# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 นิวเคลียร์อิมัลชัน (nuclear emulsion)

ในการศึกษาอนุภาคชนิดต่างๆนั้น มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาหลายชนิด นิวเคลียร์อิมัลชันเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ใช้ในการตรวจวัดอนุภาค ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นเหมือนฟิล์มถ่ายรูปธรรมดา แต่มีเนื้อฟิล์มหนากว่า ส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เงินโบรไมด์และเจลาติน เงินโบรไมด์อยู่ในรูปผลึกเม็ดเล็กๆขนาดแตกต่างกันตามชนิดของนิวเคลียร์อิมัลชัน ชนิดที่ใช้วิจัยครั้งนี้ เป็นชนิด จี.5, เค.5 และ เค.2 ของบริษัทอิลฟอร์ด

เมื่ออนุภาคที่มีประจุเคลื่อนที่เข้าไปในนิวเคลียร์อิมัลชัน จะถ่ายเทพลังงานให้กับโมเลกุลของเงินโบรไมด์ ทำให้โมเลกุลของเงินโบรไมด์แตกตัว (ionise) ออกเป็นเงินไอออนและโบรไมด์ไอออน ตามทางที่อนุภาคผ่านไป เมื่อนำอิมัลชันไปล้างตามกรรมวิธีแบบเดียวกับการล้างฟิล์มถ่ายรูป เงินไอออนจะกลายเป็นเงินอะตอม ซึ่งถ้ามองดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงจะมองเห็นเม็ดเงินสีดำ เรียงอยู่เป็นแนวตามทางที่อนุภาคผ่านไป ซึ่งเรียกว่า รอย (track)

### 1.2 ส่วนประกอบของอิมัลชัน (composition of emulsion)

นิวเคลียร์อิมัลชันมีหลายชนิด แต่ละชนิดจะมีส่วนประกอบไม่เหมือนกัน ซึ่งจะขึ้นกับบริษัทที่ผลิต ชนิดที่ใช้ในการวิจัยที่เป็นของอิลฟอร์ดนั้น มีความหนาแน่น 3.8278 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นที่เป็นมาตรฐาน 3.815 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร[1] ส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 1-1

---

[1] W.H. Barkas, Nuclear Research Emulsions, (New York: Academic Press, 1963), pp. 14,70

ตารางที่ 1-1 แสดงส่วนประกอบของนิวเคลียร์อิมัลชันของบริษัทอิลฟอร์ด

| ธาตุ | เลขอะตอม | ความหนาแน่นเป็นกรัมต่อลบ.ซม. ที่ความชื้นสัมพัทธ์58 % | คิดเป็น % | ความหนาแน่นมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|
| Ag | 47 | 1.817 | 47.47 | 1.8088 |
| Br | 35 | 1.338 | 34.95 | 1.3319 |
| I | 53 | 0.012 | 0.31 | 0.0119 |
| C | 6 | 0.277 | 7.24 | 0.2757 |
| H | 1 | 0.053 | 1.40 | 0.0538 |
| O | 8 | 0.249 | 6.51 | 0.2522 |
| N | 7 | 0.074 | 1.93 | 0.0737 |
| S | 16 | 0.007 | 0.18 | 0.0072 |

ความแตกต่างของนิวเคลียร์อิมัลชันทั้งสามชนิดที่ใช้ในการวิจัยก็คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดเงินไม่เท่ากัน ชนิดจี5 เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดเงิน 0.27 ไมครอน และชนิดเค5 และเค2 เท่ากันคือ 0.20 ไมครอน

1.3 ความไวของนิวเคลียร์อิมัลชันต่ออนุภาค (sensitivity)[2]

นิวเคลียร์อิมัลชันแต่ละชนิดมีความไวต่ออนุภาคแตกต่างกัน การเติมสารอินทรีย์ (organic dyes) บางชนิดลงไปก็ทำให้เพิ่มความไวขึ้น นอกจากนี้ความไวยังขึ้นอยู่กับกำลังรวมตัวของเงินไอออนกับเจลาติน และปริมาณของกำมะถันพิเศษ (extra sulfer) และประการสุดท้ายซึ่งสำคัญมากก็คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดเงิน อิมัลชันอาจเปลี่ยนความไวได้ถ้าหากนำไปใช้ในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน[3]

---

[2] W.H. Barkas, op.cit, pp. 28-29,64-65

[3] C.F. Powell, P.H. Fowler and D.H. Perkins, The Study of Elementary Particles by the Photographic Method, (London: Pergamon Press,1959),p.49

สำหรับนิวเคลียร์อิมัลชั่นที่ใช้นั้น ชนิด เค5 และ จี5 มีความไวต่ออนุภาคที่มีประจุทุกระดับพลังงาน ส่วนชนิด เค2 มีความไวต่ำกว่า จะไวต่อโปรตอนที่พลังงาน 80 MeV. และรอยของอิเลคตรอนจะมีเม็ดเงินจำนวนน้อยกว่าชนิด เค5 และ จี5

1.4 รอยชนิดต่างๆของอนุภาคที่ปรากฏในอิมัลชั่น

รอยที่ปรากฏในอิมัลชั่น แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1.4.1 รอยที่เกิดจากการสลายตัว (decay event) รอยพวกนี้เกิดจากการที่อนุภาคสลายตัวที่ปลายของพิสัย เช่น มิวเมซอน สลายตัวได้อิเลคตรอน หรือ พายเมซอน สลายตัวได้มิวเมซอนเป็นต้น

