

# Actinium-227 als ionenbron in experimenteel onderzoek

Peter Dendooven

- Particle Therapy Research Center (PARTREC) en Afdeling Radiotherapie, Universitair Medisch Centrum Groningen, Rijksuniversiteit Groningen
- Helsinki Institute of Physics, University of Helsinki

*p.g.dendooven@rug.nl*

*TS nascholingsmiddag  
Groningen, 24 maart 2022  
Groningen Academy for Radiation Protection*

**partrec**



**rijksuniversiteit  
groningen**



**HELSINKI INSTITUTE OF PHYSICS**



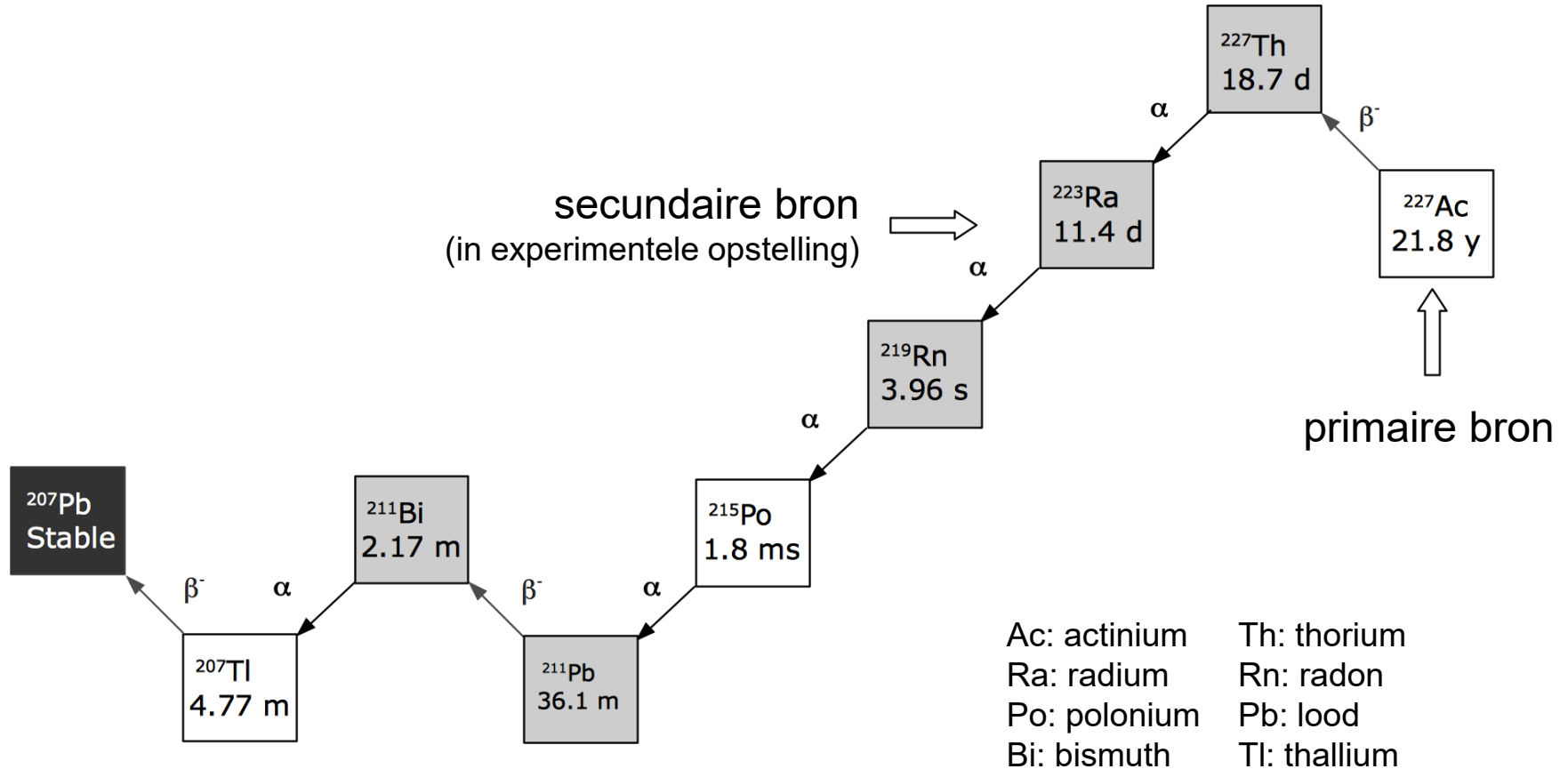
**UNIVERSITY OF HELSINKI**

# Inhoud

---

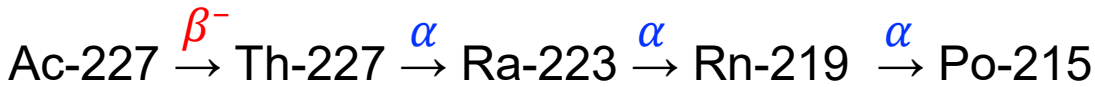
- de Ac-227 bron
- gebruik als bron voor radioactieve ionen
- aspecten van stralingsveiligheid
- risicoanalyse en -evaluatie
- samenvatting

# De Ac-227 vervalreeks



M. Ranjan, PhD Thesis, Rijksuniversiteit Groningen (2012)

# Ac-227 als bron van radioactieve ionen



$$E_{\alpha} = 5.5 - 7.4 \text{ MeV}$$

voorbeeld:

