

สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| กิตติกรรมประกาศ   | ค    |
| บทคัดย่อภาษาไทย   | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ  | จ    |
| สารบัญตาราง   | ฉ    |
| สารบัญภาพ   | ญ    |
| บทที่ 1 บทนำ  | 1    |
| บทที่ 2 ทฤษฎี   | 5    |
| 2.1 Threshold detectors   | 5    |
| 2.2 อันตรกิริยาของนิวตรอนกับสสาร  | 5    |
| 2.3 ค่าครึ่งชีวิตและค่าคงที่การสลายตัว  | 9    |
| 2.4 อัตราการเกิดนิวเคลียสกัมมันตรังสี   | 10   |
| 2.5 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SAND II  | 16   |
| 2.6 ข้อเสนอแนะในการคัดเลือก threshold detector                                  | 19   |
| บทที่ 3 การทดลอง  | 20   |
| 3.1 อุปกรณ์การทดลอง   | 20   |
| 3.1.1 แหล่งกำเนิดนิวตรอน  | 20   |
| 3.1.2 ระบบการวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา   | 21   |
| 3.1.3 แผ่น detectors  | 23   |
| 3.1.4 ไอโซโทปกัมมันตรังสีมาตรฐาน  | 24   |
| 3.1.5 อุปกรณ์การทดลองอบสารตัวอย่างในน้ำ   | 25   |
| 3.1.6 เครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูล  | 26   |
| 3.2 วิธีดำเนินการทดลอง  | 27   |
| 3.2.1 การสอบเทียบพลังงานของระบบหัววัด HPGe<br>(energy calibration)              | 27   |
| 3.2.2 การหาค่าประสิทธิภาพของระบบหัววัด HPGe<br>(absolute photo peak efficiency) | 28   |

|  |  |    |
|--|--|----|
| 3.2.3 การหาพื้นที่ใต้ peak ของรังสีแกมมา โดยโปรแกรม Aptec  | 30   |    |
| 3.2.4 การคัดเลือก threshold detector และการจัดเตรียมข้อมูลค่า cross section                                    | 32   |    |
| 3.2.5 การอาบแผ่น detectors   | 39   |    |
| 3.3 การวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีแกมมา  | 39   |    |
| 3.4 การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการทดลองหาสเปกตรัมของนิวตรอน<br>โดยวิธีก่อกัมมันต์ในแผ่นโลหะ                  | 47   |    |
| 3.4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนของการนับเชิงสถิติ   | 47   |    |
| 3.4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ   | 48   |    |
| บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดลอง  | 49   |    |
| 4.1 ผลการทดลองการวิเคราะห์หาสเปกตรัมของรังสีนิวตรอนจากธาตุ $^{252}\text{Cf}$                                   | 49   |    |
| 4.1.1 ผลการทดลองการวิเคราะห์หาสเปกตรัมของรังสี<br>นิวตรอนในอากาศที่ระยะห่างจาก $^{252}\text{Cf}$ 2.9 เซนติเมตร | 49   |    |
| 4.1.2 ผลการทดลองการวิเคราะห์หาสเปกตรัมของรังสี<br>นิวตรอนในน้ำที่ระยะห่างจาก $^{252}\text{Cf}$ 2.9 เซนติเมตร   | 51   |    |
| 4.1.3 ผลการทดลองการวิเคราะห์หาสเปกตรัมของรังสี<br>นิวตรอนในน้ำที่ระยะห่างจาก $^{252}\text{Cf}$ 5 เซนติเมตร     | 52   |    |
| 4.1.2 ผลการทดลองการวิเคราะห์หาสเปกตรัมของรังสี<br>นิวตรอนในน้ำที่ระยะห่างจาก $^{252}\text{Cf}$ 10.5 เซนติเมตร  | 53   |    |
| 4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองหาสเปกตรัมของ $^{252}\text{Cf}$  | 59   |    |
| 4.2.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองหาสเปกตรัมของ $^{252}\text{Cf}$ ในอากาศ  | 59   |    |
| 4.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองหาสเปกตรัมของ $^{252}\text{Cf}$ ในน้ำ  | 61   |    |
| บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์   | 67   |    |
| หนังสืออ้างอิง   | 68   |    |
| ภาคผนวก  |  |    |
| ภาคผนวก ก  | ค่า cross section<br>โปรแกรม interpolation<br>ผลจากการคำนวณ โดยโปรแกรม interpolation | 70 |
| ภาคผนวก ก 1  | ค่า cross section  | 70 |
| ภาคผนวก ก 2  | โปรแกรม interpolation  | 71 |
| ภาคผนวก ก 3  | ผลจากการคำนวณแบบ interpolation   | 75 |

