หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

อนุภาคอัลฟา (Alpha Particle)

อนุภาคอัลฟาคือ นิวเคลียสของฮีเลียม ใช้สัญญลักษณ์ $_2He^4$ หรือ α ถูกปลดปล่อยออกมาจากนิวเคลียสด้วยพลังงานต่าง ๆ กันมีประจุ +2e มีมวลเท่ากับนิวเคลียสของฮีเลียม ตามปกติถูกปลดปล่อยออกมาจากนิวเคลียสของธาตุหนัก เช่น Ra^{226}, Am^{241}; Po^{210} เมื่อนิวเคลียสปล่อยอนุภาคอัลฟาแล้วจะมีประจุลดลง 2 หน่วยและมีมวลลดลง 4 หน่วย จึงกลายเป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่ เช่น

$$_{88}Ra^{226} \longrightarrow {}_{88}Rn^{222} + {}_2He^4 + Q$$

$$_{95}Am^{241} \longrightarrow {}_{93}Np^{237} + {}_2He^4 + Q$$

อเมอริเซียม (Americium) กลายเป็นเนปจูเนียม (Neptunium) มวลเดิมอเมริเซียม = 241.05669 a.m.u. มวลเดิมของเนปจูเนียม = 237.04803 a.m.u. มวลของอนุภาคอัลฟา = 4.0026 a.m.u. ดังนั้นมวลของอเมอริเซียมหายไปเท่ากับ 0.00606 a.m.u. เท่ากับพลังงาน 0.00606x931 = 5.642 MeV. ส่วนใหญ่กลายเป็นพลังงานจลน์ของอนุภาคอัลฟาที่ออกมาจากนิวเคลียส

สมการทั่วไปของการสลายตัวของอนุภาคอัลฟาเป็นดังนี้

$$_ZP^A \longrightarrow {}_{Z-2}D^{A-4} + {}_2He^4 + Q$$

เมื่อ $_ZP^A$ เป็นนิวเคลียสเดิม (Parent nucleus) มีประจุ +Ze และเลขมวล (Mass number) A

$_{Z-2}D^{A-4}$ เป็นนิวเคลียสใหม่ (Daughter nucleus) มีประจุ +(Z-2)e และเลขมวล (A-4)

และมวล M_D น้อยลง 4 หน่วยด้วยการปลดปล่อยอนุภาคอัลฟา Q กลายเป็นพลังงานจลน์ของนิวเคลียสใหม่กับอนุภาคอัลฟา แต่ส่วนใหญ่จะกลายเป็นพลังงานจลน์ของอนุภาคอัลฟา เพราะมีมวลน้อยกว่านิวเคลียสใหม่มาก เราสามารถคำนวณหา Q ได้จากสมการ

$$Q = K_D + K_\alpha = (M_p - M_D - M_\alpha)c^2$$

K_D = พลังงานจลน์ของนิวเคลียสใหม่

K_α = พลังงานจลน์ของอนุภาคอัลฟา

M_p = มวลของนิวเคลียสเดิม

M_D = มวลของนิวเคลียสใหม่

M_α = มวลของอนุภาคอัลฟา

โดยทั่วไปภายหลังการสลายตัวให้อนุภาคอัลฟา นิวเคลียสจะมีระดับพลังงานอยู่ในสภาวะสูงกว่าปกติ (excited state) ดังนั้น เมื่อนิวเคลียสลดระดับพลังงานลงสู่สภาวะปกติจะปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมา จึงกล่าวได้ว่าส่วนมากมีรังสีแกมมาเกิดขึ้นภายหลังการสลายตัวให้อนุภาคอัลฟา ตามหลักการสมดุลย์ของพลังงานโดยคิดว่า เมื่อส่งอนุภาคอัลฟาออกมาแล้ว นิวเคลียสใหม่จะเคลื่อนที่ด้วย

พลังงานที่สลายตัวออกมาจากนิวเคลียส = พลังงานจลน์ของอนุภาคอัลฟาที่เคลื่อนที่ออกจากนิวเคลียส + พลังงานจลน์ของนิวเคลียสใหม่

ตามหลักการคงตัวของโมเมนตัม

โมเมนตัมของอนุภาคอัลฟา = โมเมนตัมของนิวเคลียสใหม่

ถ้า M_α = มวลของอนุภาคอัลฟา

V_α = ความเร็วของอนุภาคอัลฟา

M = มวลของนิวเคลียสใหม่ที่เกิดขึ้น

V = ความเร็วของนิวเคลียสใหม่ที่เคลื่อนที่เล็กน้อย

Q = พลังงานที่ได้จากการสลายตัวของนิวเคลียส (Disintegration energy)

$$M_\alpha V_\alpha = MV$$

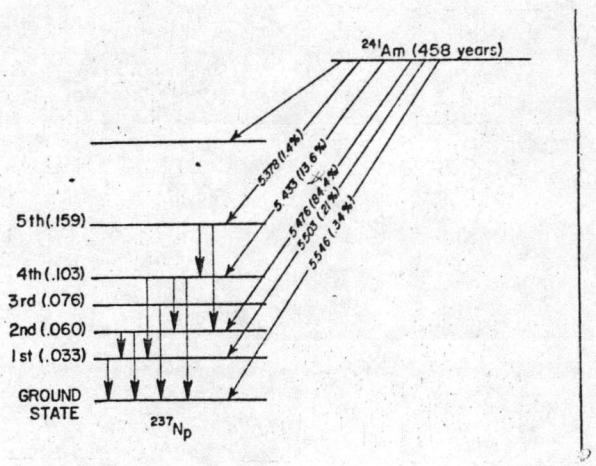
$$Q = \frac{1}{2} M_\alpha V_\alpha^2 + \frac{1}{2} MV^2$$

