof óp de huid is immers ook buiten het lichaam, maar is wél uitwendige besmetting.

Haal je deze losse bron weg, dan stopt de bestraling door die bron. De hand is door dit voorbeeld niet zelf een radioactieve bron geworden.

Als de bron…	Dan geldt bij dezelfde plaatsing…
α uitzendt	De straling wordt gemakkelijk tegengehouden door lucht, papier of de buitenste huidlaag. Het bereiken van levend weefsel is daardoor beperkt.
β uitzendt	De straling kan verder doordringen en de huid bestralen. Hoe ver hangt onder meer af van de energie.
γ uitzendt	De straling kan dieper in het lichaam doordringen. Een geschikte dikke afscherming verzwakt haar.

De naam **bestraling** verandert niet als je α door β of γ vervangt. De stralingssoort verandert wél hoeveel energie waar wordt afgegeven.

Waar komt dit vandaan? Les §3; onderscheid blootstelling en besmetting: CDC [3]. Vergelijking van de stralingssoorten: les §2 en EPA [2].

5. Er komt radioactief stof in de longen. Is dit bestraling of besmetting?

Inwendige besmetting: radioactief materiaal is het lichaam binnengekomen. Dat materiaal veroorzaakt vervolgens ook inwendige bestraling.

De twee woorden sluiten elkaar dus niet uit. De vraag zoekt **besmetting**, omdat er stof in het lichaam zit. Die stof kan blijven stralen zolang radioactieve kernen aanwezig zijn; de blootstelling neemt af door radioactief verval en door afvoer van het materiaal uit het lichaam.

Bij α: de korte dracht beschermt hier niet, want de bron zit direct bij levend weefsel. **Bij β of γ:** het blijft inwendige besmetting. De energie wordt anders verdeeld; een deel kan buiten het betrokken weefsel terechtkomen. Uit alleen “het is gamma” kun je de geabsorbeerde dosis niet bepalen.

Doorvraag: “Een beetje radioactief poeder ligt op je hand. Wat is dat?”
Verwacht: uitwendige besmetting. Zo controleer je of hij het verschil tussen straling en radioactieve stof begrijpt.

Waar komt dit vandaan? Les §3; CDC [3]. Hiervoor is geen BINAS-formule nodig.

Dosis berekenen en alfa begrijpen

6. $3{,}0 \times 10^{-3}$ J wordt geabsorbeerd door 1,5 kg weefsel. Bereken D.

$D = E_{abs} / m = (3{,}0 \times 10^{-3}) / 1{,}5 = 2{,}0 \times 10^{-3}$ Gy = 2,0 mGy.

Waarom delen door de massa? D is de opgenomen energie *per kilogram*. De energie is al gegeven in joule en de massa in kilogram. Je hoeft dus niets vooraf om te rekenen. De eenhedencontrole is: J/kg = Gy. Het antwoord heeft twee significante cijfers, net als de gegevens.

Wat als het alfa, bèta of gamma was? Bij **dezelfde geabsorbeerde energie in dezelfde massa** blijft D gelijk. Voor de equivalente dosis H gebruik je vervolgens $H = w_R \times D$:

Straling	w_R	D	$H = w_R D$
α	20	2,0 mGy	40 mSv
β	1	2,0 mGy	2,0 mSv
γ	1	2,0 mGy	2,0 mSv

De oorspronkelijke vraag noemt geen stralingssoort. Je kunt dus **D wel bepalen, maar H niet zonder extra informatie**. De drie regels hierboven zijn vergelijkingen onder een extra aanname. Bij een gelijke uitgezonden energie hoeft de geabsorbeerde energie juist níét gelijk te zijn.

Doorvraag: “Dezelfde energie komt terecht in twee keer zoveel weefsel. Wat gebeurt met D?”
Verwacht: D halveert. Bij dezelfde massa en twee keer zoveel geabsorbeerde energie verdubbelt D.

Waar komt dit vandaan? Getallen: vraag 6 zelf. Formule: les §4 en BINAS 35E. Weegfactor: BINAS 27D volgens de les; bevestigd door IAEA [4]. Eenheden: EPA [5].

7. Waarom is een α-bron buiten het lichaam gemakkelijk af te schermen, maar is α-besmetting in het lichaam gevaarlijk?

Buiten het lichaam wordt α-straling snel gestopt. In het lichaam geeft zij haar energie juist over een korte afstand af, direct in levend weefsel.

Er is geen tegenstelling: **diezelfde korte dracht** verklaart beide situaties. Van buitenaf kan een dun laagje materiaal de deeltjes tegenhouden. Van binnenuit liggen gevoelige cellen vlak naast de bron, waardoor daar veel ionisaties optreden.

