

เครื่องสแกนกรวยนิวตรอนแบบควบคุมระยะไกล
และการทดลองหากรวยนิวตรอนจากปฏิกิริยา $d(T,n)\alpha$

A Remote-control Neutron Cone Scanner
and Measurement of the $d(T,n)\alpha$ Neutron Cone

คุณหญิง สุวรรณหจร, กิรทัศน์ วิไลทอง, ชัยวัฒน์ วิไลทอง
ธีรบรรณ บุญสุวรรณ, ทวี ฉิมอภัย*, พิศิษฐ์ ศรีธรรม+,
การันต์ ชอษร, วีระพงษ์ แผลสุวรรณ และสมสร สิงห์รักษ์

อาคารวิจัยนิวตรอนพลังงานสูง
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

*คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) จ. ปทุมธานี
+แผนกตรวจทดลอง กองวิชาการ
กรมวิทยาศาสตร์ทหารบก กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

กรวยนิวตรอนที่สังสรรค์กับอนุภาคอัลฟาจากปฏิกิริยา $d(T,n)\alpha$ ได้รับการทดลองวัดโดยใช้เครื่องมือที่สามารถควบคุมระยะไกล เครื่องมือนี้มี 2 ส่วนที่สำคัญ ส่วนแรกเป็นกลไกเลื่อนหัววัดรังสีนิวตรอน ซึ่งสามารถเลื่อนกลับ ไป-มา ได้ทั้งบนแกนราบและแกนตั้ง วิชาใช้มอเตอร์สเคป 2 ตัว หัววัดนิวตรอนสามารถถูกเลื่อนไปได้ถึง 0.5 เซนติเมตร และมีพิสัยการเคลื่อนที่ 30 เซนติเมตร

ส่วนที่สองคือ ส่วนควบคุมการเลื่อนหัววัดระยะไกล ซึ่งประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ฮอปส์คิวิตคอลทั้งหมด การหมุนของมอเตอร์สเคปถูกควบคุมด้วยสัญญาณพัลส์จากวงจรนี้ ส่วนการบอกตำแหน่งของหัววัดนิวตรอนใช้วิธีนับจำนวนพัลส์ที่ส่งออกมา วิชาจะแสดงผลเป็นตัวเลขสามหลักที่หน้าปัดของแผงควบคุมให้ผู้ใช้งานสามารถทราบค่าทันที

นอกจากนั้น ยังจะกล่าวถึง วิธีการวัดหากรายนิวตรอนโดยวิธี เทคนิค
 ไลน์-ออฟ-ฟลิต อีกด้วย

Abstract

We have measured the neutron cone associated with alpha particles from the $d(T,n)\alpha$ reaction by using a remote-control cone scanner. This scanner has two principal parts. The first part is the neutron detector scanner which can move the detector in the horizontal and vertical axis using two stepping-motors. The neutron detector can be moved in 0.5 cm. increments over the whole range of 30 cm.

The second part is the remote-control electronic circuit using digital IC's. The rotation of stepping-motors is controlled by pulse signals from this circuit and the position of the detector is known by counting the number of pulses. The position of the neutron detector is indicated directly on a 3 digit display at the control panel.

The method of measuring the neutron cone by the Time-of-Flight technique is also described.

บทนำ

ในการทดลองด้วยเทคนิค Associated-Alpha Particle Neutron Time-of-Flight จากเป้า Ti-T มีความจำเป็นที่จะต้องทราบตำแหน่งและลักษณะของกรวยนิวตรอนที่สัมพันธ์กับกรวยอัลฟา ที่รองรับโดยหัววัดรังสีแอลฟา และจำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบอยู่เสมอ เพราะหัววัดรังสีแอลฟาอาจถูกเคลื่อนย้ายจากเดิม เช่นเมื่อมีการเปลี่ยนเป้า Ti-T เป็นต้น การวัดกรวยนิวตรอนโดยวิธีอื่น ๆ เช่น Activation

Analysis นอกจากจะใช้เวลาเวลานานแล้ว ยังเป็นการไปเกี่ยวข้องกับเทคนิคการวัดแบบอื่น ทำให้ยุ่งยากมากขึ้น

งานที่จะกล่าวถึงการทดลองวัดการวักงักกล่าว วิทยุเทคนิค Time-of-Flight และเพื่อสำหรับระยะเวลาของการทดลองสั้นลง จึงได้ออกแบบสร้างเครื่องควบคุมการสแกนหัววัดการวักวักนิวตรอนแบบควบคุมระยะไกลขึ้นมา ซึ่งพบว่านอกจากจะช่วยระยะเวลาในการวัดมากแล้ว ยังมีข้อดีอีกประการหนึ่งคือ ไม่ต้องการเปิดปิดเครื่องเร่งอนุภาคบ่อย ๆ ซึ่งอาจจะเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของ Beam Optics ได้

ธรรมชาติของปฏิกิริยา d-T

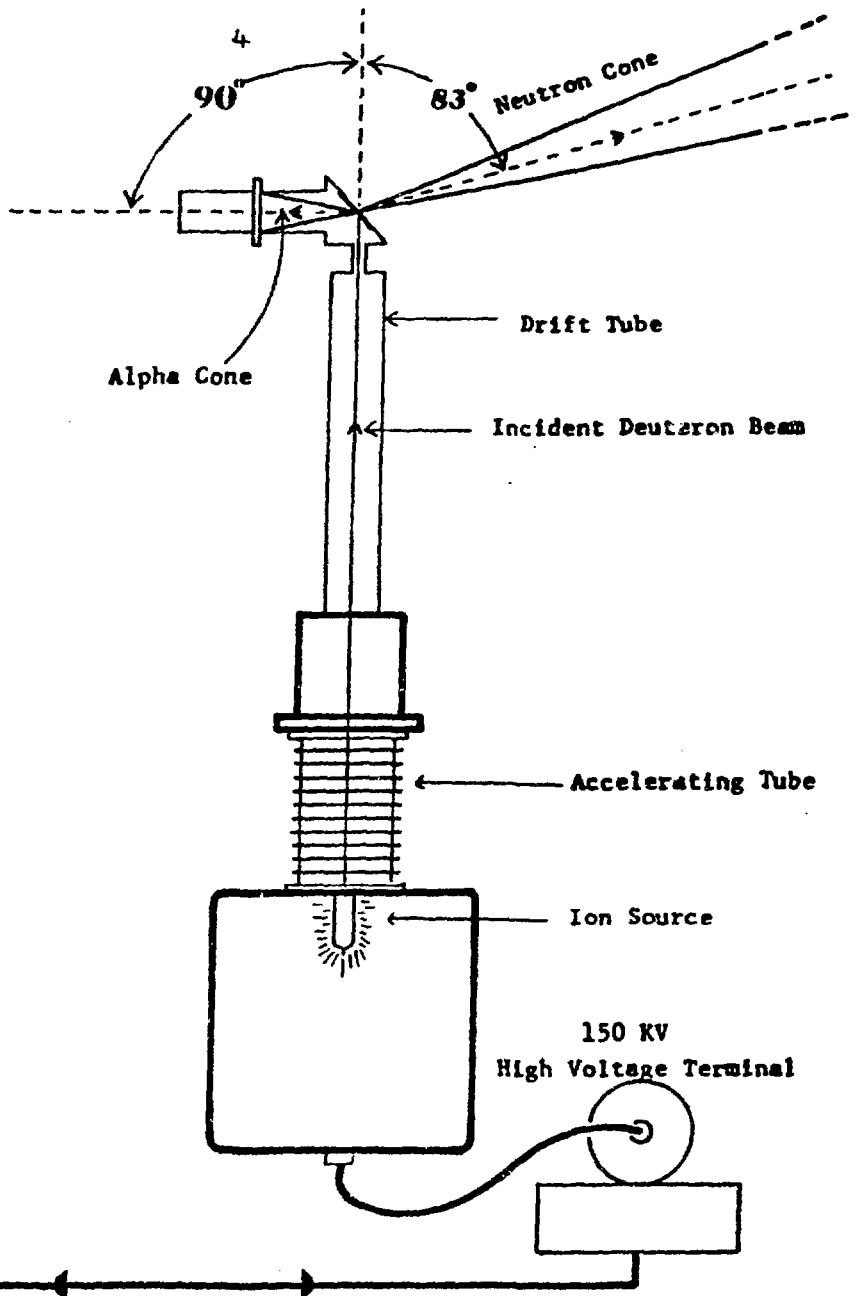
สำหรับเครื่องเร่งอนุภาค 150 kV อนุภาคควิตรอนจะถูกเร่งให้พุ่งเข้าชนเป้าครีเทียมทำให้อนุภาคอัลฟาและนิวตรอน ดังสมการ



