



Een veilige en relatief goedkope manier om leerlingen in het voortgezet onderwijs bij het vak natuurkunde zelf te laten experimenteren met radioactieve bronnen en röntgentoestellen? Het *Ioniserende Stralen Practicum* (ISP) van de Universiteit Utrecht heeft in 2013 veertig jaar ervaring met het opstellen van haar mobiele laboratoria op de scholen en het begeleiden van de leerlingen bij het uitvoeren van de experimenten. Daarmee bereikt het ISP jaarlijks ruwweg 18.000 leerlingen in de bovenbouw van havo en vwo op 350 scholen in Nederland.

## 40 jaar Ioniserende Stralen Practicum

### Koos Kortland

Freudenthal Instituut voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen (Flsme), Faculteit Bètawetenschappen, Universiteit Utrecht

Het *Ioniserende Stralen Practicum* (ISP) geeft leerlingen bij het vak natuurkunde in de bovenbouw van havo en vwo de mogelijkheid om experimenten uit te voeren met radioactieve bronnen en röntgentoestellen, aansluitend bij de kernbegrippen en contexten in het voor het centraal examen verplichte subdomein *Medische Beeldvorming*. Daarvoor beschikt het ISP over een drietal mobiele laboratoria met elk meer dan twintig experimenten. Deze experimenten worden voor een dag (of langer, als dat nodig is) door een van de drie practicumleiders opgesteld in een normale practicumruimte op een school, waar dan ook in Nederland. Daarnaast heeft het ISP een tweetal vaste laboratoria in Goes en in Utrecht, met een meer regionale functie.



Figuur 1 – Eén van de mobiele ISP-laboratoria bij aankomst op een school.



Figuur 2 – De experimenten worden opgesteld in een normale practicumruimte van de school.



Figuur 3 – Tijdens een standaard practicumsessie van twee uur voor een groep van maximaal dertig leerlingen doen de leerlingen meestal in tweetallen vier of vijf experimenten. Afhankelijk van de afstand tussen Utrecht en de school kunnen er per dag twee of drie van deze sessies plaatsvinden.

Het ISP is een onderdeel van het Freudenthal Instituut voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen (Flsme) in de Faculteit Bètawetenschappen van de Universiteit Utrecht. Deze vorm van dienstverlening aan scholen, docenten en leerlingen bestaat in 2013 inmiddels veertig jaar. Elk jaar bereikt het ISP met haar mobiele en vaste laboratoria ruwweg 18.000 leerlingen op 350 scholen.

### Centrale voorziening

Wat zijn de redenen voor de centrale dienstverlening van het ISP? Allereerst hebben de scholen over het algemeen onvoldoende financiële middelen om te investeren in dure radioactieve bronnen, röntgentoestellen en meetapparatuur, en in de noodzakelijke vergunningen, de voorgeschreven veiligheidsmaatregelen en het vereiste deskundigheidsniveau van het personeel. Bovendien is het huidige beleid van de Arbeidsinspectie erop gericht om het bezit en gebruik van radioactieve bronnen en röntgentoestellen op scholen zoveel mogelijk te beperken, mede omdat er in de praktijk in veel gevallen op een onvoldoende zorgvuldige manier mee wordt omgegaan. Door het op de scholen ontbreken van radioactieve bronnen, röntgentoestellen en meetapparatuur zou de behandeling van het voor

## ISP Experimenten

### 1 Radioactief verval

- Radioactief verval van radon-220
- Minigenerator: de bariumkoe
- Radioactief verval van protactinium-234
- Ouderdomsbepaling van radioactieve bronnen

### 2 Absorptie van ioniserende straling

- Dracht van  $\alpha$ -deeltjes in lucht
- Absorptie van  $\beta$ -deeltjes in aluminium en perspex
- Opsporen van lood
- Absorptie van  $\gamma$ -straling door lood
- Kwalitatieve identificatie van radioactieve bronnen
- Elasticiteitsmodulus van rubber
- Dracht van  $\alpha$ -deeltjes en luchtdruk
- Absorptiecoëfficiënten van aluminium voor  $\gamma$ -straling

### 3 Röntgenstraling

- Röntgenapparaat
- Ionisatie van lucht door röntgenstraling
- Bragg-reflectie
- Röntgen-computertomografie

