Koolstof-14 meting met deeltjesversneller



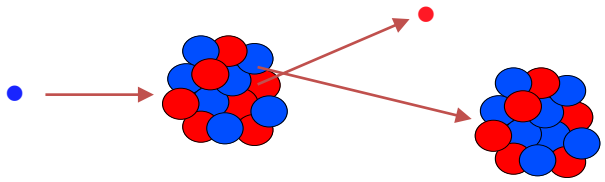
en de rol van de toezichthouder

Dr. Sanne Palstra
Centrum voor Isotopen Onderzoek (CIO)

Koolstof-14 (^{14}C)

- ^{14}C = 'radiocarbon' =  (vervaltijd: 5730 jr)
- Continue productie in atmosfeer door kosmische straling

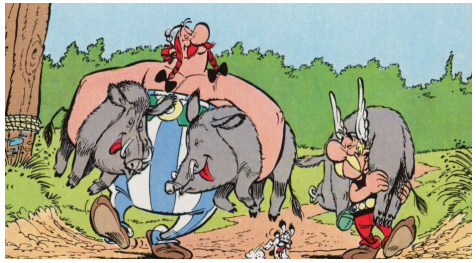




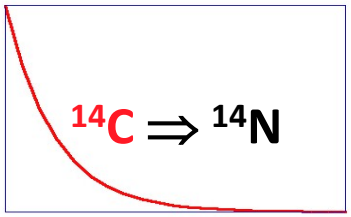
$$n + {}^{14}N \Rightarrow p + {}^{14}C \Rightarrow {}^{14}CO_2$$



- CO_2 opname planten → ^{14}C in organismen (voedselketen)
- Na dood organisme: verval









^{14}C als tracer voor:



- Ouderdom → hoe minder ^{14}C hoe ouder

Principe radioactief verval:

$N(t) = N(0) \cdot e^{(-\lambda t)}$ $\lambda = \ln 2 / t_{1/2} = \ln 2 / 5730 = 1/8267$

Tijdsduur van verval (t)

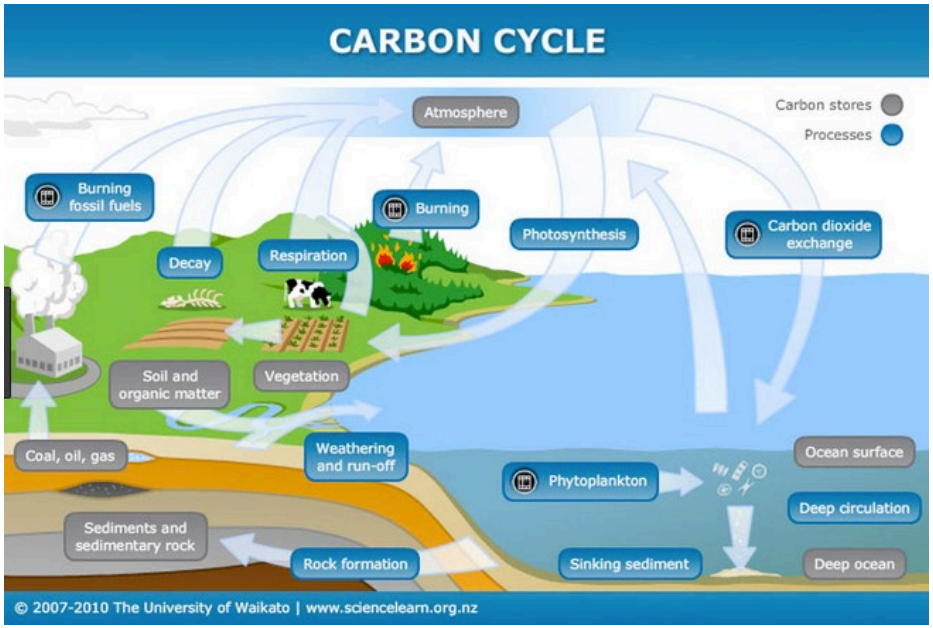
$$t = -8267 * \ln \left[\frac{^{14}C_signaal_{monster}}{^{14}C_signaal_{t=0}} \right]$$

Bijv: t = -8267 * ln (0.67) = 3311 jaar

Daarna: standaardisatie, normalisatie, correctie en kalibratie

^{14}C als tracer voor:

Herkomst van verschillende koolstofbronnen





^{14}C waarden sterk verschillend en specifiek → biomassa (^{14}C) vs. fossil fuels (geen ^{14}C)

→ mengsel fracties bioC en fossilC bepalen

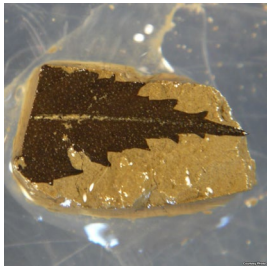
Toepassing ^{14}C metingen:

- Archeologie
- Geologie en geomorfologie
- Paleo-ecologie
- Paleo-klimaat onderzoek (o.a. ijskernen)
- Hydrologie
- Koolstofcyclus atmosfeer, biosfeer en oceanen
- Aerosolen (luchtkwaliteit)
- Forensisch onderzoek
- Verificatie Bio-based products
- …









