Design and manufacture of the IMGA system for PIE of coated fuel particles of HTR fuel element in INET

Malin Liu*, Hongsheng Zhao, Youlin Shao, Bing Liu, Chunhe Tang

Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, P.R.C

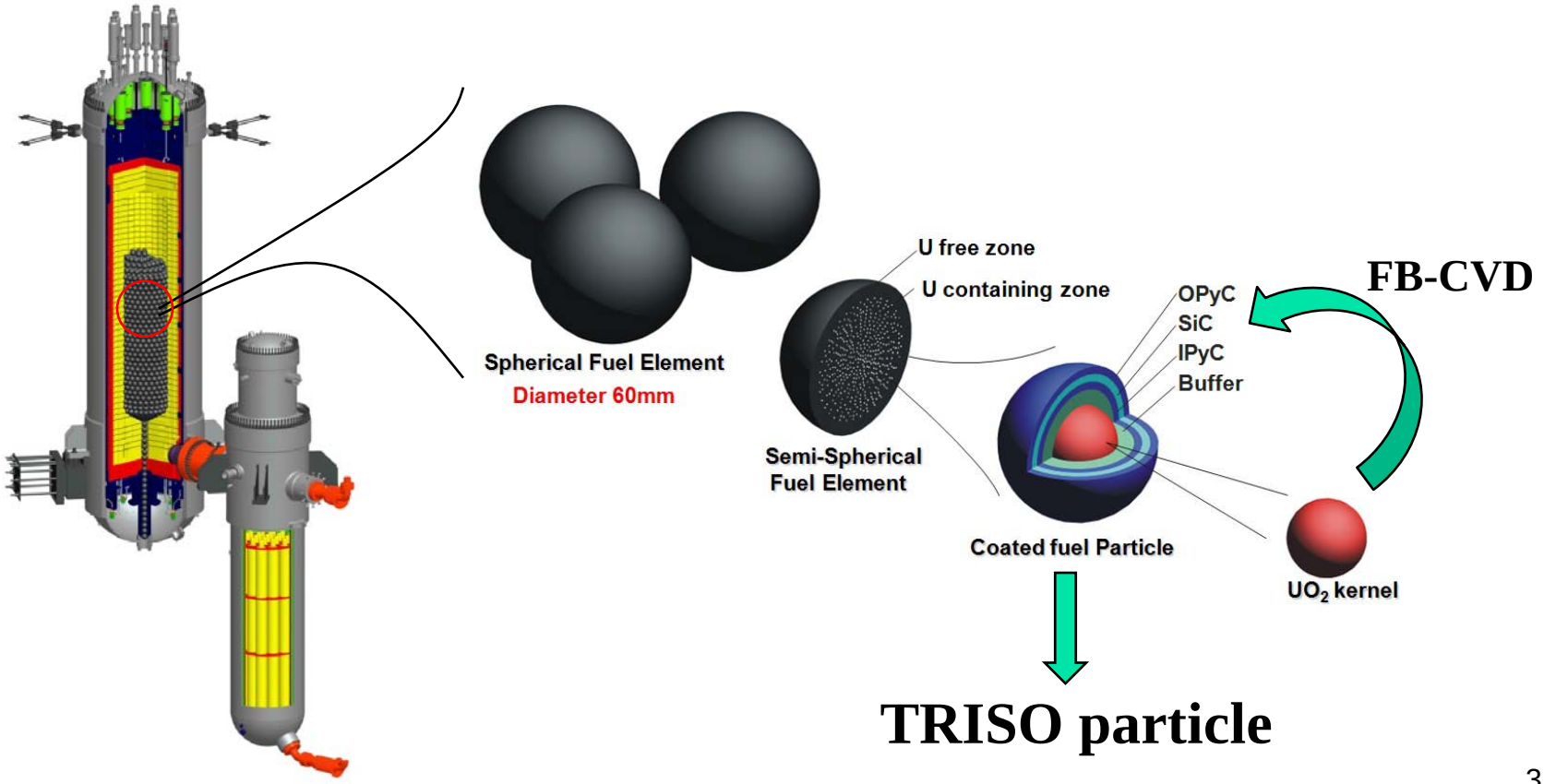
2015-09-28

OUTLINE

- Background
- Design principle of IMGA
- IMGA system design in INET
  - Particle singularizing part
  - Automatic motion design
  - Measurement design
    - *Radionuclide, Collimator , Detector*
  - Process parameter design
- Conclusions