|                 |  |     |
|-----------------|--|-----|
| ภาคผนวก ข       | โปรแกรมการคำนวณค่า saturated activity<br>ตัวอย่างการคำนวณค่า saturated activity<br>สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากการทดลอง                              | 81  |
| ภาคผนวก ข 1     | โปรแกรมการคำนวณค่า saturated activity  | 81  |
| ภาคผนวก ข 2     | ตัวอย่างการคำนวณค่า saturated activity   | 84  |
| ภาคผนวก ข 3     | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากการทดลอง   | 85  |
| ภาคผนวก ข 3.1   | สเปกตรัมของรังสีแกมมา จากการอบแผ่นโลหะ<br>ด้วยรังสีนิวตรอนจาก $^{252}\text{Cf}$ ในตัวกลางอากาศที่<br>ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดนิวตรอน 2.9 เซนติเมตร | 85  |
| ภาคผนวก ข 3.2   | สเปกตรัมของรังสีแกมมา จากการอบแผ่นโลหะ<br>ด้วยรังสีนิวตรอนจาก $^{252}\text{Cf}$ ในตัวกลางน้ำที่<br>ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดนิวตรอน 2.9 เซนติเมตร   | 89  |
| ภาคผนวก ข 3.3   | สเปกตรัมของรังสีแกมมา จากการอบแผ่นโลหะ<br>ด้วยรังสีนิวตรอนจาก $^{252}\text{Cf}$ ในตัวกลางน้ำที่<br>ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดนิวตรอน 5 เซนติเมตร     | 94  |
| ภาคผนวก ข 3.4   | สเปกตรัมของรังสีแกมมา จากการอบแผ่นโลหะ<br>ด้วยรังสีนิวตรอนจาก $^{252}\text{Cf}$ ในตัวกลางน้ำที่<br>ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดนิวตรอน 10.5 เซนติเมตร  | 99  |
| ภาคผนวก ค       | ผลการคำนวณสเปกตรัมของรังสี<br>นิวตรอนจากโปรแกรม SAND II  | 104 |
| ประวัติการศึกษา |  | 117 |

สารบัญตาราง

| ตาราง  | หน้า |
|--|------|
| 1.1 แสดง neutron spectrometers และช่วงพลังงานของรังสีนิวตรอนที่ให้ผลการวัดที่ดี  | 2    |
| 3.1 คุณสมบัติของแหล่งกำเนิดนิวตรอน $^{252}\text{Cf}$   | 20   |
| 3.2 แสดงความหนาและเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของแผ่นโลหะ  | 23   |
| 3.3 แสดงมวลอะตอมของ nuclide  | 24   |
| 3.4 แสดงรายละเอียดของ ไอโซโทปกัมมันตรังสีมาตรฐาน   | 24   |
| 3.5 แสดงการสอบเทียบพลังงานของระบบหัววัดรังสีแกมมาแบบ HPGe (energy calibration)   | 27   |
| 3.6 แสดงค่าประสิทธิภาพของหัววัด HPGe   | 29   |
| 3.7 แสดงรายละเอียดของปฏิกิริยานิวเคลียร์   | 40   |
| 4.1 แสดงผลจากการทดลองและผลการคำนวณค่า saturated activity จากการอบแผ่นโลหะ<br>ในตู้กลางอากาศที่ระยะห่าง 2.9 เซนติเมตร จากแหล่งกำเนิดนิวตรอน $^{252}\text{Cf}$ | 51   |
| 4.2 แสดงผลจากการทดลองและผลการคำนวณค่า saturated activity จากการอบแผ่นโลหะ<br>ในตู้กลางน้ำที่ระยะห่าง 2.9 เซนติเมตร จากแหล่งกำเนิดนิวตรอน $^{252}\text{Cf}$   | 52   |
| 4.3 แสดงผลจากการทดลองและผลการคำนวณค่า saturated activity จากการอบแผ่นโลหะ<br>ในตู้กลางน้ำที่ระยะห่าง 5 เซนติเมตร จากแหล่งกำเนิดนิวตรอน $^{252}\text{Cf}$     | 53   |
| 4.4 แสดงผลจากการทดลองและผลการคำนวณค่า saturated activity จากการอบแผ่นโลหะ<br>ในตู้กลางน้ำที่ระยะห่าง 10.5 เซนติเมตรจากแหล่งกำเนิดนิวตรอน $^{252}\text{Cf}$   | 54   |
| 4.5 แสดงผลรวมของผลคูณของค่าฟลักซ์ของนิวตรอนกับค่า kerma factors  | 66   |
| 4.6 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองกับปริมาณ dose ที่ระยะทางต่าง ๆ  | 66   |
| ค 1 แสดงค่าพลังงานและฟลักซ์ของรังสีนิวตรอนจาก $^{252}\text{Cf}$ ในตู้กลางอากาศที่ระยะห่าง<br>จากแหล่งกำเนิดรังสีนิวตรอน 2.9 เซนติเมตร                        | 105  |
| ค 2 แสดงค่าพลังงานและฟลักซ์ของรังสีนิวตรอนจาก $^{252}\text{Cf}$ ในตู้กลางน้ำที่ระยะห่าง<br>จากแหล่งกำเนิดรังสีนิวตรอน 2.9 เซนติเมตร                          | 108  |
| ค 3 แสดงค่าพลังงานและฟลักซ์ของรังสีนิวตรอนจาก $^{252}\text{Cf}$ ในตู้กลางน้ำที่ระยะห่าง<br>จากแหล่งกำเนิดรังสีนิวตรอน 5 เซนติเมตร                            | 111  |
| ค 4 แสดงค่าพลังงานและฟลักซ์ของรังสีนิวตรอนจาก $^{252}\text{Cf}$ ในตู้กลางน้ำที่ระยะห่าง<br>จากแหล่งกำเนิดรังสีนิวตรอน 10.5 เซนติเมตร                         | 114  |