### 4 Diversen

- Statistische spreiding
- Terugstrooiing van  $\beta$ -deeltjes
- Geiger-Müller telbuis
- Energie van  $\beta$ -deeltjes
- Stralingsintensiteit en afstand
- Wilsonvat
- Gamma-spectrometrie

#### Experiment 2B

##### Radioactief verval van radon-220

Met een x,t-schrijver registreren de leerlingen het verval van gasvormig Rn-220 als vervalproduct van Th-232 in een ionisatiekamer. Uit die registratie bepalen ze de halveringstijd van deze isotoop. Tegelijkertijd is in dit experiment het statistisch karakter van radioactief verval duidelijk zichtbaar.

#### Experiment 6

##### Geiger-Müllertelbuis

Met een Geiger-Müllertelbuis en een bron met Sr-90 bepalen leerlingen de werkspanning en het telrendement van de telbuis. Tegelijkertijd verdiepen ze zich in de werking van dit meetinstrument.

het centraal examen natuurkunde verplichte onderwerp ioniserende straling zonder een centrale voorziening als het ISP een uitsluitend theoretisch karakter hebben, terwijl het zelf experimenteel onderzoeken van de eigenschappen van ioniserende straling een positieve invloed kan hebben op de motivatie en de begripsontwikkeling van de leerlingen bij dit maatschappelijk relevante onderwerp. De experimenten van het ISP sluiten daarom niet alleen aan bij de kernbegrippen – zoals ionisatie, radioactief verval, activiteit, halveringstijd, absorptie, halveringsdikte en dracht – in het examenprogramma, maar ook bij de in dat examenprogramma voorgeschreven context van medische beeldvorming naast toepassingen van ioniserende straling in de industrie en in wetenschappelijk onderzoek.



Figuur 4 – Enkele experimenten uit het aanbod van het ISP (van linksboven met de klok mee): het bepalen van de energie van  $\beta$ -deeltjes, het bekijken van de dracht van  $\alpha$ -deeltjes in een wilsonvat, het identificeren van radioactieve bronnen aan de hand van de absorptie van de uitgezonden straling en het identificeren van materialen met Bragg-reflectie van röntgenstraling.

## Experimenten

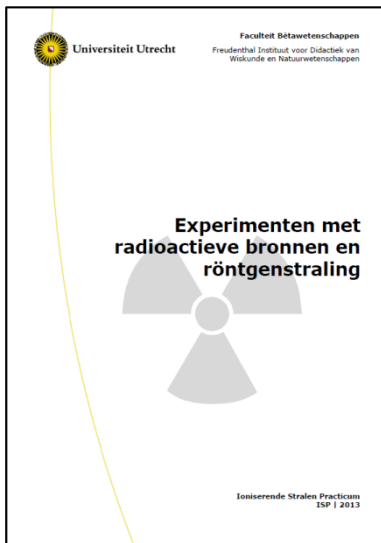
De experimenten van het ISP staan in het kader hiernaast, opgedeeld in vier categorieën: radioactief verval, absorptie van ioniserende straling, röntgenstraling en diversen. Met daaronder in de marge een karakterisering van een deel van de experimenten.

Tijdens een standaard practicumssessie van zo'n twee uur voeren de leerlingen vier tot vijf experimenten uit – op zijn minst één uit elk van de vier categorieën. Daarbij worden de leerlingen begeleid door de practicumleider van het ISP en door hun eigen natuurkundedocent of de technisch onderwijsassistent van de school.

Afhankelijk van de afstand tussen Utrecht en de school is het mogelijk om twee of drie standaard practicumssessies per dag te houden, met in elke sessie maximaal dertig leerlingen.