$$V = \frac{M_\alpha V_\alpha}{M}$$

$$Q = \frac{1}{2} M_\alpha V_\alpha^2 \left| 1 + \frac{M_\alpha}{M} \right|$$

แม้ว่าอนุภาคอัลฟาจะมีพลังงานจลน์สูง แต่โดยเหตุที่มีมวลมากจึง เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ ดังนั้นจึงมีอำนาจทะลวงผ่านสสารไม่มาก อนุภาคอัลฟาจะถูกอากาศหนา เพียงไม่กี่เซ็นติเมตรกั้นไว้ได้หรือแผ่นโลหะบาง ๆ ก็สามารถใช้ป้องกันรังสีนี้ได้

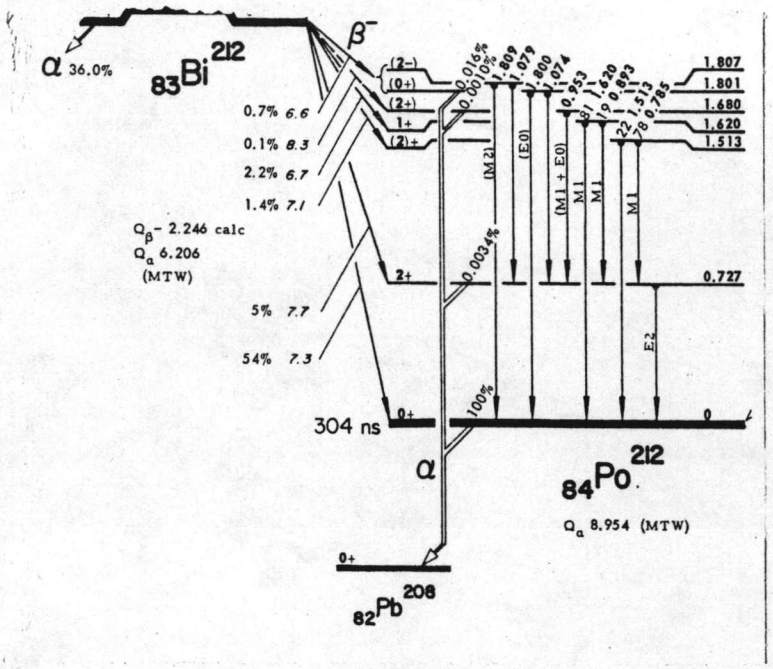
ธาตุกัมมันตภาพรังสีที่สลายตัวให้อนุภาคอัลฟา



รูปที่ 2.1 แสดงการสลายตัวของธาตุ Am^{241} ครึ่งอายุ (Half-life) 458 ปี

2.1 อนุภาคอัลฟาที่มีพิสัยยาว (Long range alpha particle)

การปล่อยอนุภาคอัลฟาจากนิวเคลียสกัมมันตรังสี ส่วนมากมักจะมีพลังงานใกล้เคียงกัน แต่พบว่า มีอนุภาคอัลฟากลุ่มหนึ่งที่มีพลังงานต่างไปจากอนุภาคอัลฟากลุ่มใหญ่ โดยมีพิสัยยาวกว่าจึงเรียกว่า อนุภาคอัลฟาที่มีพิสัยยาว (Long range alpha particle) มักเกิดกับนิวเคลียสที่มีชีวิตสั้น ๆ



รูปที่ 2.2 แสดงการสลายตัวของ B_i^{212}

แสดงการสลายตัวของนิวเคลียสที่ส่งอนุภาคอัลฟาพลังงานสูงกว่าปกติในการสลายของ Po^{212} ไปเป็น Pb^{208} เนื่องจากการสลายตัวของ Bi^{212} โดยการส่งอนุภาคเบตาไปยังกราวน์สเตท (Ground State) หรือเอกซ์ไซต์สเตท (Excited State) ของ Po^{212} โดยปกติแล้วเมื่ออยู่ที่เอกซ์ไซต์สเตท มักจะมีการสลายต่อไปโดยการส่งรังสีแกมมา จากการสลายโดยใช้เวลาสั้น ๆ จึงดูเหมือนกับว่าทั้งการสลายให้รังสีอัลฟาและรังสีแกมมาถูกส่งออกมาพร้อม ๆ กัน ดังนั้นพอจะสรุปการส่งอนุภาคอัลฟาจากสารกัมมันตรังสีอาจเกิดสเปคตรัม ได้ 3 แบบ

2.1.1 สเปคตรัมที่เกิดจากอนุภาคอัลฟาที่มีพลังงานเดียวเรียกว่า สเปคตรัมเส้นเดียว (Line spectra) เช่น $_{80}Rn^{222}$, $_{84}Po^{218}$, $_{84}Po^{210}$

2.1.2. สเปคตรัมที่เกิดจากอนุภาคอัลฟา 2 กลุ่มหรือมากกว่าที่มีพลังงานใกล้เคียงกัน เรียกว่า สเปคตรัมไม่ต่อเนื่อง (Discrete spectra) เช่น Bi^{212}, Pa^{231}, Ac^{227}

