# บทที่ 2

# ทฤษฎี

## 2.1 โปแตสเซียม (Potassium - K)

โปแตสเซียมเป็นโลหะสีขาว อ่อน ซึ่งออกซิไดซ์ได้ว่องไวกับออกซิเจนในอากาศและทำปฏิกริยากับน้ำ เป็นธาตุที่อุดมสมบูรณ์ (abundant) มีอยู่ในโลกโดยปริมาณเฉลี่ย 2.4 % ในดินมีโปแตสเซียม 1 - 3.6% โปแตสเซียมมีทั้งในพืชและสัตว์ นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อเดวีย์ (Davy) เป็นผู้ให้ชื่อโปแตสเซียมในปี ค.ศ. 1807 โปแตสเซียมที่เกิดในธรรมชาติจะมีไอโซโทปคงตัวคือ $^{39}_{19}K$ มีอยู่ 93.10% $^{41}_{19}K$ มีอยู่ 6.88 % และไอโซโทปกัมมันตรังสีคือ $^{40}_{19}K$ มีอยู่ 0.0118 %

$^{40}K$ เป็นธาตุกัมมันตรังสีที่พบในธรรมชาติ น้ำหนักอะตอมของโปแตสเซียม ถ้าคิดน้ำหนักอะตอมของไอโซโทป $^{12}C$ = 12.000 แล้ว น้ำหนักอะตอมของ $^{39}K$ = 38.963714 น้ำหนักอะตอมของ $^{40}K$ = 39.964008 และน้ำหนักอะตอมของ $^{41}K$ = 40.961835

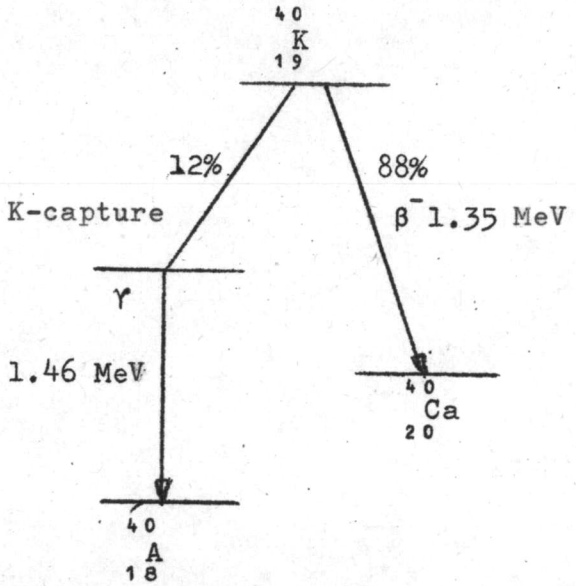
ไอโซโทปกัมมันตรังสี $^{40}_{19}K$ จะสลายให้อนุภาคเบตาเป็นส่วนใหญ่ และให้ไอโซโทป $^{40}_{20}Ca$ ดังสมการ

$$^{40}_{19}K \longrightarrow {}^{40}_{20}Ca + \beta^-$$

ถ้าเป็น K-capture จะได้อากอน $^{40}_{20}A$ และให้รังสีเอกซ์ ดังสมการ

$$^{40}_{19}K \xrightarrow{\text{K-capture}} {}^{40}_{18}A + \gamma$$

ดังนั้น การสลายตัวของ $^{40}_{19}K$ จะให้ $\beta$-radiation 88 % มีพลังงานสูงสุด $[E_{\beta\ (max)}]$ 1.35 MeV และ $\gamma$-radiation 12 % มีพลังงาน 1.46 MeV $^{40}_{19}K$ มีครึ่งชีวิต $1.3 \times 10^9$ ปี ดังรูปที่ 3




รูปที่ 3 แบบแผนการสลายตัวของ $^{40}_{19}K$

ทอมสัน(Thomson) เป็นผู้ค้นพบกัมมันตภาพรังสีของโปแตสเซียมในปี ค.ศ.1905 แร่ของโปแตสเซียมมีเป็นจำนวนมาก ได้แก่ ซิลไวท์ [Sylvite (KCl)] ซิลวิไนท์[Sylvinite (KCl+NaCl)] **คาร์นัลไลท์** [Carnallite ($KCl.MgCl_2.6H_2O$)] ฯลฯ เกลือของโปแตสเซียมส่วนใหญ่ทำเป็นปุ๋ย และยังใช้ทำอุตสาหกรรมแก้วและยาด้วย เกลือของโปแตสเซียมมากมายใช้เป็น**รีเอเจนท์ทางเคมี**โลหะผสมของโปแตสเซียมก็มีความสำคัญด้วยในปัจจุบัน