vóór radioactief verval



na radioactief verval

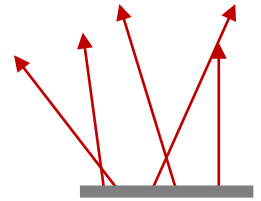


$$E_{\alpha} \approx 5.7 \text{ MeV}$$

$$E_{\text{Rn-219}} \approx 100 \text{ keV}$$

*“actie en reactie”*

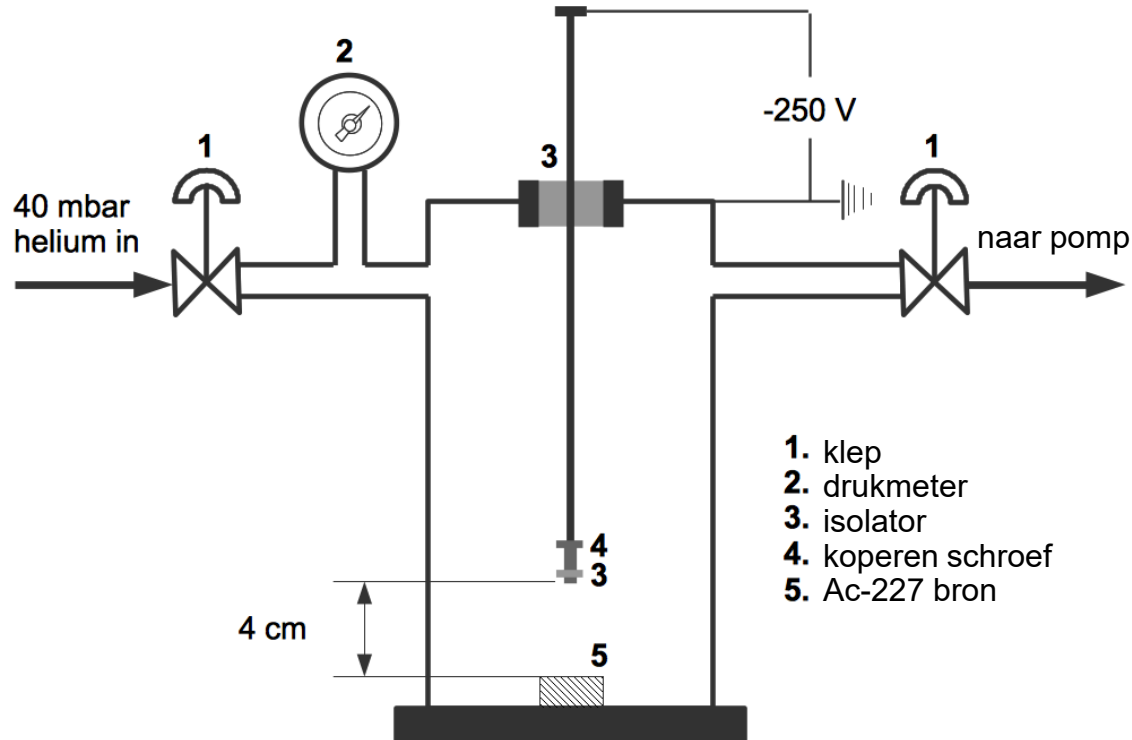
**Rn-219<sup>+</sup> ionen**



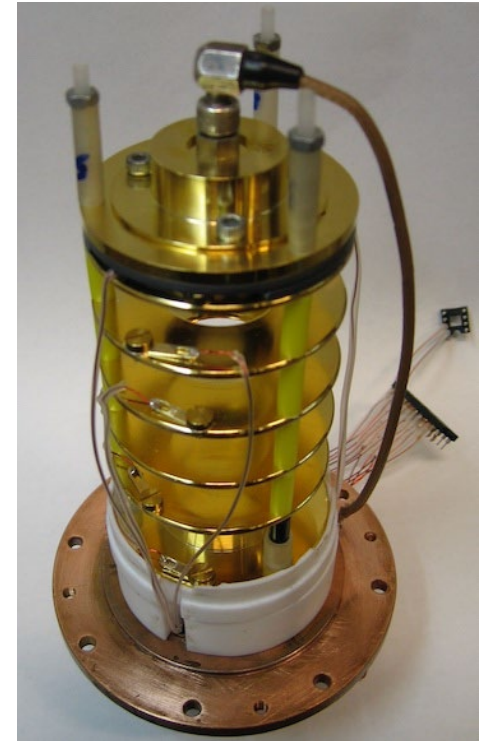
Ra-223 bron  
(dun laagje)

# Een twee-stappenproces

1. collecteren  $^{223}\text{Ra}$  bron vanaf de primaire  $^{227}\text{Ac}$  bron



2. gebruik  $^{223}\text{Ra}$  bron in experimentele opstelling



# Hoe kom je aan Ac-227 ?

gepubliceerd in januari 2007

## Development of the RF-IGISOL at CYRIC

Tetsu Sonoda<sup>a,\*</sup>, Masahiro Fujita<sup>a</sup>, Akiyoshi Yamazaki<sup>a</sup>, Takuya Endo<sup>a</sup>,  
Tsutomu Shinozuka<sup>a</sup>, Yuji Miyashita<sup>b</sup>, Nozomi Sato<sup>b</sup>, Atsushi Goto<sup>b</sup>, Eiji Tanaka<sup>a</sup>,  
Tomokazu Suzuki<sup>b</sup>, Toru Miyake<sup>a</sup>, Minoru Tanigaki<sup>c</sup>, Michiharu Wada<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Cyclotron and Radioisotope Center, Tohoku University, Sendai 980-8578, Japan

<sup>b</sup> Department of Physics, Tohoku University, Sendai 980-8578, Japan

<sup>c</sup> Research Reactor Institute, Kyoto University, Kumatori, Osaka 590-0494, Japan

<sup>d</sup> Riken, 2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198, Japan

Received 1 September 2006; received in revised form 25 October 2006

Available online 10 January 2007

Off-line test experiments were performed using an <sup>227</sup>Ac source. <sup>219</sup>Rn ions recoiled out of the source with an energy of ≈100 keV and were thermalized in the gas cell. They

## Acknowledgements

The authors thank Prof. T. Mitsugashira, Prof. T. Ohtsuki, Dr. K. Takamiya and Dr. H. Yuki for providing us an <sup>227</sup>Ac source.

## <sup>227</sup>Th-EDTMP: A potential therapeutic agent for bone metastasis

Kohshin Washiyama<sup>a,\*</sup>, Ryohei Amano<sup>a</sup>, Jun Sasaki<sup>a</sup>, Seigo Kinuya<sup>b</sup>, Nonhisa Tonami<sup>b</sup>,  
Yoshinobu Shiokawa<sup>c</sup>, Toshiaki Mitsugashira<sup>a</sup>

<sup>a</sup> School of Health Sciences, Faculty of Medicine, Kanazawa University, 5-11-80 Kodatsuno, Kanazawa, Ishikawa 920-0942, Japan

<sup>b</sup> Department of Biotracer Medicine, Graduate School of Medical Sciences, Kanazawa University, 13-1 Takara, Kanazawa, Ishikawa 920-8640, Japan