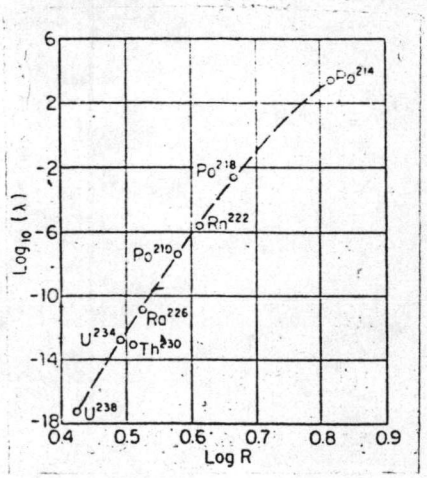
2.1.3. สเปคตรัมที่เกิดจากกลุ่มอนุภาคส่วนหนึ่ง มีพลังงานสูงกว่ากลุ่มส่วนใหญ่แม้จะมีจำนวนน้อยประมาณ 10^{-4}-10^{-7} ของกลุ่มส่วนใหญ่ สเปคตรัมชนิดนี้จะเกิดกับนิวเคลียสที่มีชีวิตสั้น ๆ เช่น Po^{214}, Po^{212}

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและครึ่งชีวิต

รัทเธอร์ฟอร์ด (Rutherford) เป็นผู้ริเริ่มงานนี้ จากการสังเกตุว่าอนุภาคอัลฟาที่มีพลังงานสูงมักส่งออกมาจากนิวเคลียสที่มีครึ่งชีวิตสั้น ๆ เช่น Po^{212} ครึ่งชีวิต $3x10^{-7}$ วินาที ส่งอนุภาคอัลฟาพลังงาน 8.95 MeV. แต่อนุภาคอัลฟาที่ส่งออกมาจาก Th^{232} ครึ่งชีวิต $1.4x10^{10}$ ปี มีพลังงานเพียง 4 MeV. ถ้าจะคิดช่วงของครึ่งชีวิตที่สั้นที่สุดจนถึงยาวที่สุดคือจาก $3x10^{-7}$-$4x10^{17}$ จะมีช่วง 10^{24} นับว่าเป็นระยะที่ยาวนานมาก เมื่อเทียบกับพลังงานที่เปลี่ยนไปเพียง 2 MeV.

ในปี ค.ศ. 1912 ไกเกอร์ (Geiger) และนัททัลล์ (Nuttall) ได้ตั้งสมการสำหรับหาความสัมพันธ์ระหว่างพิสัยของอนุภาคอัลฟาและครึ่งชีวิตขึ้นเรียกว่า กฎของไกเกอร์-นัททัลล์ (Geiger Nuttall rule) ดังนี้

$$\log R = A + B\log \lambda$$



รูปที่ 2.3 กราฟที่ไกเกอร์-นัททัลล์ สร้างขึ้นแสดงการส่งอนุภาคอัลฟาในอนุกรมยูเรเนียม

เมื่อ R = พิสัยของอนุภาคอัลฟาในอากาศ

λ = ค่าคงที่ของการสลายตัว (decay constant) ของนิวเคลียสที่ส่งอนุภาคอัลฟา

A,B = ค่าคงที่เอมพิริกัล (Empirical constant)

2.3 อันตรกริยาของรังสีกับสสาร (Interaction of radiation with matter)

รังสีที่ส่งออกมาจากสารกัมมันตรังสี แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ

2.3.1 พวกที่มีประจุ ได้แก่ อนุภาคอัลฟา อนุภาคเบตา โพสิตรอน โปรตอน

2.3.2 พวกที่ไม่มีประจุ ได้แก่ นิวตรอน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นรังสีเอ็กซ์ รังสีแกมมา

2.4 อันตรกริยาของอนุภาคที่มีประจุกับสสาร

เมื่ออนุภาคที่มีประจุชนกับอะตอมของแกส ซึ่งมีอิเล็คตรอนวนอยู่รอบ มันจะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็คตรอนที่วนอยู่รอบนิวเคลียส ถ้าพลังงานที่ให้มีค่ามากกว่า พลังงานยึดเหนี่ยว (Binding energy) ของอิเล็คตรอนในวงโคจรนั้น อิเล็คตรอนจะหลุดออกจากอะตอมเป็นอิเล็คตรอนอิสระและอิออนบวก (Positive ion) เรียกว่า อิออนคู่ พลังงานที่ถ่ายให้กับอิเล็คตรอนเพื่อให้เกิดการอิออนไนซ์ (ionized) เรียกว่า พลังงานที่ทำให้เกิดอิออนไนซ์ (Ionization energy) สำหรับอนุภาคอัลฟาหรือเบตาที่วิ่งผ่านอากาศในการเกิด อิออน 1 คู่ ต้องใช้พลังงาน 34 ev.