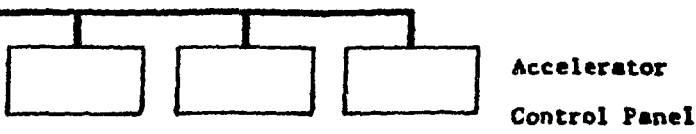
อนุภาคนิวตรอนที่เกิดขึ้นที่พลังงานประมาณ 14 MeV เกิดขึ้นพร้อมกับอนุภาคอัลฟาพลังงานประมาณ 3.5 MeV ซึ่งเราเรียกว่าอนุภาคทั้งสองที่เกิดขึ้น พร้อมกันนี้ว่าอนุภาคที่สังสรรค์กัน (associated particles) ในกรณีนี้สร้างหัววัดอัลฟาทำมุม 90 องศากับแนวอนุภาคควิตรอน อนุภาคนิวตรอนที่สังสรรค์กับอนุภาคอัลฟาตัวนี้จะเกิดออกมาที่มุมประมาณ 83 องศากับแนวอนุภาคควิตรอน ดังรูปที่ 1

เนื่องจากตามแบบหัววัดอัลฟาที่สร้างขึ้นนั้น ได้กำหนดค่าให้รังสีอัลฟาพุ่งเข้าสู่หัววัดโดยมีลักษณะการวักที่มีมุมยอดประมาณ 14 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2 ดังนั้นรังสีนิวตรอนที่สังสรรค์กับรังสีอัลฟา จึงมีลักษณะเป็นรูปกรวยด้วยเช่นกัน ซึ่งตำแหน่งและขนาดของกรวยนิวตรอนนี้ จะต้องมีการทดลอง เพื่อพิสูจน์ทราบในสภาพที่ใช้งานจริง

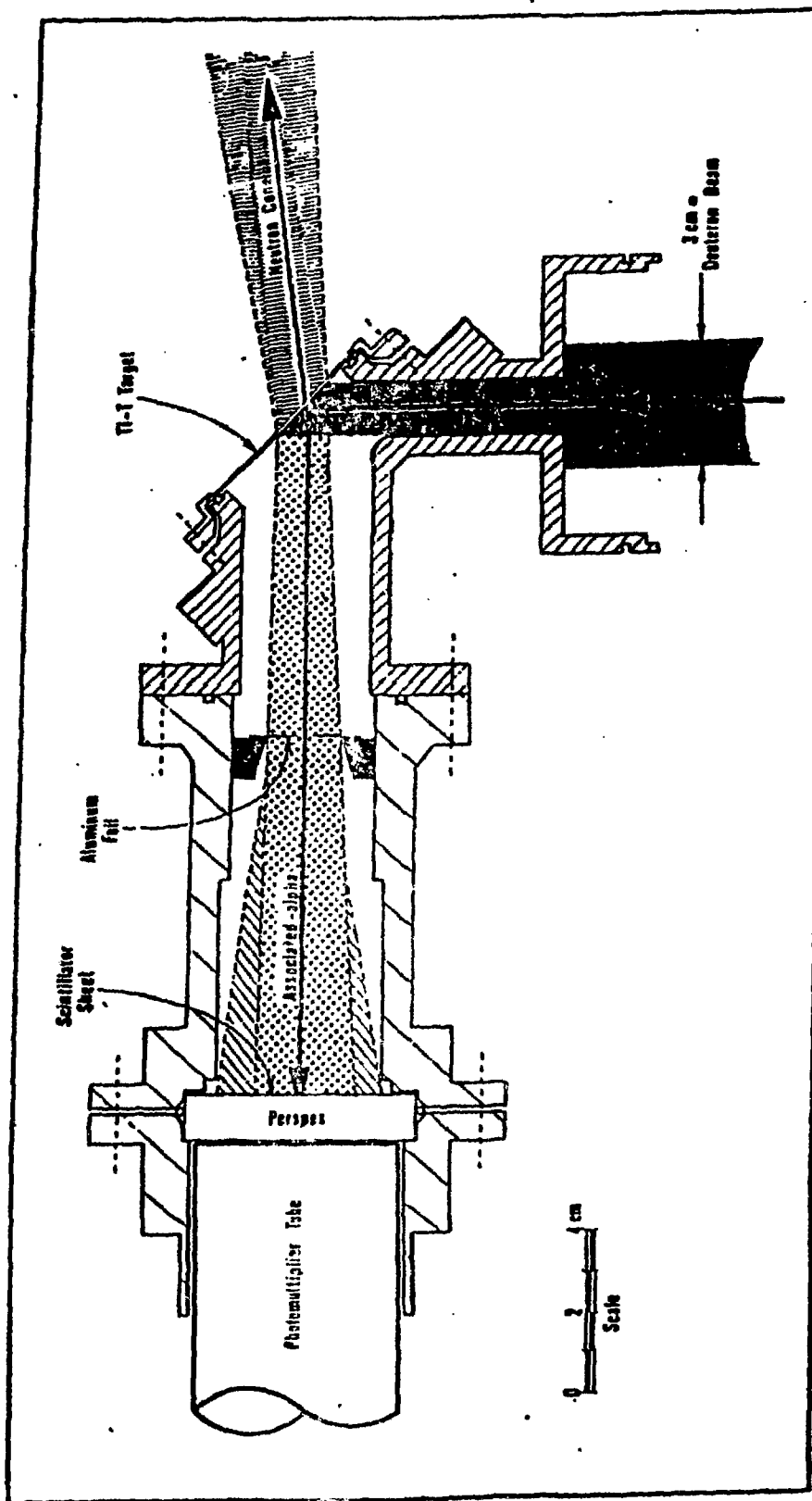
accelerator hall



control room

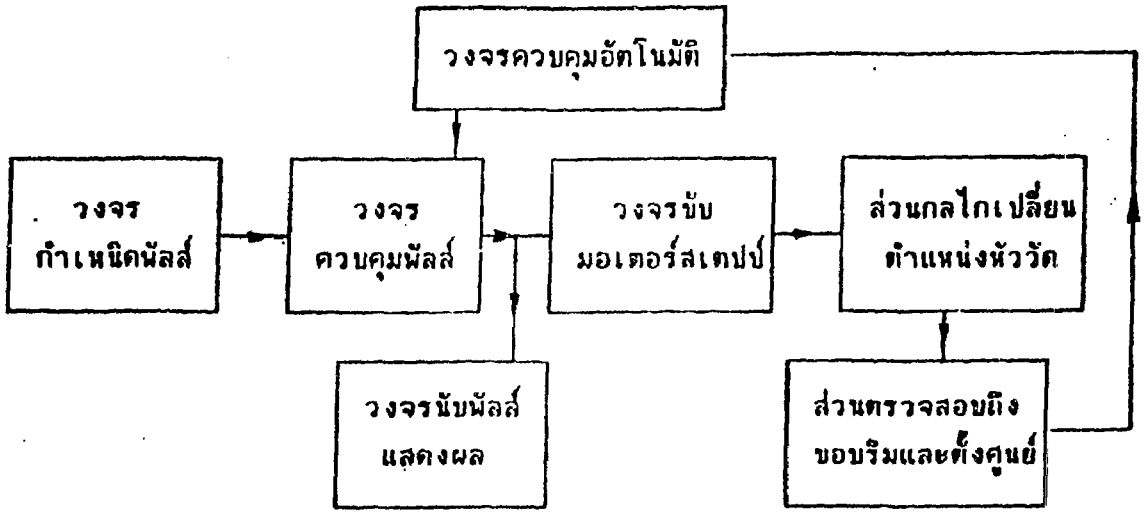


รูปที่ ๑ แสดงถึงลักษณะความสัมพันธ์กันระหว่างห้องควบคุมกับห้องเครื่องเร่งอนุภาค และแสดงทิศทางของอนุภาคต่าง ๆ ที่ เกี่ยวข้อง



