

 สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น/คณะวิทยาศาสตร์/สาขาวิชาเคมี/

การวิเคราะห์ทางเคมีรังสี

Radiochemical Methods of Analysis


ดร. ธานินทร์ แดงวาริรัมย์
 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 เวลาที่สอน 3 ชั่วโมง
 ภาคเรียนที่ 2 ประจำปีการศึกษา 2558


 สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น/คณะวิทยาศาสตร์/สาขาวิชาเคมี/

ดร. ธานินทร์ แดงวาริรัมย์ [2]

แหล่งความรู้เพิ่มเติม


- นวลฉวี รุ่งชนเกียรติ. วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตร. กรุงเทพฯ 2545.
- แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. Principles and techniques of instrument analysis. ชวนพิมพ์. กรุงเทพฯ 2539.
- D.A. Skoog and J.J. Leary. Principles of instrumental analysis. 4th ed. Saunder College Publishing. Fort Worth. 1992.
- สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย <http://www.nst.or.th/>
- สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) <http://www.tint.or.th/>
- สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ <http://www.oaep.go.th/>


 สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น/คณะวิทยาศาสตร์/สาขาวิชาเคมี/

ดร. ธานินทร์ แดงวาริรัมย์ [3]

บทนำ

- เป็นการวิเคราะห์ที่อาศัยสมบัติพิเศษทาง radioactivity
- เป็นสมบัติเฉพาะของธาตุกัมมันตรังสี ที่มีการสลายตัวให้รังสีซึ่งมีพลังงาน และมีค่าครึ่งชีวิต (half life) ของธาตุที่เฉพาะตัว
- เทคนิคดังกล่าวได้แก่ Nuclear Activation Analysis, Isotope Dilution Analysis และ Radiometric Analysis
- เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่ให้ความเที่ยงและแม่นยำ มีสภาพไวสูง และขีดจำกัดการตรวจหาต่ำ


 สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น/คณะวิทยาศาสตร์/สาขาวิชาเคมี/

ดร. ธานินทร์ แดงวาริรัมย์ [4]

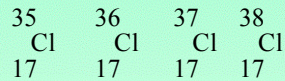
องค์ประกอบของนิวเคลียส

- นิวเคลียสของธาตุประกอบด้วย โปรตอน และนิวตรอนเรียกว่านิวคลีออน (nucleons) ยกเว้นไฮโดรเจนซึ่งมีเฉพาะโปรตรอน
- อะตอมของธาตุที่เป็นกลางจะมีจำนวนโปรตรอนและอิเล็กตรอนเท่ากัน
- จำนวนโปรตรอนในนิวเคลียสเรียกว่า เลขอะตอม (atomic number, z)
- ผลรวมของโปรตรอน (z) และจำนวนนิวตรอน (N) ในนิวเคลียสเรียกว่า เลขมวล (mass number, A)

$$A = Z + N$$

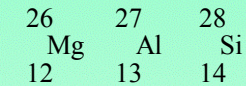
องค์ประกอบของนิวเคลียส

- ธาตุชนิดเดียวกันจะมีค่า z เท่ากัน แต่ถ้าต่างกันชนิดกันจะมีค่า z ต่างกัน การที่ธาตุต่างๆ มีจำนวนโปรตรอนและนิวตรอนต่างกันหรือเหมือนกันทำให้จำแนกธาตุเหล่านั้นเป็นแบบต่างๆ ดังนี้
- ไอโซโทป (Isotopes) อะตอมของธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากัน แต่เลขมวลต่างกัน นั่นคืออะตอมของธาตุเหล่านี้มีจำนวนโปรตรอนเท่ากัน แต่จำนวนนิวตรอนต่างกัน เช่น ไอโซโทปของคลอรีน

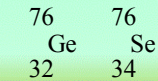


องค์ประกอบของนิวเคลียส

- ไอโซโทน (Isotones) หมายถึงชนิดอะตอมของธาตุที่มีจำนวนนิวตรอนในนิวเคลียสเท่ากัน แต่มีจำนวนโปรตรอนต่างกัน ดังนั้นจะเห็นว่าไอโซโทนนั้นเป็นกลุ่มธาตุต่างชนิดกัน เช่น



- ไอโซบาร์ (Isobars) หมายถึงชนิดอะตอมของธาตุที่มีเลขมวลเท่ากัน แต่มีเลขอะตอมต่างกัน เช่น