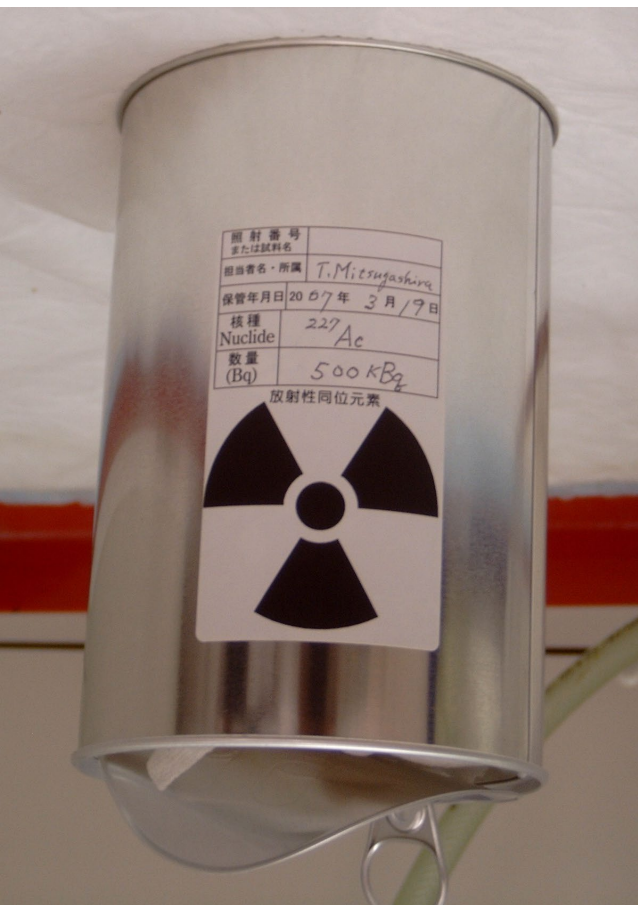
<sup>c</sup> The Oeaei Branch, Institute for Materials Research, Tohoku University, 2145-2 Narita, Oeaei, Higashiibaraki, Ibaraki 311-1313, Japan

Received 17 February 2004; received in revised form 20 April 2004; accepted 6 May 2004

gepubliceerd in mei 2004

Th-227 kan potentieel botkanker behandelen

# De levering van Ac-227



CHIYODA TECHNOL CORPORATION

1-7-12, Yushima, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8681 JAPAN

## INVOICE

REF. No. YM-001/03/20/07

DATE: March 20th, 2007

### INVOICE TO:

**Dr. Peter Dendooven**  
**c/o Ms. S. de Meijer**  
**KVI, University of Groningen**  
Zernikelaan 25, 9747 AA Groningen  
the Netherlands  
TEL: +31-50-363-3615/3600  
FAX: +31-50-363-4003

### From:

**Yoshihiro Mikumo**  
**Chiyoda Technol Corporation**  
Phone: +81-3-3816-7965  
FAX: +81-3-5803-1937  
E-mail : mikumo-y@e-technol.co.jp  
<http://www.e-technol.co.jp>

Dear Sirs,

Thank you for your order. We would like to ask you to arrange the remittance of the payment for the goods against this invoice.

(Currency: EUR)

Description of the goods	Quantity	Unit price	Amount (EUR)
1, Air freight, delivery charges for a Ac-227 source	1 set		1,000
Total Amount (EUR)		DDU University of Groningen	1,000,-
<b>Terms and Conditions.</b>			

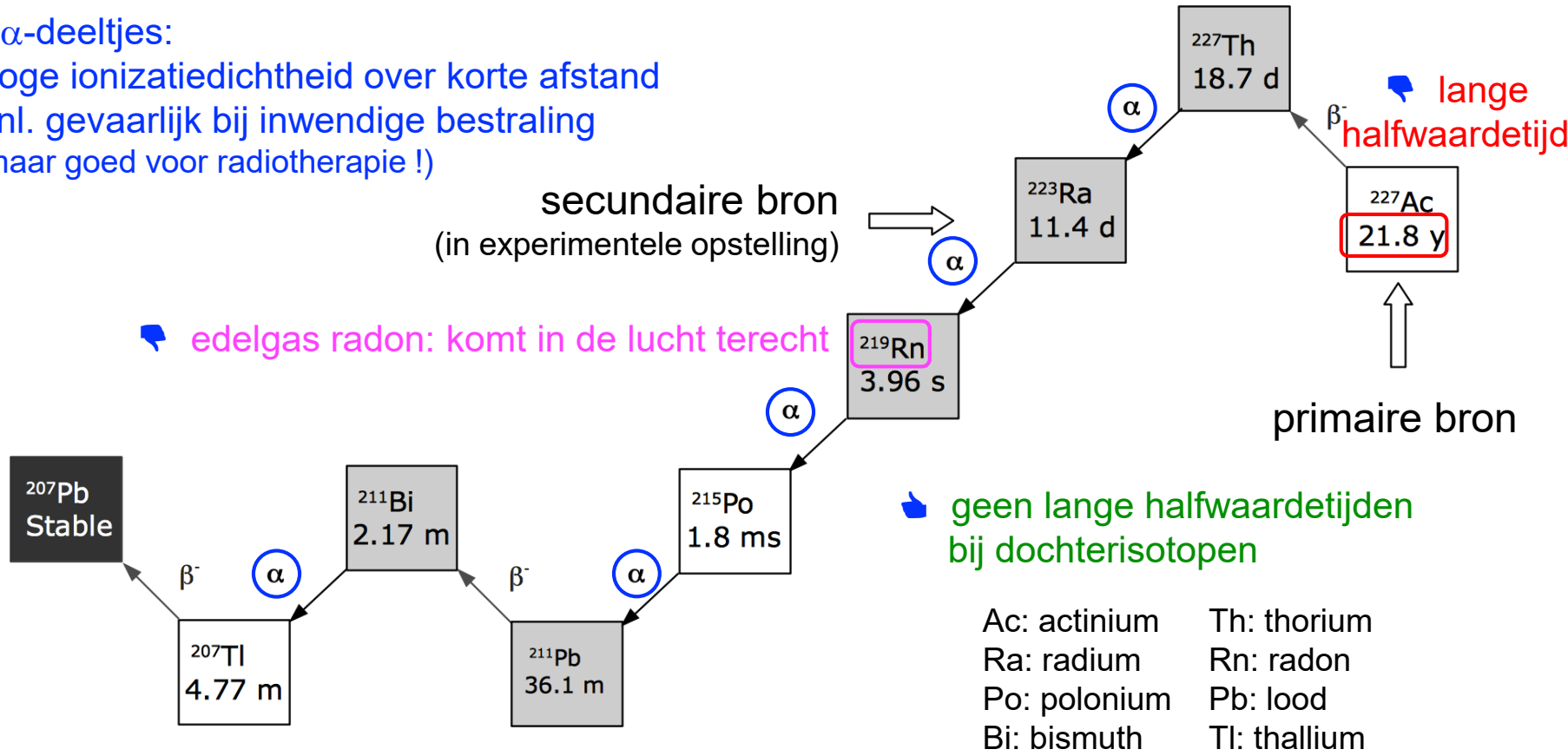
# Aspecten van stralingsveiligheid (1)

☛  $\alpha$ -deeltjes:

- hoge ionizatie-dichtheid over korte afstand
- vnl. gevaarlijk bij inwendige bestraling (maar goed voor radiotherapie !)