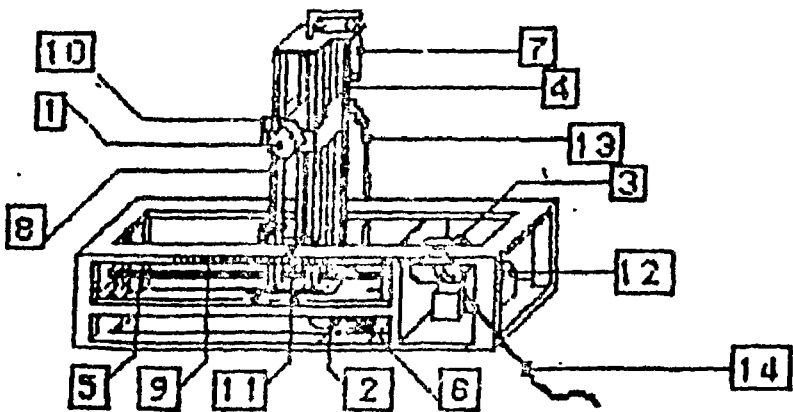
รูปที่ 2 แผนภาพแสดงรายละเอียดของส่วนของหัววัดนิวตรอน

หลักการทํางานของ เครื่องตรวจหากรวยนิวตรอน



รูปที่ 3 แผนภูมิโครงสร้างการทํางานของ เครื่องตรวจหากรวยนิวตรอน

การทํางานของ เครื่องนี้มีขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยแบ่งาต์เป็นสองส่วน คือ ส่วนไฟฟ้า และส่วนเครื่องกล ซึ่งส่วนเครื่องกลจะใช้เทคนิคการเลื่อนหัววัดแบบการหมุน เกลิศวตามขวาง โดยาใช้มอเตอร์สเต็ป ทำาให้เกลิศวแหวนที่สวมอยู่เคลื่อนที่ในแนวความยาว ของแท่ง เกลิศวโดยที่หัววัดครั้งสิจจะถูกยึดติดกับเกลิศวแหวนนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยาใช้ ระยะเกลิศว 0.2 ซ.ม. จะทำาให้ระยะห่างที่เคลื่อนที่สัมพันธ์กับตัวเลข แสดงผลในหน่วย เซนติเมตรพอดี



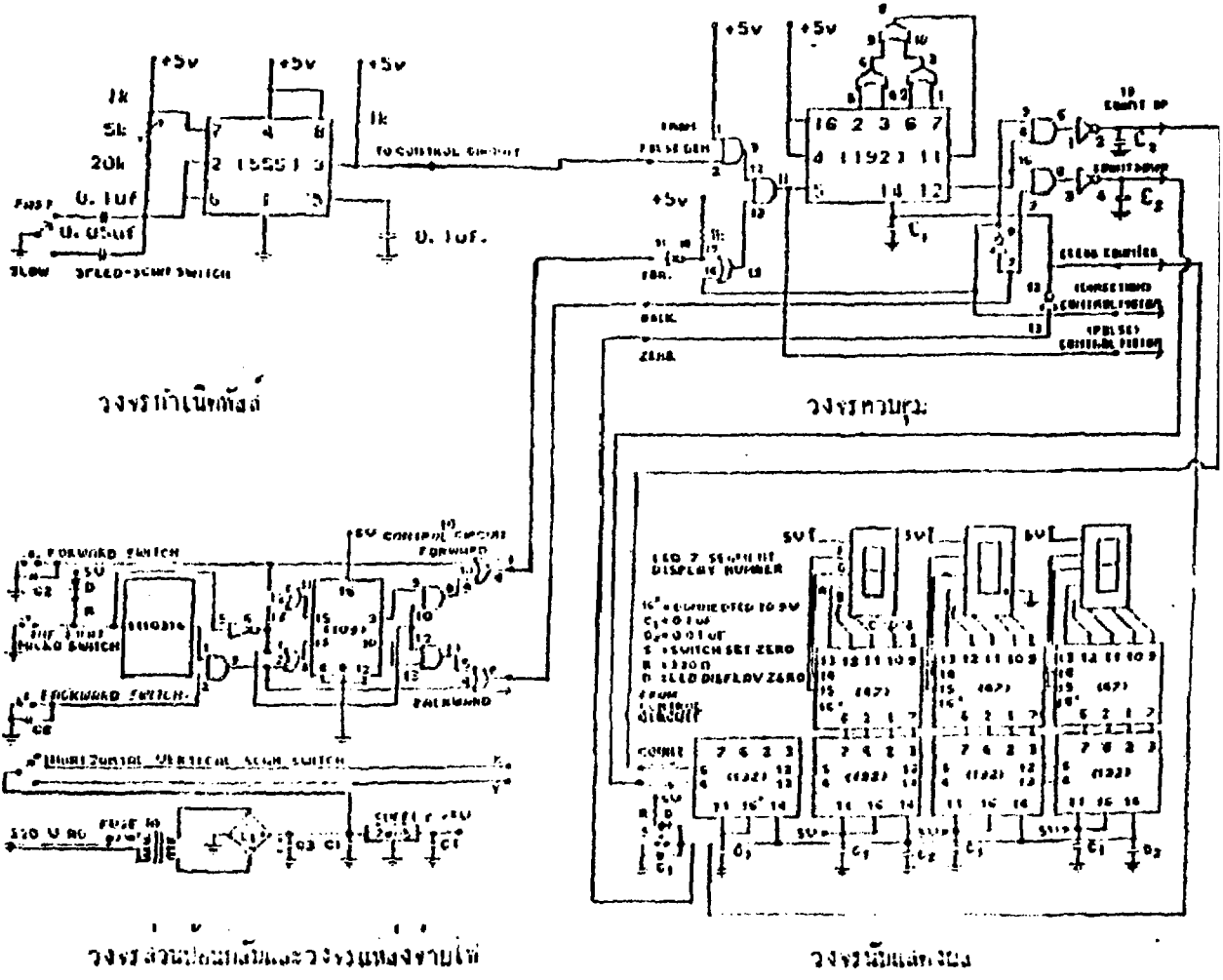
รูปที่ 4 แสดง เกลิศวตามขวาง และ เกลิศวแหวนทั้งสองแนวและหัววัดครั้งสิจ

- | | |
|---|--|
| 1. หัววีคังสัญญาณ | 8. สเกลบอกตำแหน่งหัวคังในแนวตั้ง |
| 2. มอเตอร์สเคปป์แนวตั้ง | 9. สเกลบอกตำแหน่งหัวคังในแนวราบ |
| 3. มอเตอร์สเคปป์แนวราบ | 10. เข็มชี้ตำแหน่งวนแนวตั้ง |
| 4. เกลียวความยาวแนวตั้ง | 11. เข็มชี้ตำแหน่งวนแนวราบ |
| 5. เกลียวความยาวแนวราบ | 12. หม้อแปลงจ่ายไฟของมอเตอร์สเคปป์ |
| 6. วงจรควบคุมมอเตอร์สเคปป์ | 13. สายสัญญาณของหัววีคังลิ |
| 7. สายคังส่วนเลื่อนตำแหน่งหัวคังในแนวตั้ง | 14. สายสัญญาณของ เครื่อง เลื่อนตำแหน่ง |