Wat er aan meten voorafgaat:

- Onderzoeksvraag
- Sampling/selectie materiaal
- Chemische verwijdering koolstof-contaminatie
- Selectie pure koolstoffractie





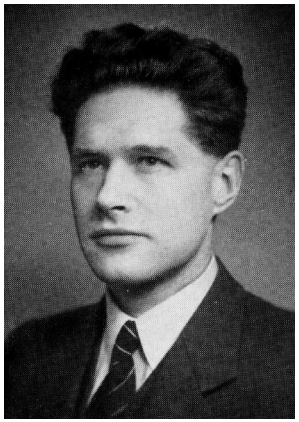


De uitvinders

Vanaf 1947 ontwikkeling methoden voor het meten van ^{14}C op basis van radioactief verval.



W.F. Libby
(Chicago)
1908-1980
Nobelprijs
scheikunde 1960



H. de Vries
(Groningen)
1916 - 1959

↓

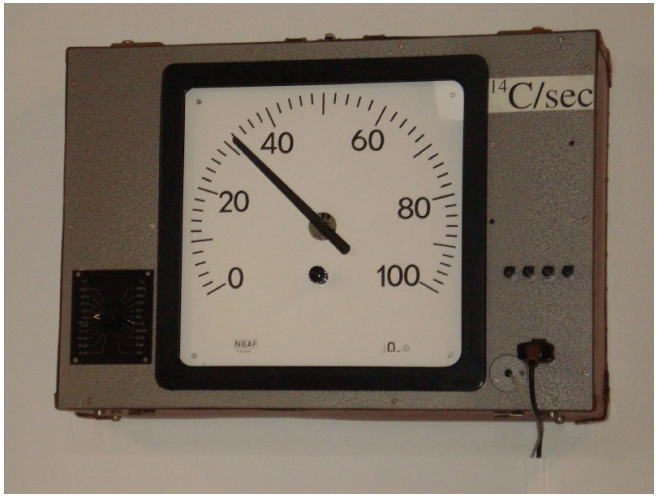
Liquid scintillation detection (LSC)

↓

Proportional gas counter (beta ionization)

Uitdagingen bij meten ^{14}C op natuurlijk niveau

^{12}C : ^{13}C : ^{14}C = 99 : 1 : **10^{-10}** % C



Nodig:

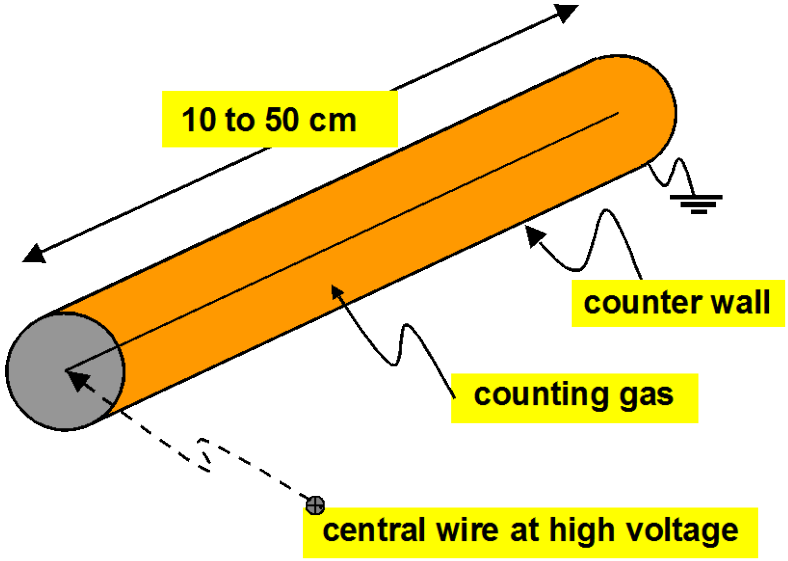
- Voldoende koolstof
- Selectie van juiste koolstofbron (fysiek en chemisch)
- Selectiviteit meetsignaal ^{14}C

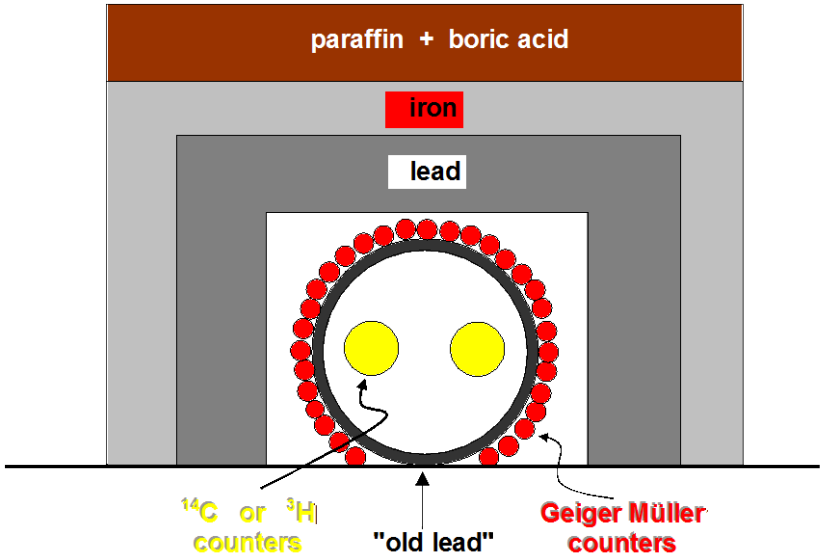
^{14}C meting bij CIO



Proportional gas counter: 1953 - 2011

- Meting van radioactief verval ^{14}C in CO_2
- 5 Liter monster CO_2 → monstermateriaal : 10 – 500 gram