## 2.2 ยูเรเนียมและอนุกรมยูเรเนียม

**2.2.1 ยูเรเนียม** (Uranium-U) ยูเรเนียมมีอยู่ประมาณ 0.0004% ของผิวโลก ความอุดมสมบูรณ์เปลี่ยนไปตามชนิดของหิน ยูเรเนียมที่เกิดในหินอัคนีที่เป็นด่างจะมีปริมาณน้อยกว่าที่เกิดในที่เป็นกรด แร่ยูเรเนียมปฐมภูมิ(Primary uranium minerals) ได้แก่ ยูรานิไนท์[uraninite($UO_2$)] พบในหินอัคนีที่มีซิลิกาสูงเรียกว่าเพกมาไทท์ (pegmatites) พิทชเบลนด์ (pitchblende) เป็นแหล่งเกิดที่สำคัญของยูเรเนียม เช่นเดียวกับเรเดียม

แอคติเนียม โพโลเนียม และ ธีเลียม มียูเรเนียมอยู่ 60% คาร์โนไทท์ [Carnotite($K_2O.\ 2UO_3.V_2O_5.3H_2O$)] เป็น hydrated potassium uranyl vanadate ซึ่งก็เป็นแหล่งสำคัญที่มียูเรเนียมอยู่ 7 % แร่อื่น ๆ ก็มี เช่น ธอไรท์ (Thorite) ออทูไนท์ (autunite) คิวไรท์ (curite) ฯลฯ

2.2.2 <u>อนุกรมยูเรเนียม</u>

สารกัมมันตรังสีในธรรมชาติจะแผ่รังสีอัลฟา เบตา และแกมมาออกมาตลอดเวลา การแผ่รังสีเกิดขึ้นต่อเนื่องกันไป ซึ่งอาจรวบรวมเป็นอนุกรมกัมมันตรังสีได้ 3 อนุกรม ดังนี้

ก. อนุกรมยูเรเนียม (Uranium Series)

ข. อนุกรมธอเรียม (Thorium Series)

ค. อนุกรมแอคติเนียม (Actinium Series)

ตามรูปที่ 4 จะเห็นว่าเรเดียมมิใช่เป็นจุดเริ่มต้นของอนุกรมยูเรเนียม เนื่องจากตามสเกลของเวลาทางธรณีวิทยาแล้วครึ่งชีวิตของมันสั้น ถ้ามันเป็นธาตุแรกของอนุกรมแล้วมันควรจะมีครึ่งชีวิตยาว ตัวตั้งต้นของอนุกรมนี้ คือ $^{238}_{92}U$ เป็นไอโซโทปหนักของยูเรเนียมที่มีครึ่งชีวิตยาวกว่าอายุของโลกทางธรณีวิทยา ($3.5 \times 10^9$ ปี) คือ $4.5 \times 10^9$ ปี อนุกรมนี้สิ้นสุดลงที่ตะกั่วคงตัว $^{206}_{82}Pb$

ลูกศรชี้ไปทางขวา แสดงการสลายตัวให้เบตา (beta decay) ลูกศรชี้ไปทางซ้าย เป็นการสลายตัวให้อัลฟา (alpha emission) เช่น $^{214}_{83}Bi$ สามารถสลายตัวได้ 2 ทาง ซึ่งเรียกว่า บรานชิ่ง (branching) โดยจะสลายด้วยการให้อนุภาคอัลฟาได้ $^{210}_{81}Tl$ 0.04 % และให้อนุภาคเบตา ได้ $^{214}_{84}Po$ 99.96%

## 2.3 ธอเรียมและอนุกรมธอเรียม

### 2.3.1 ธอเรียม (Thorium-Th)

เบอร์ซิเลียส (Baron Jons Jakob Berzelius) นักเคมีชาวสวีเดนเป็นคนแรกที่ค้นพบธาตุธอเรียมในปี ค.ศ. 1828 ในระยะแรกมีผู้นำเอาธอเรียมไปใช้ประโยชน์ทางด้านเคมีและอุตสาหกรรม เช่น ทำไส้ตะเกียงเจ้าพายุ โลหะผสม และ ไส้หลอดไฟฟ้า เป็นต้น และเพิ่งเริ่มนำเอาธอเรียมมาใช้ประโยชน์ในทางนิวเคลียร์เมื่อไม่นานมานี้เอง เนื่องจากมีการค้นพบว่าธอเรียมสามารถเป็นเชื้อเพลิงปรมาณูได้ดี และปริมาณธอเรียมในธรรมชาติก็มีมากพอ ๆ กับยูเรเนียม ธอเรียมมีหลายไอโซโทป ไอโซโทปหนึ่งของธอเรียมคือ $^{232}Th$

