

การศึกษาและพัฒนาการวัดปริมาณไฮโดรเจนในสารประกอบโดยการหั่งนิวตรอนพลังงานปานกลาง

ปริญญานิพนธ์
ของ
อมรา อธิพิงษ์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

พฤษภาคม 2536

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

187699

คณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการสอบ ได้พิจารณาปฏิญานี้พร้อมกันแล้ว
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิรุกติศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะกรรมการควบคุม

.....ประธาน

(ผศ.สนั่น วีระพงษ์)

.....กรรมการ

(ผศ.จิตปรางค์ วีระพงษ์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธาน

(ผศ.สนั่น วีระพงษ์)

.....กรรมการ

(ผศ.จิตปรางค์ วีระพงษ์)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(ผศ.สุรีย์ แขวงโสภา)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(รศ.อรุณย์ อินทธร)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับปฏิญานี้พร้อมกันนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิรุกติศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศ.ดร.สมพร บัวทอง)

วันที่... .. เดือน... .. พ.ศ 2536

ประกาศคณประการ
จุฬ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยความเมตตาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สันัน วีระพงษ์
ที่ให้คำปรึกษา แนะนำช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็น
อย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จิตปรางค์ วีระพงษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรีย์
แขวงโสภา และ รองศาสตราจารย์ อรุณย์ อินทศร ที่กรุณาให้คำแนะนำ และแก้ไขปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่กอง ช่าง ตวง วัด กระทรวงพาณิชย์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือใน
การตรวจวัดความชื้นผลิตผลทางการเกษตรเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เป็นกำลังใจในการศึกษาของผู้วิจัย

อมรา อิทินพงษ์

สารบัญ

บทที่

หน้า

1	บทนำ.....	1
	จุดมุ่งหมายของงานวิจัย.....	3
	ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
	นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
2	ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
3	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและอุปกรณ์ทดลอง.....	22
4	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	33
5	สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ.....	69
	สรุปผลการวิจัย.....	69
	อภิปรายผล.....	70
	ข้อเสนอแนะ.....	71
	บรรณานุกรม.....	73
	ประวัติย่อผู้วิจัย.....	74

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

1	แสดงการแบ่งชนิดของนิวตรอนตามช่วงพลังงานต่าง ๆ.....	2
2	ค่า α , ϵ และจำนวนครั้งที่นิวตรอนวิ่งเข้าชนนิวเคลียสแล้วพลังงานลดลงจาก 1 MeV เป็น 0.00253 eV.....	15
3	ค่ากำลังการทำให้ช้าและอัตราส่วนการหน่วง.....	17
4	อัตราณัณิวตรอนที่สัณยัไฟฟ้าแรงสูงต่าง ๆ ของหวััด BF_3 ที่ตำแหน่ง(1).....	33
5	อัตราณัณิวตรอนที่สัณยัไฟฟ้าแรงสูงต่าง ๆ ของหวััด BF_3 ที่ตำแหน่ง(2).....	34
6	อัตราณัณิวตรอนที่สัณยัไฟฟ้าแรงสูงต่าง ๆ ของหวััด ^3He ที่ตำแหน่ง(1).....	37
7	อัตราณัณิวตรอนที่สัณยัไฟฟ้าแรงสูงต่าง ๆ ของหวััด ^3He ที่ตำแหน่ง(2).....	37
8	อัตราณัณั เบ็คกราวด์(background) ของหวััด BF_3	41
9	อัตราณัณั เบ็คกราวด์(background) ของหวััด ^3He	42
10	อัตราณัณิวตรอนที่ตำแหน่ง(1) และ (2)ของหวััด BF_3 และ ^3He	43
11	เปรียบเทียบจำนวนเท่าของอัตราณัณิวตรอน ที่ตำแหน่ง (1) และ (2) ต้ออัตราณัณั เบ็คกราวด์.....	44
12	แสดงอัตราการณัณิวตรอนของหวััด BF_3 ที่ตำแหน่ง(1).....	46
13	แสดงอัตราการณัณิวตรอนของหวััด ^3He ที่ตำแหน่ง(1).....	48
14	แสดงอัตราการณัณิวตรอนของหวััด BF_3 ที่ตำแหน่ง(2).....	50
15	แสดงอัตราการณัณิวตรอนของหวััด ^3He ที่ตำแหน่ง(2).....	52
16	คุณสมบัติของสารที่ใช้วัดปริมาณไฮโดรเจน.....	56
17	แสดงผลอัตราการณัณิวตรอนของสารไฮโดรคาร์บอน.....	57
18	แสดงผลอัตราณัณิวตรอนของน้ำ.....	57
19	แสดงอัตราการณัณิวตรอนของทรายที่ปริมาณไฮโดรเจนต่าง ๆ	59
20	แสดงผลอัตราณัณิวตรอนของน้ำตาลซูโครส.....	61
21	อัตราการณัณิวตรอนของข้าว.....	62
22	อัตราการณัณิวตรอนของข้าวเปลือก.....	64
23	อัตราการณัณิวตรอนของข้าวฟ่าง.....	64
24	อัตราการณัณิวตรอนของข้าวโพด.....	67
25	ผลการทดสอบการวัดความชื้นของผลผลิตทางการเกษตรเปรียบเทียบกับวิธีวัดโดยใช้เครื่องมือสำเร็จรูปทางการเกษตร.....	67

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

1	แสดงพลังงานของต้นกำเนิดนิวตรอนชนิด Am-Be.....	5
2	การกระเจิงแบบยืดหยุ่นของนิวตรอน.....	9
3	เวกเตอร์ของโมเมนตัม.....	9
4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและเลทาร์จี.....	13
5	แสดงค่าภาคตัดขวางรวมของนิวตรอนสำหรับโบรอน (B) ในช่วงพลังงาน 0.01 ถึง 1000 eV.....	18
6	แสดงค่าภาคตัดขวางรวมของนิวตรอนสำหรับแคดเมียม (Cd) ในช่วงพลังงาน 0.01 ถึง 1000 eV.....	19
7	แสดงภาพตัดขวางอุปกรณ์วัดความชื้นของ ซีเมล และ เฮลฟ	19
8	แสดงการจัดอุปกรณ์วัดความชื้น และหาปริมาณไฮโดรเจนของ วาดะ	20
9	ชุดการทดลองสำหรับวัดปริมาณไฮโดรเจน.....	23
10	แสดงชุดการทดลองด้านข้าง.....	23
11	แสดงชุดการทดลองด้านบน.....	23
12	ภาพสำหรับใส่สารตัวอย่าง.....	24
13	แสดงแผนภาพของชุดวัดรังสีนิวตรอน.....	24
14	กราฟเปรียบเทียบค่าภาคตัดขวางจุลภาคในการดูดกลืนนิวตรอนที่พลังงานต่าง ๆ ของ โบรอน-10 ซีเลียม-3 และ ลิเทียม-6.....	26
15	หัววัดนิวตรอนช้า ชนิด BF ₃ และ ³ He.....	27
16	แสดงแผนภาพการทำงานของเครื่องวัดรังสี SCA	28
17	เครื่องวิเคราะห์สัญญาณชนิดช่องเดียว SCA	29
18	แสดงตำแหน่งการวางหัววัดนิวตรอนช้าที่ตำแหน่ง(1) และ (2).....	30
19	(ก)แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนที่ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงต่าง ๆ ของหัววัด BF ₃ ที่ตำแหน่ง(1).....	35
19	(ข)แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนที่ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงต่าง ๆ ของหัววัด BF ₃ ที่ตำแหน่ง(2).....	36
19	(ค)แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนที่ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงต่าง ๆ ของหัววัด ³ He ที่ตำแหน่ง(1).....	38

19	(ง) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนที่ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงต่าง ๆ ของหัววัด ^3He ที่ตำแหน่ง (2)	39
20	(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนและปริมาณน้ำของหัววัด BF_3 ตำแหน่ง (1)	47
20	(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนและปริมาณน้ำของหัววัด ^3He ตำแหน่ง (1)	49
21	(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนและปริมาณน้ำของหัววัด BF_3 ตำแหน่ง (2)	51
21	(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนและปริมาณน้ำของหัววัด ^3He ตำแหน่ง (2)	53
22	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\Delta N/N_0$ และปริมาณน้ำของหัววัด BF_3 และ ^3He ตำแหน่ง (1) และ (2)	55
23	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนและปริมาณไฮโดรเจนของสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอนที่เป็นของเหลว	58
24	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนและปริมาณไฮโดรเจนในทราย	60
25	(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนและความชื้นในข้าว	63
25	(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนและความชื้นในข้าวเปลือก	65
25	(ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนและความชื้นในข้าวฟ่าง	66
25	(ง) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนและความชื้นในข้าวโพด	68

บทที่ 1

บทนำ

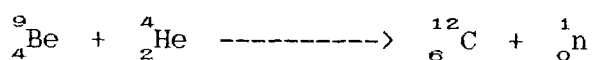
ภูมิหลัง

ไฮโดรเจนนับว่าเป็นธาตุที่มีความสำคัญธาตุหนึ่งในจำนวนธาตุทั้งหมด เนื่องจากไฮโดรเจนเป็นธาตุที่พบในรูปของสารประกอบต่างๆเป็นจำนวนมาก ได้แก่ ไฮโดรเจนในรูปสารประกอบของน้ำ สารไฮโดรคาร์บอน โปรตีน สารประกอบของคาร์บอนหรือที่เรียกว่า สารอินทรีย์ นับเป็นจำนวนล้านสารแล้วแต่มีไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบทั้งสิ้น สารประกอบไฮโดรเจนเหล่านี้ส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆทั้งด้านการแพทย์ ทางเคมี และในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

ดังนั้นความจำเป็นในการวิเคราะห์หาปริมาณของไฮโดรเจนในสารประกอบบางประเภทที่ไม่ทราบชนิดจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อจะนำสารประกอบเหล่านี้มาใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

การประยุกต์ใช้เทคนิคด้านนิวเคลียร์ในประเทศไทยได้มีมานานพอสมควร ทั้งในสถาบันการศึกษา ภาครัฐบาล และภาคเอกชน สำหรับในด้านงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้เพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นเพื่อให้ประหยัด และได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้ในระบบควบคุม เทคนิคด้านนิวเคลียร์สามารถใช้วัดและควบคุมโดยไม่ทำลายสารตัวอย่างและสามารถวัดได้ถูกต้องพอสมควร

ในปี ค.ศ 1932 แชดวิก (Chadwick) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษได้แสดงว่า รังสีที่ส่งออกมาจากปฏิกิริยาที่ใช้อนุภาคแอลฟา จากธาตุโปโลเนียม ยิ่งเข้าไปในนิวเคลียสของธาตุเบอร์ิลเลียม-9 คืออนุภาคนิวตรอน ปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ (Halliday. 1958 : 214-215)



หลังจากการค้นพบนิวตรอนของ แชดวิก ได้มีการประยุกต์นำนิวตรอนมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้นิวตรอนในระดับพลังงานต่างๆ และขึ้นกับอันตรกิริยาของนิวตรอนกับสารตัวอย่าง เช่น ได้มีการใช้นิวตรอนเทอร์มัลจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิเคราะห์แร่ธาตุด้วยวิธีนิวตรอนแอคติเวชัน การใช้นิวตรอนเร็ววัดความชื้นของดินโดยใช้หลักการท่วงนิวตรอนเมื่อชนกับนิวเคลียสไฮโดรเจน เป็นต้น

ได้มีการแบ่งชนิดของนิวตรอนตามขนาดของพลังงานของนิวตรอนในช่วงต่างๆ ดังตารางที่ 1

ตาราง 1 แสดงการแบ่งชนิดของนิวตรอนตามช่วงพลังงานต่าง ๆ

ชนิดนิวตรอน	พลังงานของนิวตรอน
1. นิวตรอนช้า (Slow neutron)	0-1000 eV
1.1 นิวตรอนเย็น (Cold neutron)	< 0.002 eV
1.2 นิวตรอนเทอร์มัล (Thermal neutron)	$\approx$ 0.0025 eV
1.3 นิวตรอนเรโซแนนซ์ (Resonance neutron)	1-1000 eV
2. นิวตรอนพลังงานปานกลาง (Intermediate neutron)	$\approx$ 1-500 KeV
3. นิวตรอนเร็ว (Fast neutron)	$\approx$ 0.5-10 MeV
4. นิวตรอนพลังงานสูง (High energy neutron)	> 10 MeV

(Krane. 1987 : 445)

จากตารางแสดงถึงนิวตรอนในช่วงพลังงานต่างๆ และโดยอาศัยคุณสมบัติการหน่วงนิวตรอนเมื่อนิวตรอนวิ่งเข้าชนกับนิวเคลียสของสารตัวกลางบางชนิด โดยเฉพาะนิวตรอนจะถูกหน่วงได้มากที่สุดเมื่อชนกับนิวเคลียสของไฮโดรเจนในสารประกอบนั้น

เจ . เอฟ คามีรอน และคนอื่น ๆ (Cameron and others. 1970 : 1-2) ได้ทำการศึกษาการวัดความชื้นโดยใช้เทคนิคการหน่วงนิวตรอน พบว่าข้อได้เปรียบสำหรับวิธีนี้คือ ไม่ทำลายสารตัวอย่างที่ใช้วัด รวดเร็ว สามารถนำสารตัวอย่างที่ใช้วัดแล้วนำกลับมาวัดใหม่ได้ และสามารถทำการวัดความชื้นครอบคลุมสารตัวอย่างที่มีปริมาณมากๆ ได้ ข้อเสียเปรียบสำหรับวิธีนี้คือนิวตรอนจะถูกหน่วงโดยไฮโดรเจนทั้งหมดทั้งในสภาวะความชื้นและไฮโดรเจนในสารประกอบที่นำมาวัดความชื้น ดังนั้นในการวัดความชื้นของสาร จะต้องทำการปรับเทียบ (calibration) กับสารมาตรฐานที่ทราบปริมาณไฮโดรเจนในสารประกอบ และปริมาณความชื้นในสารนั้น โดยสร้างกราฟมาตรฐานเฉพาะสารแต่ละชนิดเพื่อทำการปรับเทียบระหว่างสารมาตรฐานกับสารที่ต้องการหาปริมาณไฮโดรเจน หรือที่ต้องการวัดความชื้น ข้อจำกัดในการวัดความชื้นสำหรับวิธีนี้คือ สารที่ใช้วัดจะต้องไม่ประกอบด้วยธาตุที่มีค่าภาคตัดขวางในการดูดกลืนนิวตรอนเทอร์มัลสูง เช่น สารประกอบโบรอน สารประกอบคลอรีน เพราะจะทำให้ฟลักซ์นิวตรอนลดลงเนื่องจากการดูดกลืนนิวตรอน (neutron absorption)

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษา และพัฒนาการวัดปริมาณไฮโดรเจนในสารประกอบโดยเทคนิคการท่อนิวตรอนพลังงานปานกลางโดยใช้สารมาตรฐานที่ทราบปริมาณไฮโดรเจน เมื่อทำการวัดปริมาณไฮโดรเจนได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุดแล้ว จึงนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดความชื้นได้

จุดมุ่งหมายของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาการวัดปริมาณไฮโดรเจนของสารประกอบ โดยใช้หลักการท่อนิวตรอนพลังงานปานกลาง
2. ศึกษาและออกแบบชุดการทดลอง เพื่อใช้ในการวัดปริมาณไฮโดรเจนและสามารถนำมาประยุกต์วัดความชื้นในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอาหารได้

ขอบเขตของงานวิจัย

1. การศึกษาครั้งนี้จะออกแบบและสร้างชุดการทดลอง เพื่อใช้วัดปริมาณไฮโดรเจนในสารประกอบเพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียงกับปริมาณจริงในสารประกอบมากที่สุด
2. ศึกษาการหาปริมาณไฮโดรเจนของสารประกอบต่างๆ เพื่อทำการปรับเทียบปริมาณไฮโดรเจนกับอัตราการนับนิวตรอน (neutron count rate)
3. วัสดุที่ใช้ในการท่อนิวตรอนเร็วจากต้นกำเนิดนิวตรอนคือ พาราฟิน
4. ต้นกำเนิดนิวตรอนที่ใช้คือ อเมอริเซียม-เบอริลเลียม (Am-Be) ขนาด 1 คูรี

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. นิวตรอนแอคติเวชัน (neutron activation) หมายถึงวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุในสาร โดยนำสารมาอบนิวตรอนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียส กลายเป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัว เกี่ยวกับ ครึ่งชีวิต ชนิดของรังสี และพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้สามารถวิเคราะห์ธาตุได้
2. การท่อนิวตรอน (neutron moderation) หมายถึงการลดพลังงานของนิวตรอนเมื่อนิวตรอนวิ่งเข้าชนกับสารที่เป็นตัวท่วง

3. การปรับเทียบ (calibration) หมายถึงการหาปริมาณ หรือชนิดของธาตุที่ต้องการ โดยการนำไปปรับเทียบกับสารมาตรฐานที่ทราบทั้งชนิดและปริมาณที่แน่นอนแล้ว ในทางนิวเคลียร์จะ ใช้การปรับเทียบปริมาณหรือระดับพลังงานของอนุภาค หรือรังสีต่างๆที่สลายออกมา

4. ฟลักซ์นิวตรอน (neutron flux) หมายถึง จำนวนนิวตรอนซึ่งเคลื่อนที่ตกตั่งฉากกับ พื้นที่หนึ่งตารางหน่วยต่อหนึ่งหน่วยเวลา

5. ภาคตัดขวาง (cross section) หมายถึงความน่าจะเป็นของการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ โดยที่อนุภาคนิวตรอน ϕ ตัววิ่งเข้าชนนิวเคลียสของเป้า (target nucleus) ที่มี N อะตอมในหนึ่งหน่วยพื้นที่ ซึ่งมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ภายใน 1 วินาที จะทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้น P ครั้งจะได้

$$\sigma = \frac{P}{\phi N}$$

ในที่นี้ σ คือค่าภาคตัดขวางมีหน่วยเป็นพื้นที่ ตามปกติวัดเป็นบาร์น (barn) โดย 1 บาร์น เท่ากับ 10^{-24} cm^2

ภาคตัดขวางมี 2 ชนิด คือ

1. ภาคตัดขวางจุลภาค (microscopic cross section, σ) หมายถึงพื้นที่หรือบริเวณของนิวเคลียสหนึ่งๆ เมื่ออนุภาควิ่งเข้าชนแล้วเกิดปฏิกิริยา

2. ภาคตัดขวางมหภาค (macroscopic cross section, Σ) หมายถึงพื้นที่ทั้งหมดของนิวเคลียสจำนวน N นิวเคลียสในปริมาตร 1 cm^3 ที่เกิดปฏิกิริยากับนิวตรอน ดังนั้นภาคตัดขวางมหภาค เท่ากับผลคูณของ N กับ σ เขียนเป็นสมการได้คือ

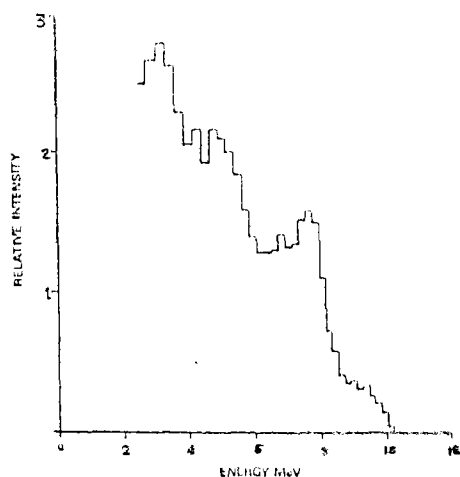
$$\Sigma = N\sigma$$

6. วัสดุสำหรับหน่วงนิวตรอน (moderator) การหน่วงนิวตรอนทำโดยนำเอาต้นกำเนิดนิวตรอนไปวางไว้ในวัสดุที่ใช้เป็นตัวหน่วงนิวตรอน วัสดุสำหรับหน่วงนิวตรอนที่ดี ได้แก่ วัสดุที่ทำให้นิวตรอนวิ่งช้าลงได้อย่างรวดเร็ว โดยการชนกับนิวเคลียสของวัสดุเพียงไม่กี่ครั้ง ซึ่งได้แก่ วัสดุที่ประกอบด้วยอะตอมของธาตุที่มีเลขมวลน้อยๆ และมีค่าภาคตัดขวางของการดูดกลืนนิวตรอนน้อยด้วย วัสดุสำหรับหน่วงนิวตรอนที่ดี ได้แก่ พาราฟิน , น้ำ , น้ำชนิดหนัก , เบอริลเลียม คาร์บอน เป็นต้น

7. ต้นกำเนิดนิวตรอน (neutron source) หมายถึงต้นกำเนิด หรือแหล่งที่แผ่รังสีนิวตรอนออกมา นิวตรอนที่เกิดขึ้นได้มาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ ปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่ทำให้นิวตรอนออกมามีหลายแบบด้วยกัน ได้แก่ ปฏิกิริยาการแตกตัว (fission reaction) ปฏิกิริยาการดูดกลืน (absorption reaction) และปฏิกิริยาการกระเจิง (scattering reaction) เป็นต้น ซึ่งอนุภาคที่ใช้เป็นตัวยิงทำให้เกิดปฏิกิริยามีหลายตัวได้แก่ อนุภาคแอลฟา , โปรตอน และดิวเทรอน สำหรับต้นกำเนิดนิวตรอนแบบอเมอริเซียม-เบอริลเลียม ที่ใช้ในการทดลองนี้มีขนาด 1 คูรี ใช้ อนุภาคแอลฟาจากอเมอริเซียม เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยา ต้นกำเนิดนิวตรอนแบบนี้ทำโดยเอาอเมอริเซียมผสมกับผงเบอริลเลียม พลังงานของนิวตรอนโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 4.46 MeV

ต้นกำเนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ ถือว่าเป็นจุดซึ่งแผ่รังสีนิวตรอนออกมารอบตัว ปริมาณนิวตรอนทุกทิศทางที่ห่างจากต้นกำเนิดเท่ากันย่อมมีฟลักซ์นิวตรอนเท่ากัน เช่นถ้าต้นกำเนิดมีความแรง a นิวตรอน/วินาที คือปล่อยนิวตรอนออกมา a ตัว ใน 1 วินาที ฟลักซ์นิวตรอนที่ตำแหน่งห่างจากต้นกำเนิด r cm (ในสุญญากาศ) ในทิศทางใดๆจะมีค่าเป็น

$$\phi(r) = \frac{a}{4\pi r^2} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$$



(Lorch. 1973 : 588-9)

ภาพประกอบ 1 แสดงพลังงานของต้นกำเนิดนิวตรอนชนิด Am-Be

8. คูรี (Curie,Ci) หมายถึงหน่วยวัดรังสี สารที่มีความแรง 1 คูรี หมายความว่าสารกัมมันตรังสีนั้นเมื่ออัตราการสลายตัวให้รังสีออกมา เท่ากับ 3.7×10^{10} อนุภาคภายใน 1 วินาที

9. พลาโต (Plateau) คือย่านศักย์ไฟฟ้าที่อัตราการนับรังสีมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้า

นิวตรอนเป็นอนุภาคที่มีประจุเป็นกลาง มีมวลประมาณ 1.008654 เอเอมยู (โดยใช้ Physical atomic weight scale) หรือเท่ากับ 1.6749×10^{-24} กรัม มีอายุเฉลี่ย (mean life time) 925 วินาที สลายตัวให้โปรตอน และแอนตินิวตริโน

อันตรกิริยาระหว่างนิวตรอนกับสาร (Lamarch. 1975 : 51-55)

อนุภาคนิวตรอนเป็นอนุภาคที่มีประจุเป็นกลาง ดังนั้นจึงไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้า อันตรกิริยาระหว่างนิวตรอนและสารตัวกลางมีได้หลายแบบ คือ

1. การกระเจิงจากการชนแบบยืดหยุ่น (elastic scattering collision)
การชนแบบนี้เป็นเพียงการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมระหว่างนิวตรอนกับนิวเคลียสของสารที่ถูกชนเท่านั้น นิวเคลียสที่ถูกชนยังคงอยู่ในสถานะพื้น (ground state) ส่วนนิวตรอนจะกระเจิง (scatter) โดยเปลี่ยนทิศทางและความเร็ว พลังงานจลน์รวมของนิวตรอนกับนิวเคลียสก่อนการชนและหลังการชนมีค่าเท่ากัน สัญลักษณ์ของปฏิกิริยา คือ (n,n)

2. การกระเจิงจากการชนแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic scattering collision)
การชนแบบนี้ นิวตรอนจะรวมกับนิวเคลียสที่ถูกชนกลายเป็นนิวเคลียสเชิงประกอบ (compound nucleus) นิวตรอนตัวหนึ่งจะถูกปล่อยออกมาโดยที่นิวเคลียสอยู่ในสถานะถูกกระตุ้น (excited state) เมื่อนิวเคลียสกลับสู่สถานะพื้นจะปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมา ทำให้พลังงานจลน์ก่อนการชนและหลังการชนมีค่าต่างกันคือ พลังงานจลน์รวมหลังการชนมีค่าลดลงเนื่องจากพลังงานจลน์ของนิวตรอนที่วิ่งเข้าชนสารถูกใช้ไปในการกระตุ้นนิวเคลียสของสาร การชนแบบนี้เป็นปฏิกิริยาขีดเริ่ม (threshold reaction) คือนิวตรอนจะต้องพลังงานประมาณ 10 MeV ขึ้นไปจึงจะพอที่จะทำให้ นิวเคลียสอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้นได้ และเป็นปฏิกิริยาดูดกลืนความร้อน (endothermic reaction) สัญลักษณ์ของปฏิกิริยา คือ (n,n')