Recente koolstof: 820 vervalcounts/uur

Detectielimiet: 1.5 counts/uur ≈ 50 ka oud

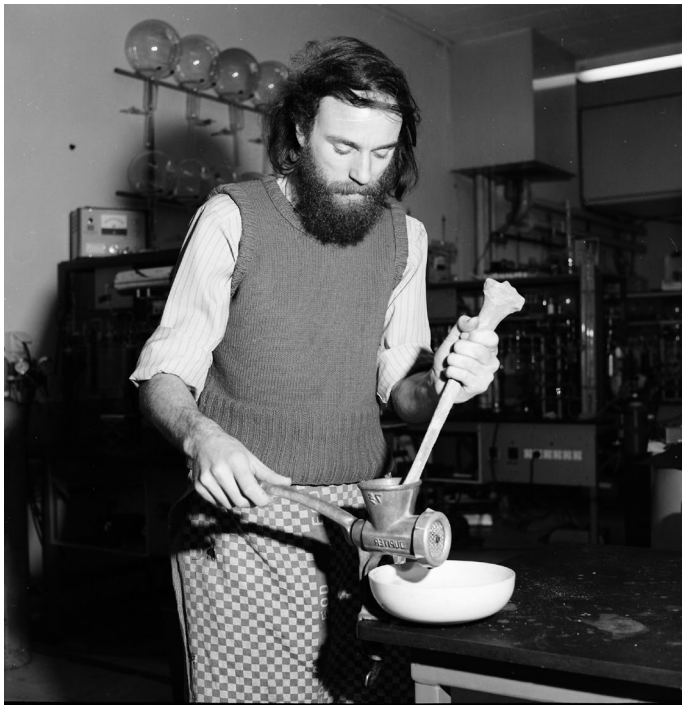
} Voor voldoende statistiek: meerdere dagen meten

CULTUURBIJLAGE
LEEUWARDER COURANT

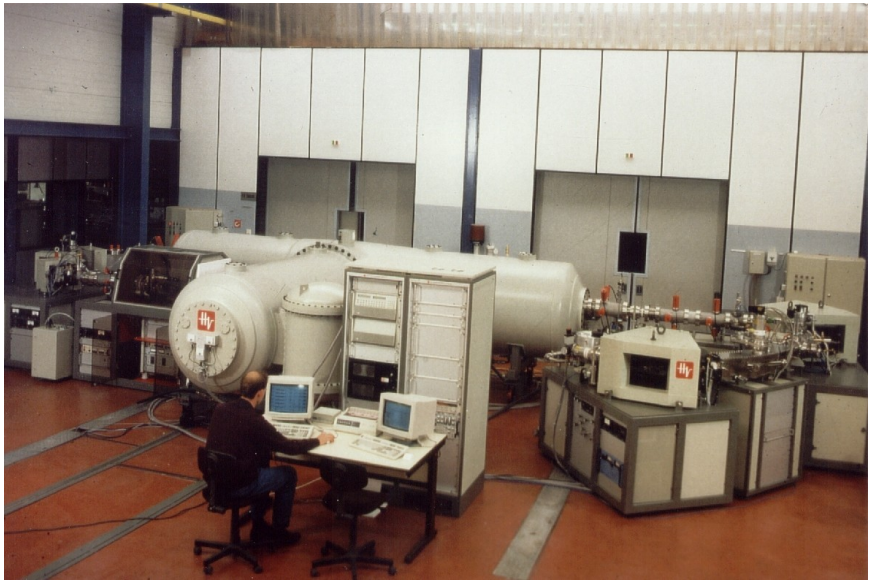
FR

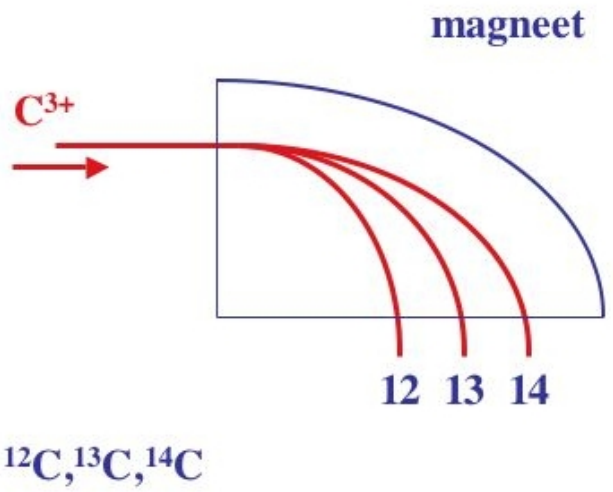
Bonifatius:

bij Dokkum vermoord, in Groningen verpulverd



Accelerator Mass Spectrometer (AMS): 1994 - 2017





Meting van concentratie ^{14}C in C (grafiet):
Aantal ^{14}C atomen wordt relatief t.o.v. aantal ^{12}C atomen gemeten.