เมื่อนำ $^{232}Th$ ไปอาบรังสีด้วยนิวตรอนที่มีความเร็วต่ำจะไม่เกิดการแตกตัว (fission) แต่สามารถเปลี่ยนไปเป็น $^{233}U$ และ $^{233}U$ นี้เองที่เป็นตัวทำให้เกิดการแตกตัวขึ้น และใช้เป็นเชื้อเพลิง (fissionable material) ในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูได้ ดังสมการ

$$^{232}Th + {}_0n^1 \longrightarrow {}^{233}Th + \gamma$$

$$^{233}Th \xrightarrow[23.3\ \text{นาที}]{} {}^{233}Pa + \beta^-$$

$$^{233}Pa \xrightarrow[27.4\ \text{วัน}]{} {}^{233}U + \beta^-$$

ดังนั้น $^{233}U$ จึงอาจใช้เป็นเชื้อเพลิงได้สำหรับสร้าง power reactor เพื่อผลิตไฟฟ้า แร่ธอเรียมมีอยู่กระจัดกระจายทั่วโลกโดยอยู่ปะปนกับสินแร่ชนิดอื่น ๆ ส่วนมากจะปนอยู่กับแร่ยูเรเนียม และพวก rare earth แร่ที่สำคัญของธอเรียมและ rare earth คือ แร่โมนาไซท์ (Ce, La, Y, Th) $PO_4$ นอกจากจะมีธอเรียมฟอสเฟตแล้วยังมี rare earth ด้วย

2.3.2 อนุกรมธอเรียม (Thorium series)

อนุกรมธอเรียมมี $^{232}_{90}Th$ เป็นตัวต้นของอนุกรมและมีครึ่งชีวิต (half life) $1.39 \times 10^{10}$ ปี และตัวสุดท้ายของอนุกรม คือ ไอโซโทปคงตัวของ $^{208}_{82}Pb$ ส่วนนิวเคลียสของตัวอื่น ๆ จะไม่คงตัว มีการเกิดและการสลายตัวอยู่ตลอดเวลา ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 5 เส้นแกนในแนวยืนแสดงผลต่างของเลขมวลกับเลขอะตอมของธาตุต่าง ๆ (A = Mass number, Z = Atomic number) เส้นแกนในแนวนอนแสดงสัญญลักษณ์เลขอะตอมของธาตุต่าง ๆ ในการสลายตัวไปเป็นไอโซโทปของธาตุใหม่นั้นจะให้อนุภาคอัลฟาและเบตา ถ้าให้อนุภาคอัลฟาก็จะให้นิวเคลียสของธาตุใหม่ที่มีเลขอะตอมและเลขมวลน้อยกว่านิวเคลียสตัวแม่ (parent nucleus) อยู่ 2 และ 4 ตามลำดับ ถ้าให้อนุภาคเบตาก็จะทำให้เลขอะตอมมีค่าเพิ่มขึ้นอีก 1 แต่เลขมวลไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้มีบางตัวที่สลายตัวให้ทั้งอนุภาคอัลฟาและเบตาพร้อม ๆ กัน เช่น $^{212}_{83}Bi$ 66.3 % เป็นการสลายตัวให้อนุภาคเบตากลายเป็น $^{212}_{84}Po$ และ 33.7 % เป็นการสลายตัวให้อนุภาคอัลฟากลายเป็น $^{208}_{81}Tl$

2.4 กฎการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี

การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีไม่ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายนอกนิวเคลียส หากแต่ว่าการสลายตัวนี้เป็นไปตามหลักทางสถิติในส่วนที่เกี่ยวกับโอกาส เช่น ถ้ามีสารกัมมันตรังสีอยู่จำนวนหนึ่งจะไม่สามารถบอกได้ชัดว่านิวเคลียสใดในธาตุจะสลายตัวก่อนหรือหลัง คืออาจกล่าวได้ว่าทุก ๆ นิวเคลียสมีโอกาสเท่า ๆ กันที่จะสลายตัวในช่วงเวลาหนึ่ง อัตราการสลายตัวจะเป็นสัดส่วนกับจำนวนของอะตอมที่มีอยู่ กล่าวได้ว่า

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \qquad \text{--------} \quad (1)$$

ซึ่ง $-\frac{dN}{dt}$ = อัตราการสลายตัวของอะตอม (disintegration rate of radioactive atoms)