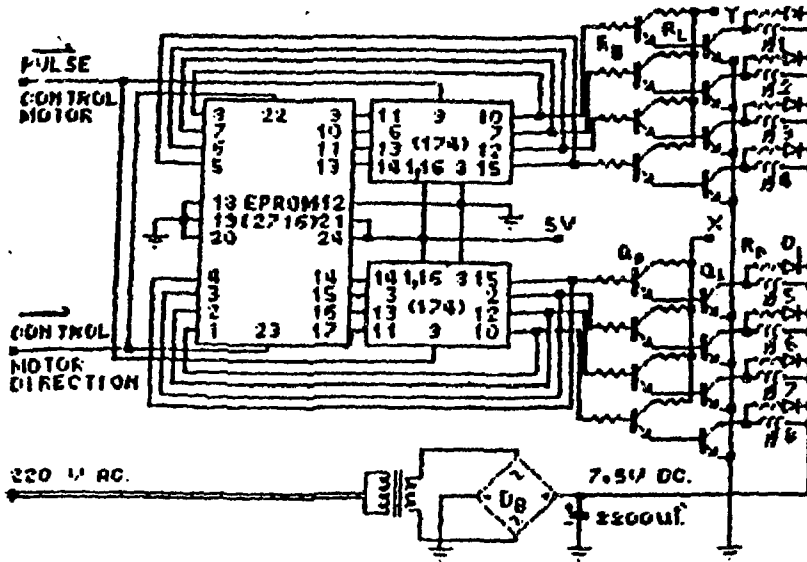
สำหรับส่วนไฟฟ้า จะเริ่มจากวงจรกำเนิดพัลส์ แบบ Multivibrator วิทยุไอซี เบอร์ 555 กำเนิดพัลส์ที่มีความถี่ 374 หรือ 186 Hz เพื่อให้สามารถนำความเร็วในการเคลื่อนหัวคังได้ 2 ระดับความเร็ว อันเป็นการเพิ่มความสะดวกในการใช้งานให้แม่นยำและรวดเร็วขึ้น ดังแสดงวงจรในรูปที่ 3 และพัลส์ที่ได้จากส่วนแรกนี้ จะนำป้อน AND กับสัญญาณควบคุมการเดินหน้า-ถอยหลัง วิทยุสัญญาณนี้ถูกควบคุมโดยวงจรควบคุมอัตราที่มีอีกค่อหนึ่ง ดังรูปที่ 3 ซึ่งจะนำพัลส์ และสัญญาณเดินหน้า-ถอยหลัง ที่จะส่งไปสู่วางจรนับแสดงผล และวงจรควบคุมมอเตอร์สเคปป์อีกค่อหนึ่ง ทั้งนี้วางจรนับแสดงผลนี้ จะเป็นแบบนับได้ 2 ทิศทาง คือเพิ่มค่า กับลดค่า ซึ่งสอดคล้องกับการควบคุมให้เคลื่อนหัวคังได้เดินหน้า ถอยหลัง เช่นกัน วิทยุสัญญาณการเดินหน้าถอยหลังจะ ไปกำหนดการนับร่วมกับพัลส์ที่ส่งเข้ามานับ ซึ่งวางจรนี้ใช้ ไอซีฮาราลิเบ จำนวน 4 ตัว เบอร์ 74192 ค่ออินคับกัน แล้วนำเอาหัวพุท วนนารีของไอซี 3 ตัวหลังไปผ่านการแปลงให้เป็นสัญญาณที่ขับหลอดแสดงตัวเลข 7 ส่วน 3 หลักได้ โดยไอซีเบอร์ 7447 ดังแสดงในรูปที่ 5

ส่วนวงจรควบคุมมอเตอร์สเคปป์ ที่เป็นส่วนไฟฟ้าเพียงวางจรเดียวที่ติดตั้งอยู่ในห้องเครื่องแรง จะเป็นวงจรมานำสัญญาณเดินหน้า-ถอยหลัง และพัลส์จากคอนแรก มาทำหัวมอเตอร์สเคปป์หมุนเดินหน้า หรือถอยหลัง ได้ตามต้องการ ทั้งนี้จะใช้เทคนิคการโปรแกรม EPROM เบอร์ 2716 วิทยุที่มีข้อมูลที่สอดคล้องกับการกำหนดแรงคังไฟฟ้าวนคอยล์ในแต่ละเฟสของมอเตอร์สเคปป์ ในลักษณะการหมุนได้ 2 ทิศทาง แบบกำลังเต็ม (Two excitation) วิทยุพัลส์ที่เข้ามาจะกำหนดจังหวะวิทยุมีการอ้างแอกเครสตำแหน่งที่ข้อมูลที่ค่อต้องการของมอเตอร์ และข้อมูลนี้เป็นแอกเครสของตำแหน่งข้อมูลค่อไป หัวมอเตอร์สเคปป์ค่อต้องการ เพื่อจะนำคังในทิศทางที่ค่อต้องการ ทั้งนี้จะมีการขยายกำลังไฟฟ้าที่ได้จากข้อมูล EPROM วิทยุกำลังมากขึ้นจนเพียงพอที่จะขับเคลื่อนมอเตอร์สเคปป์ วิทยุการไว้วางจร

การตั้งค่านายก่าลังงานแต่ละเฟสทั้งสองมอเตอร์ และการเลือกขั้วมอเตอร์ควาต ก้าช้การ สลับการาบอัสหรานขิลเคอร์ตัวแรกของวางจรการตั้งค่นท้วย ตั้งาในรูปที่ 6

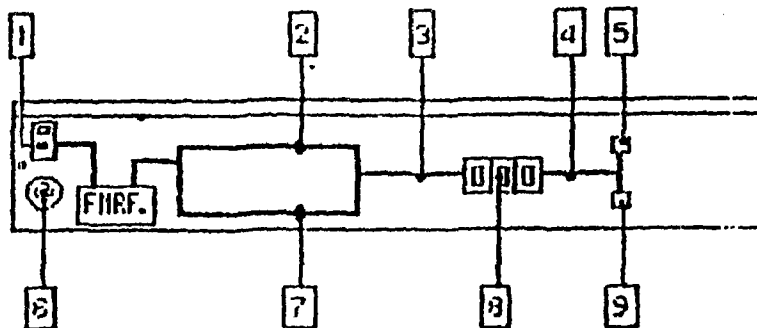


รูปที่ 6 แสดงวงจรก้าเนกท้อล วงจรควบคุม วงจรควบคุมอัสหรานขิลเคอร์ วงจรอัสหรานขิลเคอร์ และวงจรถองค่านายก่าลังงาน



รูปที่ 6 แสดงวงจรควบคุมมอเตอร์สเกรมป์

สำหรับการเลือกตำแหน่งหัววัดบนห้องเครื่องแรง จะมีสเกลบอกตำแหน่งอ้างอิง เพื่อแสดงว่าที่ราบตำแหน่งกรวยนิวตรอนหน้าเป่าตรีเคียม ทั้งนี้จะมีการตรวจสอบด้วยไมโครสวิตซ์ ครงตำแหน่งขอบริมทั้งสองด้าน และตำแหน่งสเกลที่เป็นศูนย์ด้วย ภายที่จะมีหลอดไฟแสดงสัญญาณที่หน้าเครื่องควบคุม ในห้อง Control ว่าไมโครสวิตซ์ที่วัดทางามอยู่ ทั้งนี้สัญญาณจากการตั้งศูนย์จะเป็นการเคลียร์ค่าที่นับได้จากวงจรรีบแสดงผลเพื่อให้ออกคล้อยกับตำแหน่งสเกลจริง และสัญญาณการถึงขอบริม จะส่งเข้าบัสวงจรควบคุมอัตโนมัติ เพื่อจะกำหนดว่า ถ้าถึงขอบริมแล้วจะไม่มีการเคลื่อนต่อไปในทิศทางที่ถึงขอบแล้ว แต่จะเลือกด้านทิศตรงกันข้ามเท่านั้นทั้งสองด้านของขอบริม ดังแสดงในรูปที่ 4 ภายหลักการดังกล่าวนี้เครื่องเคลื่อนนี้จะเคลื่อนหัววัดที่พิสัย 30 ซ.ม. ภายมีความแม่นยำ 1 ม.ม.