สารบัญภาพ

| รูป   | หน้า |
|---|------|
| 2.1 การกระเจิงแบบยืดหยุ่นในระบบ center of mass                                      | 6    |
| 2.2 การกระเจิงแบบยืดหยุ่นในระบบ laboratory  | 7    |
| 2.3 ค่า cross section ในการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของธาตุไฮโดรเจน                        | 8    |
| 2.4 ค่า cross section ในการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของธาตุออกซิเจน                        | 9    |
| 2.5 แผนภูมิการสลายตัวของนิวเคลียสกัมมันตรังสี                                       | 10   |
| 2.6 แสดงการเกิดและการสลายตัวของนิวเคลียสกัมมันตรังสี                                | 14   |
| 3.1 Dummy ของแหล่งกำเนิดนิวตรอน $^{252}\text{Cf}$                                   | 21   |
| 3.2 แสดงระบบการวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา   | 21   |
| 3.3 Phantom ขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร   | 25   |
| 3.4 Sample holder   | 26   |
| 3.5 กราฟแสดงการสอบเทียบพลังงานของระบบหัววัด HPGe                                    | 28   |
| 3.6 แสดงประสิทธิภาพ (absolute photo peak efficiency) ที่ระยะติดกับหัววัด HPGe       | 30   |
| 3.7 แสดงค่า cross section ของปฏิกิริยา $^{115}\text{In}(n,n')^{115m}\text{In}$      | 33   |
| 3.8 แสดงค่า cross section ของปฏิกิริยา $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$          | 34   |
| 3.9 แสดงค่า cross section ของปฏิกิริยา $^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$          | 35   |
| 3.10 แสดงค่า cross section ของปฏิกิริยา $^{46}\text{Ti}(n,p)^{46}\text{Sc}$         | 36   |
| 3.11 แสดงค่า cross section ของปฏิกิริยา $^{59}\text{Co}(n,p)^{59}\text{Fe}$         | 37   |
| 3.12 แสดงค่า cross section ของปฏิกิริยา $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$    | 38   |
| 3.13 แสดงสเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{115}\text{In}(n,n')^{115m}\text{In}$  | 41   |
| 3.14 แสดงสเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$      | 42   |
| 3.15 แสดงสเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$      | 43   |
| 3.16 แสดงสเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{46}\text{Ti}(n,p)^{46}\text{Sc}$      | 44   |
| 3.17 แสดงสเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{59}\text{Co}(n,p)^{59}\text{Fe}$      | 45   |
| 3.18 แสดงสเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ | 46   |
| 4.1 สเปกตรัมแบบ Maxwellian มีค่า Maxwellian temperature 1.42 MeV                    | 50   |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 4.2     | สเปกตรัมของรังสีนิวตรอนจาก $^{252}\text{Cf}$ ในตัวกลางอากาศ<br>ห่างจากแหล่งกำเนิดนิวตรอน 2.9 เซนติเมตร   | 55 |
| 4.3     | สเปกตรัมของรังสีนิวตรอนจาก $^{252}\text{Cf}$ ในตัวกลางน้ำ<br>ห่างจากแหล่งกำเนิดนิวตรอน 2.9 เซนติเมตร   | 56 |
| 4.4     | สเปกตรัมของรังสีนิวตรอนจาก $^{252}\text{Cf}$ ในตัวกลางน้ำ<br>ห่างจากแหล่งกำเนิดนิวตรอน 5 เซนติเมตร   | 57 |
| 4.5     | สเปกตรัมของรังสีนิวตรอนจาก $^{252}\text{Cf}$ ในตัวกลางน้ำ<br>ห่างจากแหล่งกำเนิดนิวตรอน 10.5 เซนติเมตร  | 58 |
| 4.6     | แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมของ $^{252}\text{Cf}$ ในอากาศระยะห่างจากแหล่งกำเนิด<br>นิวตรอน 2.9 เซนติเมตร ทำการ normalized ที่รังสีนิวตรอนพลังงาน 1.5 MeV | 60 |