Background

- High Temperature Gas cooled nuclear Reactor
  - Helium as coolant, the ceramic coated particle as fuel



Background

- HTR development in China
  - HTR-10 1998-2004
    - Experimental reactor
  - HTR-PM 2012-2017(plan)
    - Commercial demonstration reactor
  - HTR-600 2020? - ?
    - Commercial reactor

PIE of spherical fuel element

- Irradiation test
  - Petten, Netherlands
  - 2013-2015
  - 2015.4.21

- PIE
  - Karlsruhe, ITU
  - 2015.10-?

CORE JULI / #1 NRG PERSONEELSMAGAZINE JULI / #1

INET

Het bezoek van INET aan het HCL tijdens nabestralingsonderzoek

DE PEBBLES VAN DE INET-SPLIJTSTOFKWALIFICATIE

Afgelopen jaar zijn er meerdere berichten op CORE-net geplaatst over het succesvol afronden van kritieke fases van de INET-splijtstofkwalificatie. Maar wat wordt er nou precies gedaan? Wat houdt de spijtstof-kwalificatie in?

De bestraling die voor INET is uitgevoerd, dient voor de kwalificatie van de splijtstof van de Hoge Temperatuur Reactor (HTR) die momenteel in China in aanbouw is. De HTR is een bijzonder type reactor waarbij pebbles van zes centimeter met daarin ongeveer 10.000 gecoate splijtstofdeeltjes de brandstof vormen. Deze splijtstofdeeltjes worden TRISO deeltjes genoemd. De coatinglaagjes moeten voorkomen dat splijtingsproducten uit de pebbles en in het koelmiddel komen. Dat koelmiddel is in dit geval helium. Dankzij de combinatie van grafiet en helium kan de reactor op hoge temperaturen werken, tot ongeveer 750 °C koelmiddeltemperatuur.

Gevoelige coatingslaagjes

Het testen van deze coatingslaagjes is nu precies wat er is gedaan bij NRG. Vijf ballen zijn onder zeer goed gecontroleerde omstandigheden gedurende ruim een jaar bestraald. Deze controle wordt bereikt door het ontwerp van de bestralingscapsule, waarbij temperatuur en neutronenflux zeer nauwkeurig worden bepaald en gemeten. Ook wordt er tijdens bestraling gemeten of er splijtingsgassen vrijkomen van de ballen (met de Sweep Loop Facility in de HFR). Je meet altijd wat, aangezien er minieme hoeveelheden uranium en thorium in het grafiet zitten, dus je kunt altijd bepalen wat de ratio is tussen de vrijgekomen gassen en de (berekende) geproduceerde gassen. Deze ratio geeft de kwaliteit van de coatingslaagjes aan. De methode is zo gevoelig, dat als er ook maar één coatingslaagje defect raakt (van de 50.000 in de bestraling) dit meteen te detecteren is. Dit is tijdens de INET-bestraling niet gezien, en is daarmee een van de belangrijkste resultaten van de kwalificatie. Na bestraling moesten de pebbles enige tijd afkoelen, waarna is begonnen aan het nabestralingsonderzoek. Dit onderzoek in het HCL bestaat uit het meten van veranderingen tijdens bestraling, zoals gewichts- en dimensieveranderingen, en productie van splijtingsproducten door het meten van de gammastraling.

Ongevalscenario's

Tot slot is er nog één belangrijke type meting die eind dit jaar in Duitsland zal starten. Wat nog aangetoond moet worden, is dat de vrijzetting van splijtingsgassen tijdens ongevalscenario's ook beneden bepaalde grenzen blijft. Hiervoor worden de bestraalde ballen opgewarmd tot boven de 1600 °C, en wordt gemeten hoeveel splijtingsproducten er vrijkomen. Dat deze meting in Duitsland wordt gedaan, is overigens geen toeval. De technologie is in de jaren zeventig en tachtig grotendeels in Duitsland ontwikkeld.

Al met al verloopt de kwalificatie tot nu toe zeer succesvol en is de realisatie van de eerste HTR in China weer een stuk dichterbij.