secundaire bron  
(in experimentele opstelling)

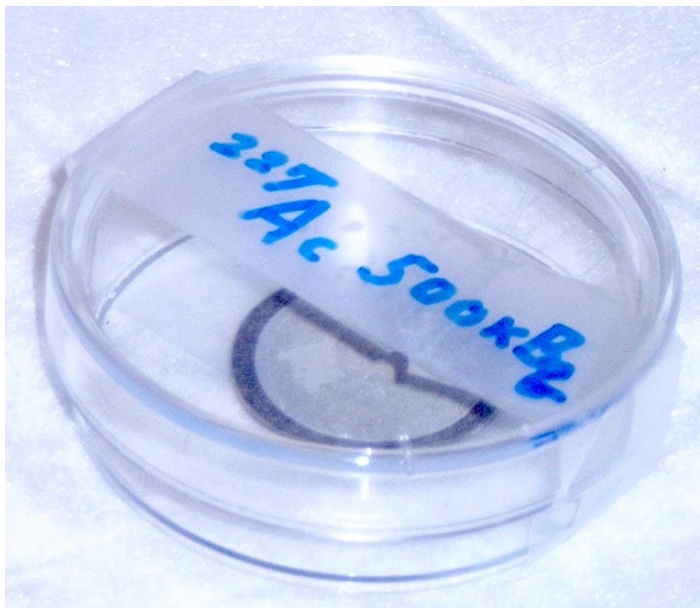
☛ edelgas radon: komt in de lucht terecht



M. Ranjan, PhD Thesis, Rijksuniversiteit Groningen (2012)



# Aspecten van stralingsveiligheid (2)



open bron

2007/03/14

## Specification for Ac-227 source

1. **Date:** 2007/03/14
2. **Nuclide:** Ac-227
3. **Quantity:** 500 kBq ( $500 \pm 40$  kBq) (Determined by 236 keV gamma-ray of a daughter nuclide Th-227)
4. **Radiochemical impurity:** Not detected by gamma-ray spectroscopy
5. **Method for preparation:** An Ac-227 source was co-precipitated with 0.02 mg of Sm as hydroxides and the hydroxides were collected on the surface of ANODISC membrane. The hydroxides were dried at 393 K for 10 min. Quantity of Ac-227 was determined by its daughter Th-227. The ANODISC was fixed on a SUS plate and the SUS plated was settled in a plastic vessel by pasting tape.
6. **Note for safety:** The source was not enclosed. Thus, recoil nuclides, Ra-223, Rn-219, Po-215, and Pb-211 are emitted continuously from the source surface. These radioactive nuclides may cause serious radioactive contamination. Only the person who has good skill for the handling radioactive materials can access to this Ac-227 source.

Radiation Control Office,  
International Research Center  
for Nuclear Material Science,  
IMR, Tohoku University.  
Dr. T. Mitsugashira

# Productie Ra-223 secundaire bronnen

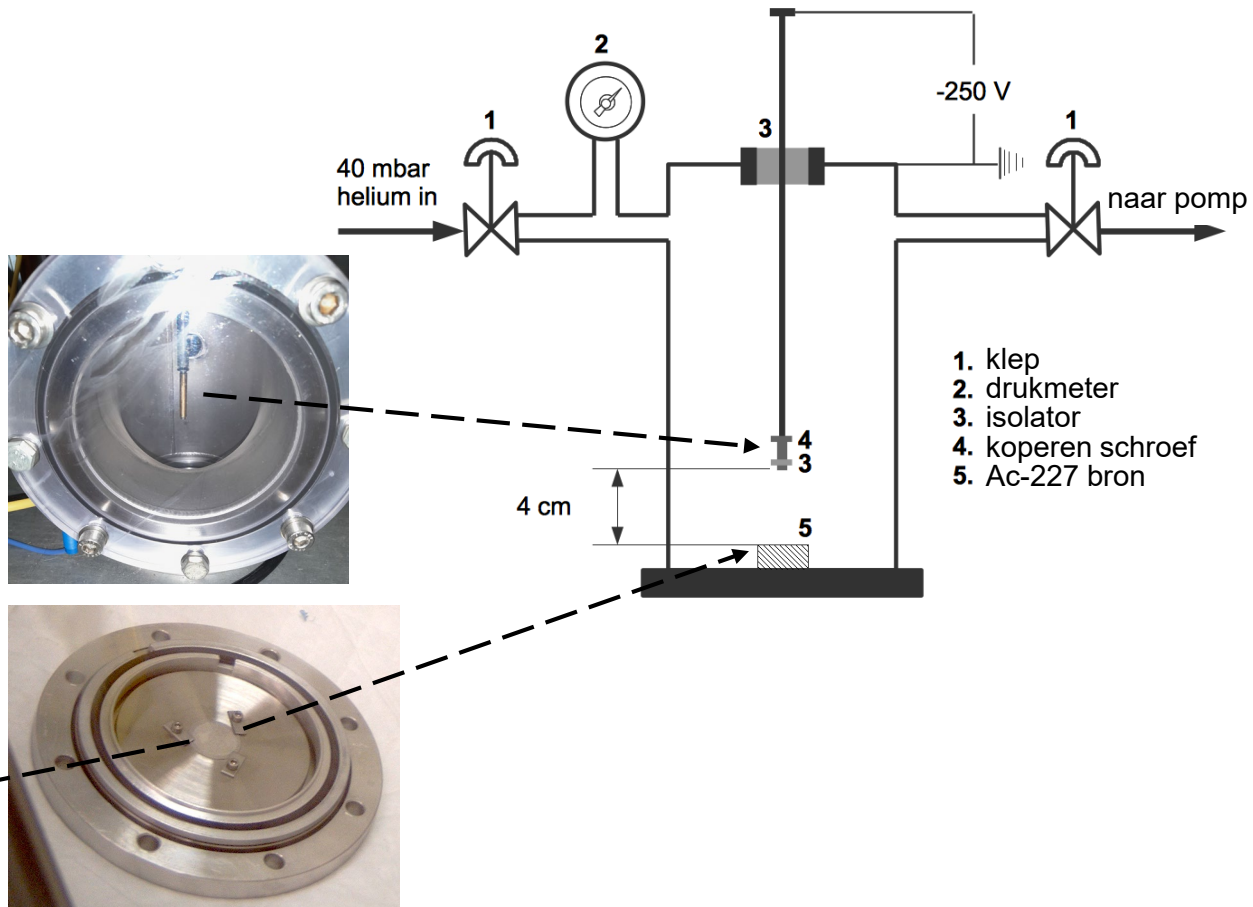
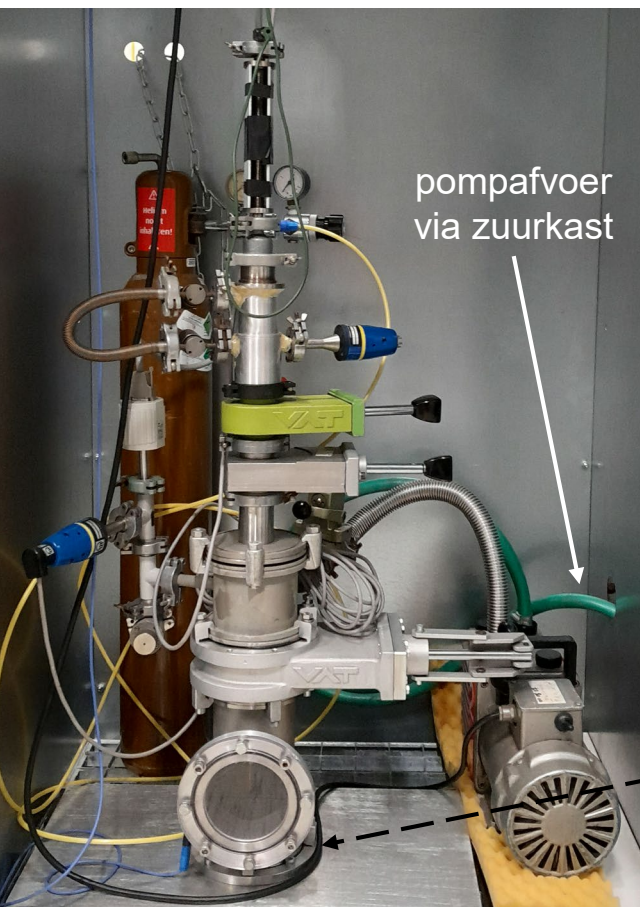