รูปที่ 7 ส่วนประกอบหน้าปัทม์ของ เครื่องควบคุมระยะไกลซึ่งอยู่ในห้องควบคุม

- | | |
|---|-------------------------------|
| 1. สวิตช์เปิด-ปิด | 6. พิวส์ขนาด 1 แอมแปร์ |
| 2. สวิตช์เลือกระดับความเร็ว | 7. สวิตช์เลือกเพื่อเบสขั้วแนว |
| 3. โพลสัญญาณแสดงตำแหน่ง เริ่มต้น | 8. ตัวเลขแสดงตำแหน่ง |
| 4. โพลสัญญาณแสดงตำแหน่งริมสุด | 9. สวิตช์เลือกตำแหน่งถอยหลัง |
| 5. สวิตช์เลือกตำแหน่ง เकिनหน้า
(เพิ่มค่าตัวเลขตำแหน่ง) | (ลดค่าตัวเลข) |

การทดลองวัดหากรวยนิวตรอน

การทดลองนี้ใช้เทคนิค Time-of-Flight (TOF) ครอบคลุมการจับคู่การกระจายตัวต่าง ๆ ดังรูปที่ 8 และใช้วงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1

หัววัดนิวตรอนที่ติดอยู่กับเครื่องวัดกรวยนิวตรอนนั้น ห่างจากสารเรืองแสง NE-102A ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม. หน้า 0.4 ซม. ติดอยู่กับหลอด PHT ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว รุ่น RCA 8575 ส่วนหัววัดอัลฟาเป็นสารเรืองแสง NE-102A เช่นกัน แต่มีความหนาเพียง 0.075 มม. เท่านั้น

สัญญาณ linear ที่เกิดขึ้นที่หัววัดนิวตรอน และหัววัดอัลฟา จะถูกส่งผ่านไปยัง CFD สัญญาณที่มีขนาดสูงกว่า threshold bias จะผ่านออกมาได้โดยถูกเบี่ยงเบนให้เป็นสัญญาณ Logic ซึ่ง bias ของหัววัดนิวตรอนจะถูกตั้งไว้ประมาณเทียบเท่ากับอนุภาคเบรคตอนพลังงาน 5 MeV สัญญาณจาก CFD ทั้งสองจะถูกส่งไปยังหน่วย COINC ซึ่ง COINC จะให้สัญญาณ output เมื่อสัญญาณทั้งสองมาถึงพร้อมกัน สัญญาณ output นี้จะถูกส่งไปยัง TAC โดยเข้าเป็นสัญญาณ start และมีสัญญาณจากหัววัดอัลฟาเป็นสัญญาณ stop

TAC จะเบี่ยงเบนความแตกต่างของเวลาระหว่างสัญญาณ start และ stop นี้ให้เป็นสัญญาณความสูง (pulse-height) โดยที่ความสูงของสัญญาณจะแปรผันกับช่วงเวลาเวลาระหว่างสัญญาณทั้งสอง ซึ่งสัญญาณความสูงนี้จะถูกส่งต่อไปยัง MCA เพื่อวิเคราะห์และเก็บสะสมข้อมูลในรูปแบบของ Time-of-Flight Spectrum ดังแสดงในรูปที่ 10 พื้นที่ใต้ peak ของ spectrum จะขึ้นอยู่กับหัววัดนิวตรอนว่าเข้าไปอยู่ในกรวยนิวตรอนมากน้อย

เพียงใด กล่าวคือ ถ้าเข้าปอยู่กลางกรวยนิวตรอน peak ก็จะสูงกว่าเมื่ออยู่ขอบกรวย

ในการทดลองหากรวยนิวตรอนด้วยเครื่องวัดหากรวยนิวตรอนเคลื่อนที่เร็วแบบ ครึ่งละ 0.5 ซม. คัดขวางแนวกรวยนิวตรอน แล้วหาพื้นที่ใต้ peak ของ TOF spectrum ที่แต่ละตำแหน่งไว้ แล้วนำมา normalized กับจำนวนนับของ Neutron Monitor จะเห็นผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 11, 12 และ 13 ตามลำดับ

สรุป

เครื่องตรวจหากรวยนิวตรอนนี้ทำงานได้ความความมุ่งหมาย สามารถช่วยให้นักวิทยาศาสตร์ทำการทดลองลงมากกว่า 4 เท่า เมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ในการทดลองแบบเดิม

สำหรับผลของการทดลองวัดกรวยนิวตรอนนั้น พบว่าตำแหน่งและความกว้างของกรวยนิวตรอนมีลักษณะคงเดิม เมื่อ count rate ของหัววัดอัลฟามีค่าคงที่ 10 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 11 และเมื่อเปรียบเทียบกับความกว้างของกรวยนิวตรอนในแนวตั้ง (รูปที่ 12) แล้วพบว่า กรวยนิวตรอนมีลักษณะสมมาตร ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของกรวยอัลฟาที่ถูกมองโดยหัววัดอัลฟา

เพื่อเป็นการยืนยันวิธีการและการทำงานของระบบ จึงทำการวัดกรวยนิวตรอนสองตำแหน่ง คือที่ระยะ 20.3 ซม. และ 74 ซม. จากเป้าครีเทียม จากตำแหน่งและความกว้างของนิวตรอนที่วัดได้นี้ ตามรูปที่ 13 เป็นการยืนยันว่าการทดลองถูกต้อง ทั้งนี้เพราะสอดคล้องกับผลการคำนวณจาก Kinematics ของปฏิกิริยา $d(T, n)\alpha$ สำหรับหัววัดอัลฟาที่มีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ชื่อย่อ	ชื่อเต็ม
CFD	Constant Fraction Discriminator
OGG	Octal Gate Generator
COINC	Coincidence Unit
TPO	Time Pick-off Control
LD	Logic Delay
TAC	Time-to-Amplitude Converter
MCA	Multi-Channel Analyzer

เอกสารอ้างอิง

นรา จีรภัทรนิมิต, กิรพัทธ์ วิสัยทอง, สมศร สิงขรัตน์, คุญฎี สุวรรณขจร และการ์เบ็ค
 ธอยซ์, "ระบบวัดสเปกตรัมของนิวตรอนแบบแทม-ออฟ-ฟลทท์ ภาควิชาฟิสิกส์
 จากอนุภาคอัลฟา" รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เสนอต่อ คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
 พ.ศ. 2529