องค์ประกอบของนิวเคลียส

- ไอโซเมอร์ (Isomers) หมายถึง ชนิดอะตอมของธาตุที่มีเลขมวลและเลขอะตอมเท่ากัน แต่มีสมบัติทางนิวเคลียร์ต่างกันเช่นมีระดับพลังงานต่างกัน มีชีวิตยาวต่างกัน
- ไอโซโทปแบ่งออกเป็น 2 ชนิด
 1. ไอโซโทปที่เสถียร (stable isotopes) เป็นชนิดของธาตุต่างๆ ที่พบในธรรมชาติโดยไม่มีการสลายตัว (decay)

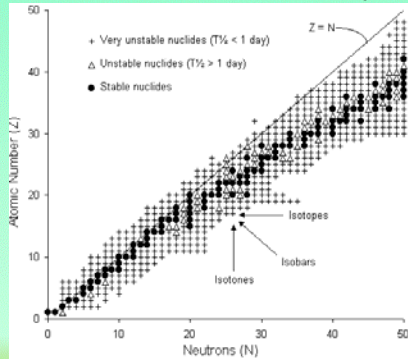
องค์ประกอบของนิวเคลียส

2. ไอโซโทปกัมมันตรังสี (radioisotopes) เป็นไอโซโทปที่มีการสลายตัว (decay หรือ disintegrate) ให้รังสีบางชนิด เช่น รังสีแอลฟา (α -rays) หรือรังสีเบต้า (β -rays) หรือรังสีแกมมา (γ -rays) ออกมาอย่างเดียวหรือหลายอย่างก็ได้

ไอโซโทปกัมมันตรังสีของธาตุแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะตัว คือ มีค่าครึ่งชีวิตเฉพาะ และพลังงานของรังสีที่ให้ออกมาก็มีพลังงานเฉพาะและสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพได้ว่าเป็นไอโซโทปของธาตุอะไร

องค์ประกอบของนิวเคลียส

- ไอโซโทปของธาตุจะเสถียรหรือไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนโปรตรอนและนิวตรอนในนิวเคลียส กราฟระหว่างเลขอะตอมของไอโซโทปกับจำนวนนิวตรอนที่มีในนิวเคลียสแสดงดังรูป



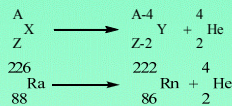
แผนภูมิของนิวไคลด์ (nuclides) ต่างๆ
 จุดดำแสดงถึงไอโซโทปที่เสถียร
 สามเหลี่ยมแสดงนิวไคลด์ที่ไม่เสถียรมีครึ่งชีวิตมากกว่า 1 วัน
 + แสดงนิวไคลด์ที่ไม่เสถียรมีครึ่งชีวิตน้อยกว่า 1 วัน

องค์ประกอบของนิวเคลียส

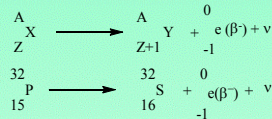
- ไอโซโทปที่มีโปรตรอนมากจะสลายตัวให้โพซิตรอน (β^+) หรือด้วยวิธีการจับอิเล็กตรอน (electron capture) ซึ่งทำให้โปรตรอนลดลงและนิวตรอนเพิ่มขึ้นเพื่อให้อัตราส่วนของ Z/N เข้าใกล้ 1
- ไอโซโทปที่มีนิวตรอนมาก (neutron rich) จะมีการสลายตัวให้บีตาหรือเนกาตรอน เพื่อเพิ่มโปรตรอนและลดนิวตรอน
- ไอโซโทปหนักๆ จะใช้วิธีสลายตัวด้วยการให้อนุภาคแอลฟาเพื่อจะลดทั้งโปรตรอนและนิวตรอน

การสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสี

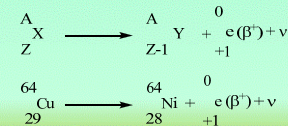
- การสลายตัวให้แอลฟา



- การสลายตัวให้บีตา

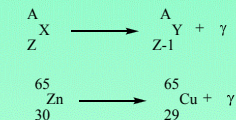


- การสลายตัวให้โพซิตรอน

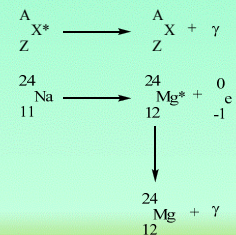


การสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสี

- การสลายตัวแบบ electron capture



- การสลายตัวให้แกมมา



การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี

- อัตราการสลายตัว จะแปรผันตรงกับจำนวนอะตอมที่มีอยู่

$$-\frac{dN}{dt} \propto N$$

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

$$\int_{N_0}^{N_t} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt$$

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -\lambda t$$

$$\frac{N_t}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

N = จำนวนอะตอมของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในเวลา t

λ = ค่าคงที่การสลายตัว มีหน่วยเป็น sec^{-1} หรือ min^{-1}

$-\frac{dN}{dt}$ = จำนวน disintegrate ต่อเวลา



การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี

$$\frac{N_t}{N_0} = \frac{1}{2} \quad \text{ที่} \quad t = t_{1/2} \quad \text{เรียกว่า half life}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}}$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad \text{เรียกว่ากัมมันตภาพ (activity)}$$



หน่วยต่างๆ ที่ใช้บอกกัมมันตภาพ

- Disintegrate (การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี)
 - per seconds (dps)
 - per min. (dpm)
- Curie, Ci (การสลายตัวของเรเดียม 1 g)

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ dps}$$
- Becquerel, Bq (การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีต่อวินาที)

$$1 \text{ Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

$$= 2.7 \times 10^{-11} (\text{Ci}) \times 3.7 \times 10^{10} (\text{dps/Ci})$$

$$= 1 \text{ dps}$$



หน่วยต่างๆ ที่ใช้บอกกัมมันตภาพ

- Count rate (count)

$$\text{Activity} = \frac{\text{Count rate}}{\text{Detector coefficient}}$$

$$\text{Detector coefficient} = \frac{\text{cps}}{\text{dps}} = \frac{\text{cpm}}{\text{dpm}}$$

$$\text{Count rate} = \text{Activity} \times \text{Detector coefficient}$$

$$= \lambda N \times \text{Detector coefficient}$$



การเกิดอันตรกิริยาของรังสีกับสสาร

- รังสีแกมมากับสสาร
 - photoelectric effect รังสีแกมมาชนกับอิเล็กตรอนในออร์บิทัลแล้วถ่ายเทพลังงานทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากออร์บิทัล
 - Compton scattering โฟตอนบางส่วนมีพลังงานปานกลางจะชนกับอิเล็กตรอนแล้วถ่ายเทพลังงานบางส่วน ตัวโฟตอนเองจะกระเจิงออกไปด้วยพลังงานที่เหลือ
- โพซิตรอน และเนกาตรอน กับสสาร
 - เกิดไอออนไนเซชัน
 - เกิดการกระเจิง (scattering)
 - เกิด Bremsstrahlung เป็นโฟตอนที่เกิดจากการสูญเสียพลังงานของอิเล็กตรอน

การเกิดอันตรกิริยาของรังสีกับสสาร

- นิวตรอนกับสสาร
 - นิวตรอนไม่มีประจุ แต่มีมวลเท่ากับอนุภาคโปรตรอน
 - ไม่เกิดไอออนไนเซชัน
 - เกิดการชนทั้งแบบยืดหยุ่นและไม่ยืดหยุ่น
 - เกิดการชนแบบถูกจับ (captured) ในนิวเคลียสแล้วทำให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์เช่น (n,p), (n,a) หรือ (n,2n)


หลักการของการวิเคราะห์เชิงกัมมันตภาพรังสี

(Activation analysis)


- เป็นการทำให้สารหรือธาตุที่วิเคราะห์กลายเป็นกัมมันตรังสี (radioactive nuclides) ด้วยการทำปฏิกิริยานิวเคลียร์
- วัดปริมาณของกัมมันตภาพ (radioactivity) แล้วนำค่าที่วัดไปเทียบกับสารมาตรฐานก็จะสามารถคำนวณหาปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างได้

เทคนิคต่างๆ ของ activation analysis

- ใช้อนุภาคนิวตรอนเป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์เรียกว่า Neutron activation analysis (NAA)
- อนุภาคนิวตรอนแบ่งออกได้เป็น
1. นิวตรอนช้า (Slow neutron) คือนิวตรอนที่มีพลังงานต่ำกว่า 1 keV
 - Thermal neutrons (ต่ำกว่า 0.025 eV),
 - Epithermal neutrons (0.1 eV)
 - Resonance neutrons (1eV - 100 eV)
 2. นิวตรอนเร็ว (Fast neutrons) คือนิวตรอนที่มีพลังงานสูงกว่า 1 keV
 - Intermediate neutrons (1 - 500 keV)
 - High energy neutrons (500 keV - 20 MeV)
 - Relative neutron (ตั้งแต่ 20 MeV ขึ้นไป)


 สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย/สทอ.ฟส./สทอ.ฟส./สทอ.ฟส./


- ใช้ออนุภาคที่มีประจุ (charged particles) เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ เช่น ใช้ออนุภาคโปรตอน ดิวทีรอน และแอลฟา โดยใช้เครื่องเร่งอนุภาคเช่น เครื่องไซโคลตรอน (cyclotron) เรียกการวิเคราะห์แบบนี้ว่า Charged particles activation analysis (CPAA)


 สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย/สทอ.ฟส./สทอ.ฟส./สทอ.ฟส./

ดร. ชานินทร์ แดงวารัณย์
 [22]

เทคนิคต่างๆ ของ activation analysis


- ใช้รังสีแกมมาหรือโฟตอนที่มีพลังงานมากกว่า (5 MeV) ในการ activate เรียกว่า Photon activation analysis (PAA) โดยรังสีดังกล่าวได้จากเครื่องเบตาทรอน


 สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย/สทอ.ฟส./สทอ.ฟส./สทอ.ฟส./

ดร. ชานินทร์ แดงวารัณย์
 [23]

Neutron activation analysis (NAA)

- ข้อดี
 - มี sensitivity สูง
 - ทำคุณภาพวิเคราะห์ได้อย่างแม่นยำ โดยอาศัยครึ่งชีวิตและพลังงานของแกมมาที่เฉพาะตัว
 - ให้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องดี มีความแม่นยำสูง
 - ทำ simultaneous determination ได้ถึง 45 ธาตุ
 - ใช้วิเคราะห์ trace analysis ได้อย่างแม่นยำ


 สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย/สทอ.ฟส./สทอ.ฟส./สทอ.ฟส./

ดร. ชานินทร์ แดงวารัณย์
 [24]

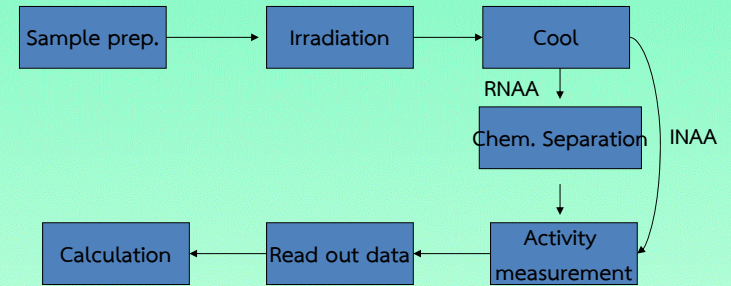
Neutron activation analysis (NAA)

- ข้อด้อย
 - ทำการวิเคราะห์ได้ช้าเมื่อเทียบกับเทคนิค AAS
 - บางธาตุไม่สามารถวิเคราะห์ด้วย NAA เช่น Pb
 - ค่าใช้จ่ายแพงและมี facilities จำกัด

ข้อผิดพลาดของการวิเคราะห์ด้วย NAA

- สารตัวอย่างเกิดการปนเปื้อนทำให้สารตัวอย่างสูญเสียไป หรือภาชนะบรรจุไม่สะอาด
- การเตรียมสารตัวอย่างไม่ดีพอ แก้ไขได้โดยการเตรียมสารมาตรฐานพร้อมกับสารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์
- นิวตรอนฟลักซ์ไม่ homogeneous หรือเกิด self-shielding แก้ไขโดยการหมุนสารตัวอย่างขณะอบรังสี และใช้ขนาดสารตัวอย่างใกล้เคียงกับสารมาตรฐาน
- เกิดจากการสอดแทรกทางปฏิกิริยานิวเคลียร์ เช่น Fe และ Co แทรกสอดการวิเคราะห์ Mn
- เกิดจากความผิดพลาดทางสถิติของเครื่องมือการวัดกัมมันตภาพ
- เกิดจากเวลาการอบรังสีและการนับรังสี
- เกิดจาก spectral interference เนื่องจาก detector ไม่สามารถแยกสเปกตรัมได้