- 2 mg C nodig → monstermateriaal : 4 – 200 mg
- Meetduur: 45 minuten per monster

Magneet_1
Injecteert
C^- deeltjes in
versneller

Versneller
Verandert energie en m/z C deeltjes

Magneet_2
scheidt
$^{12}C, ^{13}C, ^{14}C$

C^-

C^{3+}

Ar stripper gas

^{12}C chopper

^{12}C

^{13}C

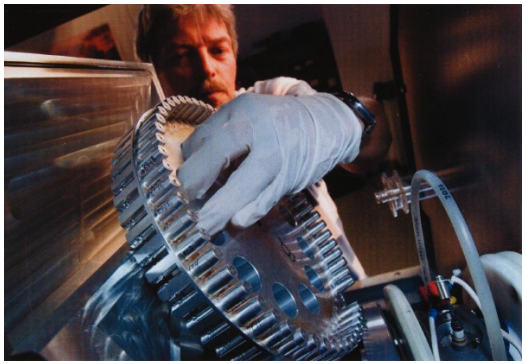
^{14}C

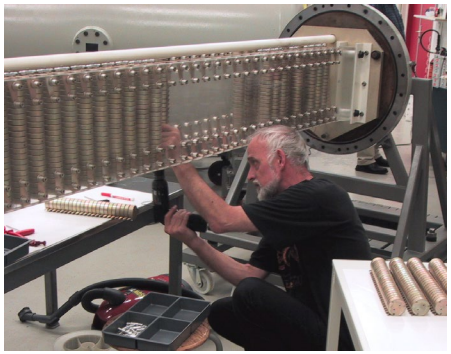
^{14}C massafilter

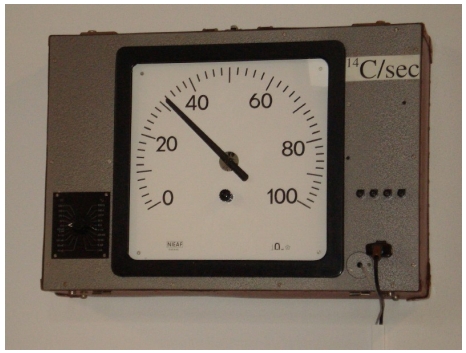
Ionenbron (35 kV)
maakt C^- deeltjes
uit grafietmonster

2.5 MV
Hoogspanning

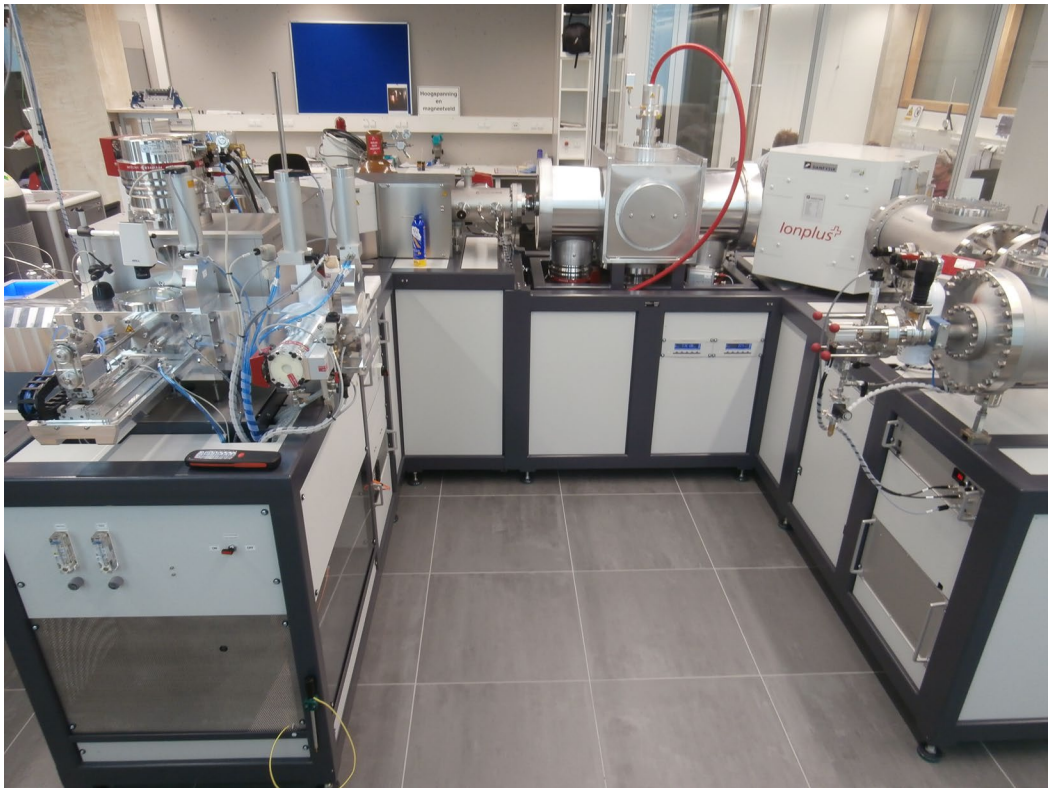
detector
telt ^{14}C deeltjes







Accelerator Mass Spectrometer (AMS): 2017 – heden
Mini Carbon Dating System: MICADAS