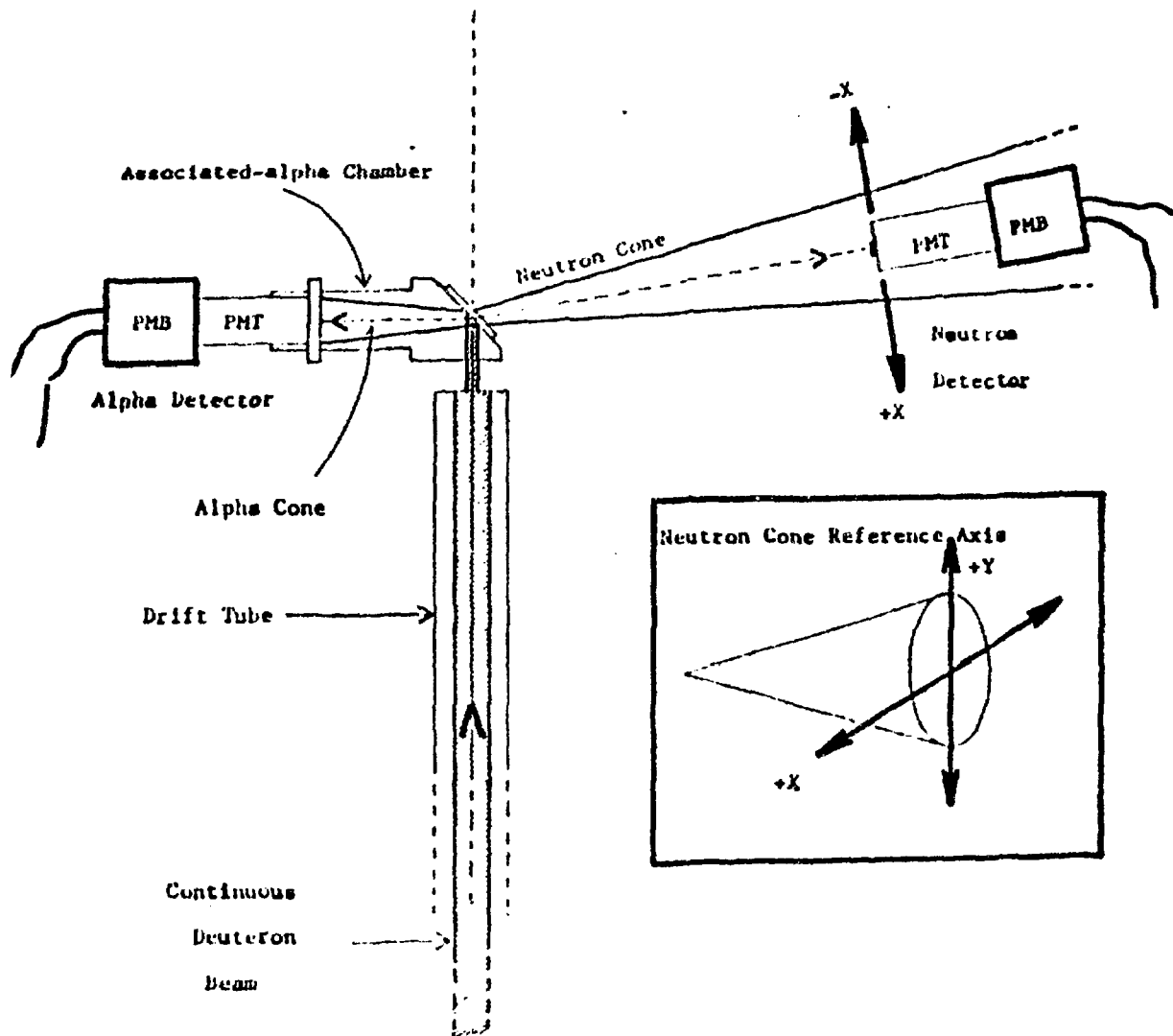
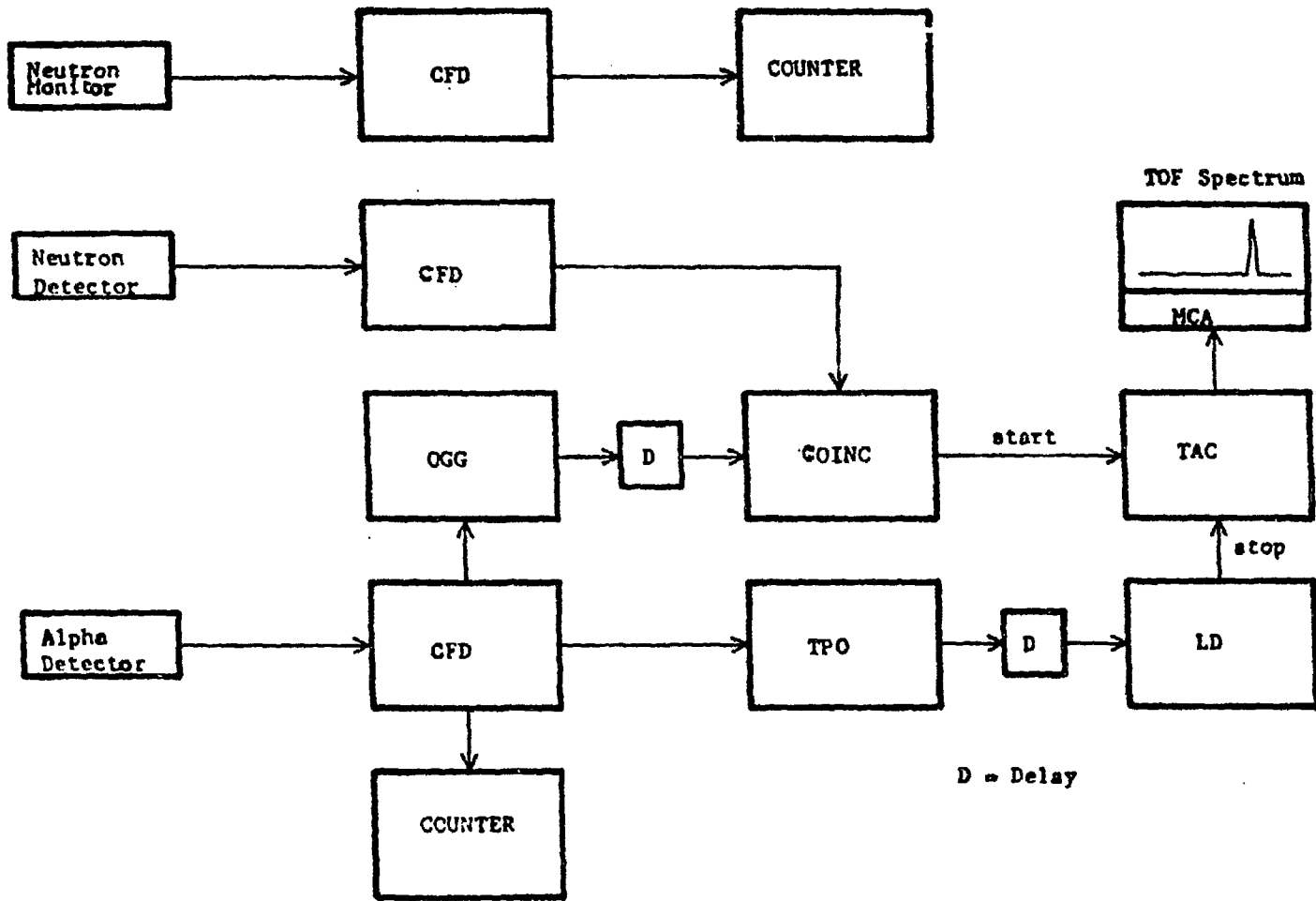
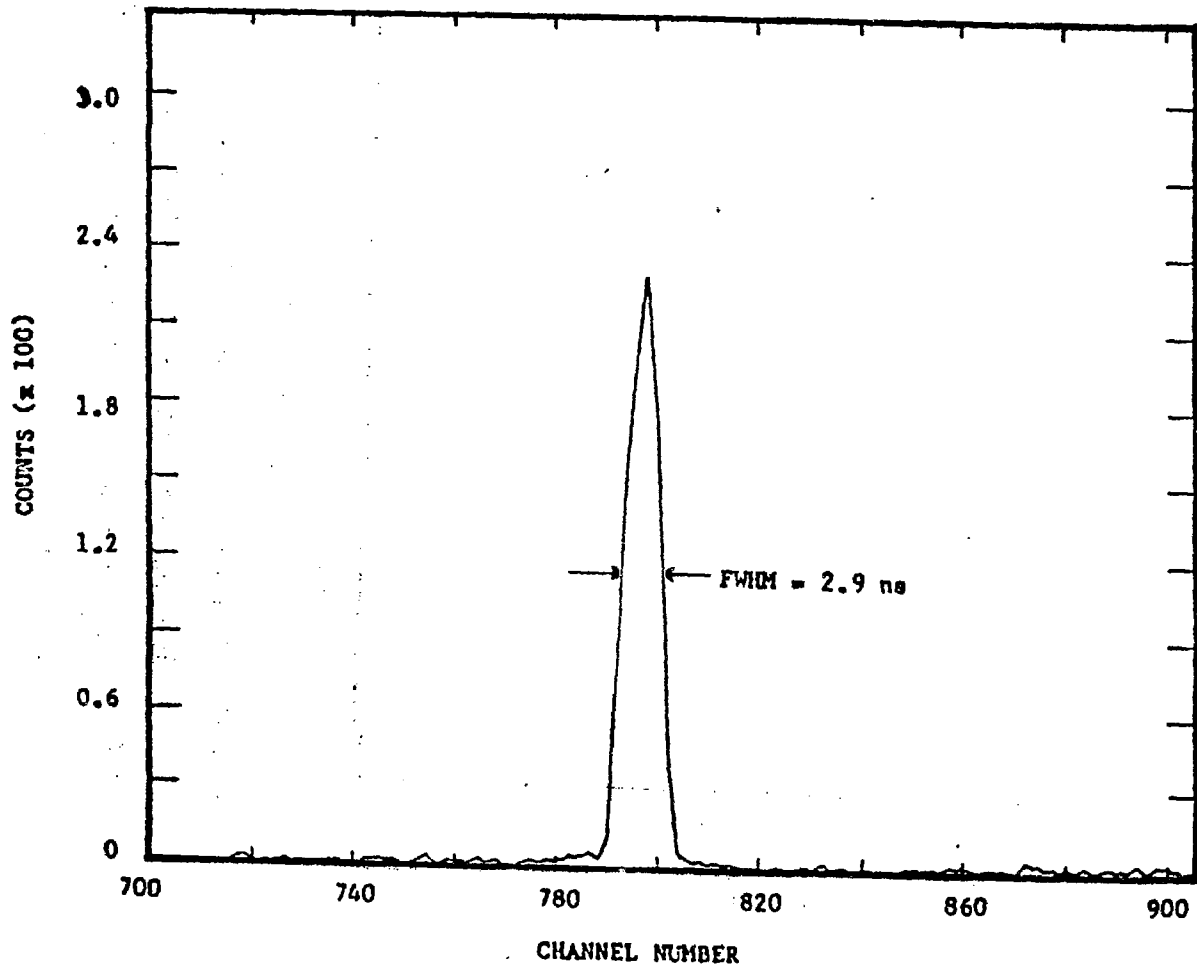