## Lesmateriaal

De theorie, het doel en de meetopstelling voor elk van de experimenten en de praktijktoepassingen staan kort beschreven in het informatieboekje *Experimenten met radioactieve bronnen en röntgentoestellen* (zie figuur 5). De leerlingen gebruiken dit boekje bij hun voorbereiding op de practicumssessie, bijvoorbeeld bij het kiezen van de experimenten die ze zouden willen uitvoeren. Tijdens de practicumssessie voeren de leerlingen de gekozen experimenten uit aan de hand van een werkblad met instructies voor dataverzameling en dataverwerking. Deze werkbladen hebben een gesloten, kookboekachtig karakter. Daardoor is er tijdens een standaard practicumssessie voldoende tijd voor het uitvoeren van vier of vijf



Figuur 5 – Het boekje *Experimenten met radioactieve bronnen en röntgenstraling* geeft een korte beschrijving van de beschikbare experimenten, waarmee leerlingen zich op het ISP kunnen voorbereiden.

#### Experiment 7

##### Energie van $\beta$ -deeltjes

Door het afbuigen van de  $\beta$ -straling uit een bron met Sr-90 in een homogeen magnetisch veld bepalen de leerlingen de snelheid en daarmee de energie van de uitgezonden  $\beta$ -deeltjes. Daarbij blijkt dat ze rekening moeten houden met relativistische effecten.

#### Experiment 8

##### Stralingsintensiteit en afstand

Met een Geiger-Müllertelbuis meten de leerlingen de stralingsintensiteit op verschillende afstanden van een bron met Sr-90. Uit die metingen leiden ze de kwadratenwet voor het verband tussen stralingsintensiteit en afstand tot de bron af.

#### Experiment 9

##### Wilsonvat

In een Wilsonvat observeren de leerlingen de condensatiesporen van de door een bron met Ra-226 uitgezonden  $\alpha$ - en  $\beta$ -deeltjes. In dit experiment zijn de verschillen in ioniserend vermogen en dracht van deze beide soorten straling duidelijk zichtbaar.

experimenten, zodat de leerlingen kennismaken met een variëteit aan eigenschappen van ioniserende straling.

Een deel van de experimenten is ook geschikt voor een meer open aanpak, waarbij de leerlingen zelf – gegeven de beschikbare meetopstelling – de onderzoeksvraag, de hypothese en het werkplan voor de dataverzameling en data-verwerking opstellen en een practicumverslag schrijven. Bij deze meer open aanpak worden de leerlingen ondersteund door een proces-georiënteerd werkblad.

### Veiligheidsmaatregelen

Tijdens een standaard practicumssessie van ruwweg twee uur lopen de leerlingen een extra equivalente dosis van  $0,4 \mu\text{Sv}$  op, wat laag is vergeleken met de jaarlijkse dosis van  $2 \text{ mSv}$  als gevolg van de natuurlijke achtergrondstraling. De extra dosis is laag doordat het ISP werkt met zwakke, afgeschermd en ingekapselde radioactieve bronnen (met gemiddeld een activiteit in de grootteorde van  $100 \text{ kBq}$ ) en met loodglas afgeschermd röntgentoestellen bij een lage spanning (maximaal  $60 \text{ kV}$ ). De practicumleider van het ISP draagt een dosismeter, zodat de leerlingen kunnen zien welke extra dosis ze tijdens de practicumssessie hebben opgelopen.

Bij de start van een practicumssessie geeft de practicumleider van het ISP een korte instructie over het veilig hanteren van radioactieve bronnen: zorgen voor voldoende afscherming en afstand, en beperken van de blootstellingstijd. Deze veiligheidsmaatregelen zijn waar nodig ook verwerkt in de werkbladen, en tijdens de practicumssessie let de practicumleider op de naleving daarvan.

De practicumleiders van het ISP zijn volledig gekwalificeerd voor het werken met radioactieve bronnen en röntgentoestellen en het controleren van de veiligheid van de practicumapparatuur. Daarnaast controleren ze desgewenst de nog aanwezige radioactieve bronnen van de school op besmetting, en zorgen zo nodig voor een verantwoorde afvoer van deze bronnen.

### Waardering

De waardering voor de dienstverlening van het ISP op de scholen blijkt uit de positieve commentaren van de docenten, technisch onderwijsassistenten en leerlingen op het brede en gevarieerde aanbod van experimenten, de uitvoerbaarheid van de experimenten en de professionele aanpak van de practicumleiders. Een ander “bewijs” van deze waardering is het feit dat de drie mobiele laboratoria al een paar weken na de openstelling van de aanvraagprocedure voor het nieuwe schooljaar volledig zijn volgeboekt voor de maanden oktober-mei. Scholen waarderen het dat het ISP naar de school toekomt, zodat – in tegenstelling tot buitenschoolse excursies – er nauwelijks sprake is van lesuitval. Leerlingen geven in het algemeen aan dat hun ervaringen tijdens een practicumssessie hebben geleid tot een beter begrip van de eerder behandelde theorie over ioniserende straling, en dat hun interesse in toepassingen van ioniserende straling in de industrie, gezondheidszorg en wetenschappelijk onderzoek is toegenomen.