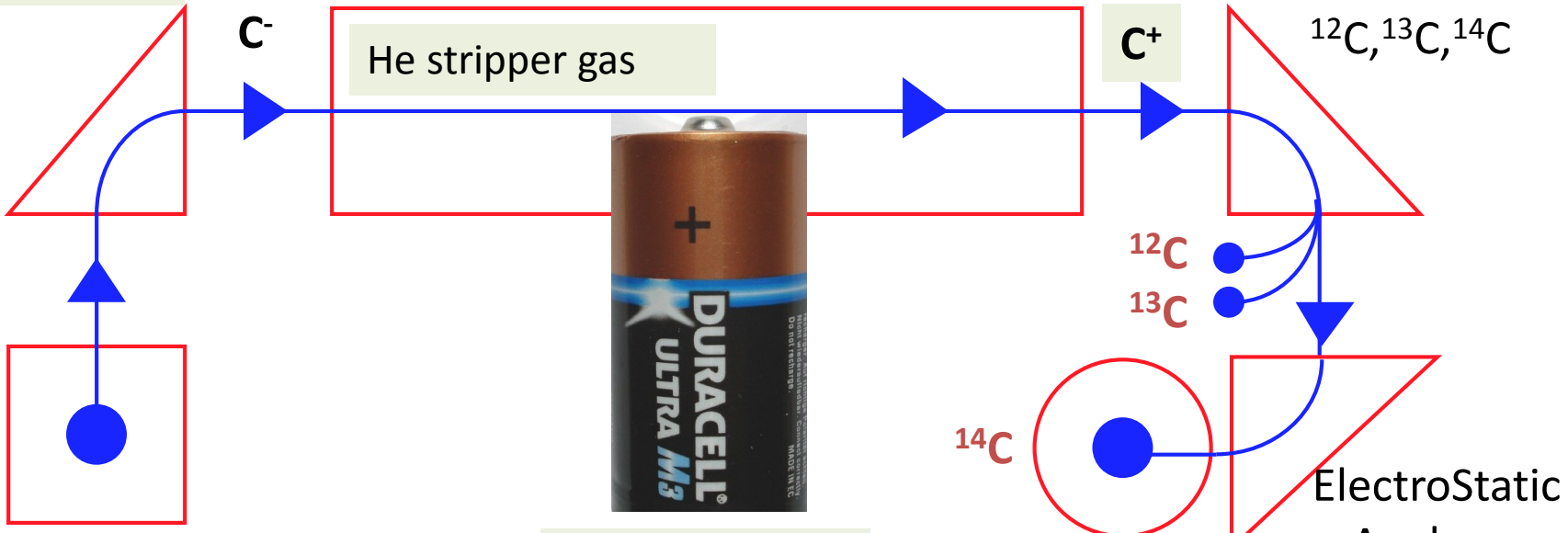


- Meting van concentratie ^{14}C in grafiet of in CO_2
- Kleiner ontwerp met veel kleinere versneller
- Verbeterde meetprecisie

Magneet_1
Injecteert $^{14}C^-$ deeltjes en af en toe ^{12}C en ^{13}C in versneller.

Versneller
Verandert energie en m/z C deeltjes

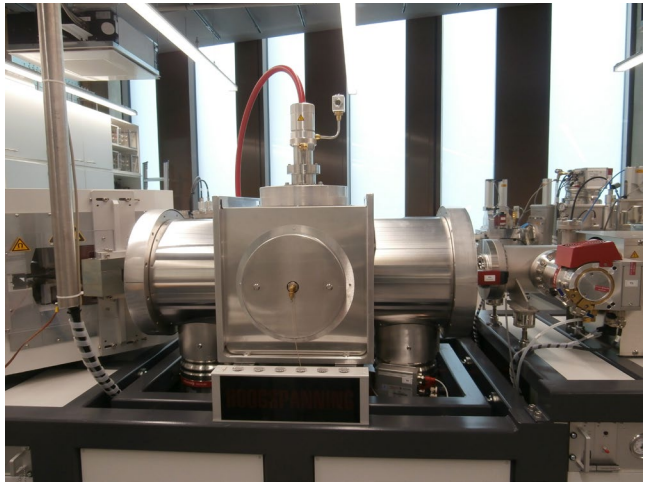
Magneet_2
scheidt $^{12}C, ^{13}C, ^{14}C$