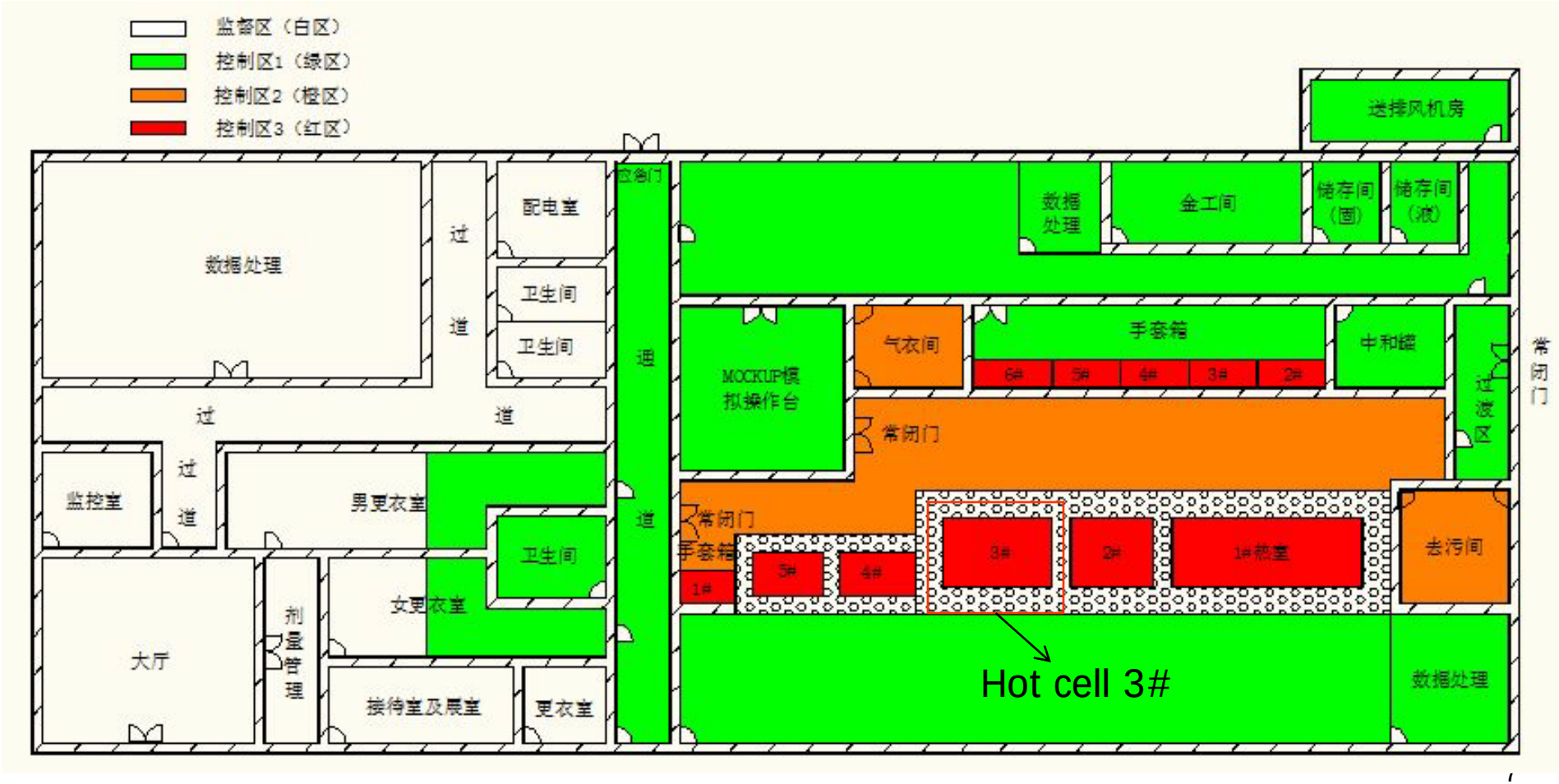
De bestralingscapsule met de röntgenfoto van één pebble uitvergroot. Hierin is duidelijk de 'wolk' van TRISO deeltjes zichtbaar.

PIE LAB in INET

- Now the Post Irradiation Examination lab of HTR spherical fuel element has been designed and is being constructed in Institute of Nuclear and New Energy Technology (INET), Tsinghua University, Beijing, China, aiming at
  - developing the PIE techniques of spherical fuel element and coated fuel particles and
  - investigating properties of irradiated spherical fuel element and coated particles

PIE LAB in INET

- 5 hot-cells and 6 glove boxes



IMGA

- Hot cell
  - 4#(deconsolidation)→3#→5#(materials test)

- Irradiated Microsphere Gamma Analyzer (IMGA) system
  - To examine the coated fuel particles by the gamma-ray detector one by one and sorting the particles.

IMGA design principle

- The primary function
  - measure accurately the immobile and mobile radioisotope in individual coated particles obtained from irradiated fuel elements by detecting gamma radiation from individual coated particles.

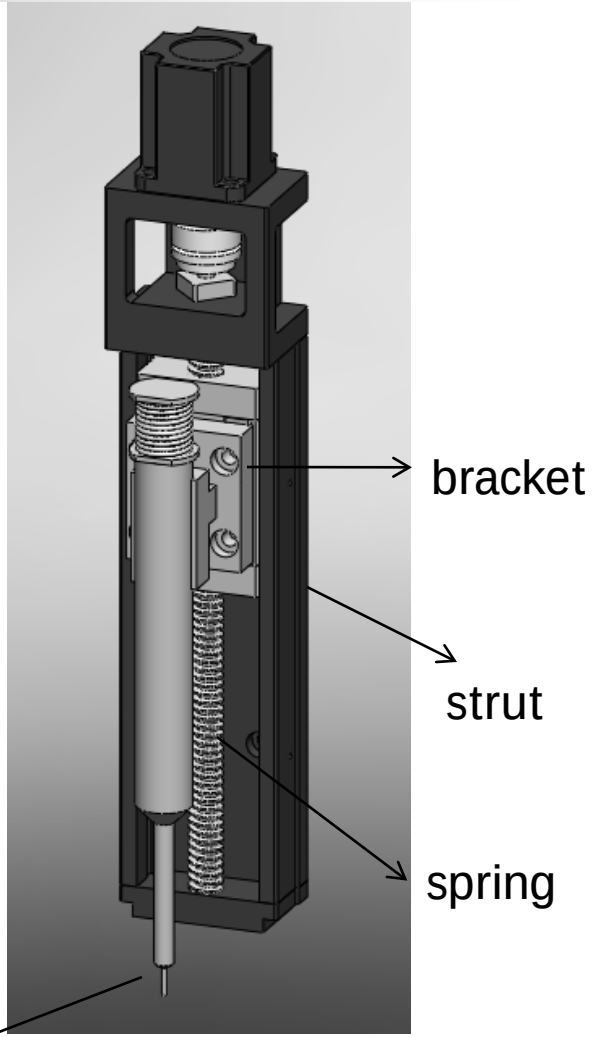
  → the ratio of the activity of the immobile and mobile radioisotope can be calculated, the irradiation coated fuel particle can be sorted by the ratio.

IMGA system design in INET

- One by one?
  - Particle singularizing part
- Huge amount particles?
  - Automatic motion part
- Mobile (release)/immobile(not release)?
  - Measurement part