3. ปฏิกิริยาการจับนิวตรอน (neutron capture reaction) หรือปฏิกิริยาการดูดกลืนนิวตรอน (neutron absorption reaction) เมื่อนิวตรอนวิ่งเข้าชนนิวเคลียสจะถูกนิวเคลียสจับไว้ และมีรังสีแกมมา (γ) คายออกมา ส่วนมากนิวเคลียสที่เหลืออยู่จะเป็นพวกกัมมันตรังสีและมักสลายเบตา (β) ออกมา

4. ปฏิกิริยาฟิชชัน (fission reaction) ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นเมื่อนิวตรอนวิ่งเข้าชนนิวเคลียสของธาตุบางชนิดที่เกิดฟิชชันได้ เช่น ยูเรเนียม-235 พลูโตเนียม-239 จะเกิดการแตกตัวออกเป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่พร้อมทั้งให้พลังงานจำนวนมหาศาล และมีอนุภาคนิวตรอน 2-3 ตัวหลุดออกมาด้วย

5. ปฏิกิริยาการปลดปล่อยอนุภาคมีประจุ (charge particle emission reaction) เป็นปฏิกิริยาที่ให้อนุภาคที่มีประจุออกมา เช่น แอลฟา (α) โปรตอน ปฏิกิริยานี้ส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาที่เกิดกับนิวเคลียสเบา นิวเคลียสที่กระดอนกลับอาจจะเป็นหรือไม่เป็นสารกัมมันตรังสีก็ได้ สำหรับนิวตรอนพลังงานสูงกว่า 10 MeV จะเป็นปฏิกิริยาที่ให้นิวตรอนออกมา 2 ตัว หรือในบางกรณีอาจมีนิวตรอนออกมามากกว่า 2 ตัวและนิวเคลียสที่กระดอนกลับมักเป็นสารกัมมันตรังสี

การกระเจิงของนิวตรอน

การหาปริมาณไฮโดรเจนของสาร อันตรกิริยาที่สำคัญระหว่างนิวตรอนและนิวเคลียสของสารประกอบ ได้แก่การกระเจิงของนิวตรอน

เมื่อนิวตรอนชนแบบยืดหยุ่นกับนิวเคลียสที่หยุดนิ่ง นิวตรอนและนิวเคลียสต่างๆจะกระเจิงออกไป พลังงานจลน์ของนิวตรอนและนิวเคลียสหลังการชนสามารถคำนวณได้จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน และจากกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม

กำหนดให้

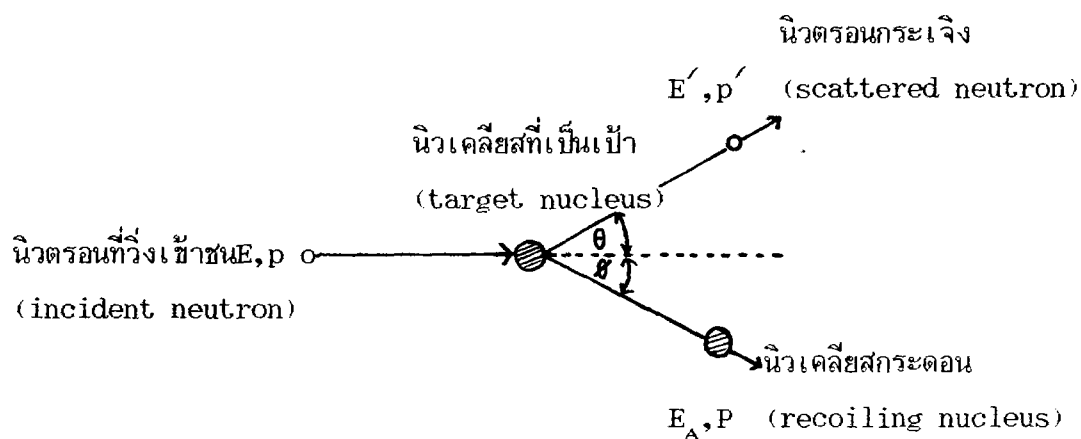
p และ p' เป็นโมเมนตัมของนิวตรอนก่อนการชนและหลังการชนตามลำดับ

E และ E' เป็นพลังงานจลน์ของนิวตรอนก่อนการชนและหลังการชนตามลำดับ

E_A และ P เป็นพลังงานจลน์และโมเมนตัมของนิวเคลียสที่กระเจิงไปหลังการชนตามลำดับ

θ และ ϕ เป็นมุมที่นิวตรอนและนิวเคลียสกระเจิงออกไปจากแนวเดิมตามลำดับ

ดังภาพประกอบ 2



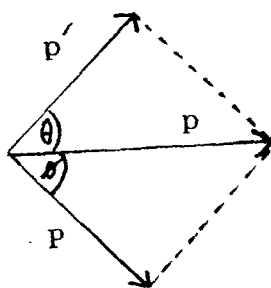
ภาพประกอบ 2 การกระเจิงแบบยืดหยุ่นของนิวตรอน

จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน

$$E = E' + E_A \quad (1)$$

และจากกฎอนุรักษ์โมเมนตัม

$$\vec{p} = \vec{p}' + \vec{P} \quad (2)$$



ภาพประกอบ 3 เวกเตอร์ของโมเมนตัม

จากภาพประกอบ 3 ได้

$$P^2 = p^2 + (p')^2 - 2pp' \cos \theta \quad (3)$$

เพราะ $P = MV = M\sqrt{\frac{2E_A}{M}}$

ดังนั้น $P^2 = 2ME_A$

ทำนองเดียวกัน $p^2 = 2mE$ และ $(p')^2 = 2mE'$
(เมื่อ M, m เป็นมวลของนิวเคลียสและนิวตรอนตามลำดับ)

แทนค่า P, p, p' ในสมการ (3) ได้

$$ME_A = mE + mE' - 2m\sqrt{EE'}\cos\theta \quad (4)$$

$$\frac{ME_A}{m} = E + E' - 2\sqrt{EE'}\cos\theta \quad (5)$$

เนื่องจาก $M/m \simeq A$ (เลขมวลของนิวเคลียส) แทนค่าในสมการ (5) จะได้

$$AE_A = E + E' - 2\sqrt{EE'}\cos\theta \quad (6)$$

แทนค่า $E_A = E - E'$ ลงในสมการ (6) จะได้

$$(A+1)E' - 2\sqrt{EE'}\cos\theta - (A-1)E = 0 \quad (7)$$

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจลน์ของนิวตรอนก่อนการชนและหลังการชนนิวเคลียสของสารคือ

$$E' = \frac{E}{(A+1)^2} \left[\cos\theta + \sqrt{A^2 - \sin^2\theta} \right]^2 \quad (8)$$

พิจารณาสมการ (8) ถ้า $\theta = 0$ จะได้ $E = E'$ หมายถึง ไม่มีการสูญเสียพลังงานของนิวตรอนให้แก่นิวเคลียส ถ้า $\theta = \pi$ จะได้ E' มีค่าน้อยที่สุด ยกเว้นในกรณีการชนกับไฮโดรเจน ดังนั้นเขียนสมการที่ (8) ได้คือ

$$(E')_{\min} = \left(\frac{A-1}{A+1} \right)^2 E = \alpha E \quad (9)$$

$$\alpha = \left(\frac{A-1}{A+1} \right)^2 \quad (10)$$

ค่า α เรียกว่า พารามิเตอร์ของการชน (collision parameter) ตาราง 2 ได้แสดงค่า α ของนิวเคลียสบางชนิดไว้

ในการที่การชนของนิวตรอนกับนิวเคลียสไฮโดรเจนนั้น เนื่องจากนิวตรอนมีมวลใกล้เคียงกับนิวเคลียสของไฮโดรเจนมาก ดังนั้นจึงแตกต่างไปจากการชนของนิวตรอนกับนิวเคลียสอื่น ๆ นิวตรอนที่กระเจิงออกไปภายหลังการชนกับนิวเคลียสไฮโดรเจนจะกระเจิงออกไปด้วยมุมที่ไม่เกิน $\pi/2$ ดังนั้น E' มีค่าน้อยที่สุดในกรณีนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ $\theta = \pi/2$

$$\text{เมื่อ } \theta = \pi/2 \text{ จะได้ } (E')_{\min} = 0$$

ปรากฏว่าผลที่ได้มีค่าเท่ากับการแทนค่า $A = 1$ ลงในสมการ (9) ดังนั้นสมการ (9) จึงสามารถใช้ได้กับนิวเคลียสทุกชนิดรวมทั้งไฮโดรเจนด้วย

ค่าพลังงานเฉลี่ยของนิวตรอนที่กระเจิงออกมาจากการชนกับนิวเคลียสเบา รวมทั้งไฮโดรเจนสามารถคำนวณได้จาก

$$\bar{E}' = \frac{1(1+\alpha)E}{2} \quad (11)$$

เมื่อ $\bar{E}'$ เป็นพลังงานเฉลี่ยของนิวตรอนที่กระเจิงออกมาจากนิวเคลียส ดังนั้นค่าการสูญเสียพลังงานเฉลี่ยคือ

$$\begin{aligned} \Delta \bar{E} &= E - \bar{E}' \\ &= \frac{1}{2}(1-\alpha)E \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{และ } \frac{\Delta \bar{E}}{E} = \frac{1}{2}(1-\alpha) \quad (13)$$

ค่า $\Delta \bar{E}/E$ เรียกว่า เศษส่วนการสูญเสียพลังงานเฉลี่ย (average fractional energy loss)

สมการที่ (12) และ (13) สามารถใช้ได้กับธาตุหนัก แต่ใช้ได้ในช่วงที่นิวตรอนมีพลังงานต่ำไม่เกิน 100 KeV ตัวอย่างเช่นในการชนของนิวตรอนกับนิวเคลียส U-239 ถ้านิวตรอนพลังงานสูงขึ้นค่าพลังงานที่สูญเสียไปของนิวตรอนจะมีค่าที่น้อยกว่าที่คำนวณได้จากสมการ (12)

พิจารณาค่า α จะเห็นได้ว่า มีค่าเป็น 0 สำหรับไฮโดรเจน ถ้าแทนค่า $\alpha = 0$ ลงในสมการ (13) $\bar{E}/E = 1/2$ แสดงว่าในการชนระหว่างนิวตรอนกับไฮโดรเจนนั้น พลังงานของนิวตรอนจะลดลงประมาณครึ่งหนึ่งโดยเฉลี่ย

ในการเกิดการกระเจิงจากการชนแบบไม่ยืดหยุ่น นิวตรอนจะสูญเสียพลังงานได้ต่อเมื่อนิวตรอนชนกับธาตุที่มีเลขมวลสูง เนื่องจากธาตุที่มีเลขมวลสูงจะมีพลังงานขีดเริ่ม (threshold energy) ในการเกิดการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นต่ำ แต่สำหรับธาตุที่มีเลขมวลน้อย ๆ พลังงานขีดเริ่มในการเกิดการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นสูงมาก ดังนั้นจึงไม่เกิดอันตรกิริยาแบบนี้กับไฮโดรเจนซึ่งมีเลขมวลเท่ากับ 1

เลทาร์จี (Lethargy) (อุไรวรรณ จุลภาค. 2523 : 76-79)

การลดพลังงานของนิวตรอนสามารถคำนวณในเทอมของ เลทาร์จี ซึ่งมีนิยามเป็น

$$U = \ln(E_0/E) \quad (14)$$

U เป็นสัญลักษณ์ของเลทาร์จีใดๆ

E_0 เป็นพลังงานสูงสุดของนิวตรอนที่เกิดขึ้นในระบบตอนเริ่มต้น

E เป็นพลังงานของนิวตรอนในขณะนั้น

จากสมการ (14) จะเห็นว่าเมื่อพลังงานของนิวตรอนในขณะใด ๆ มีค่าสูงค่าเลทาร์จีจะต่ำและเมื่อนิวตรอนในขณะนั้นลดพลังงานลงมากขึ้นค่าเลทาร์จีจะสูงขึ้น

เลทาร์จีของการกระเจิงเมื่อชนแบบยืดหยุ่นสามารถเขียนได้เป็น

$$U = U_2 - U_1 = \ln(E_1/E_2) \quad (15)$$

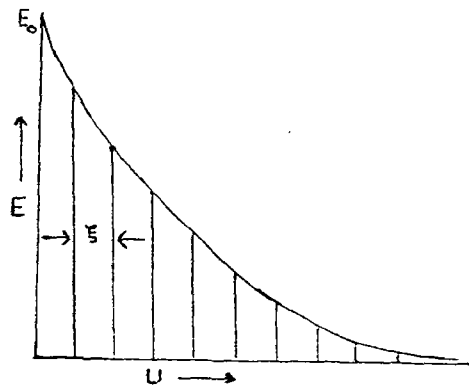
U_1 เป็นเลทาร์จีที่มีพลังงาน E_1 ซึ่งเป็นพลังงานของนิวตรอนก่อนชน

U_2 เป็นเลทาร์จีที่มีพลังงาน E_2 ซึ่งเป็นพลังงานของนิวตรอนหลังชน

จากสมการ (14) สามารถเขียนได้ใหม่ได้

$$E = E_0 e^{-u} \quad (16)$$

จากสมการ (16) สามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและเลขอาร์จีได้ กราฟดังรูป เอกซ์โพเนนเชียล (exponential) ตามภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและเลขอาร์จี

จากภาพประกอบ 4 เส้นตรงตามแนวดิ่งที่ห่างกัน Δ โดยที่ Δ คืออัตราส่วนของพลังงานที่สูญเสียโดยเฉลี่ยต่อการชน 1 ครั้งในสเกล ล็อก (log) ของพลังงานนิวตรอน สามารถเขียนในรูปสมการคือ

$$\Delta = \ln(E_1/E_2)_{av} \quad (17)$$

av หมายถึงค่าเฉลี่ย (average)

เมื่อนิวตรอนเร็ววิ่งเข้าชนนิวเคลียสของตัวกลาง นิวตรอนจะถูกกลดพลังงานลง ดังนั้นถ้าให้ N แทนจำนวนครั้งที่นิวตรอนเข้าชนนิวเคลียสแล้วทำให้พลังงานลดลงจาก E_1 เป็น E_f ค่า N ได้แสดงไว้ในตาราง 2

$$N = \frac{\ln(E_1/E_f)}{\ln(E_1/E_2)^{av}} \quad (18)$$

จากสมการ (17) และ (18) สามารถเขียนใหม่ได้ว่า

$$N = \frac{\ln(E_1/E_f)}{\xi} \quad (19)$$

ในการคำนวณหา ξ จะต้องคำนึงถึงโอกาสที่นิวตรอนจะมีพลังงานระหว่าง E_1 และ αE_1

$$\begin{aligned} \xi &= \int_{\alpha E_1}^{E_1} \ln\left(\frac{E_1}{E_2}\right) F(E) dE \\ \xi &= 1 - \frac{(A-1)^2}{2A} \ln\left(\frac{A+1}{A-1}\right) \end{aligned} \quad (20)$$

$F(E)dE$ แทนความน่าจะเป็นที่นิวตรอนจะมีพลังงานระหว่าง E_1 และ E_2
มีค่าเท่ากับ $\frac{dE}{(1-\alpha)E_1}$

A เป็นเลขมวลของนิวเคลียส

สำหรับนิวเคลียสที่มีเลขมวลมากกว่า 10 สมการ (20) สามารถเขียนได้เป็น

$$\xi \simeq \frac{2}{A+2/3} \quad (21)$$

ในกรณีที่ตัวหนักนิวตรอนประกอบด้วยธาตุมากกว่า 1 ชนิดขึ้นไปจะหาค่า ξ ได้จากผลรวมของ ξ แต่ละธาตุกับโอกาสที่นิวตรอนจะวิ่งเข้าชนแล้วเกิดการกระเจิงกับธาตุนั้นแล้วหาค่าเฉลี่ยสูตรที่ได้คือ

$$\xi = \frac{\sum_{i=1}^n n_i \sigma_i \xi_i}{\sum_{i=1}^n n_i \sigma_i} \quad (22)$$

เมื่อ n คือจำนวนของธาตุที่มีอยู่ในสารผสม เช่น พาราฟิน ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 38 อะตอม และไฮโดรเจน 78 อะตอม แทนค่าต่างๆในสมการ (22) ได้เป็น

$$\xi(C_{38}H_{78}) = \frac{38\sigma_S(C)\xi(C) + 78\sigma_S(H)\xi(H)}{38\sigma_S(C) + 78\sigma_S(H)}$$

ตาราง 2 ค่า α , ξ และจำนวนครั้งที่นิวตรอนวิ่งเข้าชนนิวเคลียสแล้วพลังงานลดลงจาก 1 MeV เป็น 0.00253 eV

สาร	เลขมวล	α	ξ	N^{**}
ไฮโดรเจน	1	0	1.000	18
น้ำ	—	—	0.920*	19
ดิวเทอเรียม	2	0.111	0.725	24
น้ำหนักหนัก	—	—	0.509*	34
เบอริลเลียม	9	0.640	0.209	84
คาร์บอน	12	0.716	0.158	111
ออกซิเจน	16	0.779	0.120	146
โซเดียม	23	0.840	0.0825	—
เหล็ก	56	0.931	0.0357	490
ยูเรเนียม	238	0.983	0.00838	2087

* ค่าประมาณ

** จำนวนครั้งที่นิวตรอนวิ่งเข้าชนสารบางชนิดในการลดพลังงานจาก 1 MeV ลงเหลือ 0.0253 eV

(Lamarch. 1975 : 59)

จากตาราง 2 แสดงค่า α , ξ และจำนวนครั้งที่การชนของนิวตรอนในการลดพลังงานของนิวตรอน จะพบว่าไฮโดรเจนเป็นธาตุที่สามารถหน่วงนิวตรอนได้ดีกว่าธาตุอื่นๆ ดังนั้นการวัดความเข้มของนิวตรอนที่เกิดจากการหน่วงนิวตรอนจึงสามารถประยุกต์ในการหาปริมาณไฮโดรเจนของสารประกอบต่างๆได้

จากที่แสดงมาข้างต้นไฮโดรเจนสามารถลดพลังงานของนิวตรอนได้ดี แต่เมื่อพิจารณาธาตุไฮโดรเจนในสถานะก๊าซก็มีใช้สารที่สามารถหน่วงนิวตรอนได้ดีที่สุด เนื่องจากความหนาแน่นน้อยทำให้โอกาสการชนระหว่างนิวตรอนกับไฮโดรเจนเกิดขึ้นได้น้อยครั้ง ดังนั้นการพิจารณาการหน่วงนิวตรอนเนื่องจากการชนกับไฮโดรเจนในรูปของสารประกอบนั้นจะต้องพิจารณาอีก 2 ประการคือ กำลังการทำให้ช้า (Slowing down power) และอัตราส่วนการหน่วง (Moderating ratio)

กำลังการทำให้ช้า (Kaplan. 1979 : 572)

กำลังการทำให้ช้า คือค่าแสดงความสามารถในการหน่วงนิวตรอนเมื่อนิวตรอนเคลื่อนที่ผ่านสารเป็นระยะทาง 1 เซนติเมตร

ความสามารถของสารในการหน่วงนิวตรอนขึ้นอยู่กับโอกาสที่นิวตรอนจะวิ่งเข้าชนสารและเกิดการกระเจิงขึ้น ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้มากนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนอะตอมของสารต่อ 1 หน่วยปริมาตรและขึ้นกับค่าภาคตัดขวางในการกระเจิงของนิวตรอนเมื่อชนกับสารจะต้องมีค่ามาก ดังนั้นจากเหตุผลดังกล่าว จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{กำลังการทำให้ช้า} &\propto N\sigma_s \\ &= \xi N\sigma_s = \xi \Sigma_s = \frac{N_0 \rho \xi \sigma_s}{A} \end{aligned} \quad (23)$$

เมื่อ N เป็นจำนวนอะตอมของสารต่อ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ρ เป็นความหนาแน่นของสาร หน่วย กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

N_0 เป็นเลขอวอกาโดร 6.02×10^{23} /โมล

σ_s เป็นค่าภาคตัดขวางจุลภาคในการกระเจิง (microscopic scattering cross section) หน่วย ตารางเซนติเมตร

$N\sigma_s = \Sigma_s$ เป็นค่าภาคตัดขวางมหภาคในการกระเจิง (macroscopic scattering cross section) หน่วย ต่อตารางเซนติเมตร (cm^{-1})

อัตราส่วนการหน่วง (Kaplan. 1979 : 573)

อัตราส่วนการหน่วง คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังการทำให้นิวตรอนช้าต่อค่าภาคตัดขวางในการดูดกลืนนิวตรอน เนื่องจากสารที่ใช้ในการหน่วงจะต้องมีค่าภาคตัดขวางในการดูดกลืนนิวตรอนน้อยด้วย มิเช่นนั้นแล้วนิวตรอนที่วิ่งเข้าชนสารจะถูกดูดกลืนทำให้ฟลักซ์นิวตรอนน้อยลง ดังนั้นจากเหตุผลดังกล่าวได้

$$\text{อัตราส่วนการหน่วง} = \frac{\xi \Sigma_s}{\Sigma_a} \quad (24)$$

Σ_a เป็นค่าภาคตัดขวางมหภาคในการดูดกลืน (macroscopic absorption cross section)

ตาราง 3 ค่ากำลังการทำให้ร้อนและอัตราส่วนการหน่วง

สาร	กำลังการทำให้ร้อน (cm^{-1})	อัตราส่วนการหน่วง
น้ำ	1.53	72
ดิวทีเรียม	0.370	12,000
เบอริลเลียม	0.176	159
กราไฟต์	0.064	172

พิจารณาจากตาราง 3 ดิวทีเรียม เป็นสารประกอบที่หน่วงนิวตรอนดีที่สุด แต่เนื่องจากมีราคาค่อนข้างแพง จึงใช้ในงานวิจัยที่ต้องใช้กับนิวตรอนที่มีพลังงานสูงมากๆ นอกจากสารที่แสดงในตาราง 3 แล้วพาราฟิน ซึ่งเป็นสารประกอบระหว่าง ไฮโดรเจน และ คาร์บอนก็สามารถนำมาใช้ในการหน่วงนิวตรอนได้ดีพอสมควร

ดังนั้นนิวตรอนเร็วจากต้นกำเนิดจะถูกหน่วงโดยพาราฟินจนมีพลังงานลดลงอยู่ในช่วงนิวตรอนพลังงานปานกลาง และนิวตรอนช้า ซึ่งจะมีพลังงานต่ำสุดเท่ากับพลังงานของอะตอมตัวกลางที่อุณหภูมิใดๆ เรียกว่า นิวตรอนเทอร์มัล นิวตรอนเทอร์มัลเหล่านี้จะมีการเคลื่อนที่และชนกับอะตอมของตัวกลางตลอดเวลา ในการชนแต่ละครั้งนิวตรอนอาจได้รับหรือสูญเสียพลังงาน แต่พลังงานรวมทั้งหมดของนิวตรอนมีค่าคงที่ ในกรณีที่ตัวกลางมีค่าภาคตัดขวางในการดูดกลืนนิวตรอนเทอร์มัลน้อยมาก พลังงานของนิวตรอนเทอร์มัลมีการกระจายแบบแมกซ์เวลล์ (Maxwellian distribution) เช่นเดียวกับพลังงานจลน์ของก๊าซ ตามสมการดังนี้

$$N(E) = \frac{2\pi N E^{1/2} e^{-E/kT}}{(\pi kT)^{3/2}} \quad (25)$$

เมื่อ $N(E)$ เป็นจำนวนนิวตรอนที่พลังงานใดๆ ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

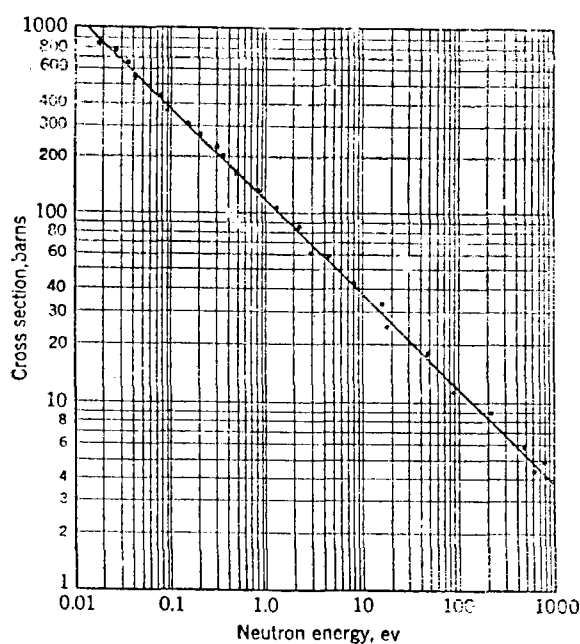
N เป็นจำนวนนิวตรอนรวมทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

k เป็น Boltzmann's constant มีค่าเท่ากับ $8.617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$

T เป็นอุณหภูมิของตัวกลางเป็นองศาเคลวิน (Kelvin, K)