Vergelijking: β dringt doorgaans verder door dan α; γ kan veel dieper doordringen. Daarom is γ ook bij een uitwendige bron belangrijk. Je kunt niet in het algemeen zeggen dat één soort altijd het gevaarlijkst is: plaats, geabsorbeerde dosis en getroffen weefsel tellen mee.

De factor 20 bij α is een **stralingsweegfactor**. Hij betekent niet dat er automatisch twintig keer zoveel energie wordt geabsorbeerd, of dat in iedere situatie exact twintig keer zoveel schade ontstaat.

Waar komt dit vandaan? Les §2-4; eigenschappen van α, β en γ: [2]. Weegfactoren: [4].

Achtergrondstraling en een dosisgrens

8. Noem twee natuurlijke bronnen van achtergrondstraling.

Bijvoorbeeld kosmische straling uit de ruimte en natuurlijke radioactieve stoffen in de bodem.

Deze twee voorbeelden zijn voldoende. Andere juiste voorbeelden zijn radionucliden in bouwmaterialen, radon en zijn vervalproducten, en natuurlijk kalium-40 in voedsel of het lichaam. Kies liefst twee duidelijk verschillende bronnen. [6]

Voorbeeld	Waarom natuurlijk?	Wat kun je vergelijken?
Kosmische straling	Komt uit de ruimte.	Bestaat uit verschillende deeltjes en secundaire straling; is niet simpelweg alleen γ.
Bodem en gesteente	Bevatten van nature radionucliden.	Afhankelijk van de kern en vervalketen kunnen α, β en γ voorkomen.
Radon en vervalproducten	Ontstaan uit natuurlijke vervalketens.	Ingeademde vervalproducten kunnen de longen bestralen; α is daarbij belangrijk.

Geen juist natuurlijk voorbeeld: een röntgenfoto of CT-scan. Dat is een kunstmatige medische blootstelling. “Natuurlijk” beschrijft de oorsprong, niet of straling onschadelijk is. Een vlucht is door mensen georganiseerd, maar de extra kosmische straling op hoogte heeft nog steeds een natuurlijke oorsprong.

Waar komt dit vandaan? Les §5; RIVM over natuurlijke straling en radon [6]. Voor het noemen van twee bronnen is geen berekening nodig.

9. De dosimeter geeft 0,80 mSv aan. De gegeven grens voor die periode is 1,0 mSv. Wat mag je concluderen?

De geregistreerde dosis ligt voor die periode onder de in de opgave gegeven grenswaarde: 0,80 mSv < 1,0 mSv.

Zo maak je de vergelijking: beide waarden staan in mSv en gelden voor dezelfde periode. De dosis is 0,80 / 1,0 × 100% = **80%** van de grens. Het verschil bedraagt **0,20 mSv**. De kern van het antwoord is “onder de gegeven grens”.

Wat volgt hier niet uit? Je hebt niet aangetoond dat er helemaal geen risico is. Ook is 1,0 mSv hier een gegeven oefengrens, geen algemene grens voor elke persoon of situatie. Vergelijk in een echte toepassing bovendien dezelfde dosisgrootheid: alleen dezelfde eenheid is niet genoeg.

En bij α, β of γ? Deze opgave geeft al een dosis in Sv, geen energie in J of dosis in Gy. Je vermenigvuldigt de dosimeterwaarde dus **niet zomaar nog eens met 20**. Daarvoor moet eerst duidelijk zijn welke grootheid gemeten is. Een persoonlijke dosimeter aan de buitenkant registreert bovendien niet automatisch alle inwendige besmetting.

Waar komt dit vandaan? Getallen en grens: vraag 9 zelf. Betekenis dosis en dosimeter: les §4-5; verschillende dosisgrootheden: [5]. De conclusie over risico volgt niet uit enkel een grensvergelijking; zie ook [7].

Van geabsorbeerde dosis naar equivalente dosis

10. Bij 0,25 kg weefsel is $6{,}0 \times 10^{-5}$ J geabsorbeerd. $w_R = 20$. Bereken D en H.

Stap 1 - Haal de gegevens uit de vraag.
$E_{abs} = 6{,}0 \times 10^{-5}$ J; m = 0,25 kg; $w_R = 20$. De energie is al *geabsorbeerd*: je hoeft geen afstand, absorptiefractie of activiteit te berekenen.

$D = E_{abs} / m = (6{,}0 \times 10^{-5}) / 0{,}25$
$D = 2{,}4 \times 10^{-4}$ Gy = 0,24 mGy.

