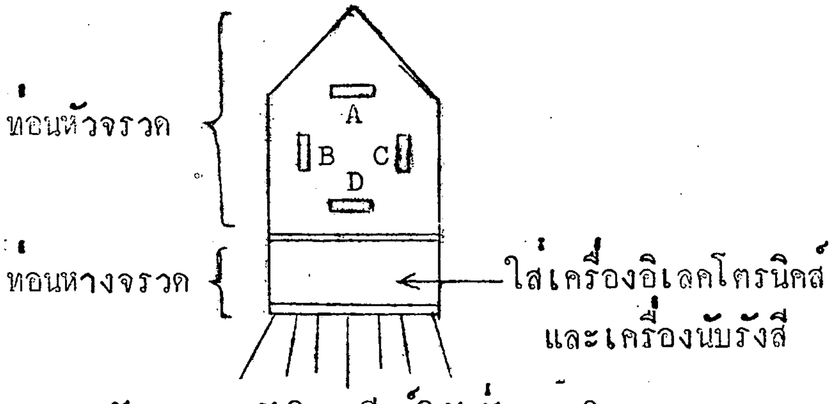
บทที่ 2

การวัดและการวิเคราะห์

2.1 รายละเอียดของวิธีการรับรังสี

นิวเคลียร์อิมัลชั่นชุด (stack emulsion) ที่ใช้วิเคราะห์นี้เป็นชนิด K.5 ของอิลฟอร์ด ได้รับมาจากศูนย์วิจัยนิวเคลียร์แห่งเมืองสตราสบูร์ก (Strasbourg) ประเทศฝรั่งเศส อิมัลชั่นชุดนี้มี 42 แผ่น แต่ละแผ่นมีขนาด 7.5X12X0.6 ลูกบาศก์เซ็นติเมตรก่อนล้าง และได้ล้างเสร็จเรียบร้อยแล้วมีรายละเอียดของการรับรังสี (expose) ดังนี้ นิวเคลียร์อิมัลชั่นได้ถูกส่งขึ้นไปรับรังสีคอสมิคปฐมภูมิโดยจรวด Véronique (V.47) ของฝรั่งเศส ยิงขึ้นไปสูง 158 กิโลเมตรเหนือพื้นดินที่สถานีส่ง Habagir (Colomb Bechar) ในอาฟริกา ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งเส้นรุ้งที่ 2 องศาเหนือและเส้นแวงที่ 32 องศาตะวันออก เมื่อวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2506 เวลา 8.00 น. (เวลาประจำถิ่น) เวลาที่จรวดอยู่ในอากาศ (time of flight) ประมาณ 20 นาที ที่เส้นรุ้งนี้รังสีที่พุ่งเข้ามามีความเร็วสูงมาก (relativistic velocity) คือค่าของ $\beta = \frac{v}{c} = 1$ โดยประมาณ

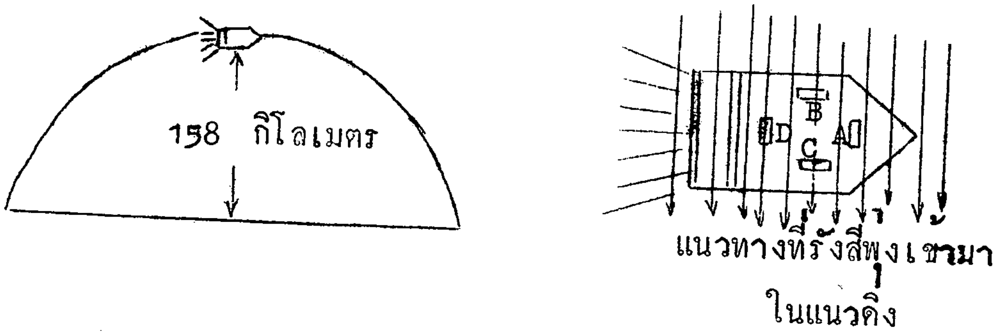
นิวเคลียร์อิมัลชั่นชุดที่ส่งขึ้นไปคราวเดียวกันมี 4 ชุด โดยจัดให้อยู่ในจรวดตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังของการจัดนิวเคลียร์อิมัลชั่น 4 ชุดในจรวด (V.47) เมื่อวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2506