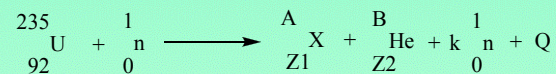
ขั้นตอนของการวิเคราะห์ด้วย NAA



RNAA = Radiochemical separation NAA
 INAA = Instrumental NAA

แหล่งผลิตนิวตรอน

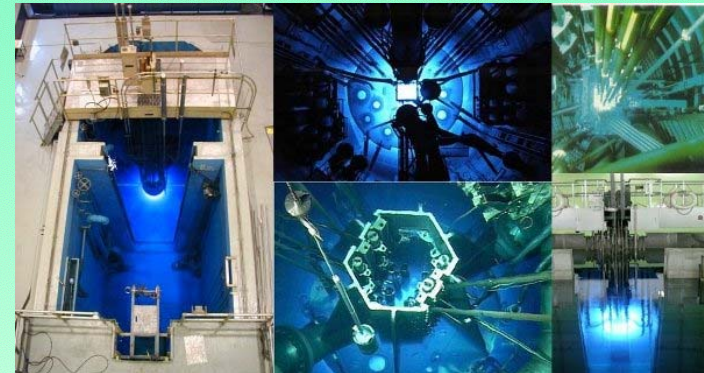
ใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (nuclear reactor) โดยอาศัยกระบวนการฟิชชันของธาตุยูเรเนียม 235



$$A+B+k = 236$$

$$Z1+Z2 = 92$$

เตาปฏิกรณ์



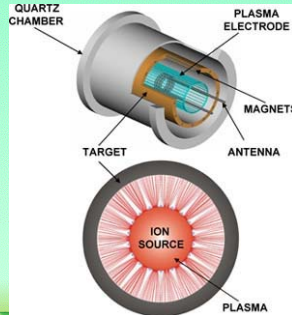
http://www.tint.or.th/reactor/what_is_reactor.html

ดูข้อมูลอื่นที่ <http://www.oaep.go.th/images/news/20100512141431.pdf>



แหล่งผลิตนิวตรอน

- Neutron generators
- ทำให้โมเลกุลของ Deuterium, Hydrogen หรือ Helium เกิดไอออนแล้วเร่งด้วยสนามไฟฟ้าไปชนกับ target เช่น tritium เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ได้นิวตรอน



แหล่งผลิตนิวตรอน

Photo neutron source

- ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกิดจาก photon หรือรังสีแกมมา จากสารกัมมันตรังสีชนกับ target ที่เป็นธาตุ Be ดังสมการ ${}^9\text{Be}(\gamma, n){}^8\text{Be}$

Isotopic neutron Sources

- ธาตุกัมมันตรังสีหนักสลายตัวให้รังสีแอลฟา แล้วรังสีแอลฟาทำปฏิกิริยานิวเคลียร์กับ Be ได้นิวตรอน ดังสมการ ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^{12}\text{C}$ นิวตรอนเหล่านี้จะเป็น fast และ epithermal neutron ถ้าต้องการให้เป็น thermal neutrons จะใช้ขี้ผึ้งเป็น moderator



Flux monitors

- เป็นการตรวจวัดจำนวนของ neutron ต่อพื้นที่ที่ neutron เคลื่อนผ่าน เรียกว่า Flux เพื่อต้องการรู้ว่า flux มีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ธาตุที่ใช้วัด flux เรียกว่า flux monitors

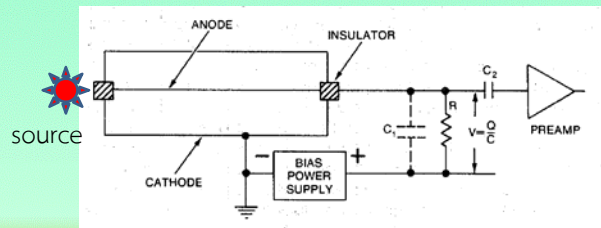


Nuclear detector

- จะใช้ transducer เพื่อเปลี่ยนพลังงานของรังสีที่เกิดอันตรกิริยากับดีเทคเตอร์ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า (electrical signal) ซึ่งใช้หลักการต่อไปนี้
 - จำนวน voltage pulse ที่เกิดขึ้นเป็นปฏิภาคกับจำนวนโฟตอนหรือเป็นปฏิภาคกับจำนวนอนุภาคที่เกิดปฏิกิริยากับดีเทคเตอร์
 - จำนวนพลังงานที่หายไปเนื่องจากการเกิดอันตรกิริยากับดีเทคเตอร์ของ voltage pulse หรือ pulse height ควรเป็นสภาพเชิงเส้น