ถ้าพลังงานของอนุภาคไม่พอที่จะทำให้อะตอมเกิดการอิออนไนซ์ (ionized) จะทำให้อิเล็คตรอนในอะตอมนั้นเปลี่ยนระดับพลังงานขึ้นไปอยู่ระดับที่มีพลังงานสูงกว่าระดับปกติ เรียกว่า เอกไซด์สเตท (excited state) ขณะที่อะตอมกลับสู่สภาวะปกติ (ground state) จะส่งพลังงานออกมาในรูปของโฟตอน (Photon) สารบางอย่างเมื่ออะตอมระดับ เอกไซด์สเตท กลับสู่กราวน์สเตท จะปล่อยแสงที่มองเห็นได้เรียกว่า การเรืองรังสีฟอสฟอร์ (Phosphorescence) จากคุณสมบัติข้อนี้ได้นำไปประยุกต์ใช้ในการทำหัววัดรังสีแบบซินทิลเลชั่น (Scintillation Detector)

อนุภาคที่มีประจุจะสูญเสียพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอ็กซ์ต่อเนื่อง เมื่อมันวิ่งผ่านใกล้นิวเคลียสของสสารซึ่งมีอีเล็คตรอนอยู่ตามวงโคจรและจะเปลี่ยนทิศทางทำให้ความเร็วลดลง พลังงานจะถูกส่งออกมาเป็นรังสีเอ็กซ์ต่อเนื่อง (Continuous X-ray) บางทีเรียกเบรมสตราลุง (Bremstrahlung) หรือเบรคกิงเรดิเอชั่น (braking radiation) ความเข้มของเบรมสตราลุงขึ้นอยู่กับประจุและมวลของอนุภาคที่วิ่งเข้าชนและเลขอะตอม (atomic-number) ของสสารที่ถูกชน ดังนั้นถ้ามวลที่ใช้กั้นรังสีมีเลขอะตอมสูงจะทำให้ความเข้มของเบรมสตราลุงมีค่าสูงด้วย

2.5 อันตรกริยาที่เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคอัลฟาวิ่งผ่านอะตอมของสสาร

อันตรกริยาที่เกิดขึ้นของอนุภาคอัลฟากับตัวกลางใด ๆ ก็ตามจะมีความสลับซับซ้อนน้อยกว่าอันตรกริยาของอีเล็คตรอนหรือรังสีแกมมากับสสารใด ๆ มาก เนื่องจากอนุภาคอัลฟามีประจุสูงและมีมวลมาก เมื่ออนุภาคอัลฟาเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางใด ๆ แล้วจะเกิดอันตรกริยากับอีเล็คตรอนของอะตอมตัวกลาง ดังนั้นเมื่ออนุภาคอัลฟาเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางจะมีการบ่ายเบนจากทิศทางเดิมเล็กน้อยเท่านั้น โดยทั่วไปถือว่าอนุภาคอัลฟาเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง การวัดพิสัย (range) ของมันในตัวกลางใด ๆ เราจะวัดตามเส้นทางที่มันเคลื่อนที่ในตัวกลางนั้น

อนุภาคอัลฟาจะสูญเสียพลังงานเกือบทั้งหมดไปในการทำให้เกิดอิออนไนเซชั่นและเอ็กไซด์เตชั่นทำให้เกิดอิออนคู่ขึ้นโดยรอบตามทางที่อนุภาควิ่งผ่าน พลังงานของอนุภาคอัลฟาจะลดลงจนในที่สุดจะจับอีเล็คตรอนแล้วกลายเป็นอะตอมที่เป็นกลางของฮีเลียมและจะไม่ทำให้เกิดอิออนไนซ์ (ionized) ได้อีกต่อไป ระยะทางตั้งแต่อนุภาควิ่งออกมาจนกระทั่งถูกดูดกลืนหายไปเรียกว่า พิสัย (range) ของอนุภาคอัลฟา

ความสามารถที่อนุภาคอัลฟาจะทำให้อะตอมแตกตัวเป็นอิออน (ion) เรียกว่าความสามารถการไอออนไนท์จำเพาะหมายถึง จำนวนอิออนแพร์ที่เกิดขึ้นเมื่ออนุภาควิ่งผ่านสารนั้นเป็นระยะทางหนึ่งหน่วย สำหรับอนุภาคที่มีพลังงานเท่ากัน ค่าความสามารถไอออนไนท์จำเพาะจะขึ้นกับมวลของอนุภาค อนุภาคหนักเคลื่อนที่ช้ามีโอกาสจะทำให้อะตอมแตกตัวเป็นอิออนได้มาก ความสามารถการไอออนไนท์จำเพาะที่เกิดจากอนุภาคอัลฟามวล 4 a.m.u. จะมีค่ามากกว่าที่เกิดจากอนุภาคเบตามวล 0.00055 a.m.u. ที่มีพลังงานเดียวกัน ถ้าจะเปรียบเทียบความสามารถของอนุภาคอัลฟา อนุภาคเบตาในการอิออนไนซ์ อากาศที่ความดันปกติ เมื่อ

อนุภาคทั้งสองมีพลังงานเท่ากัน ปรากฏว่าอนุภาคอัลฟาจะทำให้เกิดอิออนคู่ได้ถึง 50,000-100,000 คู่/ซม. แต่อนุภาคเบตาจะทำให้เกิดได้เพียง 30-3000 คู่/ซม. นอกจากนี้แล้วค่าความสามารถการไอออนไนท์จำเพาะขึ้นอยู่กับมวลของอนุภาคอัลฟาและคุณสมบัติของตัวกลางที่อนุภาควิ่งผ่าน

2.6 การสูญเสียพลังงานของอนุภาคอัลฟาในสสาร

สำหรับอนุภาคที่มีประจุสูงช่วงพลังงานตั้งแต่ 2 MeV. ถึง 10 MeV. พลังงานของอนุภาคที่มีประจุสูงที่สูญเสียตลอดการไอออนไนท์เซชั่นต่อหน่วยระยะทางสามารถคำนวณได้ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion} = \frac{4\pi e^4 z^2 N_\nu Z}{M_o V^2}\left[\ln \frac{2M_oV^2}{I} - \ln(1-\beta)^2 - \beta^2\right] \quad .....(2.1)$$

เมื่อ E = พลังงานของอนุภาคอัลฟา (erg)

e = ประจุของอีเล็คตรอน (e.s.u.)

z = เลขอะตอมของอนุภาคที่มีประจุ

Z = เลขอะตอมของตัวดูดกลืน

M_o = มวลของอีเล็คตรอน (rest mass of electron); gm.