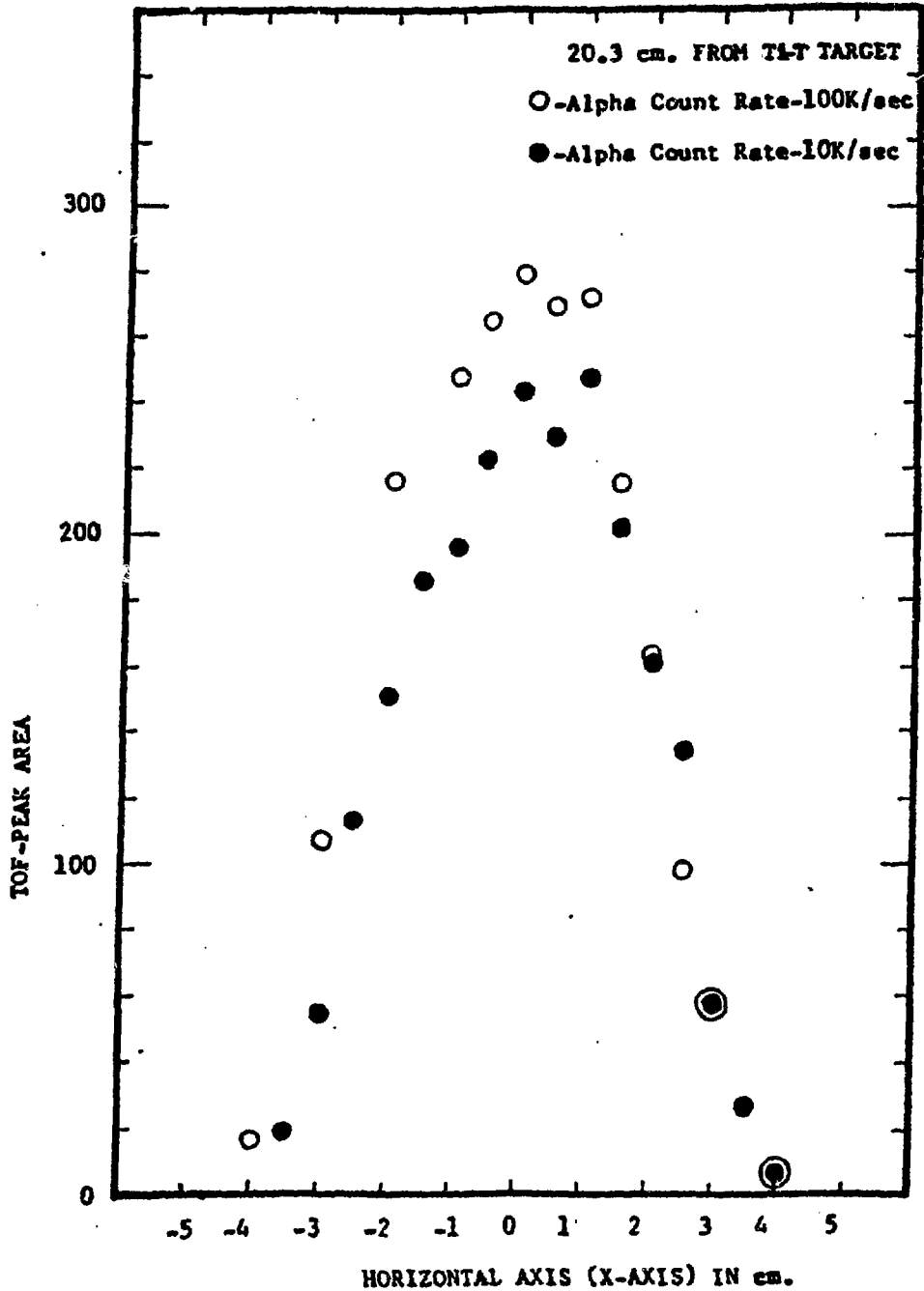
FIG. 2. Schematic diagram of the neutron detection system.