Ionenbron (30 kV)
maakt C^- deeltjes uit grafiet- of CO_2 monster

200 kV Hoogspanning

(Stralings)veiligheid toestel
Accelerator Mass Spectrometer



Hoogspanning
Hoog-vaccuum
Magneten
X-ray productie





Stralingsniveau (µSv/h) Micadas (op papier)

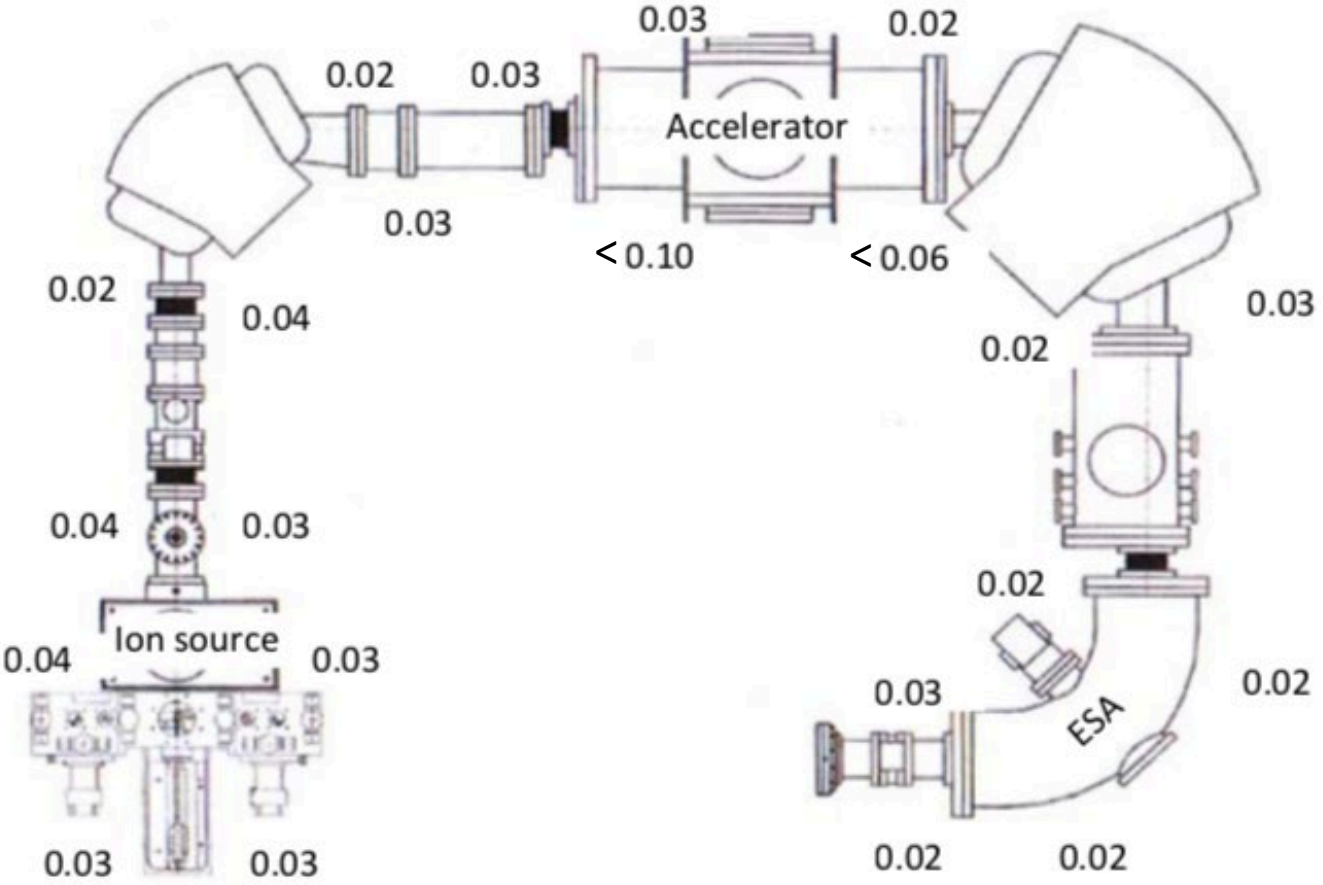


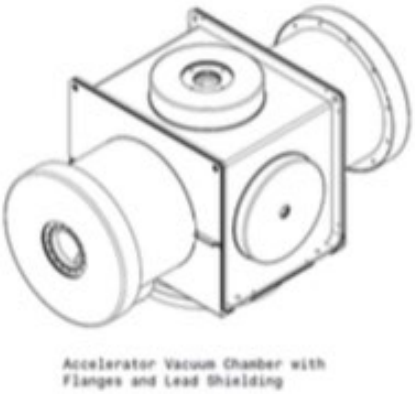
Figure 2: X-Ray map of the MICADAS system. Indicated values correspond to X-Ray dose rates (µSv/h) during normal operating conditions (10 cm gap to machine surface, background 0.02 µSv/hr).