Actinium-227 als ionenbron in experimenteel onderzoek

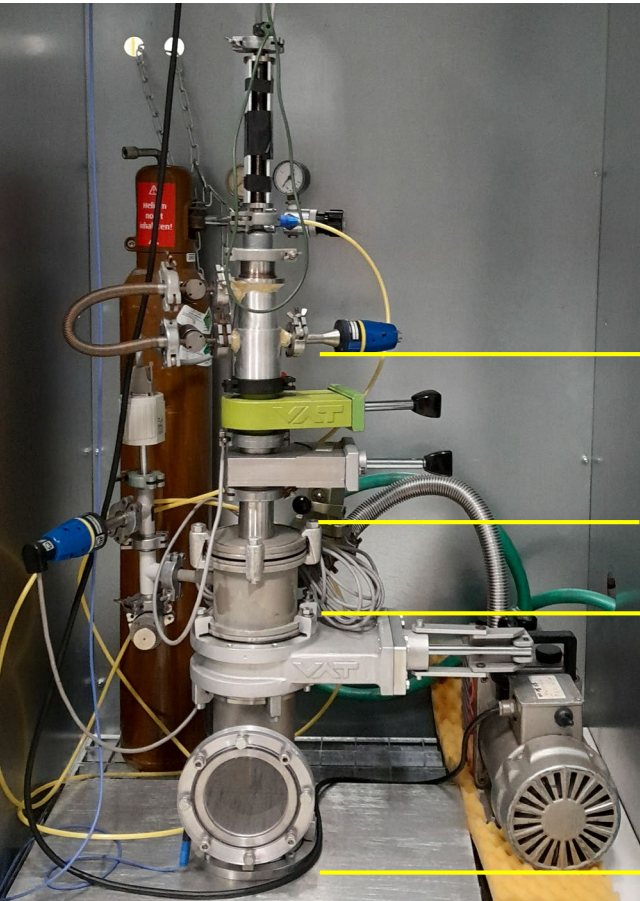


Peter Dendooven 24 maart 2022

# Productie Ra-223 secundaire bronnen



# Transport Ra-223 bronnen naar experiment



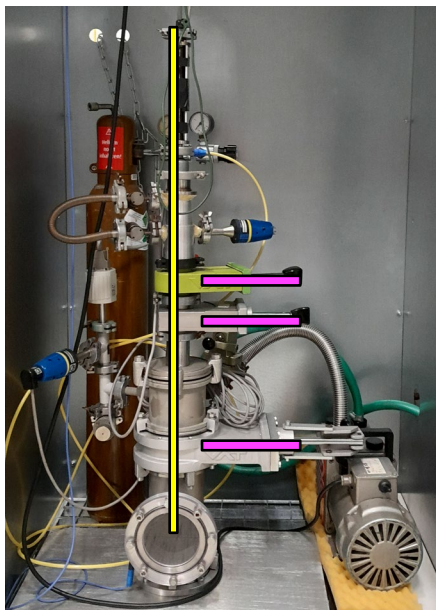
sluissysteem, voorkomt vrijkomen van Rn-219

“de Ac-227 bron”,  
wordt in principe nooit opengemaakt

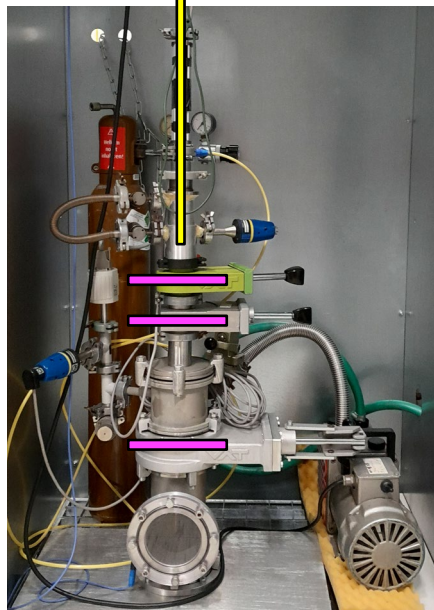
# Transport Ra-223 bronnen naar experiment (1)

voorkom vrijkomen van Rn-219

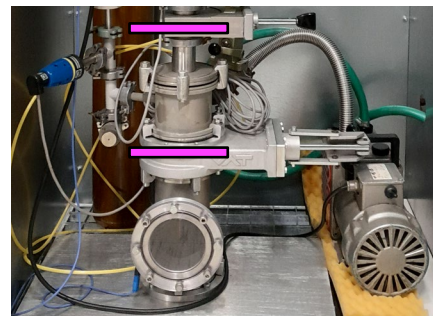
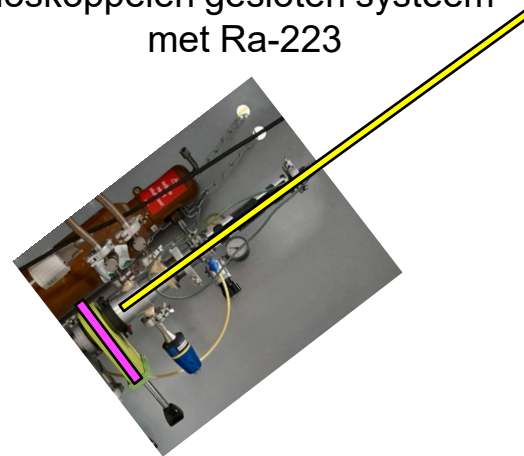
collecteren Ra-223