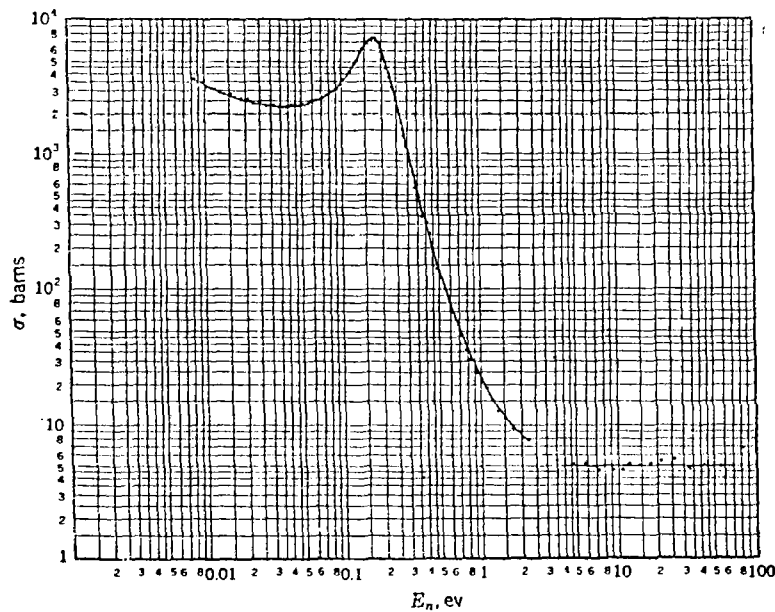
จากสมการ (25) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส หรือเท่ากับ 293 เคลวิน นิวตรอนเทอร์มัล มีพลังงานน้อยมากที่สุด เท่ากับ 0.0253 eV

นิวตรอนจากต้นกำเนิดเมื่อถูกหน่วงโดยพาราฟินจะทำให้พลังงานของนิวตรอนลดลงอยู่ใน ช่วงนิวตรอนพลังงานปานกลาง และนิวตรอนเทอร์มัล ดังนั้นเพื่อให้นิวตรอนเทอร์มัลที่เกิดขึ้นจาก การหน่วงโดยพาราฟินลดลงมากที่สุดและให้นิวตรอนพลังงานปานกลางเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารตัว อย่างโดยเฉพาะเท่านี้จะต้องใส่สารตัวกลางที่มีค่าภาคตัดขวางในการดูดกลืนนิวตรอนเทอร์มัลสูงกัน ระหว่างพาราฟินกับสารตัวอย่าง ซึ่งได้แก่ โบรอน (B) และ แคดเมียม (Cd) ภาพประกอบ 5 และ 6 แสดงค่าภาคตัดขวางรวมของนิวตรอนสำหรับโบรอน และ แคดเมียม ในช่วงพลังงานต่าง ๆ ตามลำดับ



ภาพประกอบ 5 แสดงค่าภาคตัดขวางรวมของนิวตรอนสำหรับโบรอน (B) ในช่วงพลังงาน 0.01 ถึง 1000 eV

(Halliday. 1958 : 223)

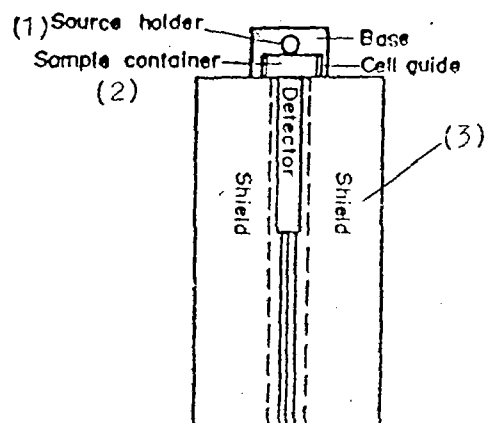


ภาพประกอบ 6 แสดงค่าภาคตัดขวางรวมของนิวตรอนสำหรับแคดเมียม (Cd) ในช่วงพลังงาน 0.01 ถึง 100 eV

(Halliday. 1958 : 226)

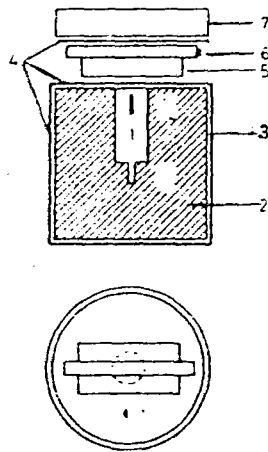
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ซีเมล และ เฮลฟ (Semel and Helf. 1969 : 1-3) ได้ออกแบบอุปกรณ์และทดลองวัดความชื้นของสาร 4 ชนิด คือ ทราาย , อัมโมเนียมไนเตรต (NH_4NO_3) , โพตัสเซียมไนเตรต (KNO_3) และ ดินปืนที่มีความชื้นต่ำกว่า 1% โดยน้ำหนัก ต้นกำเนิดนิวตรอนเร็วที่ใช้ คือ พลูโตเนียม-เบอริลเลียม (Pu-Be) ขนาด 1 Ci จากผลการทดลองพบว่าความชื้นต่ำสุดที่ทำการวัดได้ คือ 0.1% โดยน้ำหนัก และปริมาตรต่ำสุดของสารที่ทำการวัดเพื่อให้ได้ค่าความไวมากที่สุด คือ 400 cm^3 ซีเมล และ เฮลฟได้ออกแบบอุปกรณ์สำหรับวัดความชื้นของสารโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนเร็ว แสดงโดยภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 แสดงภาพตัดขวางอุปกรณ์วัดความชื้น 1. แสดงตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอนเร็ว 2. ช่องบรรจุสาร 3. ส่วนป้องกันรังสี

วาดะ (Wada. 1974 :1-2) ได้ออกแบบอุปกรณ์และทดลองวัดปริมาณไฮโดรเจนของสารที่มีปริมาณน้อยๆ โดยใช้วิธีการท่งนิวตรอนพลังงานปานกลาง ต้นกำเนิดนิวตรอน คือ อเมอริเซียม-เบอริลเลียม (Am-Be) ขนาด 500 mCi ความคลาดเคลื่อนในการวัดความชื้นของสารที่มีความชื้น 10% โดยน้ำหนัก คือ 5% และการวัดปริมาณไฮโดรเจนของสารไฮโดรคาร์บอนปริมาตร 250 ml ที่มีปริมาณไฮโดรเจน 112 mg·H/ml คือ 0.9% ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน อุปกรณ์วัดความชื้นและวัดปริมาณไฮโดรเจน แสดงโดยภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 แสดงการจัดอุปกรณ์วัดความชื้น และ หาปริมาณไฮโดรเจน 1.ต้นกำเนิดนิวตรอน Am-Be (1.2×10^6 n·sec⁻¹) , 2.พาราฟิน , 3.ภาชนะอลูมิเนียม , 4.แผ่นเคดเมียม 5. ภาชนะใส่สาร (10x20x3 cm³ แผ่นอลูมิเนียมหนา 0.6 mm.) , 6.หัววัดนิวตรอน ³He (10 atm.) , 7.ตัวสะท้อนโพลีเอทิลีน

เจลิเมเดช เจลิมาอัสตร (2531 : 1) ได้ศึกษาวัดความชื้นวัสดุ 2 ชนิด คือ อิฐมอญ และ ดินลูกรัง โดยใช้หลักการกระเจิงกลับของนิวตรอน ต้นกำเนิดนิวตรอนเร็วที่ใช้ คือ Am-Be 30 mCi ผลการศึกษาได้สร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างความชื้นกับจำนวนนับนิวตรอน และเมื่อนำไปทดสอบกับภาคสนามบริเวณก่อสร้างพบว่า ความชื้นในดินที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับที่ใช้เปรียบเทียบภายในห้องปฏิบัติการจะมีความแตกต่างระหว่างความชื้นที่อ่านจากกราฟกับค่าที่ได้จากวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการพอสมควร

มานิช โชติศิษฐ์ (2532 : 1) ได้ศึกษาการใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนและรังสีแกมมาสำหรับวัดความชื้นและความหนาแน่นของดินที่บดอัดในช่วงความหนา 15 cm. ต้นกำเนิดนิวตรอน คือ Am-Be 30 mCi และวัดความหนาแน่นโดยใช้ต้นกำเนิดซีเซียม 5 mCi ผลการวิจัยพบว่าจำนวนนิวตรอนเข้าแปรผันกับความชื้นและความหนาแน่น ในขณะที่จำนวนนับรังสีแกมมาแปรผกผันกับความชื้นและความหนาแน่นของดิน และความแปรปรวนเมื่อทำการวัดความชื้นของดินที่มีความหนาแน่นระหว่าง 1.2-2.4 g/cm³ จะมีความผิดพลาดไม่เกิน 1.5%

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและอุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดการทดลองวัดปริมาณไฮโดรเจนในสารประกอบ

การสร้างชุดการทดลอง มีลักษณะดังภาพประกอบ และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 ถังเหล็กทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 56 cm. สูง 50 cm. ทำด้วยแผ่นเหล็กหนา 0.85 mm.

1.2 ท่ออลูมิเนียม หนา 0.6 mm. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 cm. , 9.5 cm. และ 8 cm. สูง 50 cm. ทำด้วยแผ่นอลูมิเนียม หนา 0.6 mm.

1.3 แผ่นโบรอน หนา 0.6 mm. และแผ่นแคดเมียม หนา 0.3 mm.

1.4 ท่ออลูมิเนียมสำหรับเป็นภาชนะบรรจุสารตัวอย่างเพื่อใช้วัดปริมาณไฮโดรเจน และวัดความชื้น ประกอบด้วยท่ออลูมิเนียม 2 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.3 cm. และ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 cm. สูง 25 cm.

1.5 แผ่นอลูมิเนียม สำหรับสร้างภาชนะบรรจุสารตัวอย่างรูปภาดสี่เหลี่ยม ขนาด $10 \times 20 \times 3 \text{ cm}^3$

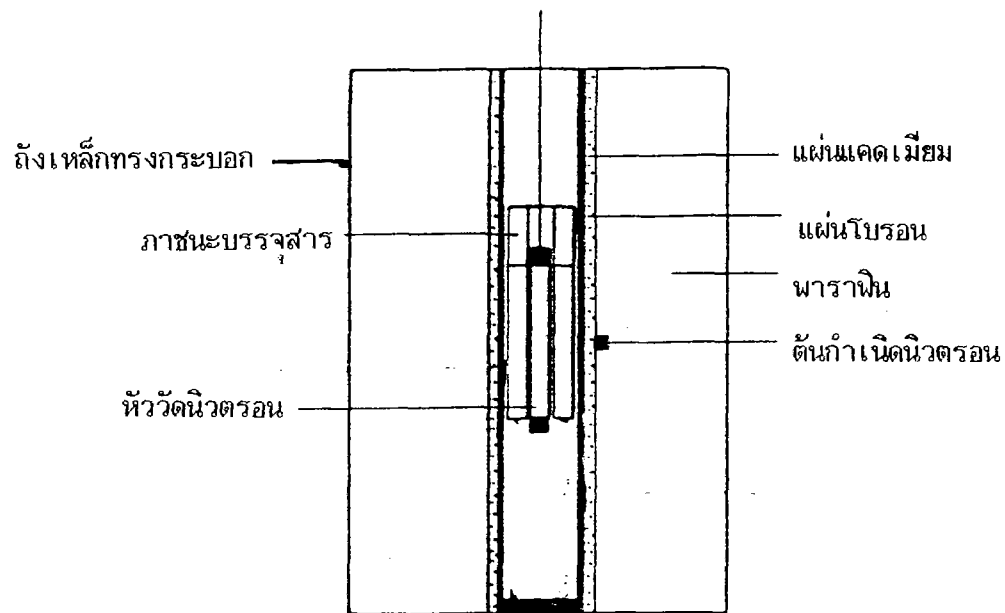
1.6 เชือกสำหรับใช้ยึดภาชนะบรรจุสาร ในข้อ (1.4)

1.7 ขาดั่ง (1) สำหรับยึดเชือกในข้อ (1.6) เพื่อให้หย่อนภาชนะบรรจุสาร และปรับระดับความลึกของภาชนะบรรจุสารในถังการทดลอง

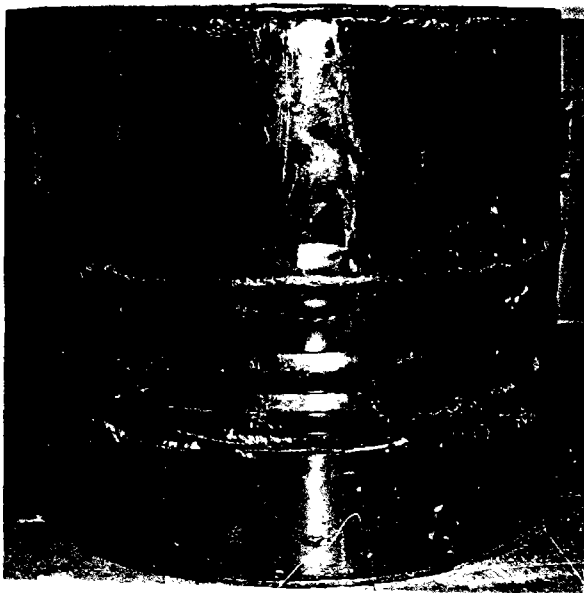
1.8 ขาดั่ง (2) สำหรับยึดหัววัดนิวตรอนเพื่อหย่อนลงในภาชนะบรรจุสาร

1.9 ต้นกำเนิดนิวตรอน ชนิดอเมอริเซียม-เบอริลเลียม 1 Ci บรรจุในภาชนะทรงกระบอกทำด้วยเหล็ก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.3 cm. สูง 3.1 cm.

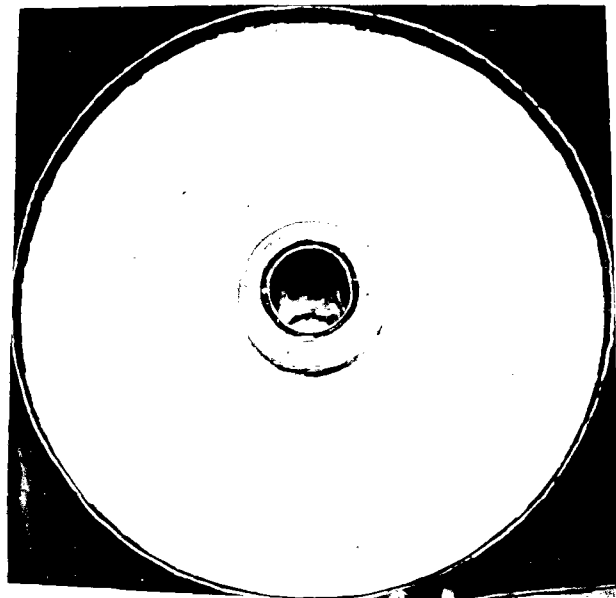
1.10 พาราฟิน เป็นวัสดุสำหรับหน่วงนิวตรอนและเป็นวัสดุป้องกันอันตรายจากนิวตรอน



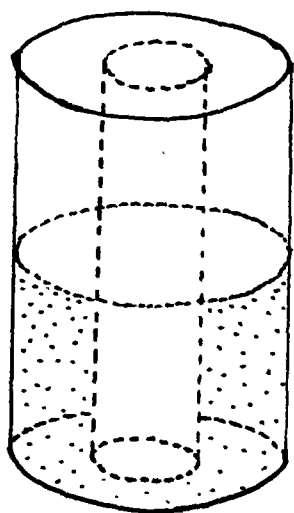
ภาพประกอบ 9 ชุดการทดลองสำหรับวัดปริมาณไฮโดรเจน



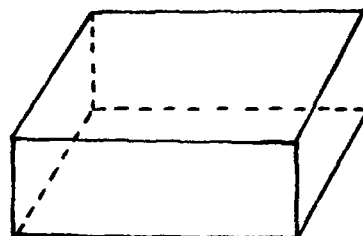
ภาพประกอบ 10 แสดงชุดการทดลองด้านข้าง



ภาพประกอบ 11 แสดงชุดการทดลองด้านบน



แบบ (ก)

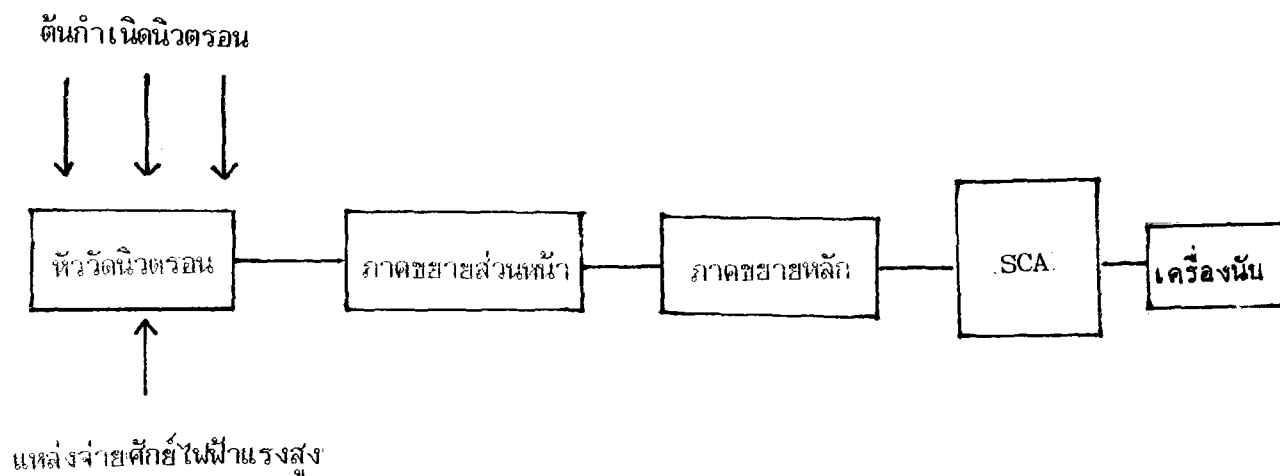


แบบ (ข)

ภาพประกอบ 12 ภาพสำหรับใส่สารตัวอย่าง

2. ระบบการวัดนิวตรอนประกอบด้วย

- 2.1 หัววัดนิวตรอนช้า ชนิด BF_3 (8010) และชนิด ^3He (7757)
- 2.2 แหล่งจ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูง (Tennelec TC 952)
- 2.3 ภาชนะยาส่วนหน้า (Cannberra PC 1706)
- 2.4 ภาชนะยาส่วนหลัง (Tennelec TC 241)
- 2.5 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณชนิดช่องเดียว (SCA) (Cannberra 1772)
- 2.6 เครื่องนับ (Tennelec TC 451)



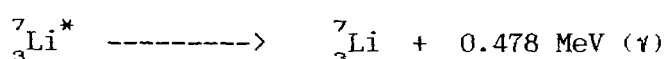
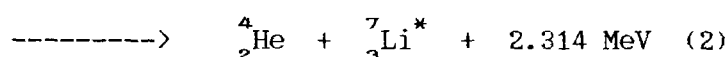
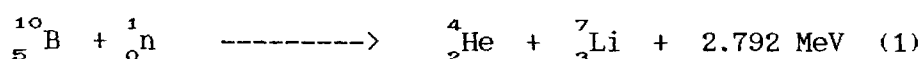
ภาพประกอบ 13 แสดงแผนภาพของชุดวัดรังสีนิวตรอน

กลไกการทำงานของเครื่องมือในระบบการวัดนิวตรอน คือ

2.1 หัววัดนิวตรอนช้า เป็นเครื่องวัดรังสีแบบปรอพออร์ชันนัล (Proportional counter) ใช้ก๊าซเป็นตัวกลาง หัววัดนิวตรอนโดยมากมักจะทำเป็นรูปทรงกระบอก (Price, 1964 : 314-315) มีแกนกลางทำด้วยลวดเป็นขั้วบวก (Anode) และตัวทรงกระบอกซึ่งอาจทำด้วย ทองเหลือง หรือ อลูมิเนียม เป็นขั้วลบ (Cathode) และมีบริเวณที่ไวต่อการนับ (sensitive region) ที่ระยะตรงกลางของความยาวของหัววัดรังสี เนื่องจากนิวตรอนเป็นอนุภาคที่มีประจุเป็นกลาง ดังนั้นในการตรวจนับนิวตรอนต้องอาศัยปฏิกิริยาระหว่างนิวตรอนและสารอื่นให้อนุภาคที่มีประจุออกมาซึ่งจากอนุภาคที่มีประจุนี้จะทำให้เกิดไอออนในเซชันทุติยภูมิ (secondary ionization) แล้วทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในวงจร เครื่องนับจึงสามารถนับได้

จากหลักการดังกล่าว การทำงานของหัววัดนิวตรอน คือ นิวตรอนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับก๊าซที่บรรจุอยู่ในหัววัด แล้วให้อนุภาคที่มีประจุซึ่งมีพลังงานสูงออกมา และมีอำนาจในการเกิดไอออนในเซชันกับโมเลกุลของก๊าซได้สูง (High specific ionization) เมื่อเกิดไอออนมาก กระแสที่ไหลในวงจรก็มีมาก พัลส์ (pulse) ที่ออกมาจะมีขนาดใหญ่ จึงสามารถตรวจวัดนิวตรอนที่รวมกับรังสีแกมมาได้

ปฏิกิริยาระหว่างโบรอน-10 และ นิวตรอน ภายในหัววัด BF_3 เกิดขึ้นดังนี้



การเกิดปฏิกิริยา (1) หรือ (2) นั้นขึ้นอยู่กับพลังงานของนิวตรอน สำหรับนิวตรอนช้าจะเกิดปฏิกิริยา (2) คือจะได้ $({}_3^7\text{Li}^*)$ ในสถานะถูกกระตุ้น (Excited State) ที่มีพลังงาน 0.478 MeV ซึ่งต่อมาจะกลับมาอยู่ในสถานะพื้น (Ground State) โดยปล่อยพลังงานจำนวนนี้ออกมาในรูปของรังสีแกมมา

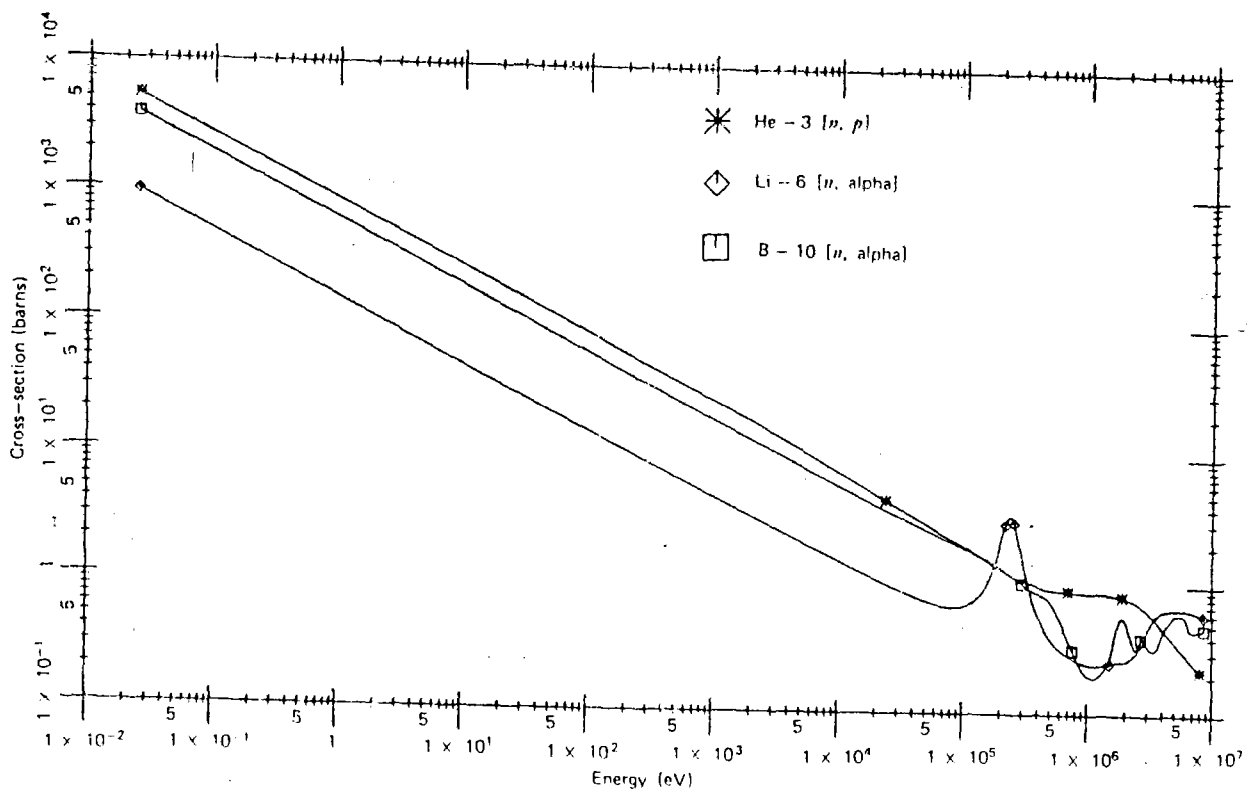
ปฏิกิริยาระหว่าง ฮีเลียม-3 และ นิวตรอน ภายในหัววัด ^3He เกิดขึ้นดังนี้