| 4.7     | แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมของ $^{252}\text{Cf}$ ในน้ำระยะห่างจากแหล่งกำเนิดนิวตรอน<br>2.9 เซนติเมตร ทำการ normalized ที่รังสีนิวตรอนพลังงาน 1.5 MeV    | 61 |
| 4.8     | แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมของ $^{252}\text{Cf}$ ในน้ำระยะห่างจากแหล่งกำเนิดนิวตรอน<br>5 เซนติเมตร ทำการ normalized ที่รังสีนิวตรอนพลังงาน 1.5 MeV      | 62 |
| 4.9     | แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมของ $^{252}\text{Cf}$ ในน้ำระยะห่างจากแหล่งกำเนิดนิวตรอน<br>10.5 เซนติเมตร ทำการ normalized ที่รังสีนิวตรอนพลังงาน 1.5 MeV   | 63 |
| 4.10    | แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมของนิวตรอนจาก $^{252}\text{Cf}$ ในน้ำที่ระยะทาง<br>2.9, 5 และ 10.5 เซนติเมตร ทำการ normalized ที่รังสีนิวตรอนพลังงาน 0.7 MeV | 64 |
| 4.11    | แสดงสเปกตรัมของนิวตรอนจาก $^{252}\text{Cf}$ ในน้ำที่ระยะทาง 2.9, 5 และ 10.5 เซนติเมตร  | 65 |
| ก.1     | แสดงพื้นที่ภาคตัดขวางของธาตุเป้า   | 70 |
| ข.3.1.1 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ ที่ระยะ 2.9 เซนติเมตร ในอากาศ  | 85 |
| ข.3.1.2 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{46}\text{Ti}(n,p)^{46}\text{Sc}$ ที่ระยะ 2.9 เซนติเมตร ในอากาศ  | 86 |
| ข.3.1.3 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ ที่ระยะ 2.9 เซนติเมตร ในอากาศ   | 87 |
| ข.3.1.4 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{59}\text{Co}(n,p)^{59}\text{Fe}$ ที่ระยะ 2.9 เซนติเมตร ในอากาศ  | 88 |
| ข.3.2.1 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{115}\text{In}(n,n')^{115m}\text{In}$ ที่ระยะ 2.9 เซนติเมตร ในน้ำ  | 89 |
| ข.3.2.2 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ ที่ระยะ 2.9 เซนติเมตร ในน้ำ  | 90 |
| ข.3.2.3 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$ ที่ระยะ 2.9 เซนติเมตร ในน้ำ  | 91 |
| ข.3.2.4 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{46}\text{Ti}(n,p)^{46}\text{Sc}$ ที่ระยะ 2.9 เซนติเมตร ในน้ำ  | 92 |
| ข.3.2.5 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ ที่ระยะ 2.9 เซนติเมตร ในน้ำ   | 93 |
| ข.3.3.1 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{115}\text{In}(n,n')^{115m}\text{In}$ ที่ระยะ 5 เซนติเมตร ในน้ำ  | 94 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| ข.3.3.2 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ ที่ระยะ 5 เซนติเมตร ในน้ำ               | 95  |
| ข.3.3.3 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$ ที่ระยะ 5 เซนติเมตร ในน้ำ               | 96  |
| ข.3.3.4 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{46}\text{Ti}(n,p)^{46}\text{Sc}$ ที่ระยะ 5 เซนติเมตร ในน้ำ               | 97  |
| ข.3.3.5 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ ที่ระยะ 5 เซนติเมตร ในน้ำ          | 98  |
| ข.3.4.1 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{115}\text{In}(n,n')^{115\text{m}}\text{In}$ ที่ระยะ 10.5 เซนติเมตร ในน้ำ | 99  |
| ข.3.4.2 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ ที่ระยะ 10.5 เซนติเมตร ในน้ำ            | 100 |
| ข.3.4.3 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$ ที่ระยะ 10.5 เซนติเมตร ในน้ำ            | 101 |
| ข.3.4.4 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{46}\text{Ti}(n,p)^{46}\text{Sc}$ ที่ระยะ 10.5 เซนติเมตร ในน้ำ            | 102 |
| ข.3.4.5 | สเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ ที่ระยะ 10.5 เซนติเมตร ในน้ำ       | 103 |

มหาวิทยาลัย  
Chiang Mai Univ.