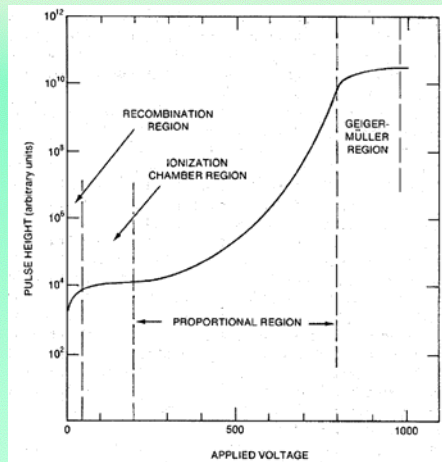
Nuclear detector

- แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่คือ
 1. ดีเทคเตอร์ที่บรรจุด้วยแก๊ส (Gas filled หรือ Gas-ionization detectors) อาศัยหลักการเกิดไอออนไนซ์ของแก๊ส ดีเทคเตอร์นี้ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว มีศักย์ไฟฟ้าต่างกัน ภายในบรรจุด้วยแก๊ส เมื่อรังสีผ่านแก๊สเข้าไปจะทำให้แก๊สเกิดไอออนไนซ์ ดังนั้นดีเทคเตอร์ชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับอนุภาคที่มีประจุหรือรังสีเช่น β^- β^+ α



หลักการทำงานของดีเทคเตอร์ชนิดแก๊สฟิลดีเทคเตอร์คือ ถ้าไม่มีรังสีผ่านเข้ามา จะไม่มีกระแสไหลในวงจร แต่เมื่อมีรังสีเข้ามาจะทำให้แก๊สในหลอดเกิดไอออนไนเซชัน ทำให้ความต้านทานในหลอดลดลง ทำให้กระแสไหลในวงจรได้

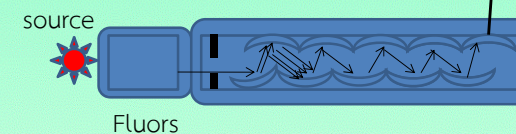
วงจรมี จะให้ศักย์ไฟฟ้าต่างกัน (applied bias voltage ; V) และภายในหลอดบรรจุแก๊สไว้ต่างชนิดกัน ทำให้แบ่ง detector พวกนี้ออกเป็น 3 แบบย่อยได้แก่ Ionization chambers, Proportional counters และ Geiger-Muller counters ดังกราฟที่พล็อตระหว่าง pulse height (PH) กับ applied voltage ดังรูปข้างล่าง



ความสัมพันธ์ระหว่าง pulse height (PH) กับ applied voltage ของแก๊สไอออนไนเซชัน ดีเทคเตอร์

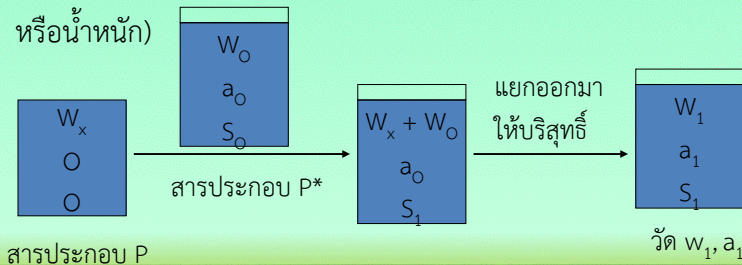
Nuclear detector

- 2. ซินทิลเลชัน ดีเทคเตอร์ (Scintillation detectors) ดีเทคเตอร์พวกนี้อาศัยหลักการที่รังสีบางชนิดถูกดูดกลืนด้วยสารฟอสฟอรัส (Phosphor) หรือ ฟลูออรัส (Fluors) แล้วเกิดโฟตอนขึ้น แล้วผ่านเข้าไปยังหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (PMT) ดีเทคเตอร์กลุ่มนี้นิยมใช้วัดรังสีบีตาและแกมมา



1. Direct Isotope Dilution Analysis (DIDA)

- ใช้การเติมธาตุที่เป็นกัมมันตรังสีที่ทราบปริมาณที่แน่นอนลงไป สารละลายตัวอย่าง แล้วผสมกันให้ดี นำไปแยกเอาสารที่ต้องการที่ต้องการหาปริมาณออกมาบางส่วนให้บริสุทธิ์พอที่จะสามารถหาน้ำหนักได้น้ำหนักและวัดกัมมันตภาพของสารที่แยกออกมาได้ แล้วคำนวณหาน้ำหนักของสารตัวอย่าง (a=activity, S=specific activity, W = มวลหรือน้ำหนัก)