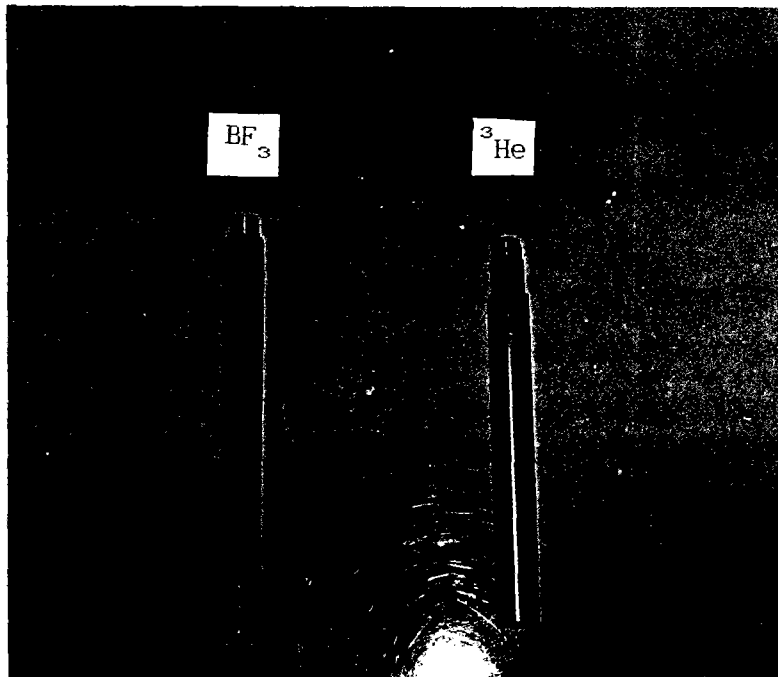
$$E_p = 0.574 \text{ MeV} \quad E_H = 0.191 \text{ MeV}$$

(Knoll. 1979 : 523)

ภาคตัดขวางจุลภาคในการดูดกลืนนิวตรอนสำหรับก๊าซ โบรอน-10 และ ฮีเลียม-3 ภายในหัววัดนิวตรอน เมื่อนิวตรอนมีพลังงานต่าง ๆ แสดงโดยภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 14 กราฟเปรียบเทียบค่าภาคตัดขวางจุลภาคในการดูดกลืนนิวตรอนที่พลังงานต่าง ๆ ของ โบรอน-10 ฮีเลียม-3 และ ลิเทียม- 6



ภาพประกอบ 15 หัววัดนิวตรอนช้า ชนิด BF_3 และ ^3He

2.2 แหล่งจ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage Power Supply) ทำหน้าที่จ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูง และเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นกระแสตรงซึ่งสามารถปรับค่าได้ และจะต้องมีเสถียรภาพในการรักษาศักย์ไฟฟ้าทางขาออก (output) ให้คงที่ ณ จุดที่ตั้งไว้ โดยไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ แวลลุ่ม หรือการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้าในสาย 220 โวลต์

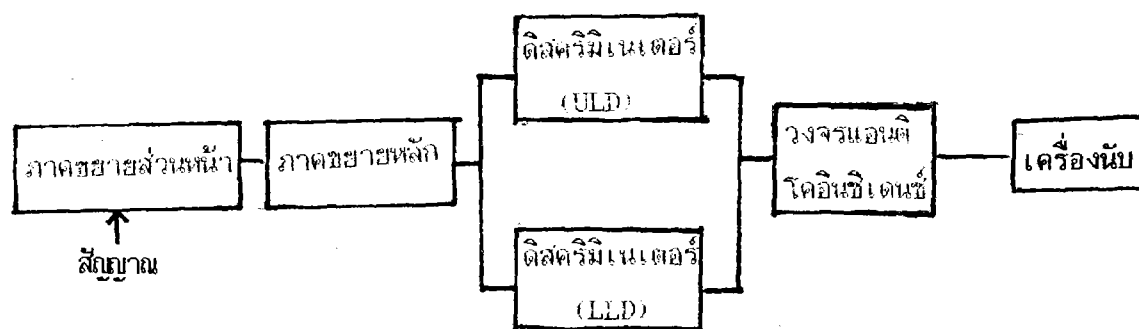
2.3 ภาควิทยาส่งหน้า (Preamplifier) ทำหน้าที่รวบรวมประจุไฟฟ้าที่เกิดจากหัววัดรังสี แล้วเปลี่ยนให้เป็น พัลส์ ซึ่งมีขนาดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานของประจุ

2.4 ภาควิทยาส่งหลัก (Amplifier) เป็นส่วนที่รับพัลส์ จากภาควิทยาส่งหน้า แล้วนำมาปรับแต่งรูปของพัลส์พร้อมกับขยายขนาดของพัลส์ให้เหมาะสมกับการนำไปวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ อัตราการขยายแรงดัน (Voltage gain) สามารถปรับได้ในช่วงกว้างหายา ๆ เป็นขั้น แต่ละขั้นมีการปรับละเอียดเพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของพัลส์เป็นแบบเชิงเส้นต่อเนื่อง กำลังขยายหาได้จาก

$$\text{กำลังขยาย (Amplification)} = \text{course gain} \times \text{fine gain}$$

2.5 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณชนิดช่องเดียว (The Single-Channel Analyzer , SCA)

SCA ทำงานในระบบการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ที่เทียบเท่าระดับพลังงานแบบช่องเดียว สามารถวิเคราะห์ได้ครั้งละ 1 ช่อง หลักการทำงานของ SCA แสดงโดยภาพประกอบ 16



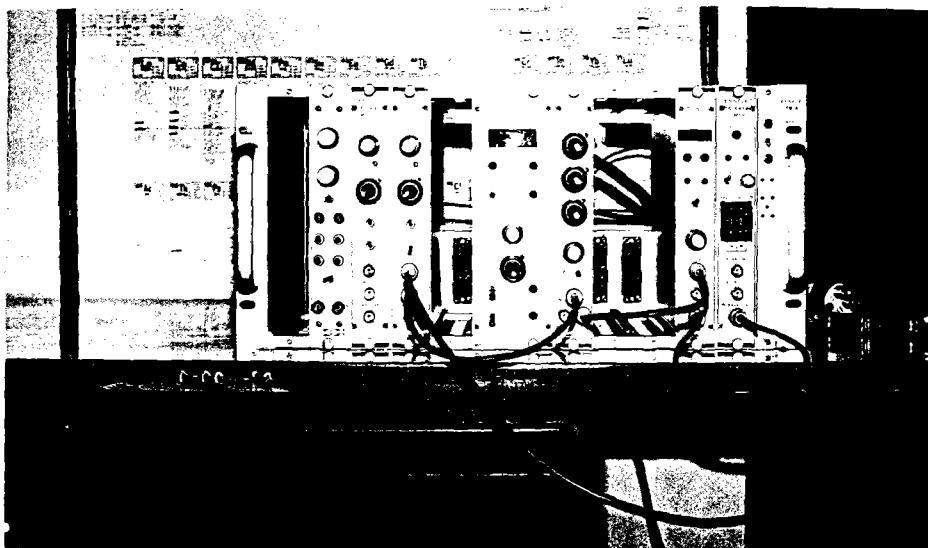
ภาพประกอบ 16 แสดงแผนภาพการทำงานของเครื่องวัดรังสี SCA

ดิสดริมิเนเตอร์ (Discriminator) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตัดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการออกจากการนับ เช่น สิ่งรบกวนทางไฟฟ้า (noise) หรือการรบกวนจากแบ็คกราวด์ (background) ที่มีพลังงานต่ำ นอกจากนี้ยังเป็นส่วนคัดเลือกพัลส์ที่ต้องการเข้าสู่เครื่องนับ (counter)

SCA ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ

1. วงจรดิสดริมิเนเตอร์ 2 ระดับ ได้แก่ ดิสดริมิเนเตอร์ระดับล่าง [Lower Level Discriminator (LLD)] และ ดิสดริมิเนเตอร์ระดับบน [Upper Level Discriminator (ULD)] ผลต่างระหว่าง ULD และ LLD เรียกว่าช่องหน้าต่าง (window width)
2. วงจรแอนติโคอโรนซีเดนซ์ (anticoincidence) ทำหน้าที่รับสัญญาณที่ผ่าน ULD หรือ LLD เท่านั้น

ถ้าพัลส์ที่ส่งออกมาทางขาเข้า (input) มีความสูงระหว่าง LLD และ ULD เครื่อง SCA จะให้พัลส์ทางขาออกมีลักษณะพัลส์เป็น ลอจิกส์ (logic) ที่เครื่องจะมีปฏิกิริยาการทำงานให้เป็นแบบ differential และ integral ถ้าต้องการให้ SCA ทำงานที่ละช่องหน้าต่าง จะต้องปรับปุ่มไว้ที่ differential ถ้าปรับปุ่มไว้ที่ integral เครื่องจะให้พัลส์ที่สูงกว่าที่ตั้งไว้ที่ LLD ทั้งหมด



ภาพประกอบ 17 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณชนิดช่องเดียว SCA

2.6 เครื่องนับ (counter) เป็นอุปกรณ์ที่อยู่หลังดิสดริมิเนเตอร์(Discriminator) เพื่อทำหน้าที่บันทึกพัลส์ที่เกิดขึ้นเป็นตัวเลข

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาหาตำแหน่งของภาชนะบรรจุสารเพื่อให้ได้ค่าความไวมากที่สุดในการนับนิวตรอนช้า มีขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

3.1.1 หาค่าศักย์ไฟฟ้าปฏิบัติการ (Operating Voltage) เพื่อให้ได้ค่าศักย์ไฟฟ้า ที่เหมาะสมกับหัววัดนิวตรอนช้า มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

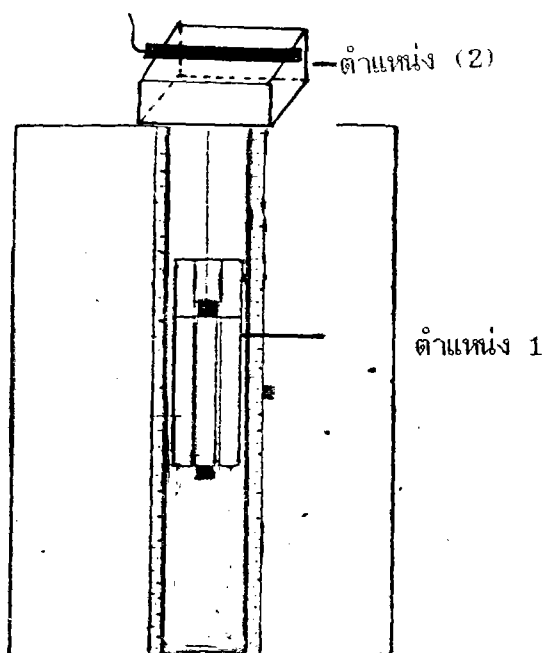
- (1) นำหัววัดนิวตรอนช้าวาง ณ ตำแหน่ง (1) และ (2) ตามลำดับ (ภาพประกอบ 18)
- (2) หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า ศักย์ไฟฟ้าแรงสูง และอัตราการนับนิวตรอน ผลการวัดแสดงโดยตาราง 4.1 (ก), (ข), (ค) และ (ง) และภาพประกอบ 19 (ก), (ข), (ค) และ (ง)
- (3) คำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้าปฏิบัติการ จากพลาโต

3.1.2 หา gain ที่เหมาะสมในการวัด โดยมีขั้นตอนดังนี้

- (1) ตั้ง gain ที่ค่าต่าง ๆ และค่าศักย์ไฟฟ้าอยู่ในช่วงพลาโตเพื่อวัดอัตรานับแบ็คกราวด์ (background) โดยเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าแรงสูงในช่วงพลาโตอัตรานับ แบ็คกราวด์ ที่วัดได้ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ผลการทดลองหาอัตรานับแบ็คกราวด์แสดงโดยตาราง 4.2 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

(2) นำหัววัดนิวตรอนวาง ณ ตำแหน่งที่บริเวณกึ่งกลางของหัววัดนิวตรอนตรงกับตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอน [ตำแหน่ง (1)] และวางบนปากถังของชุดการทดลอง [ตำแหน่ง (2)] แสดงโดยภาพประกอบ 18 ใช้ gain และศักย์ไฟฟ้าปฏิบัติการเท่ากับขั้นตอนการทดลอง ข้อ (1) หาอัตราการนับนิวตรอนของหัววัด ทั้ง 2 ชนิด ที่ตำแหน่ง (1) และ (2) แสดงผลการทดลองโดยตาราง 4.2 (ค)

(3) เปรียบเทียบจำนวนเท่าของอัตรานับนิวตรอนต่ออัตรานับแบ็คกราวด์ ของหัววัด BF_3 และ ^3He ที่ตำแหน่ง (1) และ (2) โดยตาราง 4.2 (ง) โดย gain ที่เหมาะสมจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงของอัตรานับนิวตรอนเมื่อเปลี่ยน ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงในช่วงพลาโตน้อยที่สุด และมีอัตราส่วนของอัตรานับนิวตรอนทั้งตำแหน่ง (1) และ (2) สูงกว่าอัตรานับแบ็คกราวด์ มากกว่า 10 เท่า ผลการเปรียบเทียบจำนวนเท่าแสดงโดยตาราง 4.2 (ง)



ภาพประกอบ 18 แสดงตำแหน่งการวางหัววัดนิวตรอนที่ตำแหน่ง (1) และ (2)

3.1.3 หาปริมาณที่เหมาะสมของสารที่ใช้ในการวัด เนื่องจากนิวตรอนพลังงานปานกลางจะเข้าสู่สารที่ใช้ในการวัดทุกทิศทาง การเพิ่มปริมาณของสารจะทำให้ได้นิวตรอนเข้ามามากขึ้น จนถึงค่าหนึ่งจำนวนนิวตรอนเข้าที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เพราะนิวตรอนเข้าที่เกิดขึ้นจะเกิดการดูดกลืนในตัวเอง (self-absorption) (Helf. 1976 : 280) ดังนั้นในการหา

จำนวนนิวตรอนช้าที่ได้จากสารประกอบไฮโดรเจน ในกรณีที่ปริมาตรของสารคลาดเคลื่อนจากความ เป็นจริงเล็กน้อยจะช่วยลดความผิดพลาดได้ ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

(1) ปรับ gain ของเครื่องวัดรังสี SCA ตามผลการทดลองข้อ 3.1.2 และใช้ค่า ศักย์ไฟฟ้าปฏิบัติการตามผลการทดลองข้อ 3.1.1

(2) หย่อนหัววัดนิวตรอนช้าลงในท่ออลูมิเนียมชั้นในของภาชนะบรรจุสารแบบ (ก) ให้ตำแหน่งของหัววัดของหัววัดอยู่ตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอน [ตำแหน่ง (1)]

(3) ใช้น้ำกลั่นเป็นสารทดสอบ โดยทดสอบตั้งแต่ปริมาตร 100 cm^3 และเพิ่มปริมาตร ของน้ำกลั่นครั้งละ 50 cm^3 จนได้ปริมาตรที่เหมาะสม แต่ละครั้งในการจัดจะต้องจัดให้ตำแหน่งกึ่ง กลางความสูงของสารที่อยู่ในภาชนะบรรจุสารให้ตรงกับตำแหน่งที่วัดอัตราการนับของหัววัด หาอัตรานับ นิวตรอน ผลการทดลองแสดงโดยตาราง 4.3 (ก), (ข) และ ภาพประกอบ 20 (ก), (ข)

(4) เปลี่ยนภาชนะเป็น แบบ (ข) และให้ตำแหน่งหัววัดนิวตรอนอยู่บนภาชนะตามแนว ยาว [ตำแหน่ง (2)] เพิ่มปริมาณน้ำกลั่นเช่นเดียวกับข้อ (3) ผลการทดลองแสดงโดยตาราง 4.4 (ก), (ข) และ ภาพประกอบ 21 (ก), (ข)

(5) หาปริมาตรที่เหมาะสมในการวัด ของภาชนะแบบ (ก) และ แบบ (ข) ณ ตำแหน่ง (1) และ (2) ตามลำดับจากผลการทดลองข้อ (4)

3.1.4 เปรียบเทียบความไวในการนับนิวตรอนช้าของหัววัดชนิดเดียวกันในการวัดสารที่ตำแหน่ง (1) และ (2) โดยใช้ผลการทดลองจากข้อ 3.1.3 และตาราง 4.3 (ก) , (ข) และ ตาราง 4.4 (ก) , (ข) เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตรานับนิวตรอนเมื่อมีน้ำ กับอัตรานับ นิวตรอนขณะไม่มีน้ำ (ΔN) ต่ออัตราการนับนิวตรอนขณะไม่มีน้ำ (N_0) แสดงโดยภาพประกอบ 22

3.2 ศึกษาเปรียบเทียบความไวต่อการนับนิวตรอนช้าของหัววัด BF_3 และ ^3He โดยใช้ผลการทดลองจากข้อ 3.1.3 แสดงผลโดยภาพประกอบ 22

3.3 การสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับสารวัดไฮโดรคาร์บอนชนิดที่เป็นของเหลว มีขั้นตอน การทดลองดังนี้

(1) เลือกสารไฮโดรคาร์บอนที่มีปริมาณไฮโดรเจนต่างกัน หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจน และอัตราการนับนิวตรอน สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณทั้งสองผลการทดลองแสดงโดยตาราง 4.6 และ ภาพประกอบ 23

(2) ทดสอบความแม่นยำของกราฟมาตรฐาน โดยใช้สารที่ทราบปริมาณไฮโดรเจนทดลองหาอัตรานับนิวตรอน แสดงผลการทดลองโดยตาราง 4.7 นำผลที่ได้ทดสอบกับกราฟมาตรฐานใน ภาพประกอบ 23

3.4 สร้างกราฟมาตรฐานสำหรับวัดสารไฮโดรคาร์บอนชนิดที่เป็นผง มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- (1) เลือกใช้ทรายเป็นสารมาตรฐาน สำหรับสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับปริมาณไฮโดรเจน เนื่องจากทรายมีปริมาตรเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อมีความชื้นเกิดขึ้น
- (2) อบทรายที่อุณหภูมิ 100 °C ตรวจสอบน้ำหนักของทราย ที่ระยะเวลาต่างๆ จนน้ำหนักของทรายไม่เปลี่ยนแปลง
- (3) เพิ่มความชื้นของทราย คำนวณหาค่าปริมาณไฮโดรเจนในทราย ผลการทดลองแสดงโดยตาราง 4.8
- (4) สร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับนิวตรอน กับปริมาณไฮโดรเจนในทราย แสดงโดยภาพประกอบ 24
- (5) ทดสอบความแม่นยำของกราฟมาตรฐานกับสารไฮโดรคาร์บอนที่ทราบค่าปริมาณไฮโดรเจน แสดงอัตรานับนิวตรอนโดยตาราง 4.9

3.5 ศึกษาการวัดความชื้นในผลผลิตทางการเกษตรชนิดต่างๆ มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

- (1) เลือกใช้ผลผลิตทางการเกษตรที่ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมากเมื่อความชื้นเปลี่ยนไป 4 ชนิด คือ ข้าว ข้าวเปลือก ข้าวฟ่าง และข้าวโพด
- (2) ดำเนินการทดลองเหมือน ข้อ 3.5 (1) , (2) และ (3) แสดงผลการทดลองโดยตาราง 4.10 (ก) , (ข) , (ค) และ (ง) และภาพประกอบ 25 (ก) , (ข) , (ค) และ (ง) ตามลำดับ
- (3) เปรียบเทียบผลการวัดความชื้นที่ได้จากผลการทดลองกับการวัดโดยใช้เครื่องมือสำเร็จรูปทางการเกษตร (Kett : Grainer II PM-300) ผลเปรียบเทียบแสดงโดยตาราง 4.11

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การทดลองการหาค่าศักย์ไฟฟ้าปฏิบัติการที่เหมาะสมของหัววัด

การทดลองการหาค่าศักย์ไฟฟ้าปฏิบัติการของหัววัดชนิด BF_3 และ ^3He ที่ตำแหน่ง (1) และ (2) ได้ผลดังแสดงในตาราง 4.1 (ก) และ (ข) , 4.2 (ก) และ (ข) ตามลำดับ และผลการทดลองแสดงโดยภาพประกอบ 19 (ก) , (ข) , (ค) และ (ง) ตามลำดับ

ตาราง 4.1(ก) อัตรานับนิวตรอนที่ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงต่าง ๆ ของหัววัด BF_3 ที่ตำแหน่ง (1)

H.V	$N \pm \sigma$	H.V	$\bar{N} \pm \sigma$
1000	1024 ± 32	1400	3373 ± 58
1050	1146 ± 34	1450	3405 ± 58
1100	2014 ± 45	1500	3536 ± 60
1150	2322 ± 48	1550	3691 ± 61
1200	2597 ± 51	1600	3772 ± 61
1250	2759 ± 53	1650	4062 ± 64
1300	2984 ± 55	1700	4716 ± 69
1350	3103 ± 56	1750	7543 ± 87

หมายเหตุ N คือ จำนวนนับนิวตรอนต่อนาที (count per minute , cpm.)

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

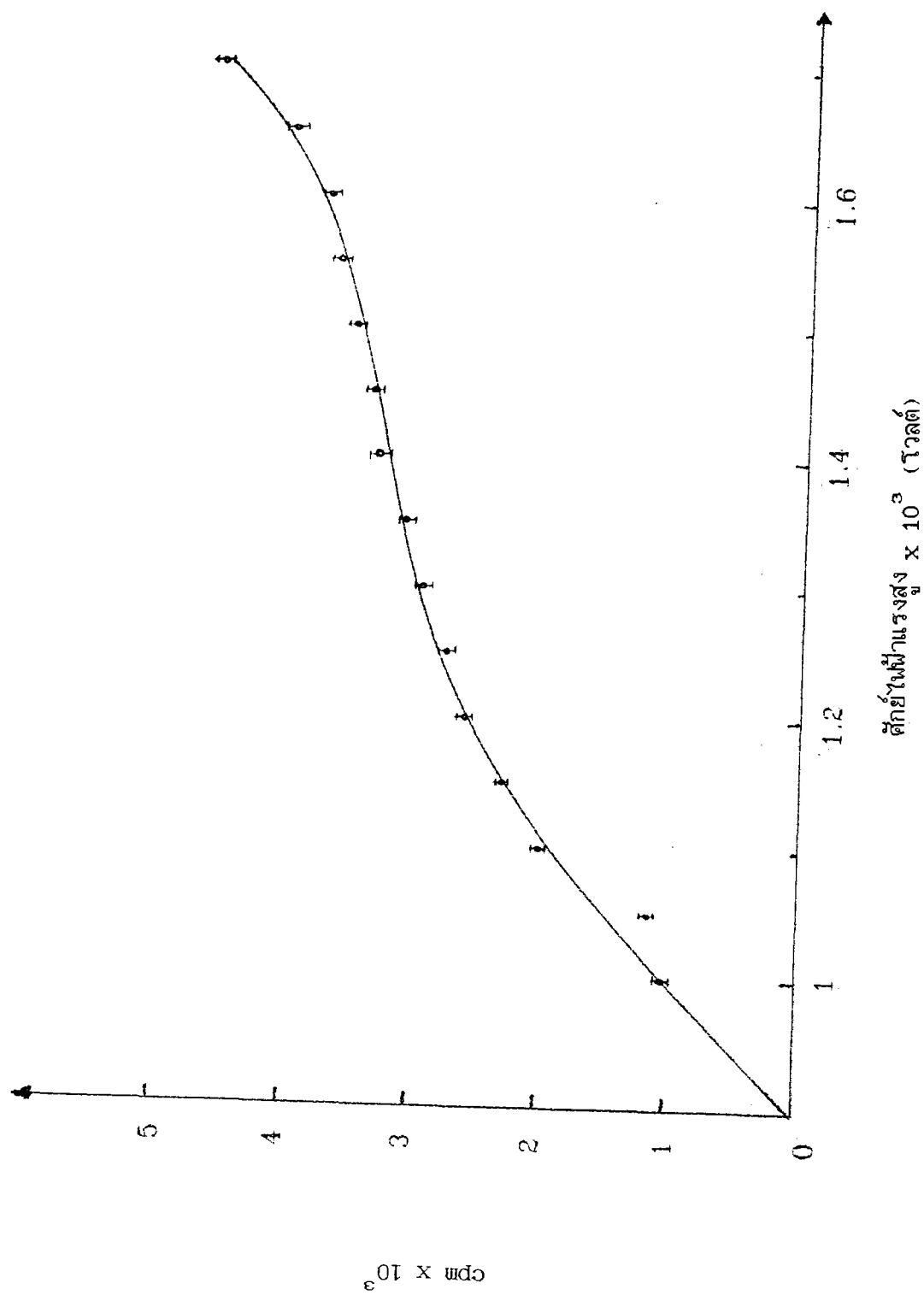
H.V (High Voltage) คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าแรงสูง

จากตาราง 4.1 (ก) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ศักย์ไฟฟ้าแรงสูง และ อัตรานับนิวตรอน โดยภาพประกอบ 19 (ก)