V = ความเร็วของอนุภาคอัลฟา (cm/sec)

N_ν = จำนวนอะตอมของตัวดูดกลืน/cm^3

I = อิออนไนเซชั่นโพเทนเชียล (ionization potential) ของตัวดูดกลืน; (erg)

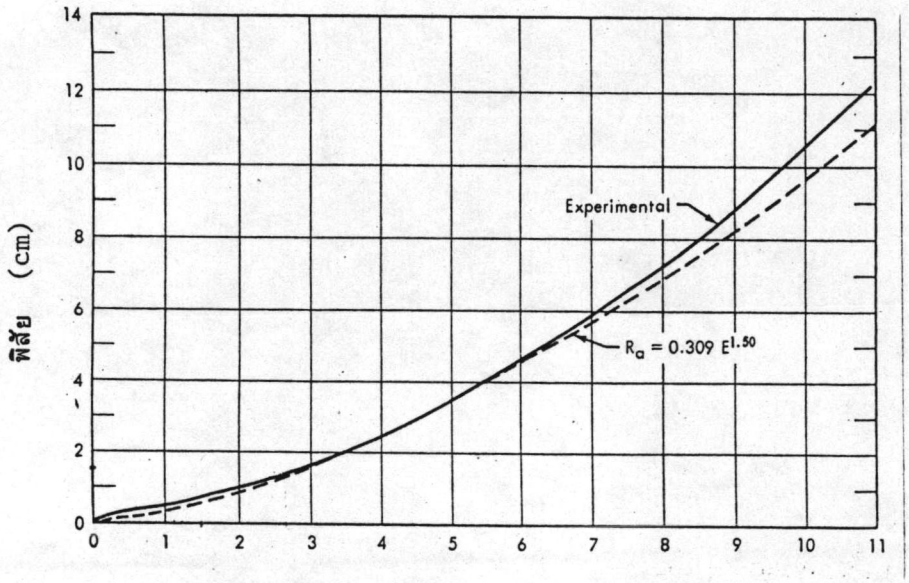
β = อัตราส่วนของความเร็วของอนุภาคที่มีประจุกับความเร็วแสง

สำหรับอนุภาคอัลฟาซึ่งมีพลังงานต่ำกว่า 10 MeV. เราใช้ $E = \frac{1}{2}MV^2$ แทนในสมการ (2.1)

เมื่อ M = มวลของอนุภาคอัลฟา

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion} = (3.79\times10^{-21}).\frac{N_\nu Z}{E} \quad (MeV^2.cm^2/\text{อีเล็คตรอน})...(2.2)$$

เนื่องจาก ทางเดินของอนุภาคอัลฟาเป็นเส้นตรงการอินทิเกรต (integrate) สมการ (2.1) จาก E = E ถึง E = 0 จะได้พิสัยทั้งหมดซึ่งมันจะเป็นฟังก์ชั่นของพลังงานเริ่มต้นของอนุภาคอัลฟาและถ้าเราอินทิเกรตสมการ (2.1) ขณะที่ E = 0 เทอมขวามือของสมการ (2.1) จะเข้าใกล้อินฟินิตี้ (Infinity) ยิ่งไปกว่านั้นถ้าพลังงานต่ำกว่า 0.2 MeV. สมการ (2.1) ใช้ไม่ได้ ในการที่จะนำสมการ (2.1) คำนวณหาพิสัยของอนุภาคอัลฟาจะยุ่งยากมาก ดังนั้นการวัดพิสัยของอนุภาคอัลฟาจะทำได้จากการทดลอง ซึ่งส่วนใหญ่เราจะวัดที่ 15^{o}C ความดัน 760 mm.Hg. โดยใช้อากาศแห้งเป็นตัวดูดกลืนมาตรฐาน



รูปที่ 2.4[8] แสดงกราฟที่ได้จากการทดลองสำหรับพิสัยของอนุภาคอัลฟาในอากาศซึ่งขึ้นอยู่กับพลังงานของอนุภาคอัลฟา ที่อุณหภูมิ 15^{o}C ความดัน 760 mm.Hg.