DIDA

specific activity เริ่มต้น $S_o = \frac{a_o}{W_o}$

specific activity หลัง dilution $S_1 = \frac{a_o}{W_x + W_o}$ } เท่ากัน

specific activity หลังแยก $S_1 = \frac{a_1}{W_1}$

$$W_x = W_o \left[\frac{a_o}{W_o} \times \frac{W_1}{a_1} - 1 \right] = W_o \left[\frac{S_o}{S_1} - 1 \right]$$

ข้อดีของเทคนิค DIDA

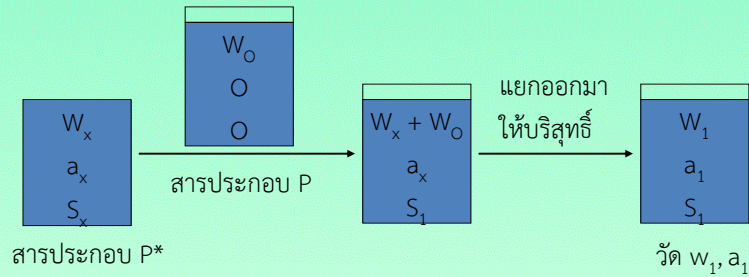
- สารที่ทำการแยกไม่จำเป็นต้อง Quantitative
- เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว
- เป็นวิธีที่ให้ความถูกต้องดี แต่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ W_o/W_x
- ปัญหาเกี่ยวกับการแทรกสอดไม่มี
- ใช้วิเคราะห์หาสารปริมาณน้อยๆ ได้
- เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ดีเมื่อวิธีอื่นใช้ไม่ได้

สิ่งที่ต้องระวังเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วย DIDA

- การผสมระหว่าง P และ P* ต้องให้เข้ากันดีและสมบูรณ์
- P และ P* จะต้องเป็นสารเดียวกัน มีเลขออกซิเดชันเท่ากัน
- จะต้องไม่มีการแลกเปลี่ยนธาตุกัมมันตรังสี
- การหาค่า W_1 อาจใช้วิธีใดก็ได้ เช่น ชั่ง, สเปกโทรสโกปี, หรือโพรโทกราฟี แต่ควรมีความถูกต้อง
- ต้องเลือกธาตุที่มี $t_{1/2}$ ที่ยาวพอที่จะทดลองได้ และมี specific activity สูง
- ความผิดพลาดจะขึ้นอยู่กับ W_o/W_1

2. Inverse IDA

- เป็นการวิเคราะห์ที่ตรงข้ามกับวิธีแรก คือต้องการวิเคราะห์สารกัมมันตรังสี ดังนั้นสารที่ต้องเติมคือสารที่อยู่ตัวธรรมดา



specific activity เริ่มต้น $S_x = \frac{a_x}{W_x}$

specific activity หลัง dilution $S_1 = \frac{a_x}{W_x + W_0}$

specific activity หลังแยก $S_1 = \frac{a_1}{W_1}$

$$\frac{a_x}{W_x + W_0} = \frac{a_1}{W_1}$$

$$W_x = W_0 \left[\frac{a_x}{a_1} \times \frac{W_1}{W_0} - 1 \right]$$

$$a_x = a_1 \left[\frac{W_x + W_0}{W_1} \right]$$

ให้ $W_0 \gg W_x$

$$a_x = a_1 \left[\frac{W_0}{W_1} \right] \text{ หรือ } S_x W_x = S_1 (W_x + W_0)$$

$$W_x (S_x - S_1) = W_0 S_1$$

$$W_x = \frac{W_0 S_1}{S_x - S_1}$$

$$W_x = W_0 \left[\frac{S_1}{S_x - S_1} \right]$$

ข้อดีของ Inverse IDA

- หาสารปริมาณน้อยๆ ได้ดีกว่าวิธีแรก
- ได้ผลมีความถูกต้องดี เพราะเติมลงไปได้มาก
- สารที่เติมลงไปไม่ความเสถียร ทำให้หาได้ง่าย สะดวก