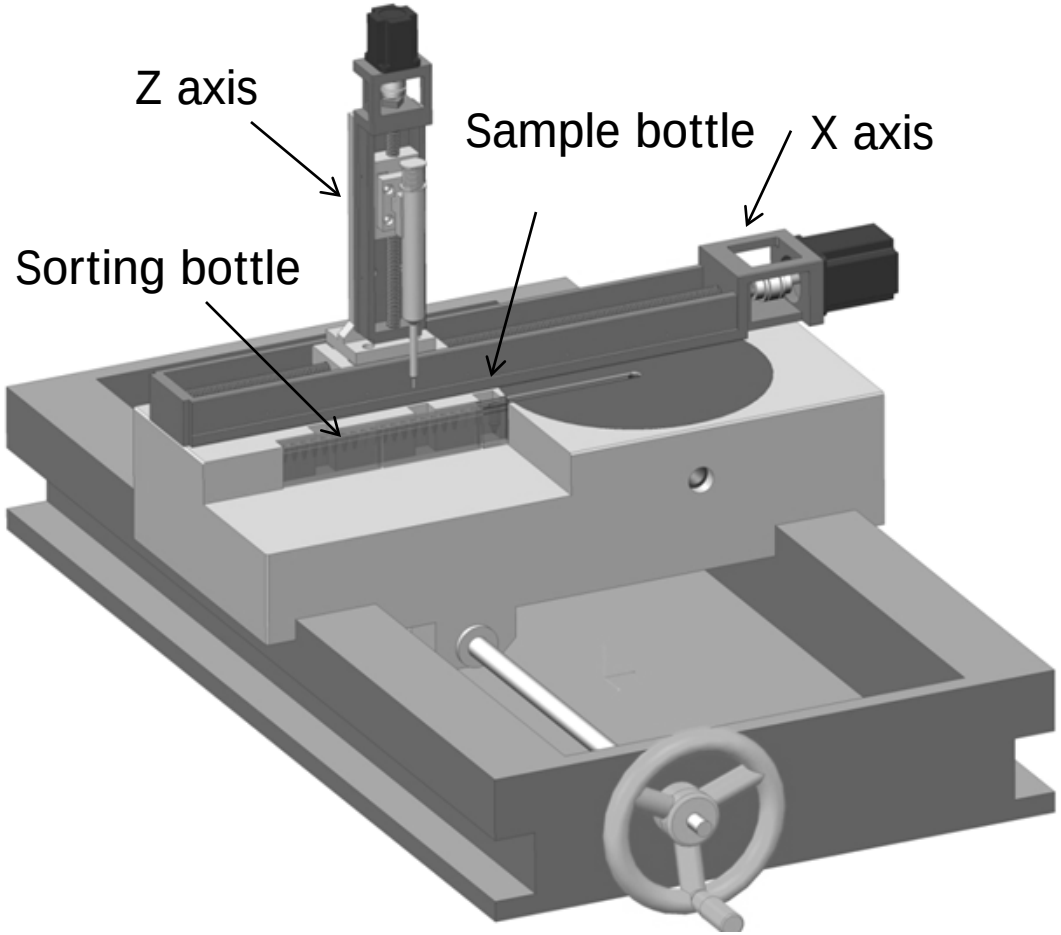
Particle singularizing part

- The pickup system
  - buffer spring
  - strut
  - vacuum suction cup
  - bracket
  - displacement sensor
  - other components