จากรูปที่ได้จากการทดลองจะได้ว่า

$$R_a = (0.309)\ E^{1.5} \qquad \text{.....(2.3)}$$

009874

เมื่อ E = พลังงานของอนุภาคอัลฟา

R_a = พิสัยของอนุภาคอัลฟาในอากาศ

จากสมการ (2.1) ถ้า $\frac{4\pi e^4 z^2}{M_o V^2} = K$

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion} = K N_\nu Z\left[\ln \frac{2M_o V^2}{I} - \ln(1-\beta^2) - \beta^2\right] \quad .....(2.4)$$

ถ้าผลคูณของ $Z.\left|\ln \frac{2M_o V^2}{I} - \ln(1-\beta^2) - \beta^2\right|$ = อะตอมมิคสตอปปิงเพาเวอร์ = S

(Atomic stopping power)

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion} = K N_\nu S \quad .....(2.5)$$

$$N_\nu = \frac{(6.02\times10^{23})\rho}{A} \text{ อะตอม/cm}^3$$

N_ν = ความหนาแน่นอะตอมของตัวดูดกลืน (อะตอม/cm^3)

ρ = ความหนาแน่นของตัวดูดกลืน (gm/cm^3)

A = เลขมวลของตัวดูดกลืน

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion} = \frac{6.02\times10^{23}}{A}.K\rho S$$

$$dE = (6.02\times10^{23})\frac{K\rho S}{A}.dx \quad .....(2.6)$$

ในกรณีที่พลังงานของอนุภาคอัลฟา z อนุภาคเท่ากัน แต่เคลื่อนที่ในตัวดูดกลืนต่างกัน จะได้ว่า

$$dE = \frac{(6.02\times10^{23}).K\rho_1 S_1 dx_1}{A_1} = \frac{(6.02\times10^{23})K\rho_2 S_2 dx_2}{A_2} \quad ..(2.7)$$

$$\frac{dx_1}{dx_2} = \frac{\rho_2 S_2 A_1}{\rho_1 S_1 A_2} \qquad \text{.....(2.8)}$$

สมการที่(2.8) ใช้ได้กับทุกพลังงานที่พิจารณา อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงระยะทางเปรียบเสมือนกับอัตราส่วนของพิสัยในแต่ละตัวดูดกลืน

ถ้า R_1 = พิสัยเฉลี่ย (Mean Range) ในตัวดูดกลืนที่ 1

R_2 = พิสัยเฉลี่ย (Mean Range) ในตัวดูดกลืนที่ 2

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{dx_1}{dx_2} = \frac{\rho_2 S_2 A_1}{\rho_1 S_1 A_2} \qquad \text{.....(2.9)}$$

ค่าเอฟเฟคทีฟอะตอมมิคสตอปปิงเพาเวอร์ (Effective atomic stopping power) จะประมาณโดยการแปรตาม $\sqrt{A}$ เมื่อ $\sqrt{A}$ แทน S ในสมการ (2.9) จะได้ว่า

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \cdot \frac{\sqrt{A_1}}{\sqrt{A_2}} \qquad \text{.....(2.10)}$$

สมการที่ (2.10) เรียกว่า กฎของแบรก-คลีแมน(Bragg-Kleeman rule) ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างพิสัยเฉลี่ยของอนุภาคอัลฟาในตัวดูดกลืนตัวหนึ่งกับตัวดูดกลืนตัวที่สอง ความผิดพลาดประมาณ 15 %

สำหรับตัวดูดกลืนที่ประกอบด้วยธาตุหลายธาตุ อัตราส่วนของเอฟเฟคทีพอะตอมมิคเวท (Effective atomic weight) ต่อเอฟเฟคทีพสตอปปิงเพาเวอร์ (Effective stopping power) เราจะนำมาใช้ซึ่งเราสามารถหาได้ตามความสัมพันธ์

$$\frac{A_{eff}}{S_{eff}} = \sqrt{A_{eff}} = \frac{\eta_1 A_1 + \eta_2 A_2 + \eta_3 A_2 + ---}{\eta_1 \sqrt{A_1} + \eta_2 \sqrt{A_2} + \eta_3 \sqrt{A_3} + ----} \qquad \text{.....(2.11)}$$

η = อะตอมมิคแฟรคชั่น (Atomic fraction) ของธาตุ

สมการที่ (2.11) ใช้คำนวณหารากที่สองของเอฟเฟคทีพอะตอมมิคเวท ของของผสมหรือสารประกอบซึ่งเราทราบอะตอมมิคแฟรคชั่นของแต่ละธาตุ

$$\text{อะตอมมิคแฟรคชั่นของธาตุใด } \eta = \frac{\text{จำนวนอะตอมของธาตุใด } \eta}{\text{จำนวนอะตอมทั้งหมดของสารประกอบหรือของผสม}}$$

เนื่องจากอากาศประกอบด้วย แกสไนโตรเจน 78.084 % อ๊อกซิเจน 20.946 % คาร์บอนไดออกไซด์ 0.033 % อาร์กอน 0.934 % โดยปริมาตร ตามลำดับ

$$\sqrt{A_{eff}} = \frac{\eta_1 A_1+\eta_2 A_1+\eta_3 A_3+\eta_4 A_4}{\eta_1\sqrt{A_1}+\eta_2\sqrt{A_2}+\eta_3\sqrt{A_3}+\eta_4\sqrt{A_4}}$$

$$= \frac{(0.784)(14)+(0.211)(16)+(4.691\times10^{-3})(40)+(1.658\times10^{-4})(12)}{(0.784)\sqrt{14}+(0.21)\sqrt{16}+(4.691\times10^{-3})\sqrt{40}+(1.658\times10^{-4})\sqrt{12}}$$

$$= 3.82$$

หาความหนาแน่นของอากาศที่ 760 mm.Hg. อุณหภูมิ $27\pm1^{o}C$

$$\rho_{air} = \frac{T_o}{T}\cdot\frac{P}{P_o}\rho_o$$

เมื่อ ρ_o = ความหนาแน่นของอากาศที่ $0^{o}C$ ความดัน 760 mm.Hg.; = 1.293×10^{-3} gm/cm^3

ρ_{air} = ความหนาแน่นของอากาศที่ $27^{o}C$ความดัน 760 mm.Hg. (gm/cm^3)

T_o = อุณหภูมิ $0^{o}C$

T = อุณหภูมิขณะทำการทดลอง = $27^{o}\pm1^{o}C$

P_o = ความดัน 760 mm.Hg.