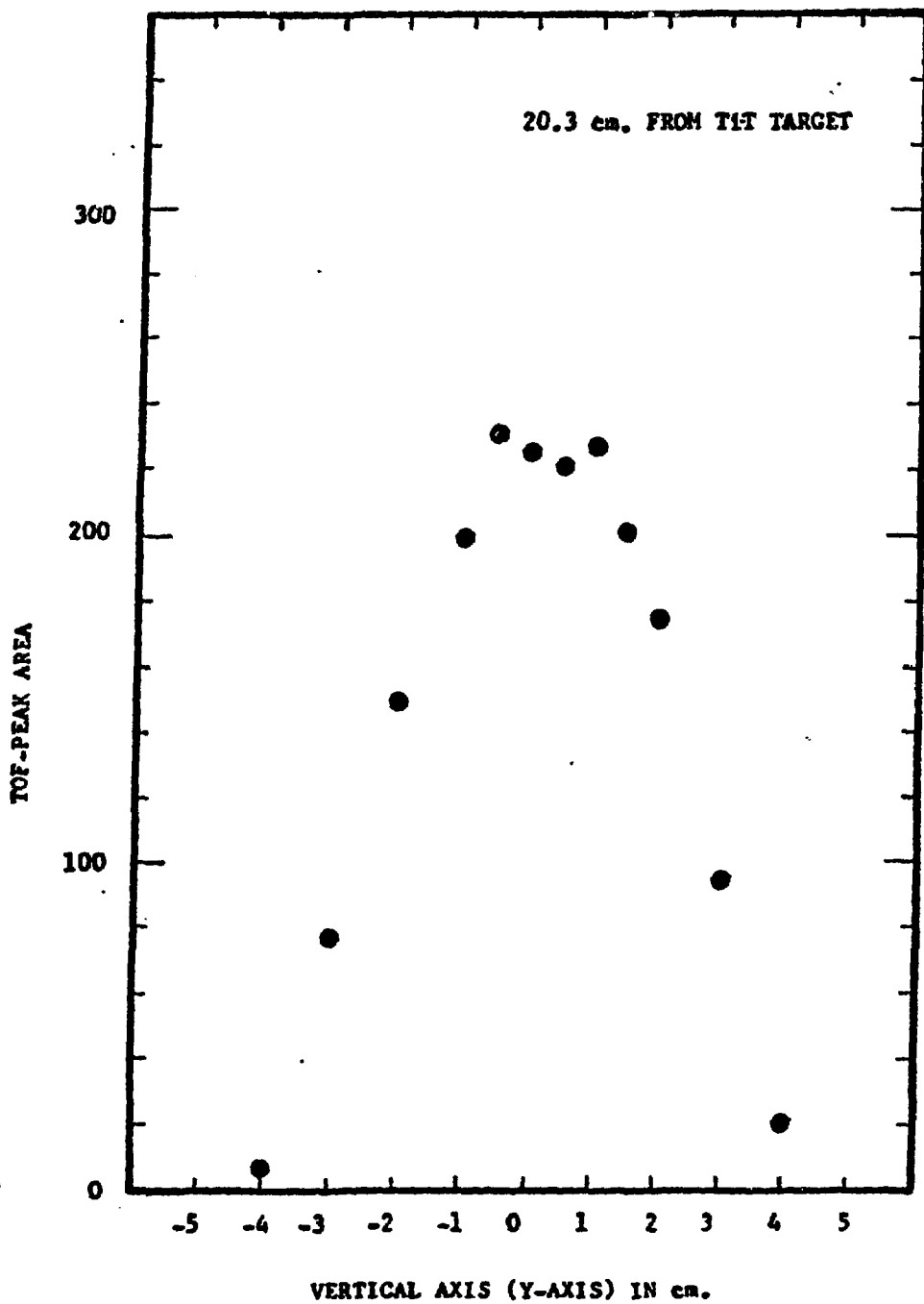
รูปที่ 9 แผนภูมิจริงอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการทดลองวัดการชนนิวตรอนด้วยเทคนิค Time-of-Flight



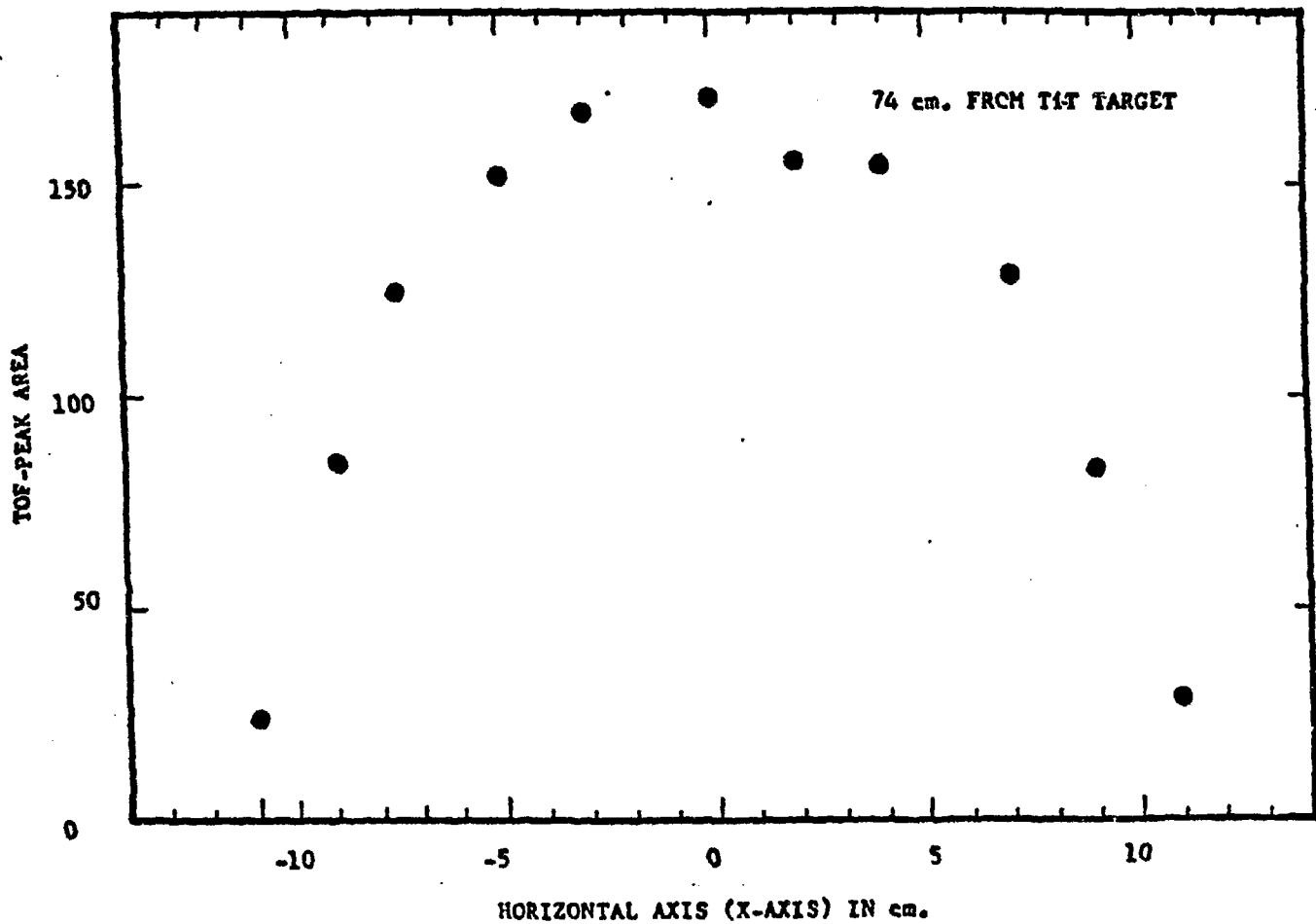
รูปที่ 10 แสดงลักษณะ Time-of-Flight Spectrum จากการทำงานของ



รูปที่ 11 แสดงลักษณะ Neutron Cone ในแนวแกนราบ (แกน x) เมื่อ
 หัวตัวตรวจจับอยู่ห่างเป้าทริเทียม 20.3 ซม. รูปนี้แสดงเปรียบเทียบ
 ลักษณะ Neutron Cone เมื่อใช้ความเข้มของลำอนุภาคตัวตรวจจับไม่
 เท่ากันเอาไว้วาด



รูปที่ 12 แสดงลักษณะ Neutron Cone ในแนวแกนตั้ง (แกน Y) เมื่อ หัวตัวนิวตรอนอยู่ห่างเป้าทริเทียม 20.3 ซม.



รูปที่ 13 แสดงลักษณะ Neutron Cone ในแนวแกนราบ (แกน x) เมื่อหัววัดนิวตรอนอยู่ห่างเป้าทริเทียม 74 ซม.