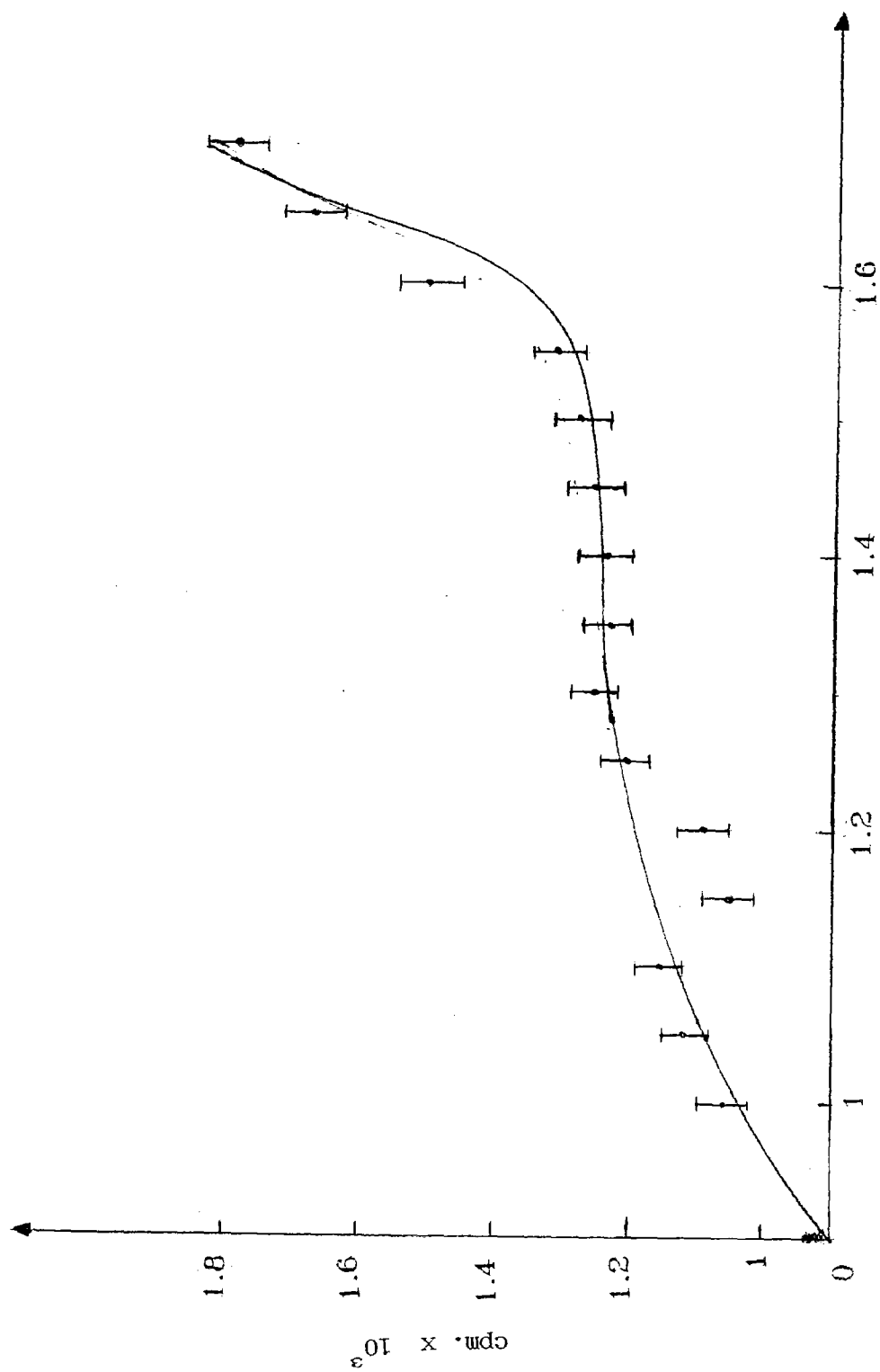
ตาราง 4.1(ข) อัตรานับนิวตรอนที่ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงต่าง ๆ ของหัววัด BF₃ ที่ตำแหน่ง (2)

H.V	N $\pm$ σ	H.V	N $\pm$ σ
1000	1064 $\pm$ 33	1400	1241 $\pm$ 35
1050	1120 $\pm$ 34	1450	1255 $\pm$ 35
1100	1153 $\pm$ 34	1500	1272 $\pm$ 36
1150	1054 $\pm$ 33	1550	1316 $\pm$ 36
1200	1096 $\pm$ 33	1600	1513 $\pm$ 39
1250	1208 $\pm$ 35	1650	1682 $\pm$ 41
1300	1253 $\pm$ 35	1700	1798 $\pm$ 42
1350	1230 $\pm$ 35	1750	1853 $\pm$ 43

จากตาราง 4.1(ข) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ศักย์ไฟฟ้าแรงสูง และ อัตรา
นับนิวตรอน แสดงโดยภาพประกอบ 19 (ข)



ภาพประกอบ 19 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราณิวัตรอยและค่าศักย์ไฟฟ้าแรงสูง
ของหัววัด BF₃ ตำแหน่ง (1)



ตาราง 4.1(ค) อัตรานับนิวตรอนที่ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงต่างๆ ของหัววัด ^3He ที่ตำแหน่ง (1)

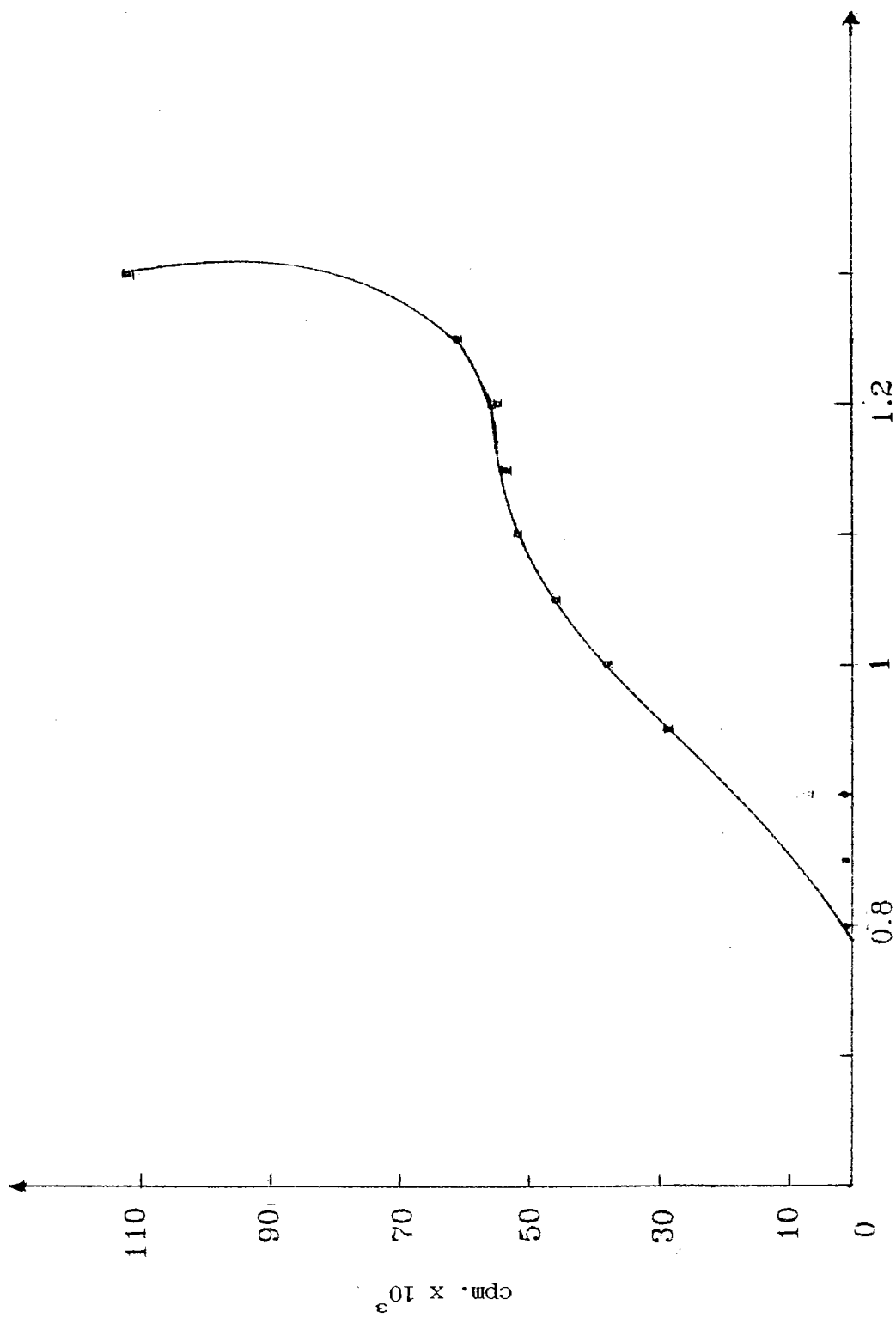
H.V	$N \pm \sigma$	H.V	$N \pm \sigma$
800	681 ± 26	1050	45826 ± 214
850	1510 ± 39	1100	51533 ± 227
900	7505 ± 87	1150	54690 ± 233
950	29463 ± 172	1200	55864 ± 236
1000	38185 ± 195	1250	61668 ± 248
		1300	129300 ± 260

จากตาราง 4.1 (ค) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ศักย์ไฟฟ้าแรงสูง และ อัตรานับนิวตรอน โดยภาพประกอบ 19 (ค)

ตาราง 4.1(ง) อัตรานับนิวตรอนที่ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงต่าง ๆ ของหัววัด ^3He ที่ตำแหน่ง (2)

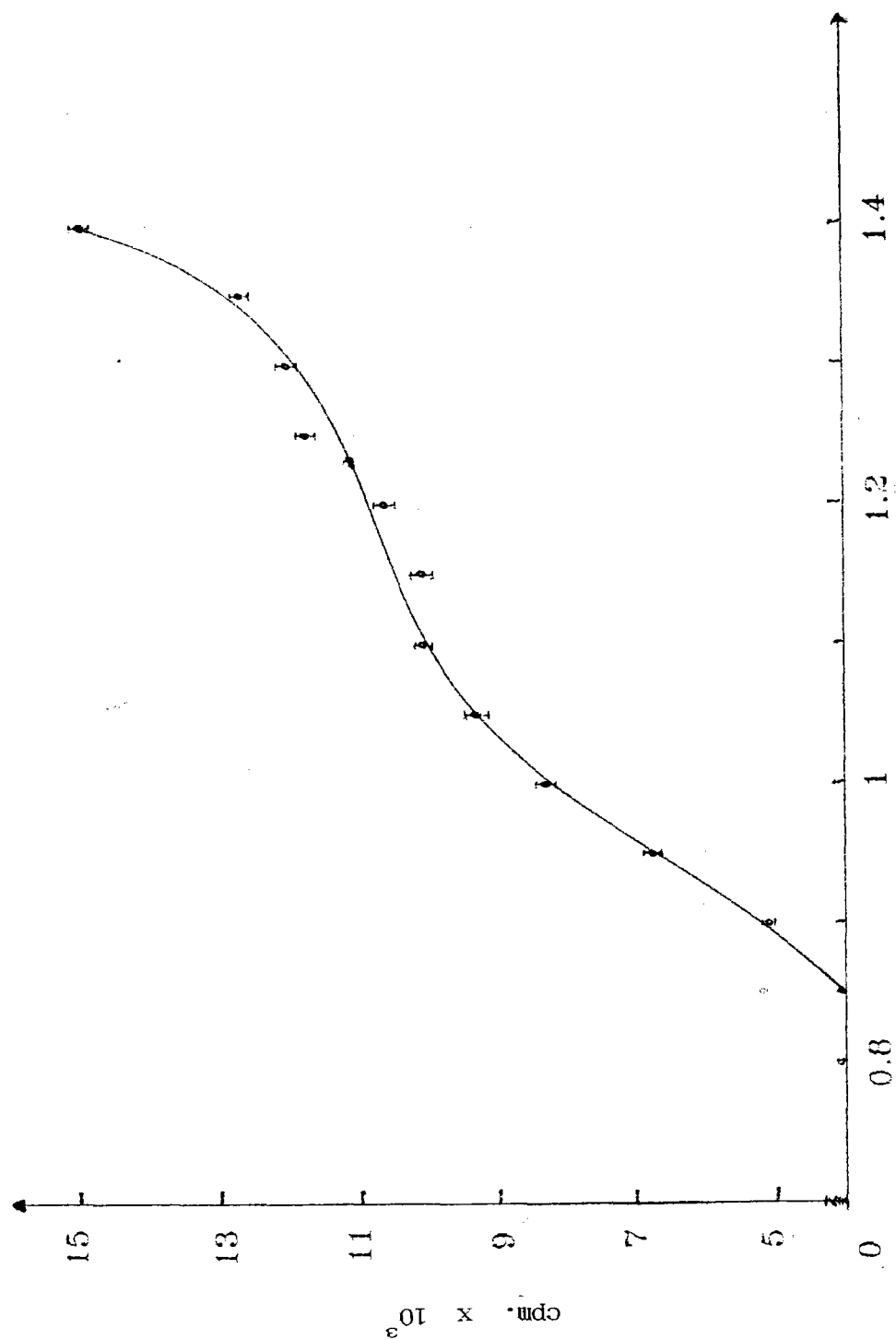
H.V	$N \pm \sigma$	H.V	$N \pm \sigma$
800	185 ± 14	1100	10107 ± 101
850	1578 ± 40	1150	10079 ± 100
900	5140 ± 72	1200	10687 ± 103
950	6868 ± 83	1250	11797 ± 109
1000	8292 ± 91	1300	12037 ± 110
1050	9390 ± 97	1350	12781 ± 113
		1400	15012 ± 123

จากตาราง 4.1(ง) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ศักย์ไฟฟ้าแรงสูง และ อัตรานับนิวตรอนแสดงโดยภาพประกอบ 19 (ง)



ศักย์ไฟฟ้าแรงสูง $\times 10^3$ (โวลต์)

ภาพประกอบ 19 (ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนและค่าศักย์ไฟฟ้าแรงสูง
ของหัววัด ^3He ตำแหน่ง (1)



ศักย์ไฟฟ้าแรงสูง $\times 10^3$ (โวลต์)

ภาพประกอบ 19 (ง) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับนิวตรอนและค่าศักย์ไฟฟ้าแรงสูง

ของฟิวต์ ^3He ตำแหน่ง (2)

พิจารณาภาพประกอบ 19 (ก) พลาโตของห้วงวัด BF_3 ที่ตำแหน่ง (1) อยู่ในช่วง ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงระหว่าง 1400 โวลต์ ถึง 1600 โวลต์ ดังนั้นเลือกจุดที่เป็น 30 % ของช่วงดังกล่าวจะได้ศักย์ไฟฟ้าปฏิบัติการเท่ากับ 1460 โวลต์

พิจารณาภาพประกอบ 19 (ข) พลาโตของห้วงวัด BF_3 ที่ตำแหน่ง (2) อยู่ในช่วง ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงระหว่าง 1250 โวลต์ ถึง 1550 โวลต์ ดังนั้นเลือกจุดที่เป็น 30 % ของช่วงดังกล่าวจะได้ศักย์ไฟฟ้าปฏิบัติการเท่ากับ 1340 โวลต์

พิจารณาภาพประกอบ 19 (ค) พลาโตของห้วงวัด ^3He ที่ตำแหน่ง (1) อยู่ในช่วง ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงระหว่าง 1100 โวลต์ ถึง 1250 โวลต์ ดังนั้นเลือกจุดที่เป็น 30 % ของช่วงดังกล่าวจะได้ศักย์ไฟฟ้าปฏิบัติการเท่ากับ 1145 โวลต์

พิจารณาภาพประกอบ 19 (ง) พลาโตของห้วงวัด ^3He ที่ตำแหน่ง (2) อยู่ในช่วง ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงระหว่าง 1050 โวลต์ ถึง 1350 โวลต์ ดังนั้นเลือกจุดที่เป็น 30 % ของช่วงดังกล่าวจะได้ศักย์ไฟฟ้าปฏิบัติการเท่ากับ 1110 โวลต์

4.2 การทดลองหา gain ที่เหมาะสมในการวัดของหัววัดนิวตรอนช้า BF_3 และ ^3He ที่ตำแหน่งต่างกัน

การทดลองหา gain ที่เหมาะสมในการวัดนิวตรอนช้าของหัววัด BF_3 และ ^3He ที่ตำแหน่ง (1) และ (2) ของชุดการทดลอง แสดงโดยตาราง 4.2 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ

ตาราง 4.2 (ก) อัตรานับ แบ็คกราวด์ ของหัววัดนิวตรอน BF_3

H.V gain	N_1	N_2	$\frac{\Delta N}{N_1} \%$
	1300 โวลต์	1500 โวลต์	
5	59	81	37
6	65	87	33
7	76	116	52
8	78	157	101
9	84	178	111
10	87	182	109
11	97	189	94
12	102	196	92

หมายเหตุ N_1 คือจำนวนนับนิวตรอนต่อหนึ่งนาที เมื่อใช้ H.V 1300 โวลต์
 N_2 คือจำนวนนับนิวตรอนต่อหนึ่งนาที เมื่อใช้ H.V 1500 โวลต์
 ΔN เท่ากับ $N_2 - N_1$

ตาราง 4.2 (ข) อัตรานับ แบ็คกราวด์ ของหัววัด ^3He

H.V gain	N_1	N_2	$\frac{\Delta N}{N_1} \%$
	1100 โวลต์	1200 โวลต์	
5	79	367	364
6	186	491	164
7	193	671	193
8	217	758	284
9	289	1361	370
10	313	1517	384
11	351	1609	359
12	362	1722	375

หมายเหตุ N_1 คือจำนวนนับนิวตรอนต่อหนึ่งนาทีเมื่อใช้ H.V 1100 โวลต์

N_2 คือจำนวนนับนิวตรอนต่อหนึ่งนาทีเมื่อใช้ H.V 1200 โวลต์

ตาราง 4.2 (ค) อัตรานับนิวตรอนที่ตำแหน่ง (1) และ (2) ของหัววัด BF_3 และ ^3He

gain	ชนิดหัววัด	BF_3		^3He	
		ตำแหน่ง (1)	ตำแหน่ง (2)	ตำแหน่ง (1)	ตำแหน่ง (2)
5		813	542	28211	3217
6		1013	674	30217	3678
7		1171	711	31837	5837
8		1211	887	42765	8310
9		1413	897	67819	8470
10		1591	921	83211	8908
11		2103	978	94137	9173
12		2801	1012	112375	9568

หมายเหตุ หัววัด BF_3 วัดที่ H.V 1300 โวลต์
 หัววัด ^3He วัดที่ H.V 1200 โวลต์

ตาราง 4.2 (ง) ตารางเปรียบเทียบจำนวนเท่าของอัตรานับนิวตรอนที่ตำแหน่ง (1) และ (2) ต่ออัตรานับแบคกิ้งกราวด์ของหัววัด BF_3 และ ^3He

gain ชนิดหัววัด	BF_3		^3He	
	ตำแหน่ง (1)	ตำแหน่ง (2)	ตำแหน่ง (1)	ตำแหน่ง (2)
5	13	9	77	9
6	15	9	62	8
7	15	9	47	9
8	14	11	56	11
9	16	11	50	6
10	18	11	55	6
11	21	10	59	6
12	27	10	65	6

หมายเหตุ เปรียบเทียบจำนวนเท่าของอัตรานับนิวตรอนต่ออัตรานับ แบคกิ้งกราวด์ ของหัววัด BF_3 ที่ H.V 1300 โวลต์ และของหัววัด ^3He ที่ H.V 1200 โวลต์

จากตาราง 4.2 (ก) และ (ข) พิจารณา gain 6 หัววัด BF_3 มีการเปลี่ยนแปลงของอัตรานับ แบ็คกราวด์ เมื่อเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าแรงสูงจาก 1300 โวลต์ เป็น 1500 โวลต์ และหัววัด ^3He จาก 1100 โวลต์ เป็น 1200 โวลต์ เท่ากับ 33% และ 164% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบจำนวนเท่าระหว่างอัตราส่วนนิวตรอนที่ตำแหน่ง (1) จากตาราง 4.2 (ค) ต่อ อัตรานับ แบ็คกราวด์ของหัววัดแต่ละชนิด เท่ากับ 15 และ 62 เท่า ตามลำดับ ดังนั้น gain 6 จึงเป็น gain ที่เหมาะสมสำหรับหัววัด BF_3 และ ^3He ที่ตำแหน่ง (1)

จากตาราง 4.2 (ก) และ (ข) พิจารณา gain 12 ของหัววัด BF_3 มีการเปลี่ยนแปลงอัตรานับ แบ็คกราวด์ เมื่อเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าแรงสูงจาก 1300 โวลต์ เป็น 1500 โวลต์ และ gain 8 ของหัววัด ^3He ที่เปลี่ยนจาก 1100 โวลต์ เป็น 1200 โวลต์ เท่ากับ 92% และ 284% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบจำนวนเท่าระหว่างอัตราส่วนนิวตรอนที่ตำแหน่ง (2) จากตาราง 4.2 (ค) ต่อ อัตรานับ แบ็คกราวด์ของหัววัดแต่ละชนิด เท่ากับ 10 และ 11 เท่า ตามลำดับ ดังนั้น gain 12 จึงเหมาะสมกับหัววัด BF_3 และ gain 8 เหมาะสมกับหัววัด ^3He ที่ตำแหน่ง (2)

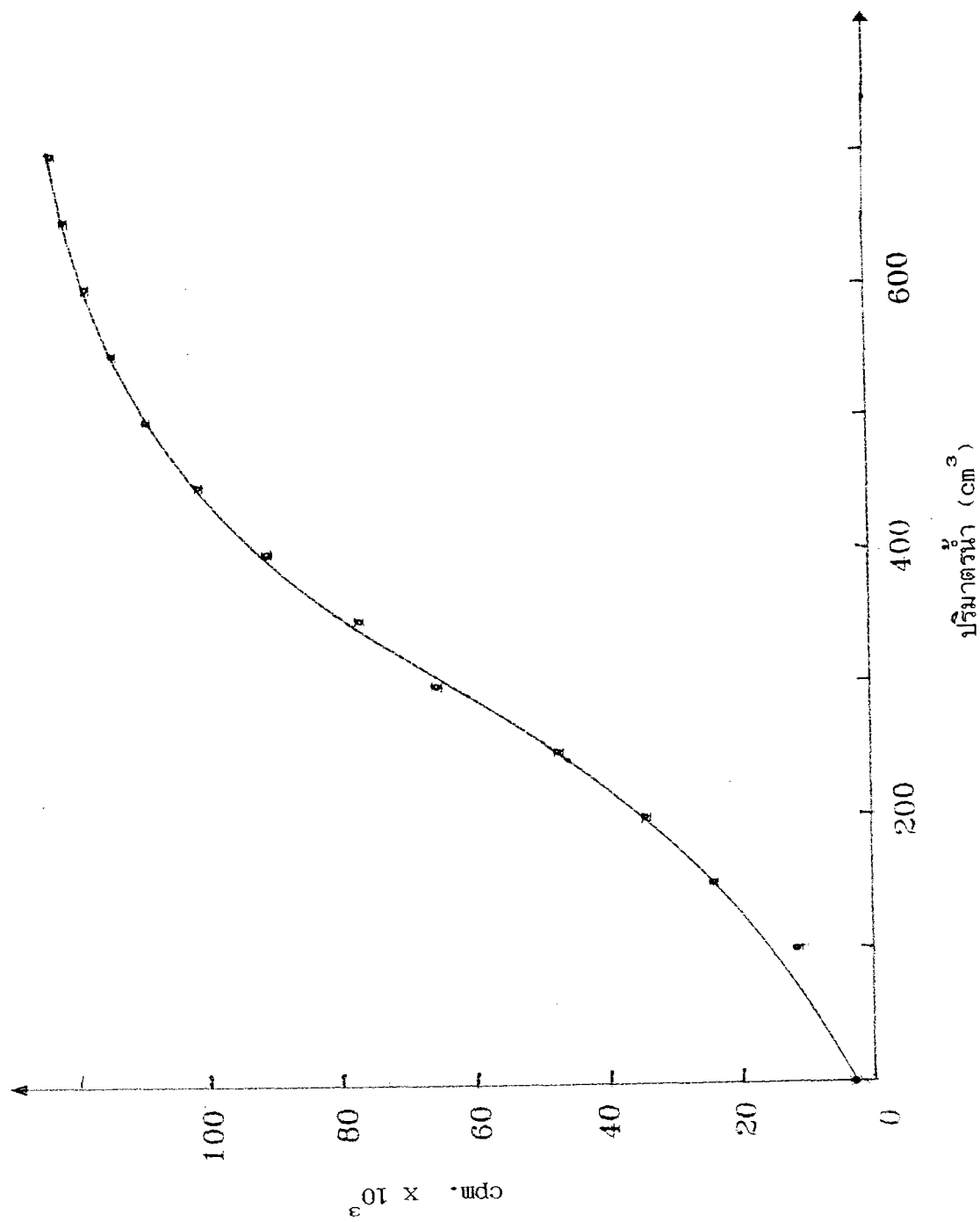
4.3 การทดลองหาปริมาตรที่เหมาะสมของสารที่ใช้ในการวัด

การทดลองหาปริมาตรที่เหมาะสมของสารที่ใช้ในการวัด ของหัววัด BF_3 และ ^3He ที่ตำแหน่ง (1) แสดงโดยตาราง 4.3 (ก) และ (ข) และตำแหน่ง (2) แสดงโดยตาราง 4.4 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