Stap 2 - Houd rekening met de stralingssoort.
Gebruik $H = w_R \times D$. De weegfactor heeft zelf geen eenheid.

$H = 20 \times 2{,}4 \times 10^{-4} = 4{,}8 \times 10^{-3}$ Sv = 4,8 mSv.

Omrekenen: 1 Sv = 1000 mSv en 1 Gy = 1000 mGy. Naar milli vermenigvuldig je het getal dus met 1000. De factor 20 hoort bij α binnen onze vergelijking van α, β en γ; buiten die drie soorten is 20 niet uitsluitend een kenmerk van α.

Zelfde E_{abs} en m	D	H
α; $w_R = 20$	0,24 mGy	4,8 mSv
β; $w_R = 1$	0,24 mGy	0,24 mSv
γ; $w_R = 1$	0,24 mGy	0,24 mSv

Doorvraag: “Waarom blijft D bij alle drie gelijk?”
Verwacht: omdat D alleen de geabsorbeerde energie per kilogram beschrijft. Pas bij H wordt de stralingssoort gewogen.

Waar komt dit vandaan? Gegevens: vraag 10 zelf. Formules: les §4 en BINAS 35E. Weegfactoren: BINAS 27D volgens de les en IAEA [4].

Verbanden en bronnen om op terug te vallen

Waarom kun je becquerel niet direct omzetten naar sievert?

Twee bronnen met dezelfde activiteit hoeven niet dezelfde dosis te veroorzaken. Je moet ook weten hoeveel stralingsenergie per verval vrijkomt, hoe lang de blootstelling duurt, welk deel wordt geabsorbeerd en in hoeveel weefsel. Daarna tellen de stralingssoort en eventueel de weefsels mee.

Bron → uitgezonden energie → geabsorbeerde energie → D → H

Bij constante activiteit A en een constante geabsorbeerde fractie f kun je dit uitschrijven als:
$P = A \times \varepsilon$; **$E_{abs} = f \times P \times t$**; **$D = E_{abs} / m$**; **$H = w_R \times D$**.
Hier is ε de gemiddelde relevante stralingsenergie per verval in J, P het uitgezonden stralingsvermogen in W en t de tijd in s. Bij veranderende activiteit moet je rekening houden met het aantal vervallen kernen over de hele periode. Bij vraag 6 en 10 start je direct bij E_{abs}.

Let op de letter A: bij vraag 1 betekent A het massagetal; in de dosisketen betekent A de activiteit. Lees dus altijd de omschrijving en eenheid erbij. Voor effectieve dosis worden de equivalente orgaandoses vervolgens gewogen met weefselfactoren en opgeteld. Dat is in deze tien vragen niet gevraagd.

Herkomst van de antwoorden

Primaire lesbron: het bestand *natuurkunde/ioniserende-straling.html* uit jouw ZIP *maurits-elo_isotopen_gewijzigd.zip*, onderdeel “Zelf proberen”, gelezen op 6 oktober 2026. Alle tien vragen en alle opgavegetallen komen daaruit. De berekeningen en vergelijkingen in dit blad zijn uitgewerkt op basis van die gegevens. De aparte examenvraag onder de tien vragen valt buiten dit antwoordenblad.

BINAS: de verwijzingen volgen de Binas-knop van jouw pagina en gelden voor de **7e editie**: §1: 99 en 25A; §2: 25A en 19B; §3: geen tabel; §4: 35E en 27D; §5: 27D en 19B. Voor voorvoegsels gebruik je tabel 2. De tabelnummers zijn uit de les overgenomen; de definities en weegfactoren zijn daarnaast gecontroleerd met onderstaande openbare bronnen.

[1] IAEA - What are isotopes?
Definitie van element en isotopen; stabiele en radioactieve isotopen.

[2] US EPA - Radiation Basics
Eigenschappen van alfa-, bèta- en gammastraling.

[3] CDC - What Causes Contamination versus Exposure
Verschil tussen blootstelling, uitwendige en inwendige besmetting.

[4] IAEA - Radiation Biology: A Handbook for Teachers and Students
TCS 42, §4.7; tabel 4.3 op gedrukte p. 143: stralingsweegfactoren. Ook het onderscheid tussen equivalente en effectieve dosis.

[5] US EPA - Radiation Terms and Units
Activiteit, geabsorbeerde dosis, effectieve dosis en eenheden.

[6] RIVM - Natuurlijke straling
Kosmische straling en natuurlijke radioactieve stoffen.

[6a] RIVM - Radon en thoron in gebouwen
Radon, vervalproducten en blootstelling van de longen.

[7] US EPA - Radiation Health Effects
Risico hangt af van de dosis en de omstandigheden van blootstelling.