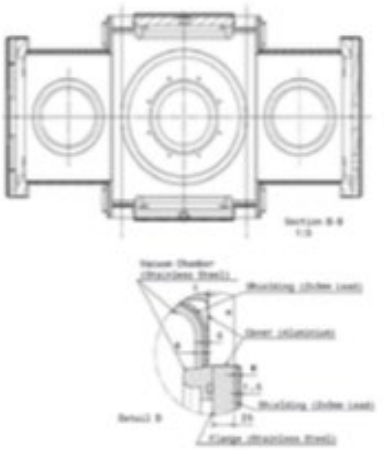
Alleen als instrument + hoogspanning aan is

Stralingsbescherming instrument

Afscherming op instrument zelf:

- Ion source:
  - 15 mm roestvrijstaal
  - 1.5 mm loodglas
- Versneller: 6 mm lood & 8 mm roestvrijstaal





<u>Interlocks</u>

Het apparaat schakelt onderdelen uit bij:
te veel stroom, te weinig vacuüm en/of te hoge druk

Rol van de toezichthouder

- Opstellen Risico inventarisatie- en evaluatie (RI&E)
  - soort blootstelling, risico's, beschermingsmaatregelen
- Opstellen werkinstructie
- Toezien op (stralings)veilig gebruik van apparaat
- Periodieke controle stralingsniveau



Stralingsniveau Micadas (in de praktijk)

Fase 1; Tijdelijke vergunning

- Wat meten we aan stralingsdosis in de praktijk?
  - Dose rate meter
  - TLD badges
- Bepalen wie, wanneer en hoe lang bij het apparaat mogen werken + risico's inschatten
  - MICADAS-ruimte ook toegestaan voor andere toepassingen?



Radiation levels at 10 cm distance during run with graphite targets (30/01/2018)

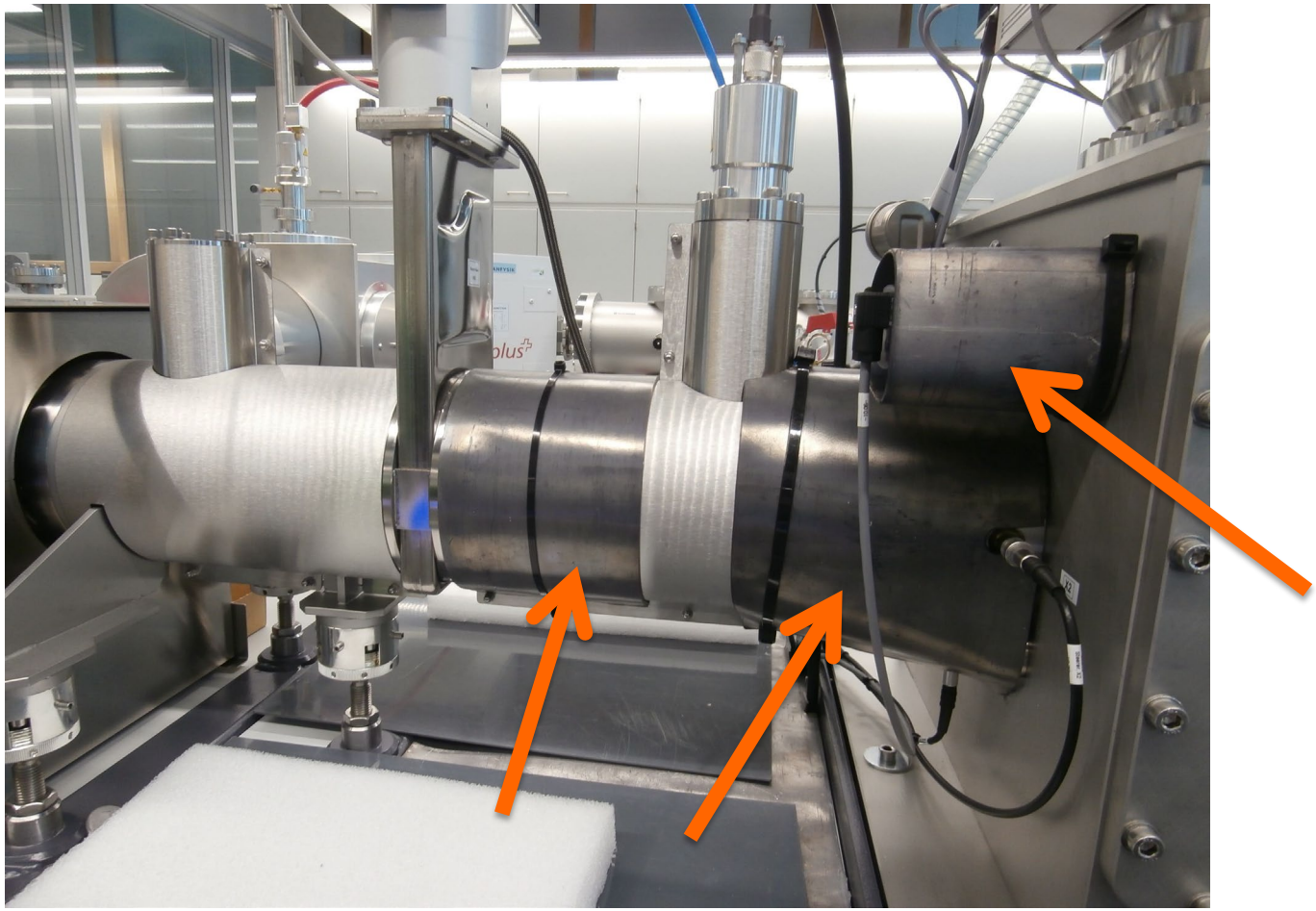


Radiation levels at 10 cm distance during run with gas targets (31/01/2018)



ALARA: As Low As Reasonably Achievable

→ Extra loodmateriaal om straling uit lekpunten tegen te houden.