ตาราง 4.3 (ก) แสดงอัตราการนับนิวตรอนของหัววัด BF_3 ที่ตำแหน่ง (1)

เครื่องที่ ปริมาตรน้ำ (cm^3)	N (cpm.)				$\Delta N/N_0$
	1	2	3	$\bar{N} \pm \sigma$	
—	3421	3478	3691	3531 ± 142	—
100	11946	12095	12300	12113 ± 177	2.43
150	24361	23550	24697	24203 ± 580	5.86
200	34587	34728	34417	34577 ± 155	8.79
250	48272	47809	47686	47922 ± 309	12.57
300	65952	66056	65766	65924 ± 208	17.67
350	77279	77564	77317	77386 ± 154	20.92
400	91789	91369	91870	91676 ± 269	24.97
450	100987	101656	101500	101381 ± 350	27.71
500	108749	109326	110038	109371 ± 646	29.98
550	114427	114323	115046	114598 ± 391	31.46
600	118589	118657	118300	118518 ± 190	32.57
650	121089	122045	121341	121493 ± 496	33.42
700	122671	122877	123246	122931 ± 291	33.82

จากตาราง 4.3 (ก) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำและอัตราการนับนิวตรอนได้ภาพประกอบ 20 (ก)



ภาพประกอบ 20 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนและปริมาตรน้ำ ของหัววัด

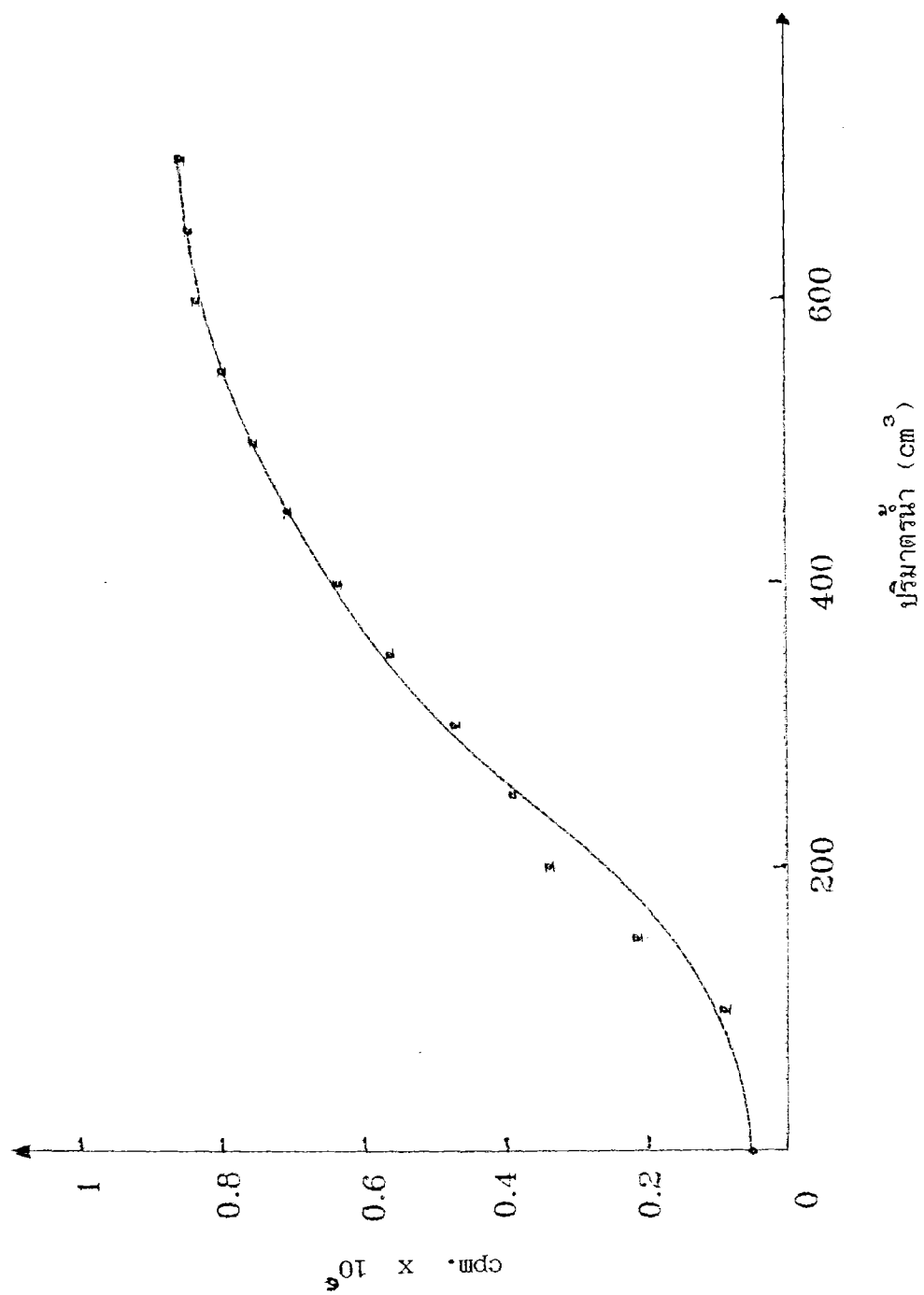
BF_3 ต่ำแรง (1)

ตาราง 4.3 (ข) แสดงอัตราการนับนิวตรอนของหัววัด ^3He ที่ตำแหน่ง (1)

เครื่องวัด ปริมาตรน้ำ (cm^3)	N (cpm.)				$\Delta N/N_0$
	1	2	3	$\bar{N} \pm \sigma$	
—	52557	53581	54878	53630 $\pm$ 1164	—
100	90657	91076	92002	91245 $\pm$ 688	0.7
150	224013	220671	224349	223011 $\pm$ 2034	3.16
200	342143	343012	338166	341107 $\pm$ 2080	5.36
250	389175	395130	398463	394256 $\pm$ 4705	6.35
300	487367	487893	488306	487855 $\pm$ 471	8.09
350	574325	574001	572900	573742 $\pm$ 748	9.69
400	644571	646738	651266	647525 $\pm$ 3416	11.06
450	715471	710872	718039	714794 $\pm$ 3631	12.32
500	765918	768778	772682	769126 $\pm$ 3395	13.33
550	799043	808152	818342	808512 $\pm$ 7607	14.06
600	840568	841985	843891	842148 $\pm$ 1668	14.69
650	854786	855147	857989	855974 $\pm$ 1754	14.95
700	859647	862132	870563	864114 $\pm$ 5722	15.10

จากตาราง 4.3 (ข) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำและอัตราการนับนิวตรอนแสดงโดยภาพประกอบ 20 (ข)

พิจารณาจากกราฟในภาพประกอบ 20(ก) และ (ข) อัตราการนับนิวตรอนมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากที่ปริมาตรน้ำ 500 cm^3 ดังนั้นจึงเป็นปริมาตรที่เหมาะสมที่ตำแหน่ง (1)

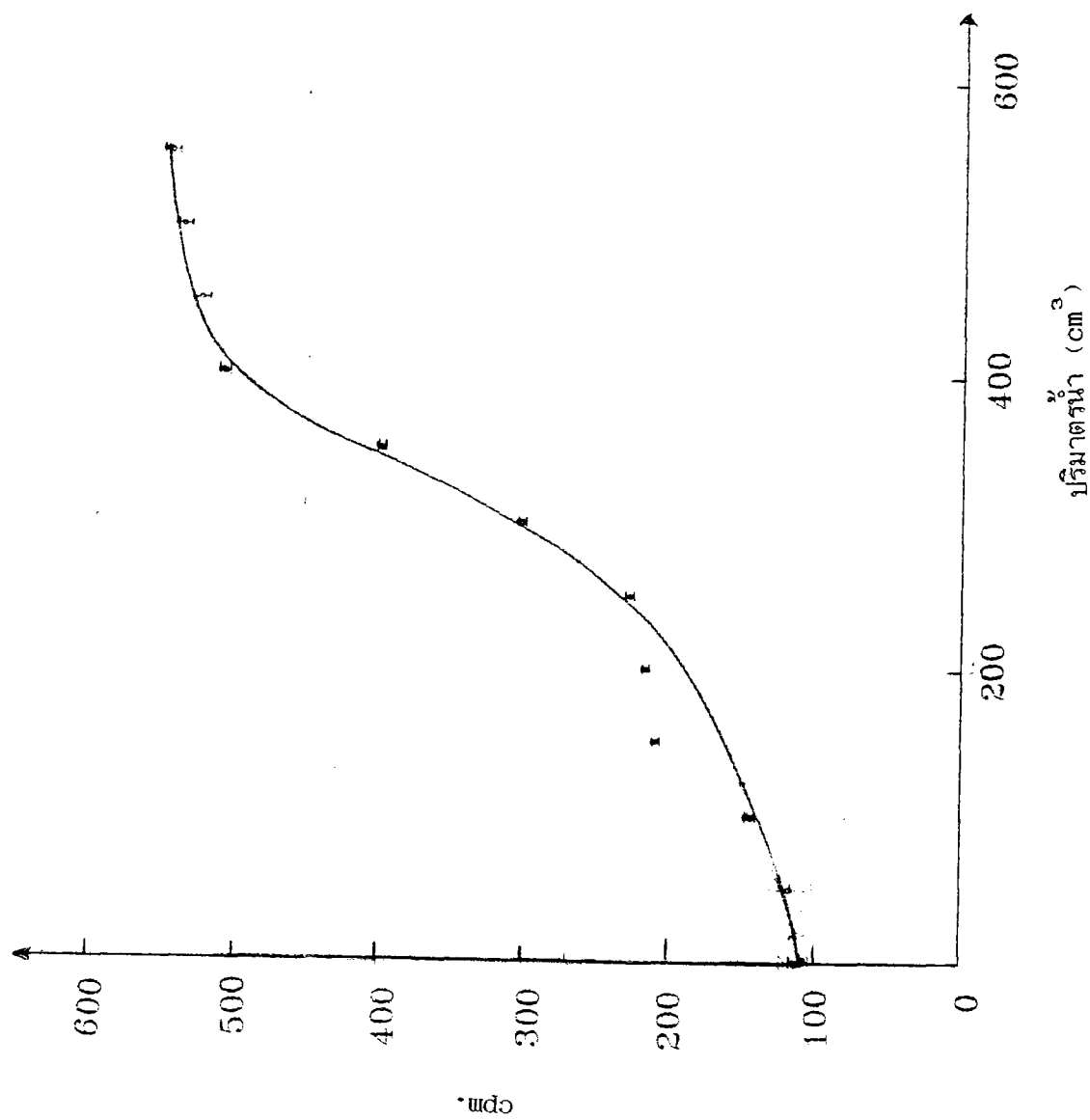


ภาพประกอบ 20 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนกับปริมาตรน้ำ ของหัววัด ³He ตำแหน่ง (1)

ตาราง 4.4 (ก) แสดงอัตราการนับนิวตรอนของหัววัด BF_3 ที่ตำแหน่ง (2)

เครื่องที่ ปริมาตรน้ำ (cm^3)	N (cpm.)				$\Delta N/N_0$
	1	2	3	$\bar{N} \pm \sigma$	
—	112	114	115	114 ± 2	—
50	117	116	118	117 ± 1	0.03
100	189	191	193	191 ± 2	0.68
150	221	218	221	220 ± 2	0.93
200	228	230	232	230 ± 6	1.02
250	249	250	259	253 ± 4	1.22
300	298	304	304	302 ± 4	1.65
350	398	400	402	400 ± 2	2.51
400	525	522	523	523 ± 2	3.59
450	543	547	553	548 ± 5	3.81
500	587	580	578	582 ± 5	4.11
550	590	592	590	591 ± 1	4.18

จากตาราง 4.4 (ก) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำและอัตราการนับนิวตรอนแสดงโดยภาพประกอบ 21 (ก)



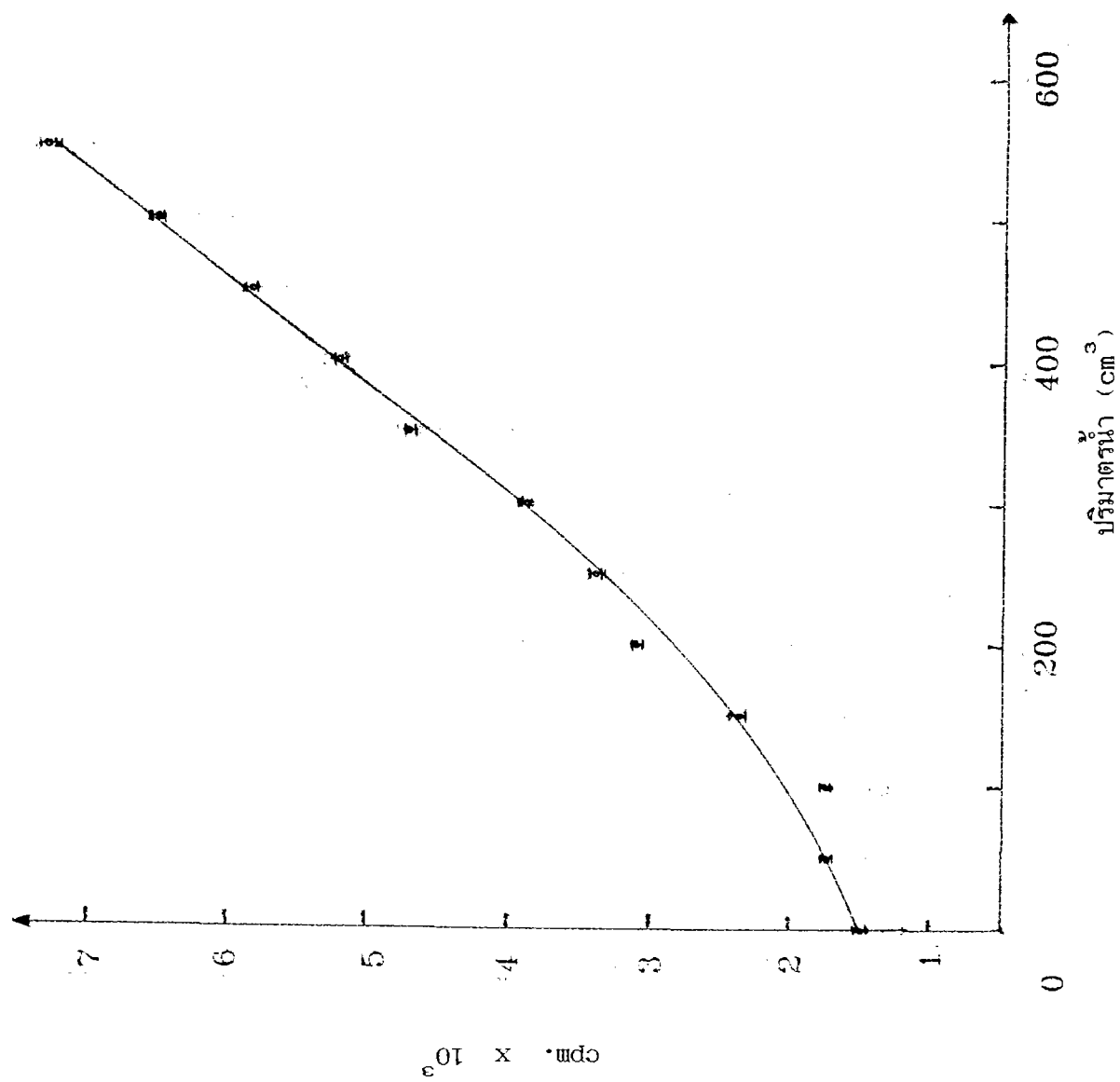
ภาพประกอบ 21 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดวตรอยและปริมาตรน้ำ ของหัววัด BF_3 ตำแหน่ง (2)

ตาราง 4.4 (ข) แสดงอัตราการนับนิวตรอนของหัววัด ^3He ที่ตำแหน่ง (2)

ครั้งที่ ปริมาตรน้ำ (cm³)	N (cpm.)				$\Delta N/N_o$
	1	2	3	$\bar{N} \pm \sigma$	
—	1506	1503	1505	1505+2	—
50	1740	1745	1748	1744+4	0.16
100	1738	1752	1767	1752+2	0.16
150	2391	2385	2401	2392+15	0.59
200	3229	3231	3235	3232+3	1.15
250	3407	3403	3409	3406+3	1.26
300	3931	3926	3928	3928+3	1.61
350	4759	4765	4759	4761+4	2.16
400	5225	5229	5230	5228+3	2.47
450	5874	5886	5895	5885+11	2.91
500	6532	6540	6531	6534+5	3.34
550	7468	7476	7459	7468+7	3.96

จากตาราง 4.4 (ข) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำและอัตราการนับนิวตรอนแสดงโดยภาพประกอบ 21 (ข)

พิจารณาจากกราฟในภาพประกอบ 21 (ก) และ (ข) ที่ปริมาตรน้ำ 400 cm³ อัตราการนับนิวตรอนมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่น ดังนั้นที่ปริมาตรน้ำ 400 cm³ ดังนั้นจึงเป็นปริมาตรที่เหมาะสมที่ตำแหน่ง (2)



ภาพประกอบ 21 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนและปริมาณน้ำ ของหัววัด ³He ตำแหน่ง (2)

4.4 การทดลองเพื่อศึกษาเปรียบเทียบความไวในการนับนิวตรอนช้าของหัววัดชนิดเดียวกันในการวัดสารที่ตำแหน่ง (1) และ (2)

โดยใช้ผลการทดลองจากข้อ 3.1.3 และจากตาราง 4.3 (ก) , (ข) ตาราง 4.4 (ก) , (ข) เปรียบเทียบอัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงอัตรานับนิวตรอนนิวตรอนเมื่อมีน้ำ กับขณะไม่มีน้ำ (ΔN) ต่ออัตราการนับนิวตรอนขณะไม่มีน้ำ (N_0) เพื่อศึกษาผลของตำแหน่งในการวางภาชนะบรรจุสารที่ตำแหน่ง (1) และ (2) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตรน้ำ กับ $\Delta N/N_0$ โดยภาพประกอบ 22

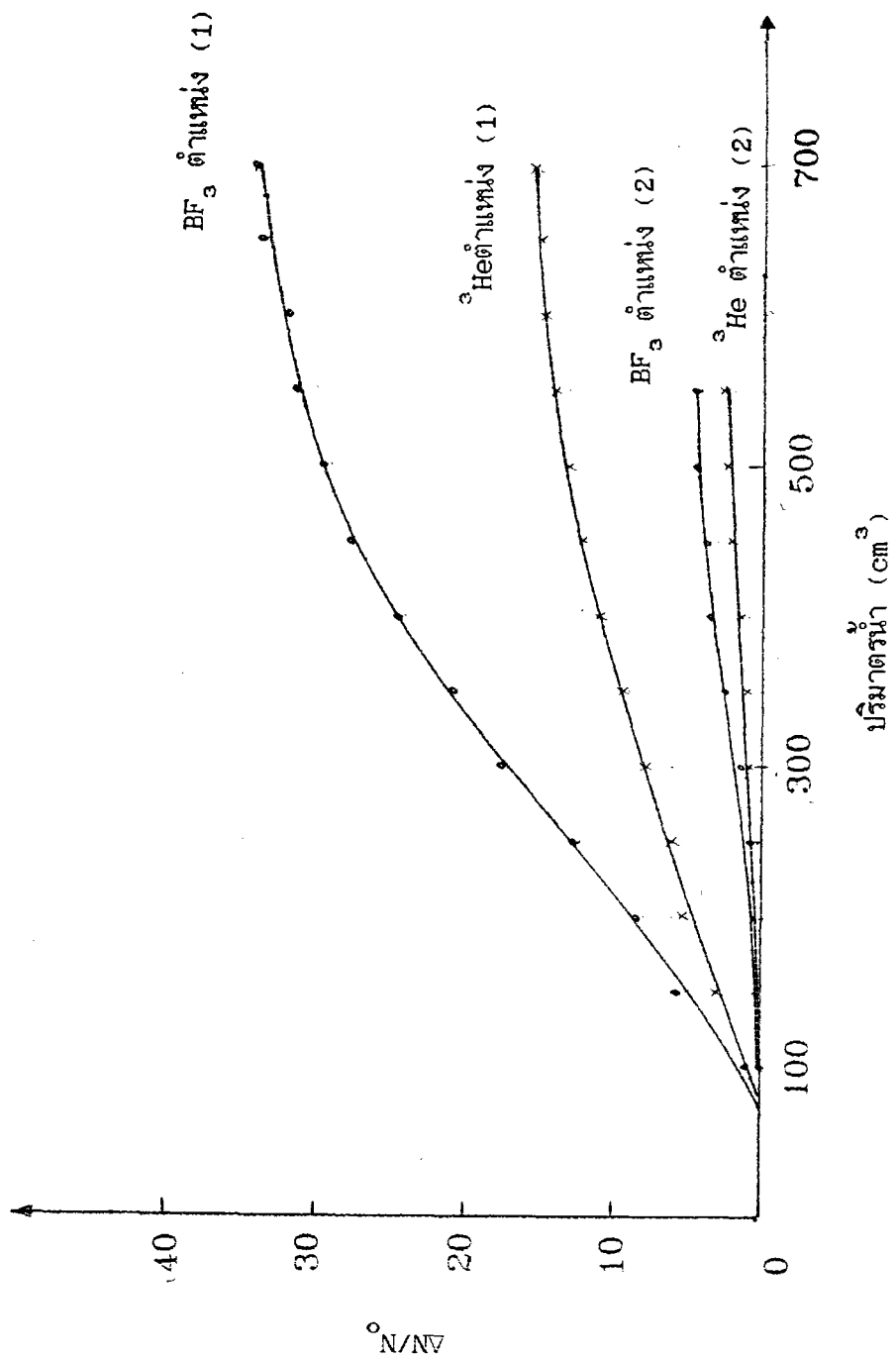
จากภาพประกอบ 22 เมื่อพิจารณาค่า $\Delta N/N_0$ ที่ปริมาตรต่างๆของน้ำของหัววัดชนิด BF_3 ที่ตำแหน่ง (1) เทียบกับตำแหน่ง (2) ค่า $\Delta N/N_0$ ที่ตำแหน่ง (1) จะมีค่าสูงกว่าที่ตำแหน่ง (2) ทุกตำแหน่ง พิจารณาที่ปริมาตรน้ำ 400 cm^3 ที่ตำแหน่ง (1) มีค่า $\Delta N/N_0$ สูงกว่าที่ตำแหน่ง (2) 6.84 เท่า และที่ปริมาตรน้ำ 500 cm^3 ค่า $\Delta N/N_0$ สูงกว่าที่ตำแหน่ง (2) 7.87 เท่า

หัววัด ^3He ค่า $\Delta N/N_0$ ที่ปริมาตรต่างๆของน้ำที่ตำแหน่ง (1) มีค่าสูงกว่าที่ตำแหน่ง (2) ทุกตำแหน่งเช่นกัน และที่ปริมาตรน้ำ 400 cm^3 ที่ตำแหน่ง (1) ค่า $\Delta N/N_0$ สูงกว่าที่ตำแหน่ง (2) 4.59 เท่า ที่ปริมาตรน้ำ 500 cm^3 ค่า $\Delta N/N_0$ สูงกว่าที่ตำแหน่ง (2) 3.40 เท่า

จากผลการทดลองดังกล่าวสรุปว่าที่ตำแหน่ง (1) จะมีความไวในการนับนิวตรอนช้าสูงกว่าที่ตำแหน่ง (2) ดังนั้นในการศึกษาการหาปริมาณไฮโดรเจนในสารประกอบจะเลือกใช้ตำแหน่งการวัดนิวตรอนที่ตำแหน่ง (1)

4.5 การทดลองเพื่อศึกษาเปรียบเทียบความไวต่อการนับนิวตรอนของหัววัด BF_3 และ ^3He

โดยใช้ผลการทดลองจากข้อ 3.1.3 และตาราง 4.3 (ก) , (ข) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตรน้ำ และ $\Delta N/N_0$ ของหัววัดทั้งสองชนิด ดังแสดงโดยภาพประกอบ 22 สรุปได้ว่าที่ตำแหน่งต่างๆของปริมาตรน้ำค่า $\Delta N/N_0$ ของหัววัด BF_3 สูงกว่า หัววัด ^3He และที่ปริมาตรน้ำ 500 cm^3 ค่า $\Delta N/N_0$ ของหัววัด BF_3 สูงกว่า หัววัด ^3He 2.25 เท่า ดังนั้นการศึกษการหาปริมาณไฮโดรเจนในสารประกอบจะเลือกใช้หัววัดชนิด BF_3 ในการวัดนิวตรอนช้า



ภาพประกอบ 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\Delta N/N_0$ และปริมาตรน้ำ ของหัววัด BF₃ และ ³He
ตัวแก๊ส (1) และ (2)

4.6 การสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับสารไฮโดรคาร์บอนชนิดที่เป็นของเหลว

การทดลองขั้นนี้เลือกใช้สารไฮโดรคาร์บอนชนิดที่เป็นของเหลวโดยพิจารณาสารไฮโดรคาร์บอนที่มีปริมาณไฮโดรเจน (hydrogen content) ต่าง ๆ กัน และมีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน ตาราง 4.5 แสดงคุณสมบัติของสารไฮโดรคาร์บอน 5 ชนิดสำหรับวัดอัตราการนับนิวตรอนที่ปริมาตร 500 cm^3 ที่ตำแหน่ง (1) โดยใช้หัววัด BF_3 ผลการทดลองการวัดนิวตรอนของสารไฮโดรคาร์บอนทั้ง 5 ชนิดแสดงโดยตาราง 4.6 และภาพประกอบ 23