ตัวอย่าง ในการหาปริมาณของ ^{42}K โดยนำสารละลายมาจำนวนหนึ่ง วัดกัมมันตภาพได้ 31874 cpm ทำการเติมสารละลาย K ลงไป 500 mg ผสมให้เข้ากัน แล้วเติมกรด HClO_4 เพื่อตกตะกอน KClO_4 ทำให้ตะกอนแห้ง ชั่งน้ำหนักได้ 1152 mg วัดกัมมันตภาพได้ 20432 cpm จงคำนวณหาปริมาณของ ^{42}K

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พพพ.ระยอง.มจร.สว.สท/สทอ.สว.สท/

ดร. ชานินทร์ แดงวาริรัมย์ [49]

1152 mg $\text{KClO}_4 \Rightarrow W_1 = 325 \text{ mg K}$

$$W_x = W_0 \left[\frac{a_x}{a_1} \times \frac{W_1}{W_0} - 1 \right]$$

$$= 500 \left[\frac{31874}{20432} \times \frac{325}{500} - 1 \right]$$

$$= 7 \text{ mg}$$

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พพพ.ระยอง.มจร.สว.สท/สทอ.สว.สท/

ดร. ชานินทร์ แดงวาริรัมย์ [50]

ถ้า $W_x \ll W_0$
ตรวจสอบ a_x ได้โดยแทนค่า
 $W_x = 7 \text{ mg}, W_0 = 500 \text{ mg}, W_1 = 500 \text{ mg}$

$$a_x = a_1 \left[\frac{W_x + W_0}{W_1} \right]$$

$$= 20432 \left[\frac{7 + 500}{325} \right]$$

$$= 31874 \text{ cpm}$$

ถ้า $W_x \ll W_0$;
ตรวจสอบ a_x ได้โดยแทนค่า
 $W_0 = 500 \text{ mg}, W_1 = 500 \text{ mg}$

$$a_x = a_1 \frac{W_0}{W_1} = 20432 \times \frac{500}{325} = 31433 \text{ cpm}$$

จะเห็นว่าค่าที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับสารที่ใช้จริง

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พพพ.ระยอง.มจร.สว.สท/สทอ.สว.สท/

ดร. ชานินทร์ แดงวาริรัมย์ [51]

3. Substoichiometric IDA

- หลักการ
 - เติมสารกัมมันตรังสีลงไปในการตัวอย่าง (คล้ายกับเทคนิค DIDA จะได้ว่า)

$$W_x = W_0 \left[\frac{a_0}{W_0} \times \frac{W_1}{a_1} - 1 \right] = W_0 \left[\frac{S_0}{S_1} - 1 \right]$$

specific activity เริ่มต้น $S_0 = \frac{a_0}{W_0}$

specific activity หลังแยก $S_1 = \frac{a_1}{W_1}$

เติมสาร chelating agent เพื่อทำให้สารตัวอย่างมี $W_1 = W_0$ นำไปสกัด แล้วแยกสารนั้น
ให้ได้ปริมาณเท่ากัน วัดกัมมันตภาพ (a_1) และ วัด W_1 คำนวณหา W_x ได้จาก

$$W_x = W_0 \left[\frac{a_0}{a_1} - 1 \right]$$

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พพพ.ระยอง.มจร.สว.สท/สทอ.สว.สท/

ดร. ชานินทร์ แดงวาริรัมย์ [52]

สารมาตรฐาน P^*

สารประกอบ $P+P^*$

เติม Q

แยก $PQ+ PQ^*$

สารตัวอย่าง P

วัด W_1, a_1

- เติม chelating agent ลงในสารกัมมันตรังสี วัดกัมมันตภาพ (a_1) และน้ำหนัก (W_1)
จะได้ $S_0 = \frac{a_1}{W_1}$

สารมาตรฐาน P^*

เติม Q

PQ^*

วัด W_1', a_1'



สามารถหา W_x ได้จาก

$$W_1 = W_1'$$

$$W_x = W_0 \begin{bmatrix} a_1' - 1 \\ a_1 \end{bmatrix}$$

ข้อดี

1. การแยกธาตุจากธาตุรบกวนไม่จำเป็นต้อง quantitative
2. อุปกรณ์หาได้ง่าย ราคาถูก
3. ใช้ไอโซโทปกัมมันตรังสีเพียงเล็กน้อย
4. ให้ sensitivity สูง
5. ทำได้รวดเร็ว
6. ใช้หาธาตุที่หาได้ยากแก่การหาปริมาณด้วยวิธีธรรมดา