De meeste docenten hebben een voorkeur voor het gebruik van de gesloten werkbladen. Het (nog) kleine aantal docenten dat kiest voor de meer open aanpak is van mening dat dit meer voorbereidingstijd vraagt, zowel van henzelf als van hun leerlingen, en dat de begeleiding van de leerlingen intensiever is. Echter, deze nadelen wegen voor deze docenten duidelijk op tegen de positieve invloed op de onderzoeksvaardigheden van de leerlingen en hun begrip van waar het bij een experiment om gaat. De leerlingen ervaren de meer open aanpak bij de voorbereiding op een experiment door het formuleren van een onderzoeksvraag, hypothese en werkplan – zoals te verwachten is – als minder duidelijk, maar ook – achteraf gezien, en na ook enkele gesloten experimenten te hebben uitgevoerd – als zinvoller en uitdagender.

### Stralen of dralen?

In 1999 is in opdracht van het Ministerie van OCW door de Stichting leerplanontwikkeling SLO onder de bovengenoemde titel een rapport uitgebracht over een haalbaarheids-onderzoek naar het ISP in de vorm van vragenlijsten voor de schoolleiding en de vaksecties natuurkunde van alle scholen voor voortgezet onderwijs in Nederland, gevolgd door een drietal paneldiscussies met natuurkundedocenten. Aanleiding voor dit onderzoek was de vraag of de overheidsfinanciering van het ISP al dan niet zou moeten worden

### Experiment 12

#### Absorptie van $\gamma$ -straling door lood

Met een scintillatietelbuis meten de leerlingen de intensiteit van de door loodplaatjes van verschillende dikte doorgelaten  $\gamma$ -straling van een bron met Co-60. Uit die metingen bepalen ze de halveringsdikte van lood voor deze straling door de gemeten stralingsintensiteit tegen de looddikte uit te zetten in een enkellogaritmisch diagram.

### Experiment 13

#### Kwalitatieve identificatie van radioactieve bronnen

Met een Geiger-Müllertelbuis meten de leerlingen de intensiteit van de door verschillende absorberende materialendoorgelaten straling van enkele onbekende bronnen. Daarmee identificeren ze de door die bronnen uitgezonden soorten straling.

### Experiment 14

#### Röntgenapparaat

In een röntgenapparaat met fluorescentiescherm observeren de leerlingen het doordringend vermogen van röntgenstraling, afhankelijk van de dichtheid en dikte van het materiaal tussen de röntgenbuis en het scherm. Daarnaast is ook het ioniserend vermogen van deze soort straling zichtbaar te maken.

### Experiment 17

#### Gamma-spectrometrie

Met een scintillatiedetector en een multi channel analyser identificeren de leerlingen een onbekende radioactieve isotoop aan de hand van zijn  $\gamma$ -spectrum, na ijking van de meetopstelling met het bekende  $\gamma$ -spectrum van een bron met Co-60.

### Contact

- ISP standplaats: Buys Ballot-gebouw, kamer 3.01
- ISP laboratorium Utrecht: Minnaertgebouw, zaal 0.26 en 0.30
- Telefoon: 030 253 1178 | 4258
- E-mail: [science.isp@uu.nl](mailto:science.isp@uu.nl)
- Coördinator: Koos Kortland
- Practicumleiders: Ad Beune, Rob van Rijn, vacature

gehandhaafd.

Uit de paneldiscussies kwam naar voren dat de deelnemers zich uitermate sterk maken voor het behoud van het ISP. Gebleken is dat het practicum een waardevolle, praktische en concrete manier is om de leerlingen te laten experimenteren met zeer kostbare apparatuur. Afschaffen van het door de overheid gefinancierde ISP zou betekenen dat scholen zelf het practicum weer moeten gaan organiseren, met alle nadelige gevolgen van dien. Dit zal in ieder geval ten koste gaan van de veiligheid (illegale bronnen) en de kwaliteit van het practicum.