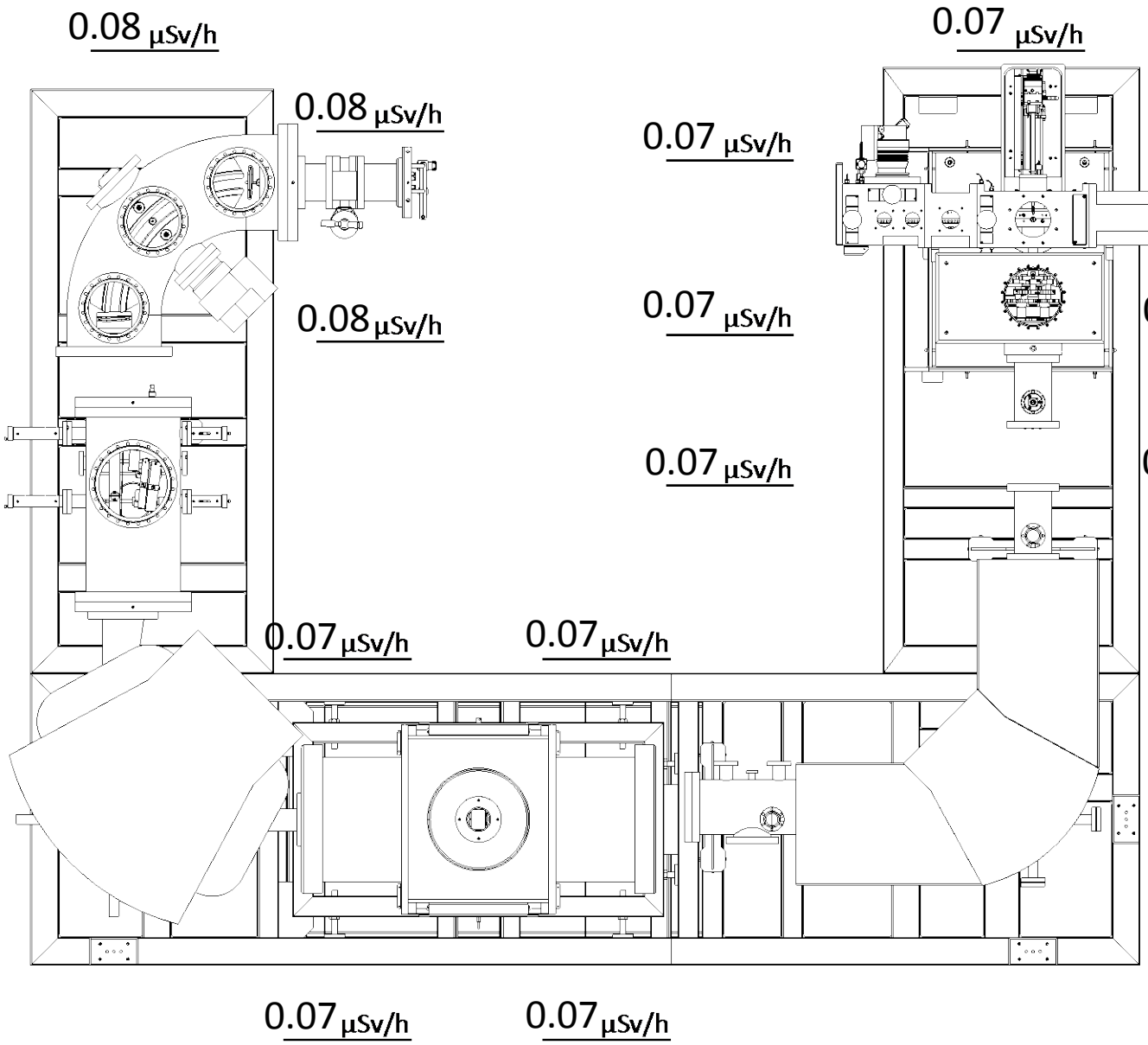


Radiation levels at 10 cm distance during run with gas targets and lead shield (31/01/2018)



Radiation levels at 10 cm distance during run with graphite targets and additional lead shielding (27/03/2018)





Stralingsniveau Micadas (in de praktijk)

- Fase 2; Definitieve RI&E en vergunning
  - Jaardosis bij normaal bedrijf is < 1 mSv
  - Geen bewaakte ruimte en geen blootgestelde werknemers
  - Continue monitoring stralingsniveau met TLD-badges
  - Extra veiligheidsmaatregelen bij conditionering/tuning/onderhoud
  - Controle stralingsdosis na ieder onderhoud

Questions?