1.4.2 รอยที่เกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านของอนุภาค (ejected track) เป็นรอยที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคผ่านอิมัลชั่น ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง อาจจะจบหรือไม่จบในอิมัลชั่นก็ได้

1.4.3 รอยที่เกิดจากจุดกาว (tracks from star)

เมื่ออนุภาคพลังงานสูงจากรังสีคอสมิค เคลื่อนที่เข้าไปในนิวเคลียร์อิมัลชั่นจะเกิดปฏิกริยานิวเคลียร์ กับนิวเคลียสของธาตุต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของนิวเคลียร์อิมัลชั่น แล้วเกิดอนุภาคใหม่ชนิดต่างๆในทิศตรงข้ามกับอนุภาคที่เข้ามา อนุภาคต่างๆเหล่านี้อาจจะไปทำปฏิกริยากับนิวเคลียสตัวอื่นได้อีก ทำให้เกิดอนุภาคชนิดต่างๆขึ้นอีกเป็นจำนวนมากออกจากนิวเคลียส คล้ายการเกิด กาสเกดเชาว์เวอร์ (Cascade shower) ของรังสีคอสมิคในบรรยากาศ ณ จุดที่เกิดปฏิกริยาในนิวเคลียร์อิมัลชั่น ถ้ามองดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเป็นรอยหลายรอยออกจากจุดเดียวกัน ซึ่งเรียกว่า จุดดาว (Star) รอยที่ออกจากจุดดาวนี้จะมีความหนาแน่นของเม็ดเงินไม่เท่ากัน Brown และผู้ร่วมงาน[4] ได้ศึกษารอยของอนุภาคต่างๆที่เกิดจาก

---

[4] C.F.Powell, P.H. Fowler and D.H. Perkins, op.cit, pp.427-428

จุดดาว ในนิวเคลียร์อิมัลชัน และแบ่งรอยของอนุภาคต่างๆเป็น 3 ชนิด คือ

1.4.3.1 รอยของอนุภาคที่มีไอออนไนเซชั่นสูง (tracks of heavily ionizing particles) เป็นรอยที่มีความหนาแน่นของเม็ดเงินเกินกว่า 1.4 $g_{min}$ ($g_{min}$ คือ ความหนาแน่นของเม็ดเงินที่น้อยที่สุดสำหรับอิมัลชันชุดนี้) ซึ่งส่วนมากเป็นรอยของโปรตอน ดิวทีรอน ทริตอน อนุภาคอัลฟ่า และอนุภาคที่มีเลขอะตอมสูงกว่าอนุภาคอัลฟ่า แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

ก. รอยที่มีความหนาแน่นของเม็ดเงินสูงมาก (black tracks) เป็นรอยที่มีความหนาแน่นของเม็ดเงินสูงกว่า 10 $g_{min}$ ไม่สามารถจะนับจำนวนเม็ดเงินได้ เพราะเม็ดเงินจะอยู่ติดต่อกันไม่มีช่องว่าง รอยเหล่านี้เกิดจากการระเหยของนิวเคลียสและรอยของนิวเคลียสของธาตุหนัก

ข. รอยที่มีความหนาแน่นของเม็ดเงินปานกลาง (grey tracks) เป็นรอยที่มีความหนาแน่นของเม็ดเงินอยู่ระหว่าง 1.4 ถึง 10 $g_{min}$ เม็ดเงินจะเรียงตัวกันห่างพอที่จะนับได้ไม่ยาก

1.4.3.2 รอยของอนุภาคเชาว์เวอร์ (tracks of shower particles) เป็นรอยที่มีความหนาแน่นของเม็ดเงินน้อยกว่า 1.4 $g_{min}$

1.4.3.3 รอยของอนุภาคปฐมภูมิ (tracks of primary particles) รอยพวกนี้ถ้าเป็นรอยของนิวเคลียสของธาตุเบา ($Z = 1$) อาจจะสังเกตดูจากความหนาแน่นของเม็ดเงิน ซึ่งมีค่าน้อยตรงจุดที่เริ่มเข้ามา และจะมีค่ามากที่สุดตรงจุดดาว ซึ่งจะต่างจากรอยของอนุภาคที่เกิดใหม่ เพราะรอยของอนุภาคที่เกิดใหม่ จะมีความหนาแน่นของเม็ดเงินน้อยตรงจุดดาว และค่อยๆมีค่ามากขึ้น สิ่งที่สังเกตได้อีกอย่างหนึ่งก็คือ รอยของอนุภาคปฐมภูมินี้ จะมีทิศทางตรงข้ามกับรอยของอนุภาคเชาว์เวอร์ แต่ทั้งนี้จะสังเกตได้เฉพาะอนุภาคที่มีประจุเท่านั้น ส่วนอนุภาคที่ไม่มีประจุจะไม่ทำให้เกิดเป็นรอยในอิมัลชันให้เห็น

1.5 ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาความกว้างของรอยและระยะตีบของรอยของอนุภาคต่างๆที่มีเลขอะตอมระหว่าง 1 ถึง 5 รอยที่ใช้ในการศึกษาจะใช้รอยที่ได้จากจุดดาว เพราะรอยที่เกิดจากจุดดาวนั้นประกอบด้วยอนุภาคหลายชนิด และรอยเหล่านี้เป็นรอยของอนุภาคที่มีพลังงานต่ำ ซึ่งจบในอิมัลชันเป็นส่วนมาก ส่วนรอยที่เกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านของอนุภาคนั้น มักจะไม่พบอนุภาคที่มีเลขอะตอมสูง และยังไม่จบในอิมัลชันด้วย