อิมัลชั่นทั้ง 4 ชุดถูกจัดอยู่ตรงท่อนหัวของจรวด โดยชุด A กับชุด D จัดไว้ตามขวางกับตัวจรวด และชุด B กับ C จัดอยู่ตามยาวกับตัวจรวด ส่วนท่อนหางของจรวดบรรจุเครื่องอิเลคโตรนิคส์และเครื่องนับรังสี (counters)ต่างๆไว้ เพื่อจะวัดรังสีตลอดทางที่จรวดอยู่ในอากาศแล้วรายงานผลลงมาข้างล่างทางวิทยุขณะนั้น ผลจากเครื่องนับรังสีได้วิเคราะห์เสร็จแล้วที่ศูนย์วิจัย Orsay, Paris พบว่า ที่ระดับสูง 158 กิโลเมตรนี้มีอนุภาคโปรตอน 90% ส่วนปริมาณรังสีทั้งหมดที่เครื่องนับได้เป็นไปตามกราฟรูปที่ 1 หน้า 3

สำหรับตัวจรวดที่ขึ้นไปนั้น ทางเดินของมันเป็นวิถีโค้งตามรูปที่ 3

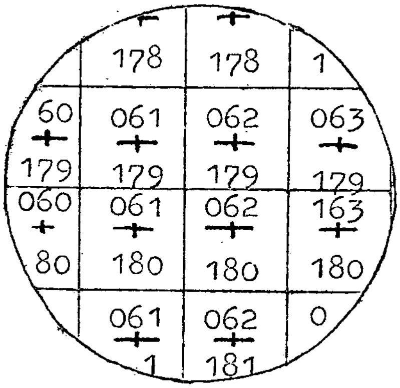


รูปที่ 3 แสดงถึงวิถีของจรวด (V.47) ขณะที่อยู่สูง 158 กิโลเมตรจากพื้นดิน

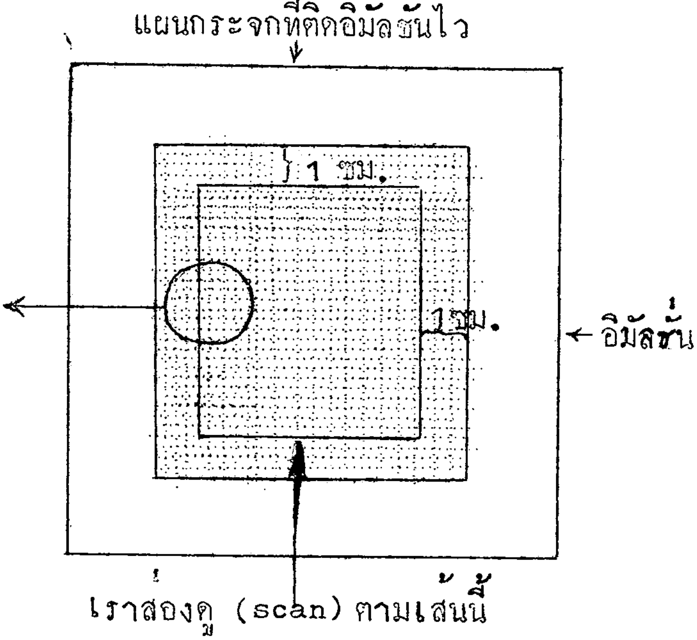
รังสีที่พุ่งเข้ามาในแนวดิ่งหรือทำมุมแคบๆกับแนวดิ่ง (zenith angle)นั้น เมื่อจรวดอยู่สูง 158 กิโลเมตรซึ่งตัวจรวดจะขนานกับผิวโลกพอดี รังสีที่ผ่านอิมัลชั่นชุด A และชุด D จะทำให้เห็นทางของมันเป็นทางยาว ส่วนชุด B กับ C รังสีผ่านในแนวเกือบตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่น (plate)จึงเห็นเป็นทางสั้น อิมัลชั่นที่เราได้มาคือชุด A ฉะนั้นการที่จะศึกษารังสีคอสมิคที่ระดับสูง 158 กิโลเมตร จึงต้องเลือกวิเคราะห์เฉพาะทางที่ยาวๆเท่านั้น เพื่อจะได้ทางของรังสีที่พุ่งมาในแนวดิ่งหรือเกือบอยู่ในแนวดิ่งจริงๆ ส่วนรังสีที่ผ่านอิมัลชั่นชุด A ตามทางที่จรวดขึ้นไปจะเห็นเป็นทางสั้นๆ ที่ผิวด้านล่างของอิมัลชั่นแต่ละแผ่นมีตารางบอกตำแหน่ง (grid)ติดไว้ทุกแผ่น (ดูรูปที่ 4 ก) เพื่อความสะดวกต่อการหาตำแหน่งที่อนุภาคแต่ละตัวเข้าและออกจากอิมัลชั่นแผ่นนั้นๆ

2.2 . การหาอนุภาค (Scaning)

นำอิมัลชั่น 42แผ่นนี้มาส่องดูทางเดินของอนุภาคโดยใช้กล้องจุลทัศน์ Crooke-troughton แบบ 4005 ซึ่งเป็นกล้องสองตา ใช้เลนส์ใกล้วัตถุ (objective) × 10 และ × 45 กับเลนส์ใกล้ตา (eyepiece) × 12.5 เราหาทางเดินของอนุภาคโดยวิธี "ดูตามแนวเส้น" หรือ "lined scan" คือส่องดู (scan) ทุกแผ่นตามแนวเส้นนับจากขอบของแผ่นเข้าไป 1 เซ็นติเมตรทั้ง4 ด้าน ตามรูปที่ 4 ข



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 ก. แสดงตารางบอกตำแหน่ง (grid)
ข. แสดงตำแหน่งที่ส่องดูบนอิมัลชั่น

เมื่อพบทางของอนุภาคที่อยู่ในแนวเส้นนี้ซึ่งยาวตั้งแต่ 1.5 มิลลิเมตรต่อแผ่นของอิมัลชั่น เราตามไปเรื่อยๆเพื่อดูว่ามันหยุด (end) ที่แผ่นใดแผ่นหนึ่ง หรือผ่าน (pass) อิมัลชั่นชุดนี้ออกไป หรือทำปฏิกริยากับอะตอมในอิมัลชั่นเกิดเป็นจุดดาว (star) หรือมีปฏิกริยาที่เกิดอนุภาคทุติยภูมิแตกออกจากแนวเดิมเป็นเส้นๆ โดยทำมุมแคบๆกับทางเดิม (shower) บันทึกตำแหน่งที่อนุภาคเข้าและออกจากอิมัลชั่นไว้โดยดูที่ตารางบอกตำแหน่ง

002577
I 17108864

ทำเช่นนี้ทุกแนวทางของอนุภาคที่พบบนเส้นขอบนั้น โดยวิธีดังกล่าวนี้ได้พบอนุภาคกับแก่นกลางอะตอม ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆดังนี้

1) พวกที่มีเลขอะตอมเท่ากับหรือน้อยกว่า 2 ($Z \leqslant 2$) ที่หยุด (end) ในอิมัลชั่นมีทั้งหมด 130 ตัว

2) พวกที่มีเลขอะตอมเท่ากับหรือน้อยกว่า 2 ที่ผ่าน (pass) อิมัลชั่นออกไปมี 113 ตัว

3) พวกที่มีเลขอะตอมเท่ากับหรือน้อยกว่า 2 ที่ทำปฏิกิริยากับอะตอมของอิมัลชั่น คือ เกิดจุดดาวขึ้นมี 82 ตัว และ

4) พวกแก่นกลางอะตอมของธาตุหนักที่มีความเร็วสูง (fast heavy nuclei) ที่มีเลขอะตอมมากกว่า 2 ขึ้นไป ($Z > 2$) ที่ผ่านอิมัลชั่นออกไปมี 7 ตัว

รวมทั้งหมดมีจำนวน 332 ตัว การวิเคราะห์ในที่นี้จะวิเคราะห์เพียง 2 ประเภท คือ ประเภทที่ (1) กับประเภทที่ (4) เท่านั้น

2.3 วิธีวิเคราะห์

2.3.1 พวก $Z \leqslant 2$ ที่หยุดในอิมัลชั่น คือ โปรตอนและอนุภาคอัลฟ่า วิเคราะห์โดยวิธีนับความหนาแน่นของเม็ดเงิน (grain density method)* โดยนับเม็ดเงินในช่วงความยาว 80 μ ของทางของอนุภาคของระยะที่เหลือ (residual range) ค่าต่างๆกัน ทำเช่นนี้ทั้ง 130 ทาง แล้วนำค่าทั้งสองมาเขียนกราฟตารางล็อก

2.3.2 แก่นกลางอะตอมพวก $Z \geqslant 3$ ที่ผ่านอิมัลชั่น ทางของพวกนี้ไม่สามารถนับความหนาแน่นของเม็ดเงินได้ เนื่องจากทางหนามาก จึงวิเคราะห์โดยวิธีนับความหนาแน่นของรังสีเดลต้า (delta-ray density method)**

---

* รายละเอียดของทฤษฎีนี้ดูในภาคผนวก (I)

** รายละเอียดของทฤษฎีนี้ดูในภาคผนวก (II)

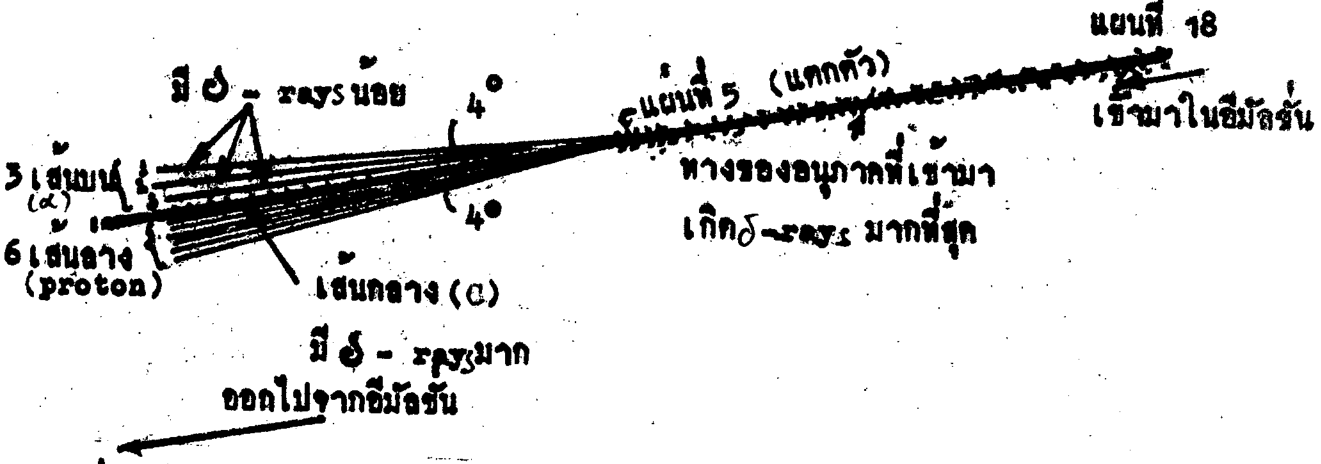
ที่ความเร็วสูง (relativistic velocity) ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของรังสีเดลต้า, N_δ กับค่าของประจุ, Z เขียนได้เป็น

$$N_\delta = aZ^2 + b \qquad \text{———} \quad (1)$$

เมื่อ a และ b เป็นค่าคงที่

เราใช้สมการ (1) สำหรับหาประจุไฟฟ้าของแก่นกลางของอะตอมของธาตุพวก $Z \gg 3$ ซึ่งต้องหาค่าคงที่ a และ b สำหรับอิมัลชั่นชุดนี้ จากแก่นกลางที่แตกตัวในอิมัลชั่น หรือแสดงคุณสมบัติโดยเฉพาะของแก่นกลางอะตอม บางชนิด

ในจำนวนแก่นกลางอะตอมที่มี $Z \gg 3$ ได้พบแก่นกลางของอะตอมตัวหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมาก และมาแตกตัวในอิมัลชั่น ให้แก่นกลางของอะตอมอีกธาตุหนึ่งและอนุภาคที่มีประจุน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 อีก 9 ตัว ซึ่งออกมาเป็นมุมแคบ ๆ ประมาณ 4 องศาในลักษณะที่เรียกว่า " ไอพ่น (jet) " ตามรูปที่ 5



<u>รูปที่ 5</u> แสดงลักษณะของทางที่เกิดปฏิกิริยาให้ " jet " ของทางเดินเลขที่ 18-98-95

เนื่องจากไม่มีทางเดินของแก่นกลางอะตอมที่ทราบประจุได้แน่นอนจากอิมัลชั่นชุดนี้ จึงต้องอาศัยหลักการที่เป็นเครื่องตัดสิน ดังนี้ [15]

(1) โปรตอนที่มีความเร็วสูงมาก จะทำให้เกิดความหนาแน่นของเม็ดเงินน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 g_0 เมื่อ g_0 เป็นความหนาแน่นที่น้อยที่สุดของเม็ดเงิน

ซึ่งจะหาได้จากทางที่บางมากในอิมัลชั่นชุดนั้น ๆ เช่นหาจากเชาว์เวอร์ หรือทางของอิเลคตรอนที่มีความเร็วสูง

(2) อนุภาคอัลฟ่าที่มีความเร็วสูงมากจะมีความหนาแน่นของเม็ดเงินอยู่ระหว่าง 2 g_0 และ 5 g_0

(3) แกนกลางของอะตอมของธาตุที่มีเลขอะตอมมากกว่า 2 ที่มีความเร็วสูงมาก จะมีความหนาแน่นของเม็ดเงินมากกว่า 5 g_0 ขึ้นไป

จากหลักการ 3 ข้อนี้ได้ใช้ในการวินิจฉัยอนุภาคทุติยภูมิที่แตกออกมาจาก "ไอพ่น" จากแกนกลางอะตอมที่กล่าวข้างบนนั้น แล้วใช้ปรากฏการณ์นี้เป็นมาตรฐานในการหาตัวคงที่ a และ b ในสมการ (1) วิธีหาแสดงไว้ในบทที่ 3

การนับรังสีเดลต้านั้น ได้เลือกนับเฉพาะอันที่มีเม็ดเงินตั้งแต่ 3 เม็ดขึ้นไป และนับแผ่นละ 10 ช่วงติดต่อกันช่วงละ 100 μ ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันทุกแผ่นในทางหนึ่ง ๆ แสดงว่าอนุภาคที่เข้ามามีความเร็วไม่เปลี่ยนแปลง นำค่าของทุกแผ่นมาหาค่าเฉลี่ยโดยวิธีสร้างกราฟแท่ง จะได้ค่าจำนวนรังสีเดลต้าต่อความยาว 100 μ ($N_\delta/100\,\mu$) เฉลี่ยของแต่ละทาง ทำเช่นนี้ทั้ง 7 ทาง ส่วนการหาค่า g_0 หาจากเชาว์เวอร์ของจุดดาวอันหนึ่งใน 82 ตัวนั้น นับจำนวนเม็ดเงินในช่วงความยาว 100 μ เช่นเดียวกัน