terugtrekken Ra-223 bron  
en sluiten kleppen



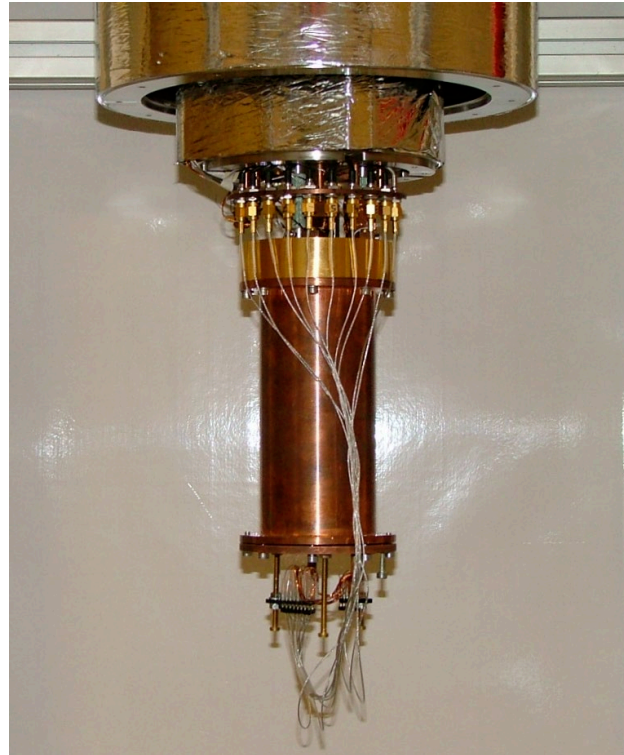
loskoppelen gesloten systeem  
met Ra-223



# Transport Ra-223 bronnen naar experiment (2)

voorkom vrijkomen van Rn-219

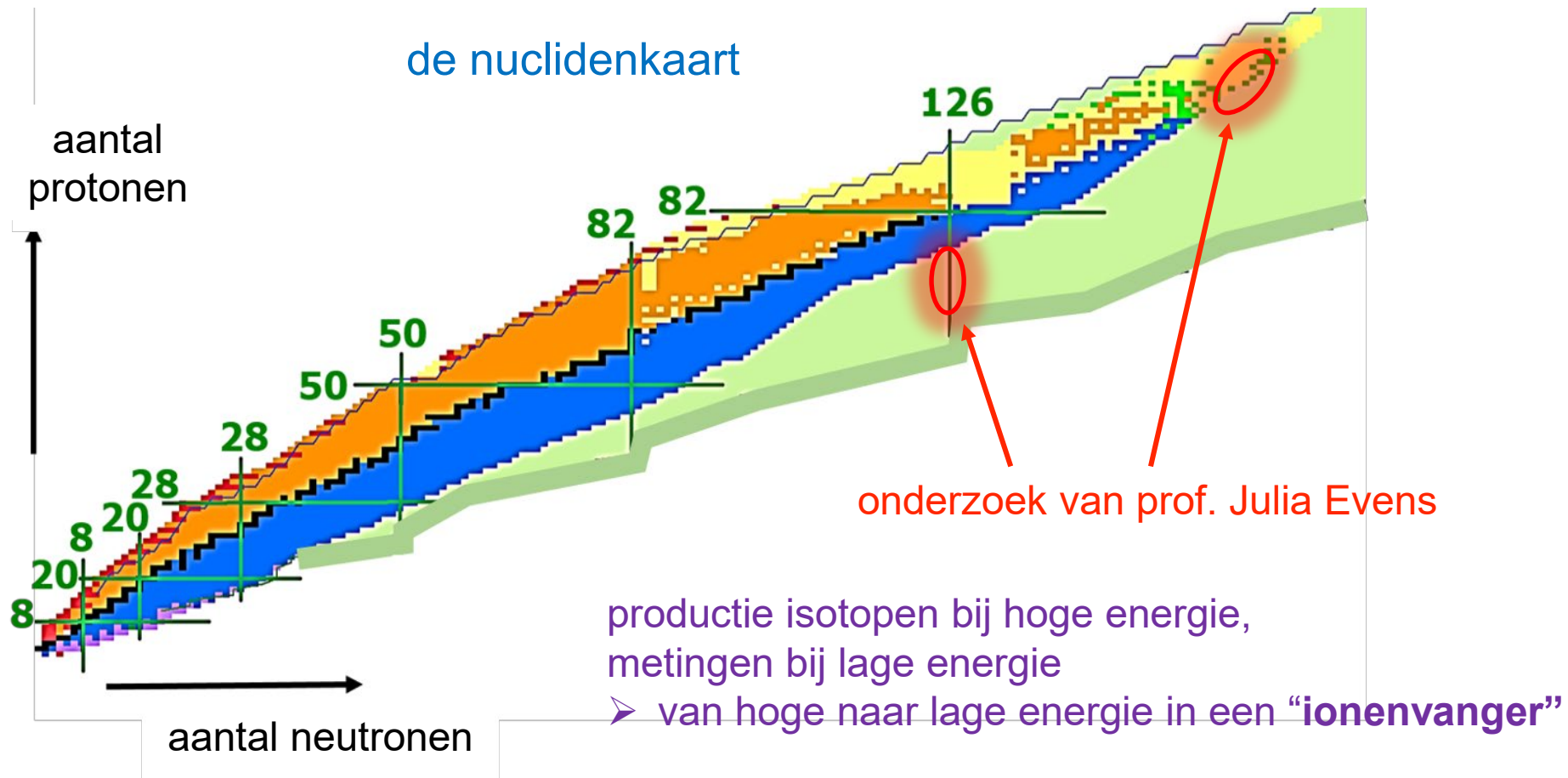
in zuurkast:  
transfer Ra-223 naar gesloten  
experimentele cel



```
A 0.9466 K
Loop 1 Channel A
Setp 4.0000 K
Heat 0.0% of OFF
```

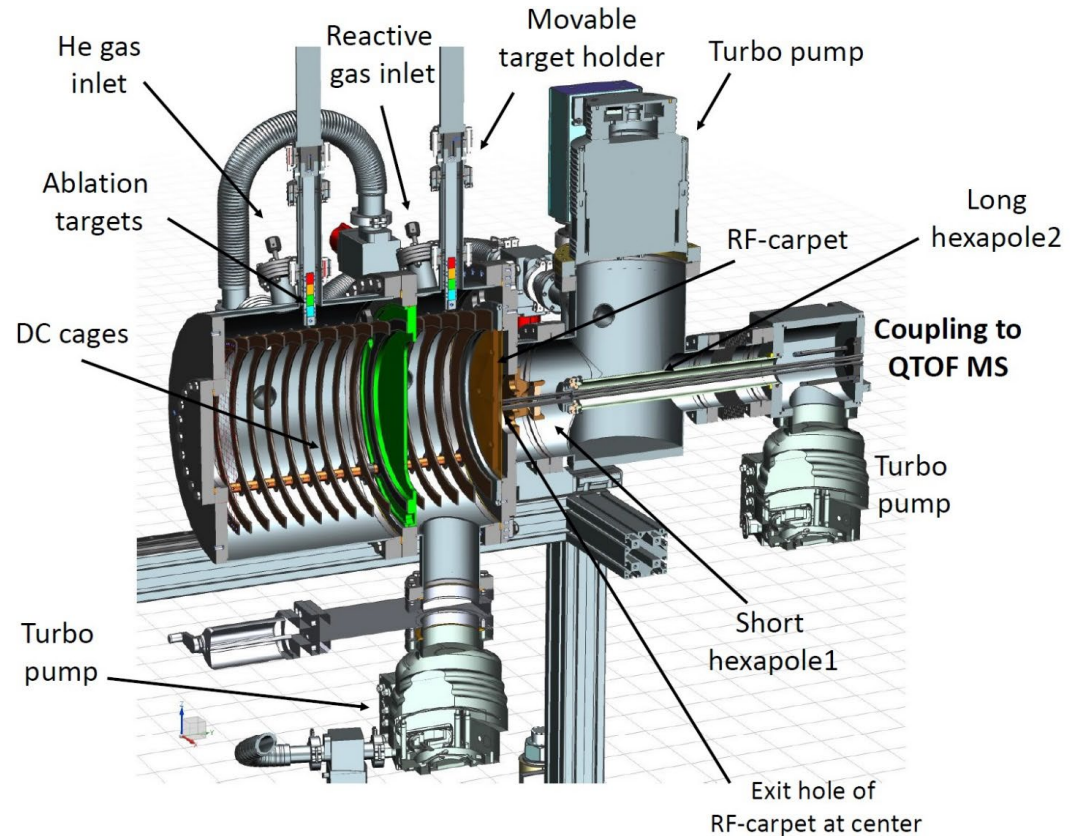
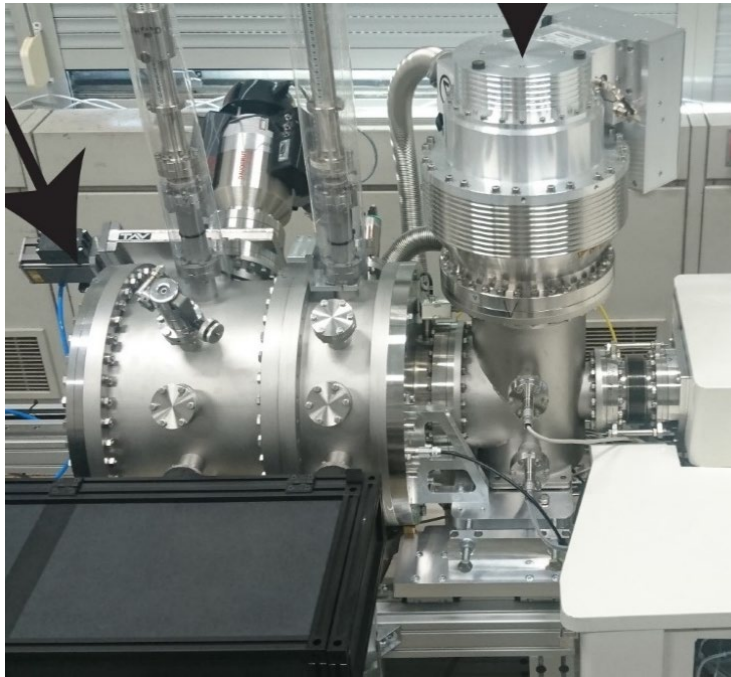


# Ra-223 bronnen in het onderzoek (1)



# Ra-223 bronnen in het onderzoek (2)

Ra-223 bronnen gebruikt bij het ontwikkelen van apparatuur



A. Mollaebrahimi, B. Anđelić, J. Even, et al., *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B* **463**, 508 (2020).



# Risicoanalyse stralingstoepassingen Ac-227

KVI-06-B-002

Update november 2019

	<b>1. Risico-identificatie</b> .....	3
welke bron ?	1.1 Bronnen van ioniserende straling .....	3
wat wordt er met de bron gedaan ?	1.2 Handelingen .....	3
	1.3 Procedure .....	5
	1.4 Plaats van handeling.....	7
	1.5 Maatregel ter bescherming van blootstelling .....	8
blootstelling	1.6 Blootstellingspaden .....	8
	1.7 Aantal handelingen.....	8
	1.8 Voorziene onbedoelde gebeurtenissen .....	8
wat kan in het milieu terechtkomen ?	1.9 Milieulimieten $^{227}\text{Ac}/^{227}\text{Th}-^{223}\text{Ra}$ koe .....	9
	<b>2. Risicoberekening</b> .....	12
	2.1 Gesloten bronnen.....	12
	Risicoschatting Ac-227 bron .....	12
	<b>3. Risico-evaluatie</b> .....	15