P = ความดันขณะทำการทดลอง (mm.Hg.)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\rho_{air} = \frac{273}{300}\frac{(760)}{(760)}(1.293\text{x}10^{-3}) \quad gm/cm^3$$

$$\rho_{air} = 1.18\text{x}10^{-3} \quad gm/cm^3$$

$$\frac{R_1}{R_{air}} = \frac{(1.18\text{x}10^{-3})\sqrt{A}}{\rho_1}$$

$$R = \frac{(1.18\text{x}10^{-3})\sqrt{A}.R_{air}}{(3.82)\rho}$$

$$R = (3.09\text{x}10^{-4})\frac{\sqrt{A}}{\rho}.\ R_{air} \quad .....(2.12)$$

เป็นสมการใช้คำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างพิสัยของตัวดูดกลืนใด ๆ ที่ความดัน 760 mm.Hg. อุณหภูมิ $27\pm1^{o}C$

R = พิสัยของตัวดูดกลืนใด ๆ (cm)

A = เลขมวลของตัวดูดกลืนใด ๆ

ρ = ความหนาแน่นของตัวดูดกลืนใด ๆ (gm/cm^3)

R_{air} = พิสัยของอากาศ จากการทดลองพิสัยของอาศที่ $27^{o}C$ 760 mm.Hg. เท่ากับ 3.95 cm.

2.7 สตอปปิงครอสเซ็คชั่น

สตอปปิงครอสเซ็คชั่นหมายถึง พลังงานของอนุภาคอัลฟาที่สูญเสียบนพื้นที่ 1 ตร. หน่วย ของโมเลกุลของแกสใด ๆ ที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคอัลฟา

มีหน่วยเป็น หน่วยของพลังงานกับหน่วยของพื้นที่ต่อหนึ่งโมเลกุลของแกส

สตอปปิงครอสเซ็คชั่น = พลังงานของอนุภาคที่สูญเสีย x พื้นที่ของโมเลกุลของแกส
1 ตร.หน่วยที่อนุภาคอัลฟา
วิ่งเข้าชน

ถ้าพลังงานของอนุภาคอัลฟาที่สูญเสียมีหน่วยเป็น MeV.

พื้นที่หน้าตัดของโมเลกุลของแกสที่อนุภาคอัลฟาพุ่งเข้าชน มีหน่วยเป็น cm^2

จะได้หน่วยของสตอปปิงครอสเซ็คชั่น ดังนี้

สตอปปิงครอสเซ็คชั่น = $MeV.cm^2/molecule$

$$= \frac{MeV.}{cm\ (molecule/cm^3)}$$

ให้ ε = สตอปปิงครอสเซ็คชั่น ($MeV.cm^2/molecule$)

$\Delta E'$ = พลังงานของอนุภาคอัลฟาที่สูญเสียไป

และ E'_1 = พลังงานของอนุภาคอัลฟาที่สูญเสียไปครั้ง 1

E'_2 = พลังงานของอนุภาคอัลฟาที่สูญเสียไปครั้ง 2

$\Delta E' = E'_2 - E'_1$, $E'_2 > E'_1$ เสมอ

S = ระยะทางจาก ต้นกำเนิดรังสีอัลฟา (Source) ถึงหัววัดรังสีอัลฟา (detector) ; cm.

$\Delta\eta$ = ความหนาแน่นของโมเลกุลของแกสที่เปลี่ยนแปลง ($molecule/cm^3$)

และ η_1 = ความหนาแน่นของโมเลกุลของแกสครั้งที่ 1 ($molecule/cm^3$)

η_2 = ความหนาแน่นของโมเลกุลของแกสครั้งที่ 2 ($molecule/cm^3$)

$\Delta\eta = \eta_2 - \eta_1$, $\eta_2 > \eta_1$ เสมอ

$$\varepsilon = \frac{\Delta E'}{S\Delta\eta}$$

เนื่องจากการวัดการสูญเสียพลังงานของรังสีอัลฟาในตัวดูดกลืนใด ๆ เราไม่สามารถวัดได้โดยตรงแต่เราต้องวัดโดยทางอ้อมคือวัดจากพลังงานที่เหลือของอนุภาคที่ตกกระทบบนหัววัดรังสี นั่นคือ

ถ้า E_1 = พลังงานที่เหลือของอนุภาคอัลฟาครั้งที่ 1

E_2 = พลังงานที่เหลือของอนุภาคอัลฟาครั้งที่ 2

$E_2 < E_1$ เสมอ

แต่เนื่องจากว่า $E'_2 - E'_1 \simeq E_2 - E_1$

ถ้า ΔE = พลังงานที่เหลือของอนุภาคอัลฟา

$$\Delta E = E_2 - E_1 = -(E_1 - E_2)$$

หรือ $\Delta E' = -\Delta E$

$$\varepsilon = -\frac{\Delta E}{S\Delta\eta} \qquad \text{.....(2.13)}$$

เนื่องจาก $\eta = \frac{A}{M}.\rho$

เมื่อ A = เลขอาโวกราโต (Avogrado's number) = 6.02×10^{23} molecules/mole

M = น้ำหนักโมเลกุล (molecular Weight) ;