$\lambda$ = ค่าคงที่ของการสลายตัว (decay constant)

N = จำนวนอะตอมที่มีอยู่ ณ เวลาใด ๆ t

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

$\lambda dt$ = โอกาสที่อะตอมแต่ละตัวจะสลายตัวในช่วงเวลา dt

$$\ln \frac{No}{N} = \lambda(t - to) \qquad \text{-----(2)}$$

No = จำนวนอะตอมที่มีอยู่เดิม เมื่อ to = 0

N = จำนวนอะตอมที่เหลืออยู่ เมื่อเวลาใด ๆ t

$$N = No\, e^{-\lambda t} \qquad \text{-----(3)}$$

ถ้ากัมมันตรังสี (activity) คือการเปลี่ยนแปลงของจำนวนอะตอมในหนึ่งหน่วยเวลา เท่ากับ $\frac{dN}{dt}$

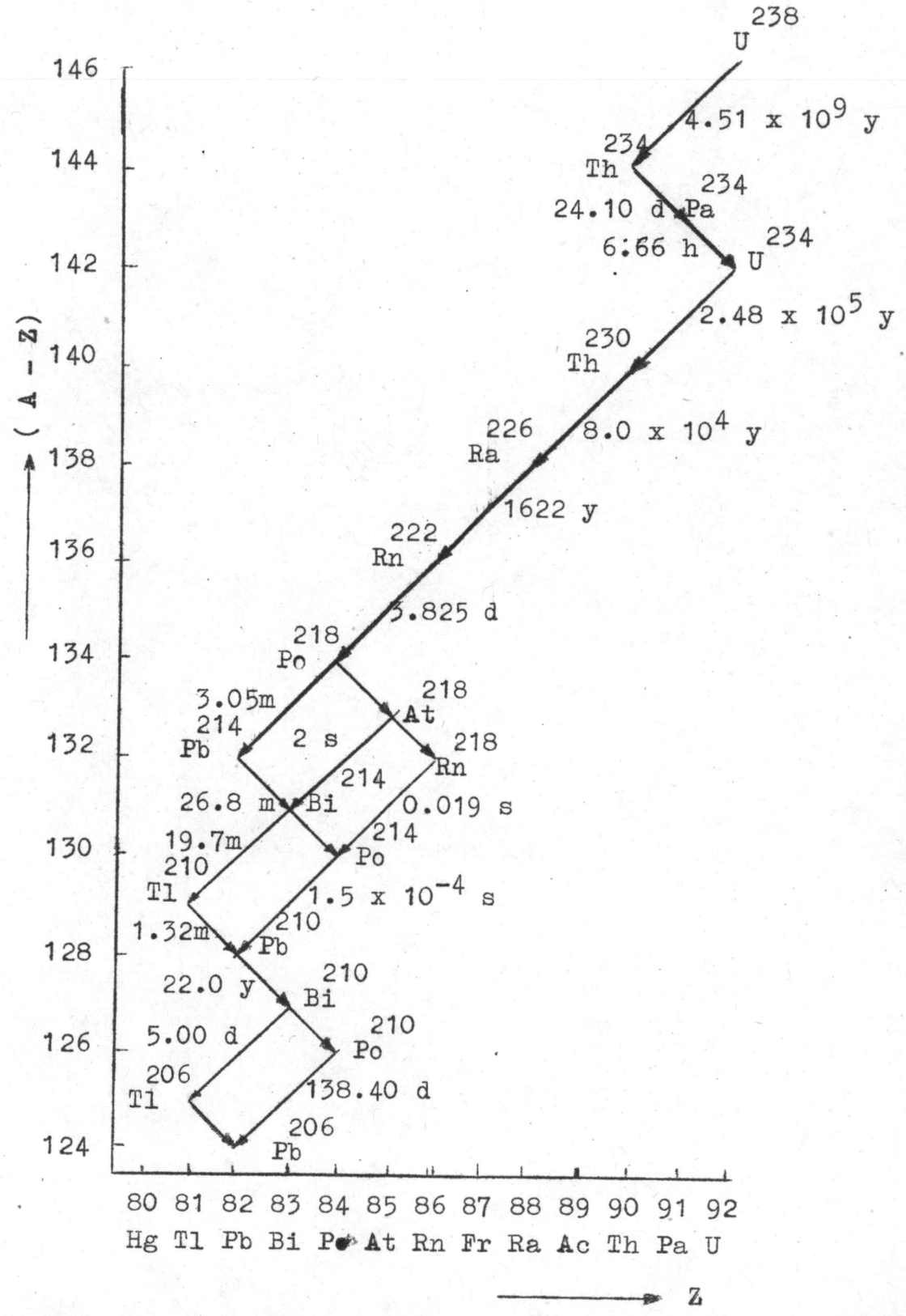
จากสูตร (1) จะได้ว่า

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

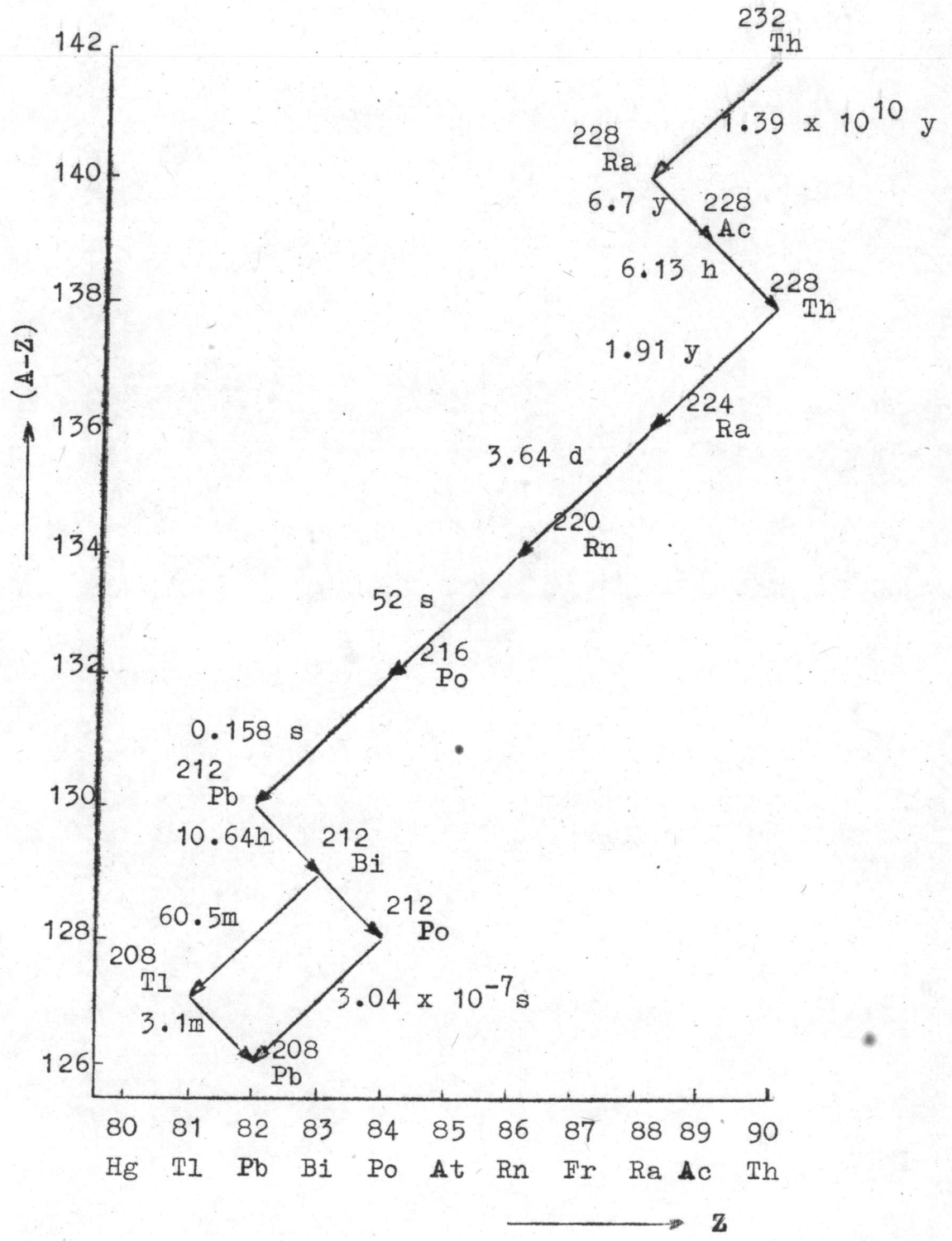
และจากสูตร (3) $\frac{No}{2} = No\, e^{-\lambda T_{1/2}}$

$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \qquad \text{-----(4)}$$

$T_{1/2}$ = ครึ่งชีวิต




รูปที่ 4 แบบแผนการสลายตัวของยูเรเนียม (Uranium Decay Scheme)




รูปที่ 5 แบบแผนการสลายตัวของธอเรียม (Thorium Decay Scheme)