ตาราง 4.5 คุณสมบัติของสารที่ใช้วัดปริมาณไฮโดรเจน

สาร	สูตรโมเลกุล	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ปริมาณไฮโดรเจน	
			mg/cm^3	wt. %
เบนซีน	C_6H_6	0.87865	68.00	7.74
โทลูอีน	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	0.87160	76.27	8.75
ไซลีน	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$	0.8811	83.62	9.49
n-เฮกเซน	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$	0.65937	107.97	16.37
ไซโคลเฮกเซน	C_6H_{12}	0.7786	111.90	14.37
น้ำ	H_2O	1.00	111.91	11.19

หมายเหตุ กราฟมาตรฐานในภาพประกอบ 23 ถึง ภาพประกอบ 25 (ง) ปรับค่ากราฟโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least squares method)

ตาราง 4.6 แสดงผลอัตราการนับนิวตรอนของสารไฮโดรคาร์บอน

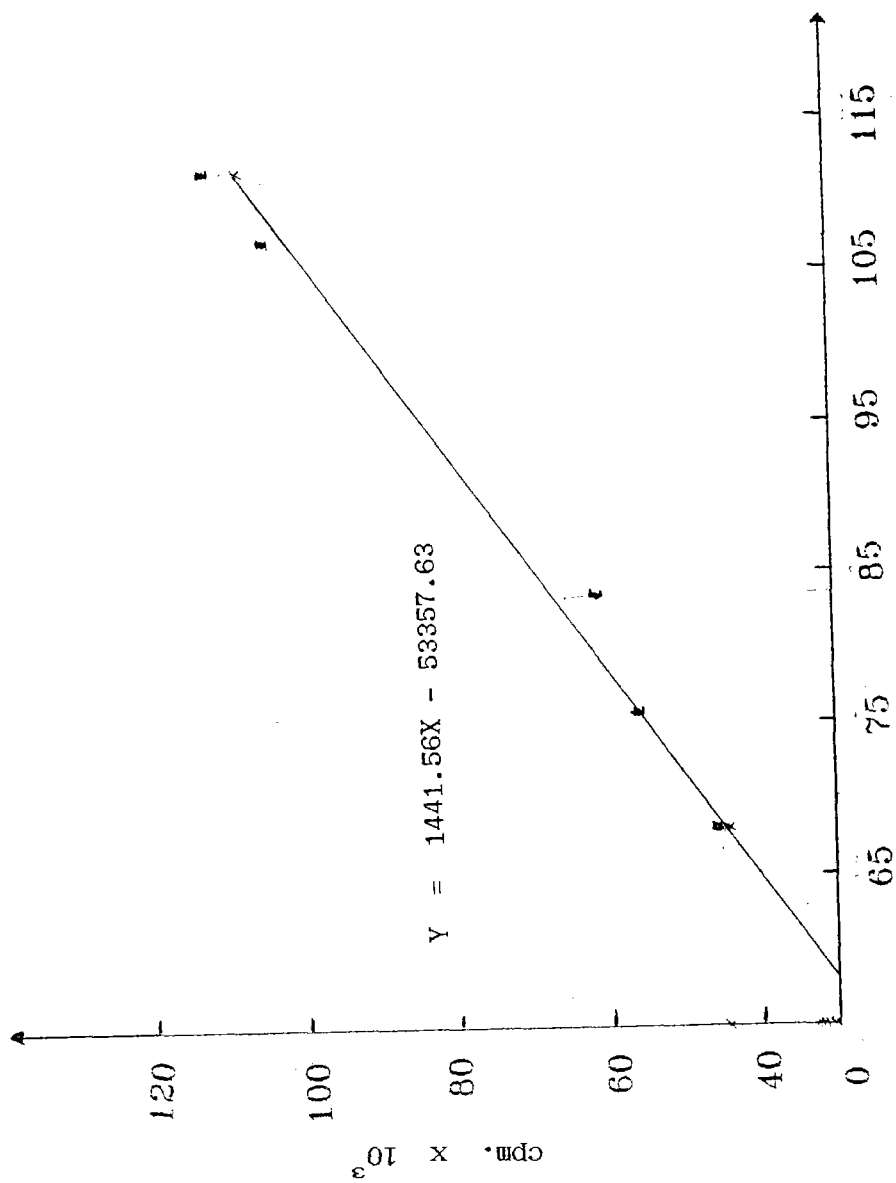
เครื่องที่ สาร	N (cpm.)			
	1	2	3	$\bar{N} \pm \sigma$
เบนซีน	45015	45679	45204	45329 $\pm$ 344
โทลูอีน	55735	56201	55856	55930 $\pm$ 242
ไซลีน	60852	61398	61617	61289 $\pm$ 394
n-เฮกเซน	103968	104058	104672	104032 $\pm$ 455
ไซโคลเฮกเซน	111980	112450	111881	112103 $\pm$ 304

จากผลการทดลองเขียนกราฟมาตรฐานระหว่างอัตราการนับนิวตรอนและปริมาณไฮโดรเจนของสารไฮโดรคาร์บอนชนิดต่าง ๆ ทั้ง 5 ชนิด โดยภาพประกอบ 23

จากกราฟในภาพประกอบ 23 ใช้น้ำเป็นสารทดสอบความแม่นยำของกราฟมาตรฐานได้ผลการทดลองดังนี้

ตาราง 4.7 แสดงผลอัตราการนับนิวตรอนของน้ำ

เครื่องที่ สาร	N (cpm.)			
	1	2	3	$\bar{N} \pm \sigma$
น้ำ	108749	109326	110038	109371 $\pm$ 646



ปริมาณไฮโดรเจน (mg/ml)

ภาพประกอบ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนและปริมาณไฮโดรเจน ของสารประกอบไฮโดรเจนที่เป็นของเหลว

นำผลการทดลองหาอัตราการนับนิวตรอนของสารไฮโดรคาร์บอนทั้ง 5 ชนิด จากตาราง 4.6 และน้ำ จากตาราง 4.7 หาค่าปริมาณไฮโดรเจนจากกราฟมาตรฐานในภาพประกอบ 23 ได้ผลการหาค่าปริมาณไฮโดรเจนจากผลการทดลองต่างจากปริมาณไฮโดรเจนของแต่ละสารตามลำดับดังนี้ เบนซีน $0.001 \pm 0.0001\%$ โทลูอีน $0.11 \pm 0.04\%$ ไซลีน $1.01 \pm 0.07\%$ n-เฮกเซน $0.37 \pm 0.09\%$ ไซโคลเฮกเซน $0.74 \pm 0.09\%$ และ น้ำ $0.19 \pm 0.09\%$ โดยน้ำหนัก

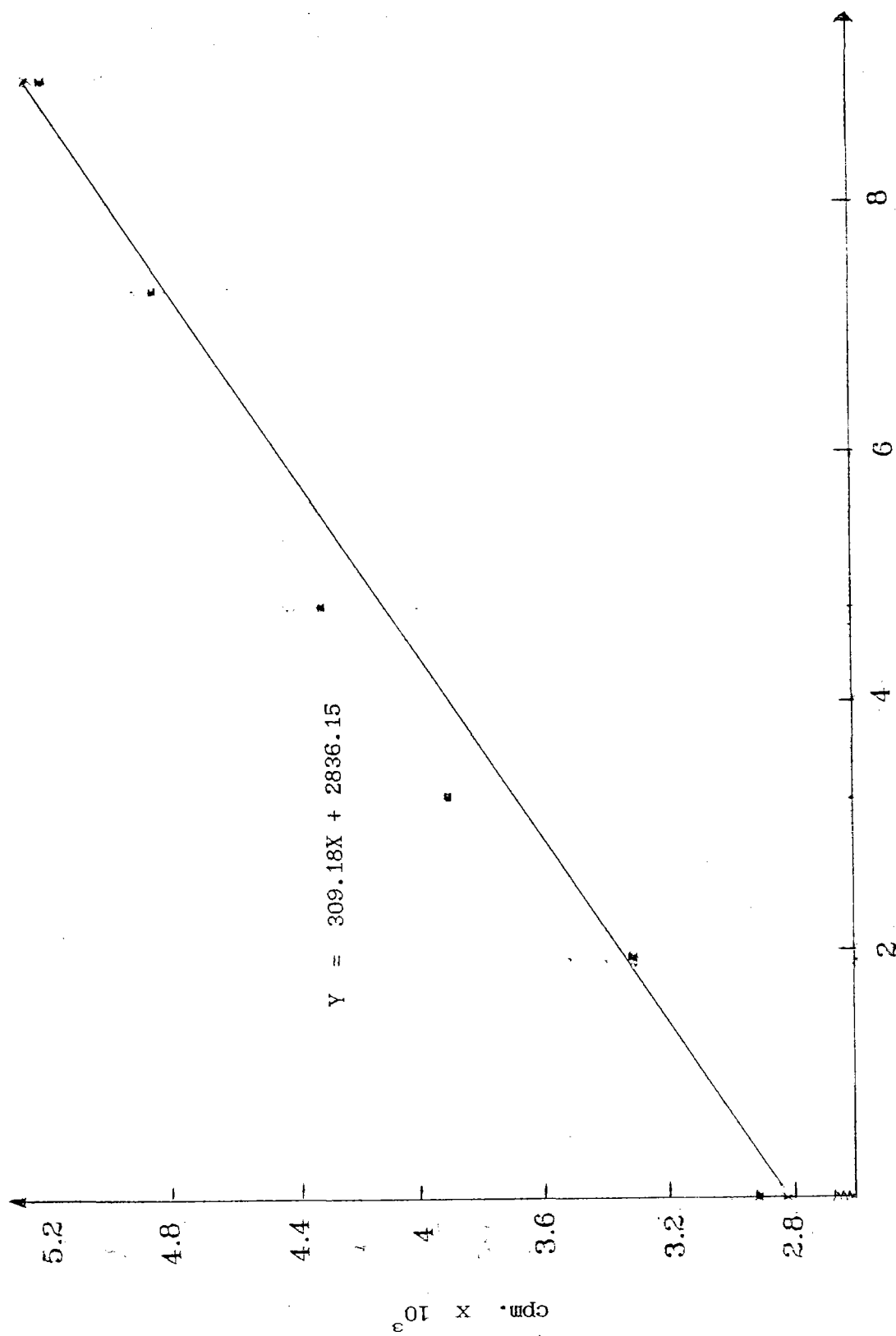
4.7 การสร้างกราฟมาตรฐานหาปริมาณไฮโดรเจนของสารที่เป็นผง

การทดลองสร้างกราฟมาตรฐานหาปริมาณไฮโดรเจนของสารชนิดที่เป็นผงโดยเลือกใช้ทรายเป็นสารเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนซึ่งสามารถนำไปเทียบกับปริมาณไฮโดรเจนในความชื้นของทราย แสดงผลการทดลองโดยตาราง 4.8 และภาพประกอบ 24

ตาราง 4.8 แสดงอัตราการนับนิวตรอนของทรายที่ความชื้นต่าง ๆ

ความชื้น % โดยน้ำหนัก	ปริมาณไฮโดรเจน (g)	N (cpm.)			
		1	2	3	$\bar{N} \pm \sigma$
—	—	2924	2980	2860	2921 ± 60
2.40	1.92	3319	3349	3409	3359 ± 46
4.08	3.26	3797	3786	3907	3830 ± 67
5.92	4.73	4031	4231	4217	4249 ± 156
7.35	5.87	4695	4766	4768	4743 ± 42
9.03	7.22	5018	4987	5073	5026 ± 44

หมายเหตุ น้ำหนักทรายที่ปริมาตร 500 cm^3 เท่ากับ 714.12 g



ปริมาณไฮโดรเจน (g)
 ภาพประกอบ 24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนกับปริมาณไฮโดรเจนในทราย

ทดสอบความแม่นยำของกราฟมาตรฐานในภาพประกอบ 24 โดยใช้ น้ำตาลซูโครส ($C_{12}H_{22}O_{11}$) น้ำหนักโมเลกุล 318.22 g มีปริมาณไฮโดรเจน 6.97% โดยน้ำหนักได้ผลการทดลองดังนี้

ตาราง 4.9 แสดงผลอัตราการนับนิวตรอนของ น้ำตาลซูโครส

เครื่อง สาร	N (cpm.)			
	1	2	3	$\bar{N} \pm \sigma$
น้ำตาลซูโครส	34211	34530	34302	34348 $\pm$ 164

หมายเหตุ น้ำหนักน้ำตาลซูโครส เท่ากับ 589.809 g มีปริมาณไฮโดรเจน 41.11 g

เมื่อนำค่าอัตราการนับนิวตรอนของ น้ำตาลซูโครสจากตาราง 4.9 เทียบกับกราฟมาตรฐานระหว่างอัตราการนับนิวตรอนกับปริมาณไฮโดรเจนในภาพประกอบ 24 จะได้ปริมาณไฮโดรเจนเท่ากับ 101.92 $\pm$ 0.53 g ดังนั้น ผลการวัดปริมาณไฮโดรเจนจากการทดลองได้ผลแตกต่างจากปริมาณไฮโดรเจนของ น้ำตาลซูโครสเท่ากับ 10.32 $\pm$ 0.08% โดยน้ำหนัก

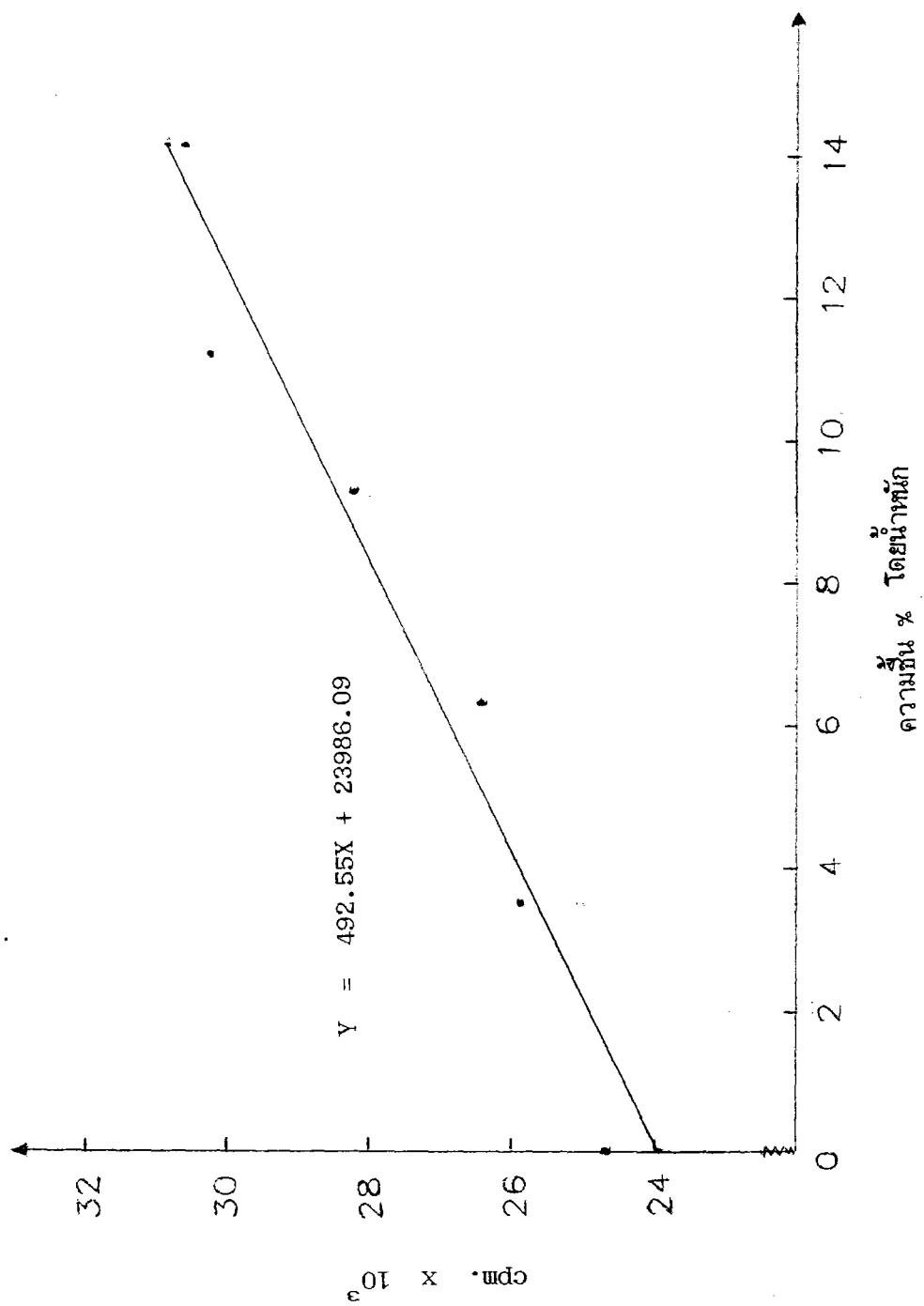
4.8 กราฟมาตรฐานของผลผลิตทางการเกษตร

การทดลองสร้างกราฟมาตรฐานของผลผลิตทางการเกษตร 4 ชนิด ได้แก่ ข้าว , ข้าวเปลือก , ข้าวฟ่าง และข้าวโพด ได้ผลการทดลองแสดงโดยตาราง 4.10 (ก) , (ข) , (ค) และ (ง) และสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างอัตราการนับนิวตรอนและปริมาณความชื้น โดยภาพประกอบ 25 (ก) , (ข) , (ค) และ (ง) ตามลำดับ

ตาราง 4.10 (ก) อัตราการนับนิวตรอนของข้าว

ความชื้น% โดยน้ำหนัก	N (cpm.)			
	1	2	3	$\bar{N} \pm \sigma$
—	24107	24371	24842	24440 $\pm$ 372
3.49	25872	26101	25936	25969 $\pm$ 118
6.32	26225	26719	26201	26381 $\pm$ 292
9.25	28176	28370	28341	28295 $\pm$ 148
11.58	30264	30353	30152	30256 $\pm$ 101
14.15	30411	30844	30636	30636 $\pm$ 217

หมายเหตุ น้ำหนักข้าวที่ปริมาตร 500 cm³ เท่ากับ 378.235 g



ภาพประกอบ 25 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนและความชื้นในข้าว

ตาราง 4.10 (ข) อัตราการนับนิวตรอนของข้าวเปลือก

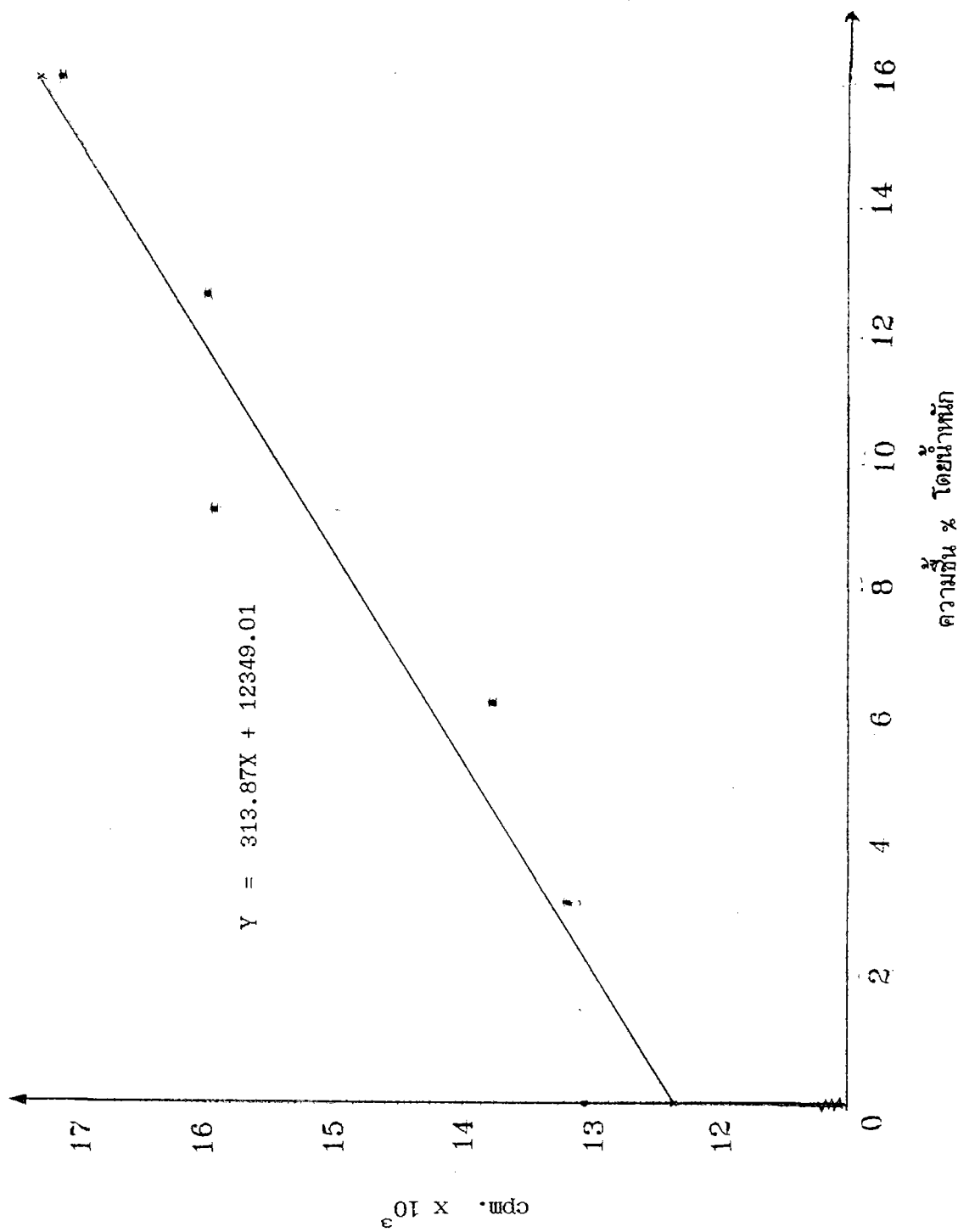
ความชื้น% โดยน้ำหนัก	N (cpm.)			
	1	2	3	$\bar{N} \pm \sigma$
—	13055	13112	12986	13051 $\pm$ 63
3.15	13189	13157	13168	13171 $\pm$ 16
6.22	13679	13732	13887	13766 $\pm$ 108
9.65	15899	15987	15841	15909 $\pm$ 74
12.67	15927	16123	15920	15990 $\pm$ 115
15.96	17058	17212	17220	17163 $\pm$ 91

หมายเหตุ น้ำหนักข้าวเปลือกปริมาตร 500 cm³ เท่ากับ 294.701 g

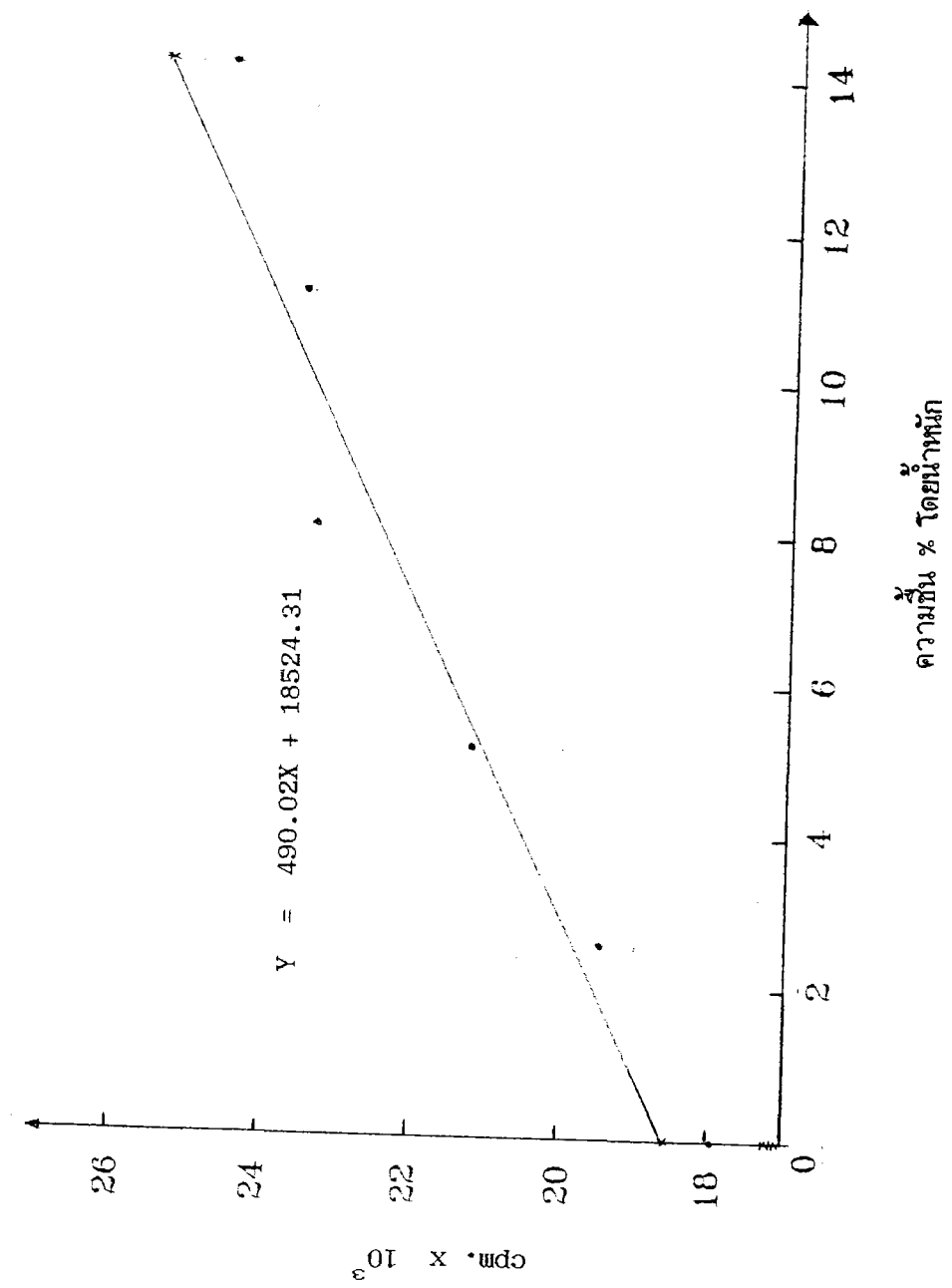
ตาราง 4.10 (ค) อัตราการนับนิวตรอนของข้าวฟ่าง