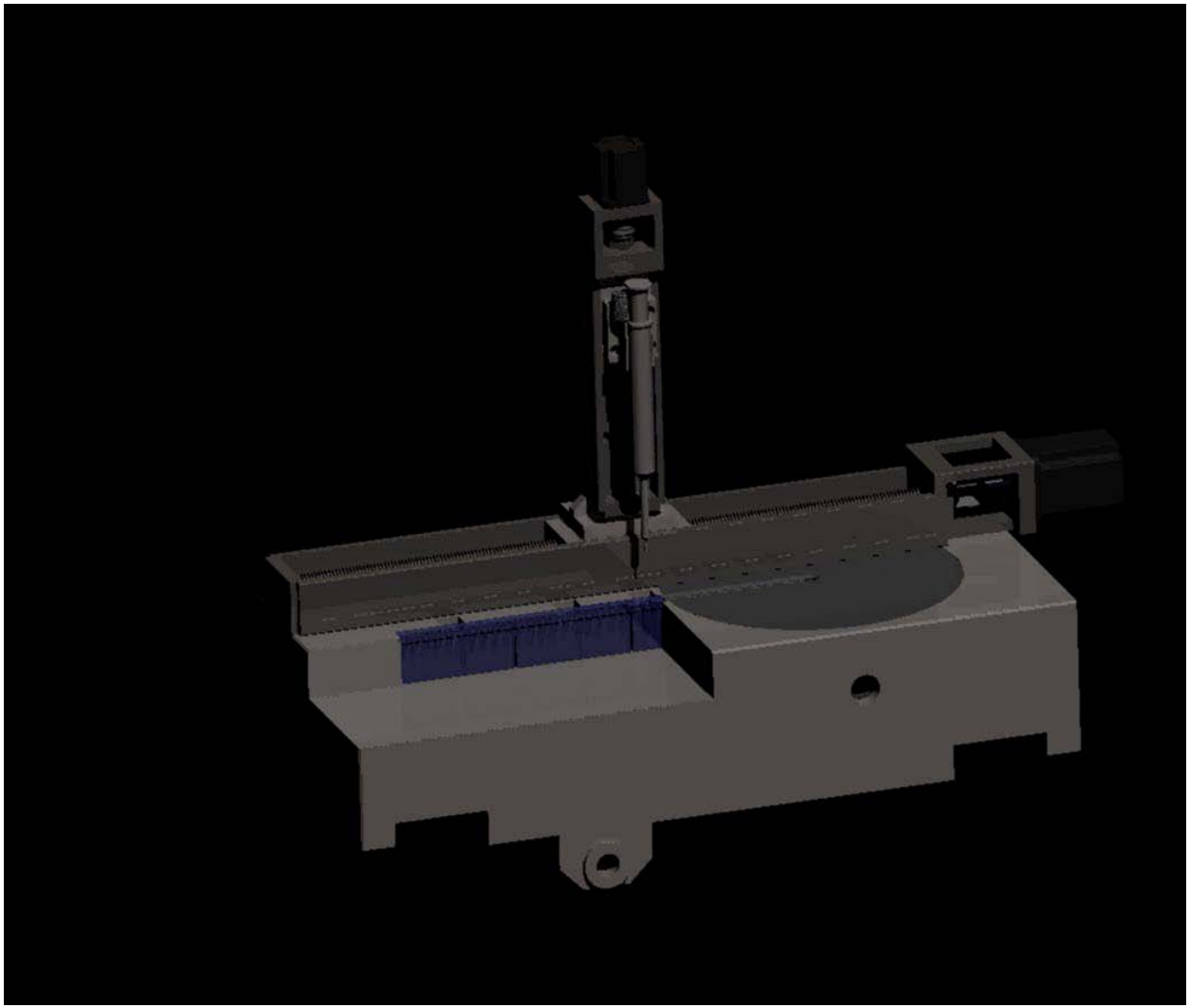
Automatic motion design

- The X axis
  - Horizontal
  - mounted on the base
- The Z axis
  - Vertically
  - mounted on the X-axis
  - perpendicular to the plane of the X-axis.



Automatic motion design

- movie



Measurement design

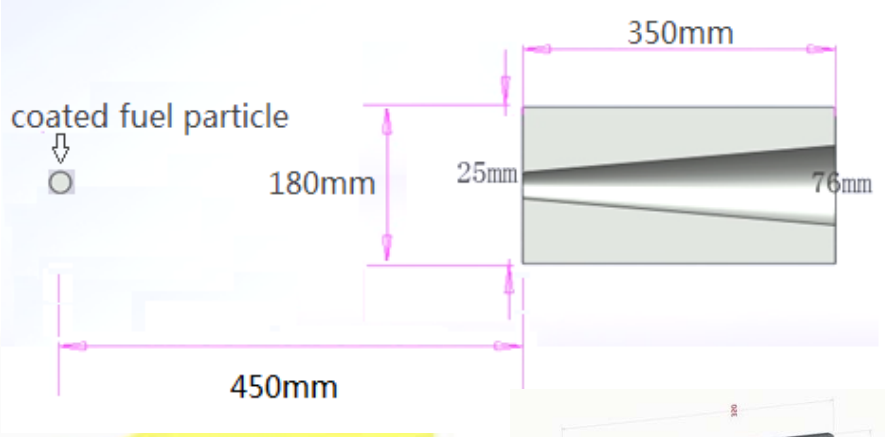
- Radionuclide classification
  - *Mobile:* Cs137, Cs134, and Eu154
  - *Immobile:* Zr95, Ce144 and Ru106