# Bron en opstelling

## Bronnen

IT nummer: KVI-06-B-002

Titel: Ac-227 koe voor de productie van Ra-223 bronner

Toepassing: bronnen

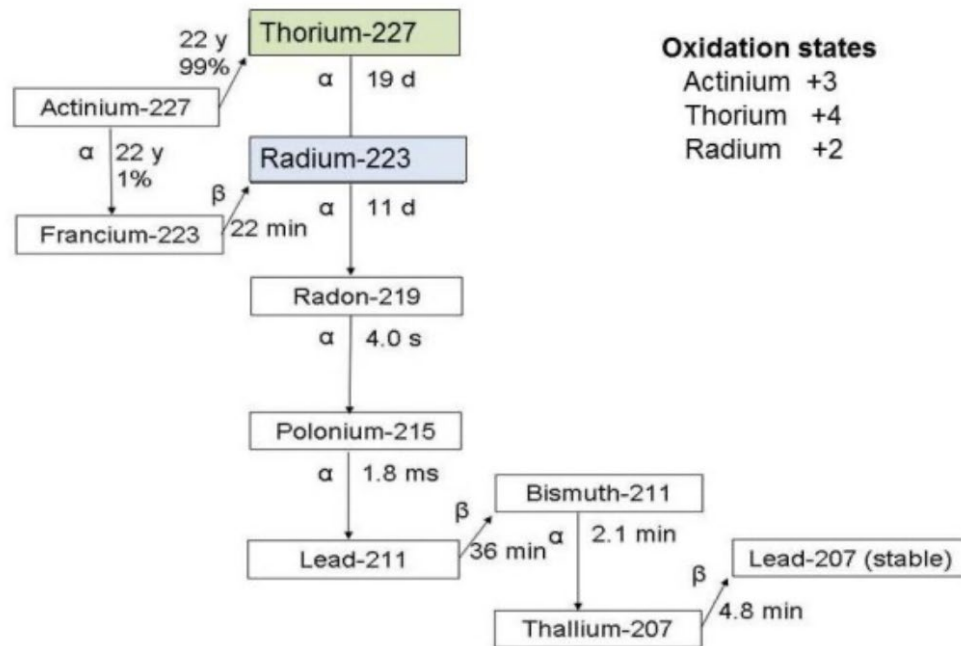
Gebouw: 5712

Locatie: 5712.0125

Duur: tijdelijk

Status: verleend 2006, aangepast 2019

Terreingrens: 130 meter



Figuur 1 Vervalschema Ac-227

## Opstelling:

De Ac-227 bron bevindt zich in een volledig gesloten productieopstelling (figuur 2). De Ac-227 bron wordt niet verwijderd en is niet bereikbaar (figuur 3). Bovenop deze opstelling wordt een systeem

# voorbeeld 1: maximale externe blootstelling

bronsterkte	<b>0,5</b>	MBq
uitgezonden X- en gamma-energie	0,45	MeV per Bq
bronconstante	<b>0,08</b>	$\mu\text{Sv m}^2 / \text{MBq /h}$
dosistempo op 1 meter	0,04	$\mu\text{Sv/h}$
dosistempo op 50 meter	0,000016	$\mu\text{Sv/h}$

## maximaal theoretische externe blootstelling

- productie max. **10** Ra-223 bronnen per jaar (cfr. Ra-223 halfwaardetijd = 11 d)
- totale duur handeling per bron: max. **5** uur
- medewerker op **0,5** meter afstand

externe blootstelling per jaar:

$$0,08 \frac{\mu\text{Sv m}^2}{\text{MBq h}} \times 0,5 \text{ MBq} \times \frac{1}{(0,5 \text{ m})^2} \times (10 \times 5) \text{ h} = 8 \mu\text{Sv per jaar}$$

# voorbeeld 2: blootstelling tijdens productie Ra-223 bron

Worst-case scenario voor blootstelling (inhalatie) van de werker tijdens productie Ra-223 bron.

0,5 MBq bron → 500 000 Rn-219 komt in de zuurkast per seconde

1 uur per handeling → 1,8 miljard Rn-219 per handeling

lekfractie zuurkast: 1% → 18 miljoen Rn-219 per handeling in de labruimte

5 m x 5 m x 3 m = 75 m<sup>3</sup> labruimte → 240 000 Rn-219 per m<sup>3</sup>

ingeademd volume lucht = 1,2 m<sup>3</sup> per uur → 2.9 miljoen Rn-219 ingeademd per handeling

dosisbelasting komt door vervalproducten Pb-211 and Bi-211

ingeademde Pb-211 activiteit = 930 Bq per handeling

$e(50)_{inh}$  door Pb-211 = 0,012  $\mu\text{Sv/Bq}$

$e(50)_{inh}$  door Pb-211 = 1.1  $\mu\text{Sv}$  per handeling

10 handelingen per jaar →  $e(50)_{inh}$  door Pb-211 = **11  $\mu\text{Sv}$  per jaar**

# Risico-evaluatie (conclusie van de risicoanalyse)

De uitkomsten van de gemaakte berekeningen zijn bepaald aan de hand van de meest risicovolle situatie denkbaar. Dit is bereikt doordat een aantal berekeningen vereenvoudigd zijn naar de meest conservatieve situatie.

<b>Positie</b>	<b>Jaardosis (theoretisch maximum)</b>
Reguliere blootstelling werknemer bij productie, overzetten en gebruik van Ra-223 bron	Verwaarloosbaar < 100 $\mu\text{Sv}$ (11 + 11,5 + 76 $\mu\text{Sv}$ )
Incidentscenario inhalatie Ac-227 bij brand	2,2 $\mu\text{Sv}$
Incidentscenario ingestie bij lekke Ac-227 bron	70 $\mu\text{Sv}$

Voorwaarden:

- De ruimte is afgesloten en alleen toegankelijk voor bevoegden
- Bij het overzetten van de geproduceerde bron worden handschoenen gedragen
- De bron en opstelling is onderdeel van de jaarlijkse lekttest
- Bij het vacuümtrekken van zowel de productieopstelling als de experimentele opstelling wordt de afvoer van de vacuümpomp via de zuurkast naar buiten geleid.
- Na experiment wordt de Ra-223 bron in gesloten toestand en duidelijk gemarkeerd bewaard, bij voorkeur in een zuurkast.

# Eindconclusie

---

*Op grond van de risicoanalyse is niet te verwachten dat de individuele doses van de medewerker de limiet van 1mSv voor een niet blootgestelde medewerker, zoals gesteld in het Bbs (art.7.11, lid 3), zullen overschrijden. Ook niet in geval van een optredend voorzien incident. De potentiële blootstelling bedraagt  $\ll 1$  mSv per jaar, de ruimte wordt derhalve niet aangemerkt als bewaakte zone conform Bbs art. 7.7 lid b1. De genomen ALARA maatregelen zijn adequaat maar daar waar mogelijk zullen aanvullende ALARA-maatregelen genomen worden.*

# Samenvatting

## een open Ac-227 bron ter illustratie van het gebruik van radioactieve bronnen

### ➤ stappenplan:

- eigenschappen van de bron
  - vorm (fysisch, chemisch)
  - uitgezonden straling
  - halfwaardetijden
- veilige installatie en handelingen
  - minimale blootstelling aan straling
  - minimale kans op ongewenst vrijkomen van radioactief materiaal
  - “safety by design”
- risico-analyse op basis van de meest risicovolle situatie denkbaar
  - doses moeten lager zijn dan de wettelijke normen
- aan de slag !