Als sterke punten van het ISP werden in de paneldiscussies onder andere genoemd:

- Ioniserende straling is een verplicht onderdeel van het centraal examen en draagt erg veel bij aan de kennis van de leerlingen over straling (transfer van kennis/theorie naar vaardigheden/praktijk en vice versa).
- Het ISP is de enige manier voor leerlingen om kennis te maken met straling: 'sommige dingen moet je zien en/of ervaren'. Het practicum maakt het onderwerp voor de leerlingen minder 'eng': leerlingen krijgen een realistischer kijk op straling, het wordt van iets heel abstracts heel concreet. En leerlingen vinden het heel leuk! Waarom zou je juist iets wat leerlingen wellicht stimuleert om exact te kiezen afschaffen?
- Er is geen andere veilige en voor de school financieel haalbare mogelijkheid om het onderwerp ioniserende straling voor leerlingen zichtbaar te maken en hen ermee te laten werken. Het ISP biedt een ruim en gevarieerd aanbod aan experimenten, met een deskundigheid die docenten niet kunnen evenaren – en al helemaal niet voor dat geld.

Wat betreft de financiering van het ISP kwam in de paneldiscussies naar voren dat sponsoring door het bedrijfsleven geen structurele oplossing is om de continuïteit van het practicum te waarborgen. Ook bij het verhogen van de bijdrage van de scholen werden kanttekeningen geplaatst: daar is binnen het (sectie)budget van een school ergens een grens aan. Boven die grens ontstaat de ongewenste situatie dat de bijdrage doorberekend moet worden aan de ouders van de leerlingen.

In de paneldiscussies kwam ook een aantal wensen naar voren, met name naar minder kookboekachtige werkbladen bij de experimenten en naar meer (achtergrond)informatie over toepassingen van ioniserende straling. Aan deze twee wensen is inmiddels voldaan door het ontwikkelen van de meer open variant van het ISP en door het opnemen van informatie over eigenschappen, effecten en toepassingen van ioniserende straling op de website van het ISP.

### Budget

Het ISP heeft een jaarlijks budget van ruwweg € 325.000 voor de personele en materiële kosten. Hiervan wordt zo'n € 200.000 ter beschikking gesteld door het Ministerie van OCW via de Universiteit Utrecht. De rest van het geld is afkomstig van de scholen, die een bijdrage van € 7,- per deelnemende leerling betalen, met een minimum van € 210,- per schoolbezoek van een van de mobiele laboratoria. De basisfinanciering van het ISP door het Ministerie van OCW via de Universiteit Utrecht is noodzakelijk, omdat anders de bijdrage van de scholen zou oplopen tot € 18,- per deelnemende leerling. In dat geval zou de belangstelling voor de dienstverlening van het ISP bij de scholen sterk teruglopen, en mogelijk zelfs helemaal verdwijnen.

Ondanks de grote vraag naar de dienstverlening van het ISP en de waardering van de kant van scholen, docenten en leerlingen is het voortbestaan van deze centrale voorziening niet vanzelfsprekend. Het wordt steeds lastiger om met de beschikbare middelen rond te komen. Daardoor valt op termijn niet te ontkomen aan een bezuiniging op de uitgaven voor personeel en apparatuur, en aan een verdere verhoging van de bijdrage van de scholen. Het uitgangspunt daarbij is het voortbestaan van het ISP als succesvolle outreach-activiteit vanuit de Universiteit Utrecht in de huidige omvang van jaarlijks ruwweg 18.000 leerlingen op 350 scholen voor voortgezet onderwijs in Nederland.

### Website

Een uitgebreide beschrijving van het doel, de opzet en de uitvoering van het ISP – inclusief alle lesmaterialen in het Nederlands en in het Engels – is te vinden op de website van het ISP: [www.fisme.science.uu.nl/isp](http://www.fisme.science.uu.nl/isp).

Voor de leerlingen is op die website ook achtergrondinformatie beschikbaar over eigenschappen, effecten en toepassingen van ioniserende straling.