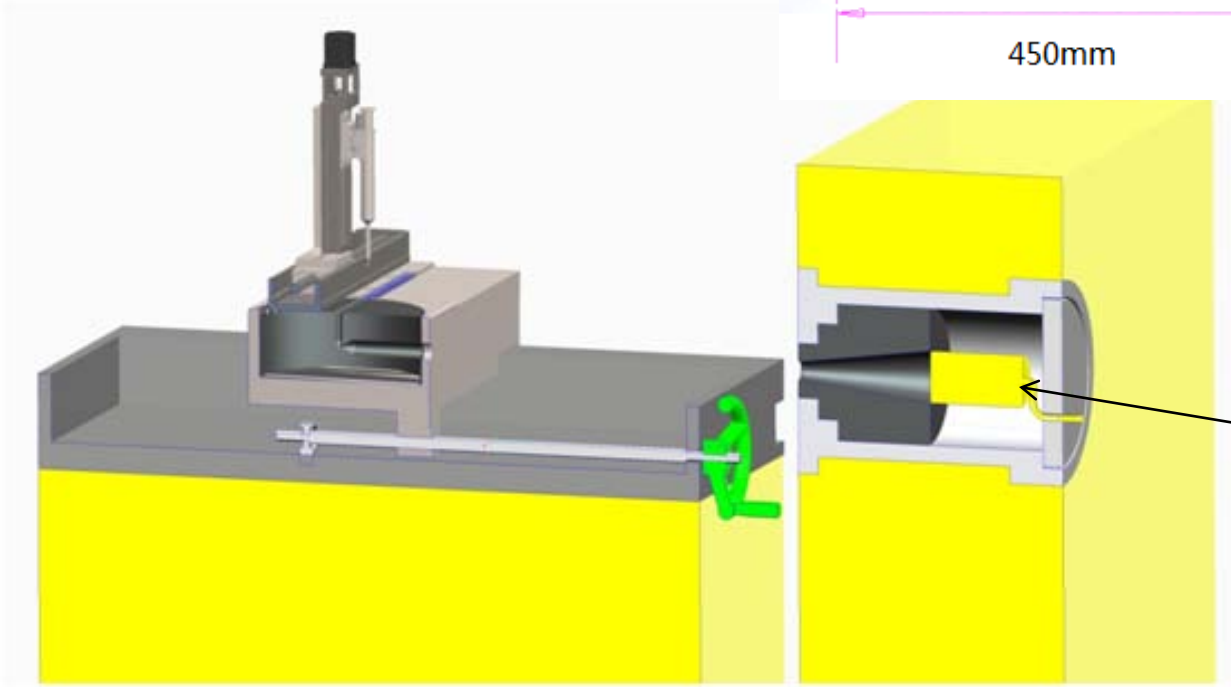
- Radionuclide selection

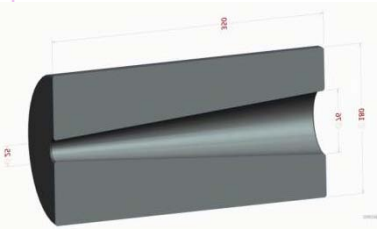
Isotope	γ photon Energy (KeV)	Half-Life	Maximum activity(Bq)	Boling point(℃)
Cs-137	661.6	30.1y	5.61E+06	671
Ce-144	133	285d	3.69E+07	3443