ρ = ความหนาแน่นของแกส (gm/cm^3)

η = ความหนาแน่นโมเลกุลของแกส ($molecule/cm^3$)

จาก $\Delta\eta = \eta_2 - \eta_1$

$$\Delta\eta = \frac{A}{M}[\rho_2 - \rho_1]$$

ถ้าภาชนะที่บรรจุแกสหนึ่งอุณหภูมิเปลี่ยนจาก 0^oC ความดัน 760 mm.Hg. เป็นอุณหภูมิ T^oC ความดัน P_1 mm.Hg.

จาก

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

แทนค่า $\frac{P_o V_o}{T_o} = \frac{P_1 V_1}{T}$

$$\frac{P_o \cdot \frac{M}{\rho_o}}{T_o} = \frac{P_1 \cdot \frac{M}{\rho_1}}{T}$$

เมื่อ T_o = อุณหภูมิของแกสที่ $0^oC = 273^oK$

T = อุณหภูมิแกสขณะทำการทดลอง (^oK)

P_1 = ความดันของแกสขณะทำการทดลอง ครั้งที่ 1 ; (mm.Hg.)

P_o = ความดันของแกสที่อุณหภูมิ 0^oC

ρ_o = ความหนาแน่นของแกสที่อุณหภูมิ 0^oC (gm/cm^3)

ρ_1 = ความหนาแน่นของแกสที่อุณหภูมิขณะทำการทดลองครั้งที่ 1; (gm/cm^3)

M = น้ำหนักโมเลกุล

$\rho_1 = \frac{T_o}{T} \cdot \frac{P_1}{P_o} \cdot \rho_o$

ถ้าเราให้ความดันแกสในภาชนะที่บรรจุแกส เป็น P_2 อุณหภูมิเป็น T^oC

ถ้า P_2 = ความดันของแกสขณะทำการทดลองครั้งที่ 2 ; (mm.Hg.)

ρ_2 = ความหนาแน่นของแกสขณะทำการทดลองครั้งที่ 2 ; (gm/cm^3)

จะได้ว่า

$$\frac{P_o \frac{M}{\rho_o}}{T_o} = \frac{P_2 \cdot \frac{M}{\rho_2}}{T}$$

$$\rho_2 = \frac{T_o}{T} \cdot \frac{P_2}{P_o} \cdot \rho_o$$

$$\Delta\eta = \frac{A}{M}\left[\frac{P_2}{T} \cdot \frac{T_o \rho_o}{P_o} - \frac{P_1}{T} \cdot \frac{T_o \rho_o}{P_o}\right]$$

$$\Delta\eta = \frac{A}{M} \frac{T_o \rho_o}{T P_o}\left[P_2 - P_1\right]$$

นำ $\Delta\eta$ แทนใน (2.13) จะได้

$$\varepsilon = -\frac{1}{S}\cdot\frac{M}{A}\cdot\frac{T}{T_o}\cdot\frac{P_o}{\rho_o}\cdot\frac{\Delta E}{\Delta P}$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 \quad ; \quad P_2 > P_1 \text{ เสมอ}$$

$$\varepsilon = -\frac{M}{A}\frac{T}{T_o}\frac{P_o}{\rho_o S}\left[\frac{\Delta E}{\Delta P}\right] \qquad \text{.....(2.14)}$$

สมการที่ (2.14) เป็นสมการใช้คำนวณหาค่าสตอปปิงครอสเซ็คชั่นของแกสต่าง ๆ ในกรณีนี้ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดรังสีคงที่ แล้วแปรเปลี่ยนความดันภายในห้องเก็บแกส ในกรณีที่เราต้องการวัดค่าสตอปปิงครอสเซ็คชั่นโดยให้ความดันในห้องเก็บแกสคงที่ แต่จะแปรเปลี่ยนระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดรังสี

จาก $\varepsilon = -\frac{\Delta E}{S\Delta\eta}$

จะได้ว่า $\varepsilon = -\frac{\Delta E}{\eta\Delta S}$

จาก $\eta = \frac{A}{M}\cdot\rho$

$$\rho = \frac{T_o}{T}\cdot\frac{P}{P_o}\cdot\rho_o$$

$$\eta = \frac{A}{M}\cdot\frac{T_o}{T}\cdot\frac{P}{P_o}\cdot\rho_o$$

แทนค่า

$$\varepsilon = -\frac{M}{A}\frac{T}{T_o}\frac{P_o}{P\rho_o}\cdot\left(\frac{\Delta E}{\Delta S}\right)$$

ในกรณีนี้ $P = P_o = 760$ mm.Hg.

$$\varepsilon = -\frac{MT}{AT_o\rho_o}\cdot\left(\frac{\Delta E}{\Delta S}\right) \qquad \text{.....(2.15)}$$

สมการ (2.15) เป็นสมการใช้คำนวณหาค่าสตอปปิงครอสเซ็คชั่นในกรณีที่ความดันในห้องเก็บแกสคงที่แล้วแปรเปลี่ยนระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดรังสี