บทที่ 1

บทนำ

นิวตรอนอิสระที่ปรากฏอยู่ในบรรยากาศนั้น เกิดเนื่องมาจากอันตรกิริยา (Interactions) ของอนุภาคปฐมภูมิในรังสีคอสมิก (ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโปรตอน)กับนิวเคลียสของธาตุในบรรยากาศ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นออกซิเจนและไนโตรเจน กลไกที่สำคัญในการเกิดนิวตรอน คือ กระบวนการระเหย (evaporation process) ของนิวเคลียสที่ถูกกระตุ้น และมีบางส่วนเกิดเนื่องจากอันตรกิริยาโดยตรง (direct interactions) ของอนุภาคปฐมภูมิในรังสีคอสมิกกับนิวเคลียสของธาตุในบรรยากาศ ซึ่งจะให้นิวตรอนที่มีพลังงานสูงออกมาแต่มีปริมาณน้อยกว่านิวตรอนที่เกิดจากกระบวนการระเหย (โดยอัตราส่วนประมาณ 1 ต่อ 4)[19] นิวตรอนเหล่านี้ก็จะเกิดการชนกับนิวเคลียสของธาตุออกซิเจน ไนโตรเจนในบรรยากาศต่อไป ก่อให้เกิดอันตรกิริยาต่าง ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับว่านิวตรอนเหล่านั้นจะมีพลังงานมากน้อยแค่ไหน

นิวตรอนในบรรยากาศ หรือบางทีเรียกว่านิวตรอนในรังสีคอสมิก (cosmic-ray neutrons) นั้น มีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. นิวตรอนในรังสีคอสมิกส่วนใหญ่เป็นอนุภาคทุติยภูมิ (secondary particles) อันเป็นผลเนื่องจากการชนของอนุภาคปฐมภูมิ (primary particles) กับนิวเคลียสของธาตุในบรรยากาศของโลก จากการวัดอายุเฉลี่ย (mean-life) ของนิวตรอน[1] ชี้ให้เห็นว่าไม่มีนิวตรอนปฐมภูมิ (primary neutrons) ที่อาจมากจากนอกระบบสุริยะ เพราะมันจะสลายตัวก่อนที่จะมาถึงโลกเรา

2. นิวตรอนที่เกิดขึ้นจะสูญเสียพลังงานโดยการเกิดอันตรกิริยากับนิวเคลียสของธาตุออกซิเจน และไนโตรเจนในบรรยากาศ ซึ่งจะถูกลดความเร็วลง (slowed down) จนมีพลังงานต่ำและถูกจับ (captured) ไปในที่สุด[2]

3. ที่ความดันบรรยากาศระดับหนึ่ง การกระจาย (distribution) ความเข้มของนิวตรอนจะขึ้นกับเส้นละติจูดแม่เหล็กโลก (geomagnetic latitude) อย่างมาก [3]

4. ที่ระดับความดันบรรยากาศซึ่งมีพิสัยจาก 200 ถึง 700 มิลลิบาร์ (millibars) ความเข้มของนิวตรอนจะแปรเปลี่ยนตามความดันหรือความลึกของบรรยากาศแบบเอกซโพเนนเชียล (exponentially) ตามสูตร [3]

$$N = N_o e^{-\mu p}$$

เมื่อ p เป็นความดันบรรยากาศหรือความลึก

μ เป็นสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเฉลี่ยในหน่วยส่วนกลับของความดันบรรยากาศในบริเวณนี้จะมีสมดุลย์ (equilibrium) เกิดขึ้นระหว่างนิวตรอนที่เกิดและที่ถูกดูดกลืน [2]

5. ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเฉลี่ย (μ) จะแปรเปลี่ยนตามเส้นละติจูดแม่เหล็กโลก [3]

6. เมื่อนำค่าความเข้มของนิวตรอน มาเขียนกราฟเป็นฟังชั่นกับความดันบรรยากาศของโลก จะพบว่ามีค่าสูงสุด (maximum) และค่าความเข้มสูงสุดนี้ จะเลื่อนตำแหน่งไปตามการเปลี่ยนแปลงของเส้นละติจูดแม่เหล็กโลก [4]

จุดประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ ก็เพื่อศึกษาถึงการกระจายเชิงมุม (angular distribution) ของนิวตรอนในบรรยากาศ ณ ระดับน้ำทะเล โดยการวัดความเข้มของนิวตรอนที่เข้ามายังตำแหน่งวัด ตามทิศทางต่าง ๆ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มของนิวตรอนในบรรยากาศต่อเวลาในวันหนึ่ง ๆ อีกด้วย

ในการวัดนิวตรอนครั้งนี้ ได้ใช้หลอดวัดชนิดสัดส่วนโบรอนไตรฟลูออไรด์ (BF_3-Proportional counter) หรือบางทีเรียกย่อ ๆ ว่า หลอด BF_3 (BF_3-Counter) หลอดวัดที่ใช้เป็นแบบ NC 219 ซึ่งเป็นหลอดมาตรฐานที่ใช้วัดนิวตรอนในรังสีคอสมิก ตัวหลอดซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วไฟลบทำด้วยทองเหลือง ภายในหลอดบรรจุด้วยก๊าซโบรอนไตรฟลูออไรด์

($^{10}B \simeq 96\ \%$) มีความดัน 450 มิลลิเมตรของปรอท ตัวหลอดวัดมีความยาวทั้งหมด 42 นิ้ว แต่ที่ไวต่อรังสียาว 34 นิ้ว มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว เส้นลวดแกนกลางซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าบวกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.001 นิ้ว

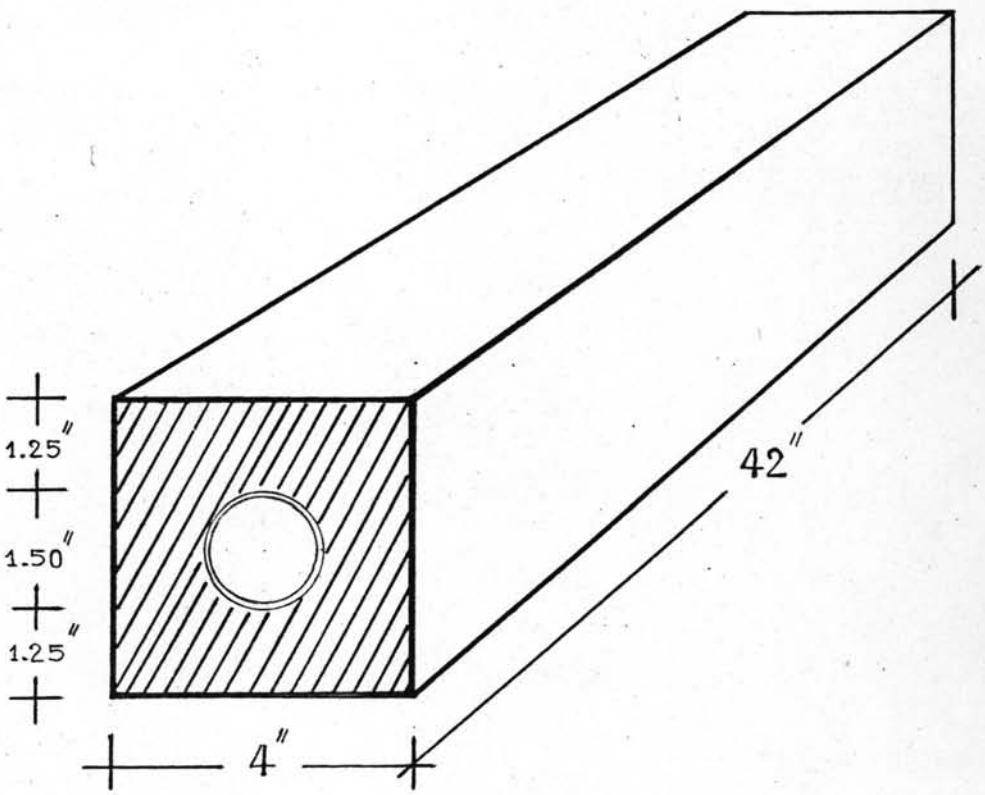
หลอด BF_3 ใช้วัดนิวตรอน โดยอาศัยปฏิกิริยานิวเคลียร์ $^{10}B(n, \alpha)^7Li$ ซึ่งเกิดขึ้นภายในหลอดวัด ค่าครอสเซคชั่น (cross section) ของปฏิกิริยานี้เป็นไปตามกฎ $1/v$ เมื่อ v เป็นความเร็วของนิวตรอน ดังนั้นหลอด BF_3 จึงเหมาะสำหรับใช้วัดนิวตรอนที่มีพลังงานต่ำ (slow neutrons) ค่าครอสเซคชั่นสำหรับเทอร์มอลนิวตรอน (thermal neutrons) มีค่า 3,840 บาร์น (barn)

การวัดนิวตรอนในบรรยากาศด้วยหลอด BF_3 นั้น สามารถกระทำได้โดยอาศัยบรรยากาศเป็นตัวหน่วงความเร็ว (moderator) ให้นิวตรอนมีพลังงานต่ำลง (สำหรับการวัดนิวตรอนพลังงานต่ำ) หรือโดยการใช้ตัวหน่วงความเร็วที่ทำด้วยวัสดุที่หนาแน่น (condensed moderating material) เช่น พาราฟฟิน หรือคาร์บอนมาหุ้มรอบหลอดวัด (สำหรับการวัดนิวตรอนพลังงานสูง) ทั้งสองวิธีได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษาความเข้มของนิวตรอนในบรรยากาศ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1936[5,6] แต่วิธีการอันแรกจะมีความยุ่งยากเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศ เช่น ความดัน อุณหภูมิ ส่วนวิธีหลังสามารถลดหรือตัดปัญหายุ่งยากเหล่านี้ออกไปได้

การวัดนิวตรอนในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นแบบวิธีการอันหลัง โดยการหุ้มหลอดวัดด้วยพาราฟฟิน มีความหนาน้อยสุด 1.25 นิ้ว[7] ดังแสดงในรูปที่ 1.1

ระบบวัดรังสีที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วนคือ

1. หลอดวัดรังสีแบบใช้หลอด BF_3 สองหลอดต่อขนาน
2. Input Circuit อันประกอบด้วยวงจรส่วน พรีแอมปลิฟายเออร์ แอมปลิฟายเออร์ ดิสคริมิเนเตอร์ และ Shaper
3. เครื่องนับสัญญาณ
4. เครื่องจ่ายไฟตรงแรงสูง



รูปที่ 1.1 แผนภาพแสดงการหุ้มหลอดวัด BF_3 ด้วยพาราฟฟิน

ในการวิจัยครั้งนี้ ส่วน Input Circuit เป็นวงจรคอมแพแรเตอร์ (comparator) ใช้ไอซีออพแอมป์ เบอร์ 741 ทำหน้าที่แทนวงจร พรีแอมปลิฟายเออร์ แอมปลิฟายเออร์ และดิสคริมิเนเตอร์ ซึ่งเดิมเป็นวงจรทรานซิสเตอร์ แยกแต่ละส่วนออกจากกัน