Measurement design

- Collimator design
  - conical type
  - position design



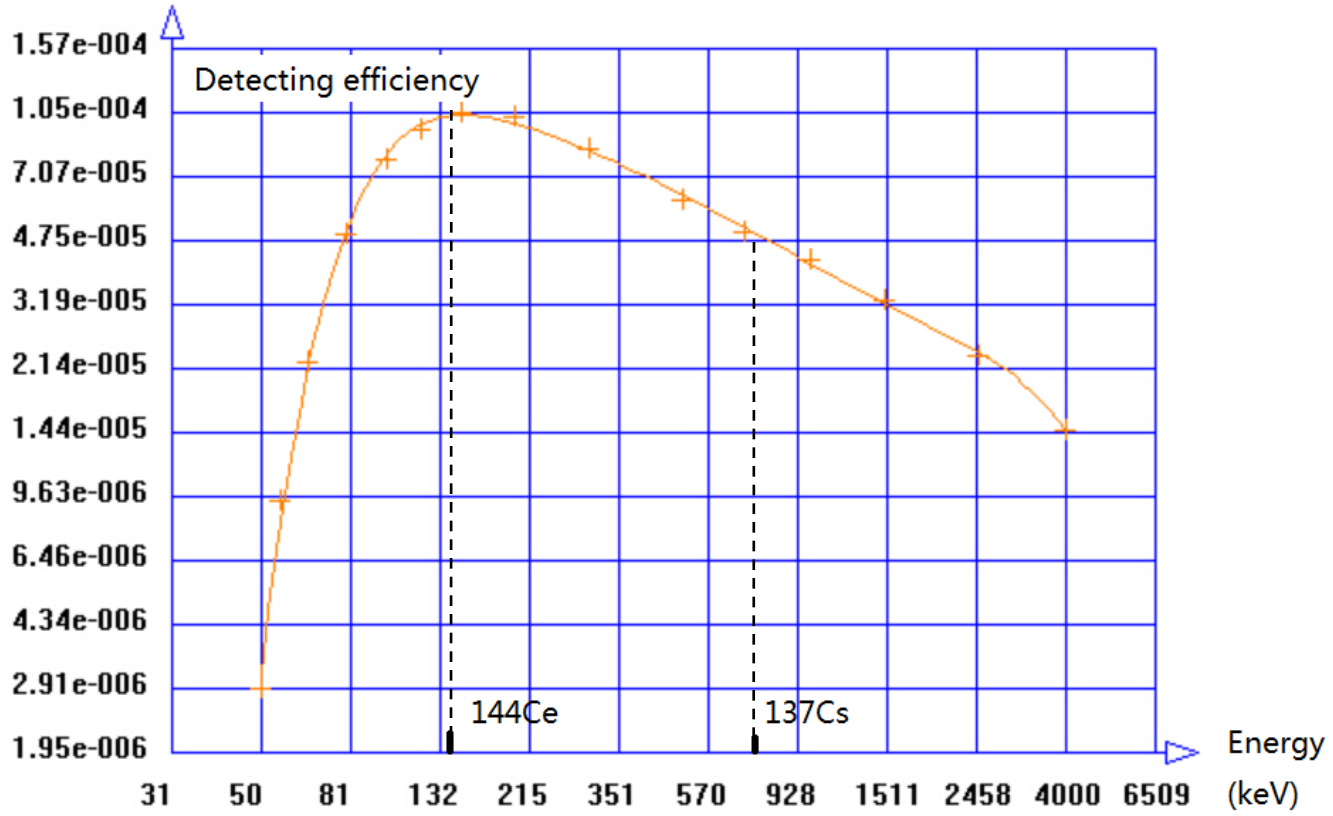




high-purity germanium detector

Measurement design

- Detector efficiency calculation



ORTEC P-type HPGe detector, 1min per particle

Process parameter design

The maximum failure rate can be calculated by the statistical equation

$$C = 1 - \sum_{i=0}^{n} \binom{N+1}{i} Z_{\max}^{i} (1 - Z_{\max})^{N+1-i}$$

Table 2 The maximum failure rate(×10e-4), C (confidence coefficient)=0.95

n \ N	5988	5989	9000	12000
0	5.00080674	4.99997209	3.32766782	2.495924
1			5.26927903	3.95227450
2				5.24511867
3				6.45956255

(5×10e-4) 5989 or 9475 particles

It needs about 4.16 or 6.58 days to finish the whole process.

Conclusion

- The design principle of the IMGA was given and used to set up the first China IMGA system in INET, Tsinghua Univ.,Beijing.
- The details of the IMGA design in INET are presented, including the particle singularizing part, the measuring part and the sorting-collecting part. The design parameters are given in details. The stability of the novel IMGA design will be increased.
- The measuring time of IMGA can be as quick as 40s. It will need 1min at maximum for detecting per particle. The statistical analyses of detecting process is also discussed.
- The designed IMGA system will be set up in hot-cell 3# in the PIE lab in INET, and will be completed in 2017.

Acknowledgements

- MONEY:
  - National S&T Major Project (Grant No. ZX06901),
  - National Natural Science Foundation of China (Grant No. 21306097),
  - Higher Education Young Elite Teacher Project of Beijing (Grant No.YETP0155)

- PEOPLE:
  - Hongsheng Zhao, Youlin Shao, Bing Liu, Chunhe Tang

Thank you for your attention!

Malin Liu*, Hongsheng Zhao, Youlin Shao, Bing Liu, Chunhe Tang

2015-09-28