ความชื้น% โดยน้ำหนัก	N (cpm.)			
	1	2	3	$\bar{N} \pm \sigma$
—	17992	18057	17842	17963 $\pm$ 110
2.55	19341	19408	19651	19466 $\pm$ 163
5.26	21631	22520	21763	21971 $\pm$ 480
8.06	23611	23600	23689	23633 $\pm$ 49
11.19	23890	23577	23622	23709 $\pm$ 170
14.11	24657	24517	24651	24578 $\pm$ 87

หมายเหตุ น้ำหนักข้าวฟ่างปริมาตร 500 cm³ เท่ากับ 325.081 g



ภาพประกอบ 25 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการนับนิวตรอนและความชื้นในข้าวเปลือก



ภาพประกอบ 25 (ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการณ์ดูดกลืนอินฟราเรดและความชื้นในน้ำฟาง

ตาราง 4.10 (ง) อัตราการนับนิวตรอนของข้าวโพด

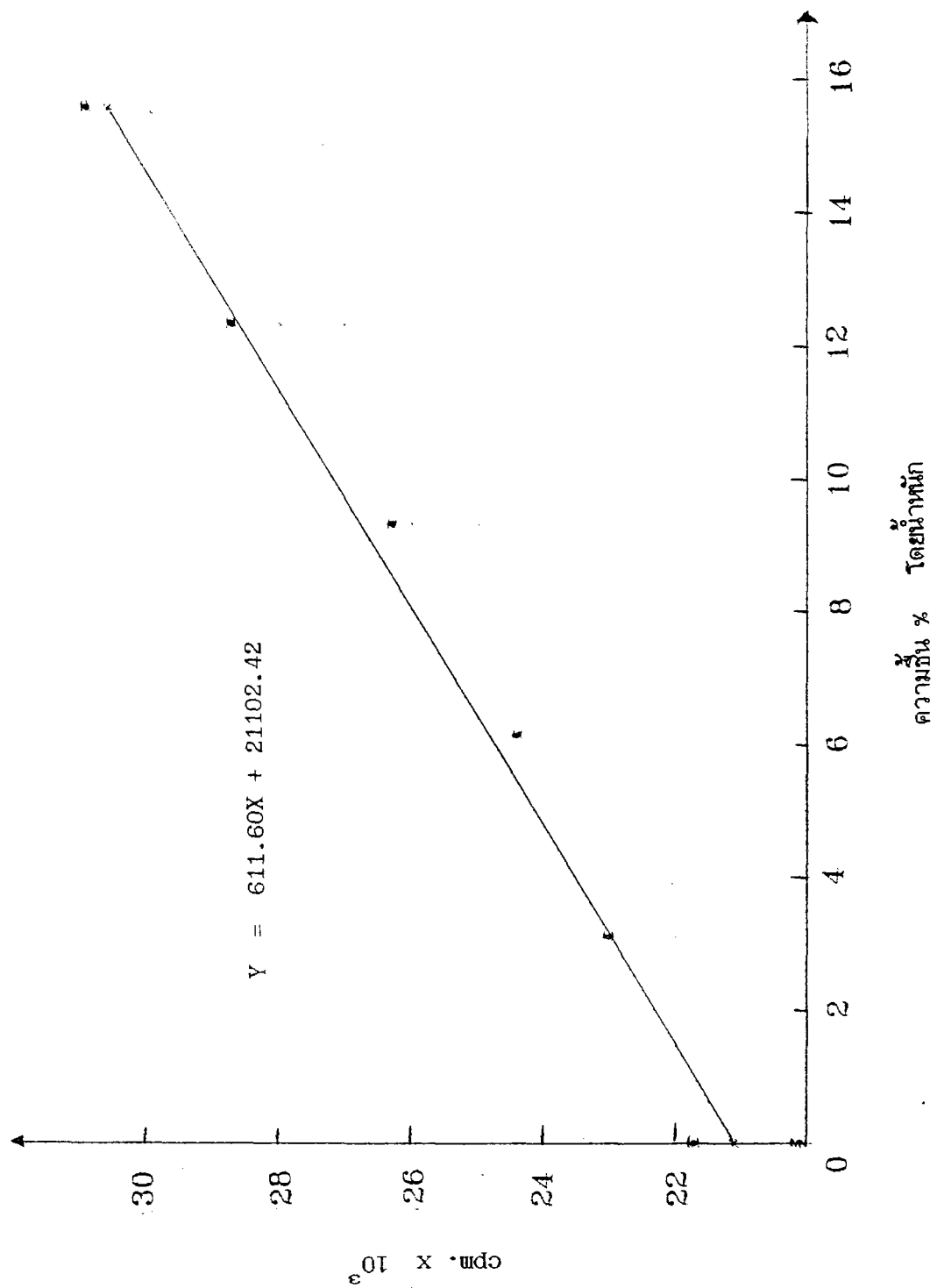
ความชื้น % โดยน้ำหนัก	N (cpm.)			
	1	2	3	$\bar{N} \pm \sigma$
—	21584	21604	22024	21737 $\pm$ 248
3.16	22912	22927	23191	23010 $\pm$ 157
6.13	23974	24376	24377	24242 $\pm$ 232
9.31	26283	26298	26345	26309 $\pm$ 32
12.36	28565	28664	29082	28770 $\pm$ 274
15.55	30694	31128	30945	30992 $\pm$ 234

หมายเหตุ น้ำหนักข้าวโพดปริมาตร 500 cm³ เท่ากับ 378.255 g

ตาราง 4.11 ผลการทดสอบการวัดความชื้นของผลผลิตทางการเกษตรเปรียบเทียบกับวิธีวัดโดยเครื่องมือสำเร็จรูปทางการเกษตร

	ข้าว	ข้าวเปลือก	ข้าวฟ่าง	ข้าวโพด
N(cpm.) $\pm\sigma$	30001 $\pm$ 173	16657 $\pm$ 129	25413 $\pm$ 159	25982 $\pm$ 161
ความชื้น%*	12.21 $\pm$ 0.35	13.73 $\pm$ 0.41	14.06 $\pm$ 0.32	7.98 $\pm$ 0.26
ความชื้น%**	12.40	19.20	14.70	6.90
ผลแตกต่าง %	0.19 $\pm$ 0.35	5.47 $\pm$ 0.41	0.64 $\pm$ 0.32	1.08 $\pm$ 0.26

หมายเหตุ * วิธีวัดจากผลการทดลองนี้ , ** วิธีวัดโดยใช้เครื่องมือสำเร็จรูปทางการเกษตร



ภาพประกอบ 25 (ง) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับนิวตรอนและความชื้นในข้าวโพด

สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษา และพัฒนาการวัดปริมาณไฮโดรเจนในสารประกอบโดยวิธีการท่วงนิตรอนพลังงานปานกลาง โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. ขั้นพัฒนาชุดการทดลอง เพื่อให้ได้ความไว (sensitivity) สูงสุด มีขั้นตอนดังนี้

1.1 สร้างชุดการทดลองรูปแบบที่คาดว่าจะได้ความไวสูงสุด

1.2 จัดตำแหน่งที่เหมาะสมระหว่าง ต้นกำเนิดนิวตรอน สารตัวอย่าง และหัววัดนิวตรอน

1.3 สร้างภาชนะบรรจุสารตัวอย่างที่เหมาะสม โดยมีปริมาตรที่เหมาะสมกับอัตราการนับนิวตรอนที่เหมาะสม

2. ขั้นการเก็บข้อมูล มีขั้นตอนดังนี้

2.1 เตรียมสารตัวอย่างมาตรฐานที่มีปริมาณไฮโดรเจนแตกต่างกัน เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการวิเคราะห์ความแม่นยำ

2.2 เปรียบเทียบจำนวนนับนิวตรอนซ้ำที่เกิดขึ้นจากสารตัวอย่างมาตรฐานระหว่างสารตัวอย่างที่เป็นของเหลว และที่เป็นผง

2.3 เปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นหรือปริมาณน้ำในสารตัวอย่างที่เป็นผลผลิตทางการเกษตร

3. ขั้นการวิเคราะห์ข้อมูล มีขั้นตอนดังนี้

3.1 สร้างกราฟมาตรฐาน จากหัวข้อ 2.1 , 2.2 และ 2.3

3.2 เปรียบเทียบความแม่นยำของกราฟมาตรฐานที่ได้กับสารตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

3.3 เปรียบเทียบความชื้นที่วัดได้จากหัวข้อ 2.3 กับวิธีวัดโดยใช้เครื่องมือสำเร็จรูปทางการเกษตร

สรุปผลงานวิจัย

1. สร้างชุดการทดลอง โดยใช้พาราฟินเป็นสารท่วงนิตรอนเร็วจากต้นกำเนิดนิวตรอน และใช้แผ่นโบรอน และแผ่นเคดเมียม เป็นสารกั้นนิวตรอนเทอร์มัลที่ได้จากการท่วงนิตรอนเร็ว โดยพาราฟินไม่ให้เข้าสู่หัววัด นิวตรอนเทอร์มัลที่วัดได้ส่วนใหญ่จึงเป็นนิวตรอนเทอร์มัลที่เกิดจากการท่วงนิตรอนพลังงานปานกลางโดยไฮโดรเจนในสารตัวอย่าง ภาพชุดการทดลองแสดงโดยภาพประกอบ 9

2. การจัดตำแหน่งของหัววัดนิวตรอน พบว่าตำแหน่งของหัววัดที่วัดนิวตรอนเข้าได้ไวที่สุด คือตำแหน่งที่ระยะกึ่งกลางของหัววัดอยู่ตรงกับตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอน ค่าความไวในการนับนิวตรอนเข้า โดยใช้วัดกับหัววัด BF_3 ณ ตำแหน่งนี้เมื่อใช้น้ำปริมาตร 500 cm^3 เป็นสารตัวอย่าง คำนวณจาก $\Delta N/N_0$ ได้ผลลัพธ์ = 29.98

3. ปริมาตรที่เหมาะสมของสารตัวอย่างที่นำมาวัด คือปริมาตรที่น้อยที่สุด แต่ให้จำนวนนับนิวตรอนเข้าสูงสุด จากภาพประกอบ 20 (ก) ได้ว่าปริมาตรที่เหมาะสม เท่ากับ 500 cm^3

4. สร้างกราฟมาตรฐานสำหรับวัดปริมาณไฮโดรเจนในสารที่เป็นของเหลวโดยใช้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นสารมาตรฐาน จากภาพประกอบ 23 ทดสอบความแม่นยำของกราฟมาตรฐาน โดยใช้สาร 6 ชนิด คือ เบนซีน โทลูอีน ไซลีน n-เฮกเซน ไซโคลเฮกเซน และน้ำ ได้ผลการวัดปริมาณไฮโดรเจนจากผลการทดลองแตกต่างจากปริมาณไฮโดรเจนของสารทั้ง 6 ชนิด เท่ากับ $0.001 \pm 0.0001\%$, $0.11 \pm 0.04\%$, $1.01 \pm 0.07\%$, $0.37 \pm 0.09\%$, $0.74 \pm 0.05\%$ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

5. สร้างกราฟมาตรฐานสำหรับวัดปริมาณไฮโดรเจนในสารที่เป็นผงโดยใช้ทราย เป็นสารมาตรฐาน จากภาพประกอบ 24 ทดสอบความแม่นยำของกราฟโดยใช้น้ำตาลซูโครส พบว่าปริมาณไฮโดรเจนที่ได้จากผลการทดลองแตกต่างจากปริมาณจริง เท่ากับ $10.32 \pm 0.08\%$ โดยน้ำหนัก

6. สร้างกราฟมาตรฐานสำหรับวัดความชื้นของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร 4 ชนิด คือ ข้าว ข้าวเปลือก ข้าวฟ่าง และข้าวโพด โดยภาพประกอบ 25 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ

7. ทดสอบกราฟมาตรฐานในข้อ (6) กับวิธีวัดโดยใช้เครื่องมือสำเร็จรูปทางการเกษตร พบว่าได้ผลแตกต่างระหว่างวิธีวัดทั้ง 2 วิธี คือ $0.19 \pm 0.35\%$, $5.47 \pm 0.21\%$, $0.64 \pm 0.16\%$ และ $1.08 \pm 0.13\%$ ตามลำดับ

อภิปรายผล

1. จากผลการทดลองศึกษาหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการวัด พบว่าตำแหน่งกลางถัง (ตำแหน่ง 1) มีความไวในการนับนิวตรอนมากกว่าตำแหน่งปากถัง (ตำแหน่ง 2) เนื่องจากการวางหัววัดที่ตำแหน่ง 1 จะทำให้นิวตรอนเข้าที่ถูกหน่วงโดยไฮโดรเจนในสารสามารถเข้าสู่หัววัดได้ทุกทิศทาง ส่วนในกรณีการวางหัววัดที่ ตำแหน่ง 2 นิวตรอนที่ถูกหน่วงโดยไฮโดรเจนในสารสามารถเข้าสู่หัววัดได้เฉพาะด้านล่างที่ติดกับสารที่วัดเท่านั้น ส่วนด้านบนของหัววัดโอกาสที่นิวตรอนจะเข้าสู่หัววัดมีโอกาสน้อยจึงทำให้ความไวในการนับนิวตรอนเข้ามีค่าน้อยกว่าตำแหน่ง 1

2. จากผลการทดสอบความแม่นยำของกราฟมาตรฐานในการวัดปริมาณไฮโดรเจนในสารประกอบที่เป็นของเหลวและผง พบว่าในการทดสอบการวัดปริมาณไฮโดรเจนของสารไฮโดรคาร์บอน

ทั้ง 5 ชนิด ที่มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงเดียวกับกราฟมาตรฐานและทดสอบน้ำซึ่งมีความหนาแน่นต่างจากกราฟมาตรฐานของสารไฮโดรคาร์บอนเหลว เท่ากับ 13.49% เมื่อเทียบกับโซลินที่มีความหนาแน่นสูงสุด ได้ผลการวัดปริมาณไฮโดรเจนจากการทดลองของสารทั้ง 6 ชนิด เมื่อปรับเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารไฮโดรเจนเหลว แตกต่างจากปริมาณไฮโดรเจนจริงของสารทั้ง 6 ชนิด น้อยกว่า 2% โดยน้ำหนัก และเมื่อทดสอบความแม่นยำในการวัดของสารที่เป็นผง โดยใช้น้ำตาลซูโครส มีความหนาแน่น 1.180 g/cm^3 ซึ่งมีความหนาแน่นต่างจากทรายที่เป็นสารมาตรฐาน 21.06% ได้ผลการวัดปริมาณไฮโดรเจนจากการทดลองแตกต่างจากปริมาณไฮโดรเจนจริงของน้ำตาลซูโครส ประมาณ 10% โดยน้ำหนัก ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของสารมาตรฐานที่นำมาสร้างกราฟมาตรฐานกับสารที่นำมาทดสอบหาปริมาณไฮโดรเจน พบว่าถ้าสารที่นำมาทดสอบมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับสารมาตรฐานในกราฟมาตรฐานจะมีความถูกต้องในการวัดมากกว่าสารที่มีความหนาแน่นแตกต่างจากสารมาตรฐานมาก

3. ในการตรวจสอบวัดความชื้นกับวิธีวัดโดยใช้เครื่องมือสำเร็จรูปทางการเกษตร พบว่าได้ข้อแตกต่างของความชื้นประมาณ 1% ในการวัด ข้าว ข้าวฟ่าง และข้าวโพด ในการวัดความชื้นข้าวเปลือกได้ข้อแตกต่างเกิน 5% เนื่องจากความหนาแน่นของข้าวเปลือกเมื่อมีความชื้นเปลี่ยนแปลงมากเมื่อเทียบกับข้าวเปลือกที่แห้งไม่มีความชื้น ดังนั้นถ้าสารที่นำมาทดสอบมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับสารมาตรฐานที่นำมาสร้างกราฟมาตรฐาน วิธีวัดปริมาณไฮโดรเจนในสารประกอบ และความชื้นในสารต่าง ๆ โดยใช้เทคนิคการท่วงนิวตรอนจากนิวตรอนพลังงานปานกลางจะได้ผลใกล้เคียงค่าความจริงพอสมควร

ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาผลงานวิจัยการวัดปริมาณไฮโดรเจนของ วาดะ (Wada. 1974 : 1-2) ซึ่งใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนชนิด Am-Be ขนาด 500 มิลลิคูรี ผลงานวิจัยวัดความชื้นของดินลูกรัง และอิฐมอญ ของ เกลิมเดช (2531 : 1) ใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนชนิด Am-Be ขนาด 30 มิลลิคูรี และผลงานวิจัยวัดความชื้นของดิน ของมาโนช (2532 : 1) ใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนชนิด Am-Be ขนาด 30 มิลลิคูรี จากผลงานวิจัยทั้งหมดดังกล่าวข้างต้นใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนชนิด Am-Be ที่มีขนาดต่ำกว่า 1 คูรี ดังนั้นในการใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนขนาดดังกล่าว ควรได้มีศึกษาผลการวัดปริมาณไฮโดรเจนและปริมาณความชื้นโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนที่มีขนาดต่ำกว่า 1 คูรี ด้วยเพื่อประโยชน์ในด้านความปลอดภัยในการประยุกต์เป็นเครื่องมือสำเร็จรูป

2. ในการสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับวัดความชื้นของผลิตผลทางการเกษตร ผู้วิจัยได้ทดลองโดยการเพิ่มความชื้นให้กับสารที่จะนำมาสร้างกราฟมาตรฐานที่ละชั้นจนได้ความชื้นตามที่ต้องการ ถ้าในกรณีที่สามารถหาผลผลิตทางการเกษตรที่เก็บเกี่ยวใหม่ ๆ ได้ การสร้างกราฟมาตรฐานควรใช้ผลิตผลทางการเกษตรดังกล่าวซึ่งจะเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่มีความชื้นสูง แล้วใช้วิธีนำผลิตผลทางการเกษตรมาอบให้ความชื้นน้อย ๆ ลดลงทีละชั้นจนได้ผลิตผลทางการเกษตรที่มีความชื้นเป็น ศูนย์
3. สารที่นำมาใช้วัดความชื้นควรมีความหนาแน่นสม่ำเสมอตลอดทั้งปริมาตรที่นำมาวัด เนื่องจากความหนาแน่นมีผลต่อจำนวนนิวตรอนช้าที่ถกหน่วงโดยสารที่นำมาวัด

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- เฉลิมเดช เฉลิมลาภอักษร. การวัดปริมาณความชื้นในวัสดุก่อสร้างบางชนิดโดยใช้เทคนิคการกระเจิงกลับของรังสีนิวตรอน. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.อัดสำเนา
- มานิช โชติศศิธร. เครื่องวัดความชื้นและความหนาแน่นของดินโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนและแกมมาสำหรับสร้างถนน. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.อัดสำเนา
- อุไรวรรณ จุณาภค. ฟิล์มของเครื่องปฏิกรณ์. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2527
- Cameron, J.F and others. Neutron Moisture Gauges. Vienna : International Atomic Energy Agency, 1970
- Halliday, D. Introductory Nuclear Physics. New York : Pittsburgh University, 1958
- Helf, S. Testing for Moisture Content in food by Neutron Gaging. Austin : University of Texas, 1976
- Kaplan, I. Nuclear Physics. Massachusetts : Addison-Wesley Publishing Co., 1979
- Keneth, S. Kran. Introductory Nuclear Physics. New York : Pittsburgh University, 1987
- Knoll, F. Radiation Detection and Measurement. New York : John, Wiley and Sons, 1979
- Lorch, E.A. Journal of Applied Radiation of Isotopes. 24 : 588-9; 1973
- Price, William. J. Nuclear Radiation Detection. New york : Mc Graw-Hill Book company, 1958
- Semel, S. and Helf, S. Journal Of Applied Radiation. 20 : 229; 1969
- Wada, N. Journal of Radioanalytical Chemistry. 23 : 147; 1974

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นางสาว อมรา อภิทธิพงษ์

เกิดวันที่ 21 มีนาคม พุทธศักราช 2506

สถานที่เกิด อำเภอเมือง จังหวัด นิจิตร

สถานที่อยู่ปัจจุบัน 188 ถนนพลับพลาไชย ป้อมปราบฯ กรุงเทพมหานคร 10100

สถานที่ทำงานปัจจุบัน โรงเรียนเซนต์คาเบรียล 565 ถนนสามเสน แขวงวชิรพยาบาล
เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2525	มัธยมศึกษาตอนปลาย	จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
พ.ศ. 2528	กศ.บ. (เกียรตินิยม) (วิชาเอกฟิสิกส์)	จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน
พ.ศ. 2536	วท.ม. (วิชาเอกฟิสิกส์)	จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

ศึกษาและพัฒนาการวัดปริมาณไฮโดรเจนในสารประกอบโดยการห้วงนิวตรอนพลังงานปานกลาง

บทคัดย่อ
ของ
อมรา อธิพงษ์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
พฤษภาคม 2536

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อศึกษาและพัฒนาการวัดปริมาณไฮโดรเจนในสารประกอบโดยการหน่วงนิวตรอนพลังงานปานกลาง ต้นกำเนิดนิวตรอนที่ใช้คือ อเมอริเซียม-เบอริลเลียม (Am-Be) ขนาด 1 คูรี และใช้พาราฟินเป็นสารหน่วงนิวตรอนเร็วจากต้นกำเนิดให้เป็นนิวตรอนพลังงานปานกลาง โบรอน (B) และ แคดเมียม (Cd) เป็นสารที่ใช้กั้นนิวตรอนเทอร์มัลที่ได้จากการหน่วงนิวตรอนโดยพาราฟินไม่ให้เข้าสู่หัววัด

การวิจัยพบว่า การจัดตำแหน่งของภาชนะบรรจุสาร หัววัดนิวตรอน และต้นกำเนิดนิวตรอน เพื่อให้ได้ความไวสูงสุดในการนับนิวตรอน คือตำแหน่งที่กึ่งกลางของสารเมื่อบรรจุในภาชนะบรรจุสาร และตำแหน่งกึ่งกลางของหัววัดนิวตรอนอยู่ตรงกับตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอน ปริมาตรสูงสุดของสารที่ใช้ในการวัดปริมาณไฮโดรเจนและความชื้น คือ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่าในการวัดปริมาณไฮโดรเจนและความชื้น ความหนาแน่นของสารที่นำมาวัดมีผลต่อความถูกต้องในการวัด คือ ถ้าสารที่นำมาวัดมีความหนาแน่นอยู่ในช่วงความหนาแน่นของสารที่นำมาสร้างกราฟมาตรฐาน ความถูกต้องในการวัดจะถูกต้องมากกว่าสารที่มีความหนาแน่นไม่อยู่ในช่วงความหนาแน่นของสารที่นำมาสร้างกราฟมาตรฐาน

A STUDY AND DEVELOPMENT OF THE MEASUREMENT OF HYDROGEN CONTENT IN
COMPOUNDS BY INTERMEDIATE NEUTRON MODERATION

AN ABSTRACT

BY

AMMARA IDDHIBONGSE

Presented in partial fulfillment of requirement for the
Master of Science degree in Physics
at Srinakharinwirot University
May 1993

The purpose of this research was to study and develop the measurement of hydrogen content in compounds by intermediate neutron moderation . The neutron source is Americium-Beryllium (Am-Be) 1 Ci . Paraffin is used as the moderator for fast neutron from the neutron source to intermediate neutron. Boron (B) and cadmium (Cd) are the protectors of thermal neutrons which result from neutron moderation by using paraffin to detector.

This research found that the highest sensitivity neutron count rate position of the sample cell , detector and neutron source is that position where center of the sample's mass and the center of the detector are in direct line with the neutron source . The maximum volume of the sample for hydrogen and moisture content measurement is 500 cm^3 . It was found that in measuring a sample's hydrogen and moisture content the sample's density had a significant effect on accuracy of measurement. If the sample being measured had the density in the range of sample used in the standard curve , the measurement is significantly more accurate. Conversely if the density of the sample being measured varies from the density of the sample used in making the standard curve the accuracy of measurement is less.