

## การวิเคราะห์กำลังหยุดยั้งมวลของระบบแก้วบิสมัทโซเดียมบอเรตโดยใช้โปรแกรม SRIM ที่ช่วงพลังงาน 0.01 – 10 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

เพชร บริสุทธิ์<sup>1</sup> พฤติพล ลิ้มกิจเจริญพร<sup>1,2</sup> กิตติพงษ์ เสี่ยงเสนาะ<sup>1,2\*</sup> และจักรพงษ์ แก้วขาว<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

<sup>2</sup>ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

\*kittipongpat@webmail.npru.ac.th

### บทคัดย่อ

การศึกษาการกำบังอนุภาคโปรตอนของฮีเลียมที่เคลื่อนที่ผ่านระบบแก้วบิสมัทโซเดียมบอเรต  $x\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot 20\text{Na}_2\text{O} \cdot (80-x)\text{B}_2\text{O}_3$  ที่  $x = 25, 30, 35$  และ  $40$  mol% ผ่านการวิเคราะห์ ค่ากำลังหยุดยั้งมวล (mass stopping power; MSP) ช่วงความลึกเฉลี่ยของอนุภาค (projected range; PR) ที่ช่วงพลังงาน 0.01–10 MeV และช่วงการกระจายตัวของไอออน (ion range) โดยใช้โปรแกรม SRIM (The Stopping and Range of Ions in Matter) ยิ่งไปกว่านั้นยังได้จำลองการเคลื่อนที่ผ่านเนื้อแก้วของโปรตอนฮีเลียมที่ความหนา  $1 \mu\text{m}$  ที่พลังงาน 5 และ 10 keV ผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นทำให้ความลึกเฉลี่ยและการกระจายตัวของไอออนมีค่าลดลงทำให้ป้องกันอนุภาคมีประจุได้ดียิ่งขึ้น

**คำสำคัญ:** กำลังหยุดยั้งมวล อนุภาคที่มีประจุ วัสดุกำบังรังสี โปรแกรม SRIM

## Mass stopping power analysis of sodium bismuth borate glass system using the SRIM program in energy range from 0.01 – 10 MeV

Phet Burisoot<sup>1</sup>, Pruttipol Limkitjaroenporn<sup>1,2</sup>, Kittipong Siengsanoh<sup>1,2\*</sup> and Jakrapong Kaewkhao<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Physics Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

<sup>2</sup>Center of Excellence in Glass Technology (CEGM), Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

\*kittipongpat@webmail.npru.ac.th

### Abstract

The studied of the masking of helium protons traveling through the sodium bismuth borate glass system  $x\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20\text{Na}_2\text{O} : (80-x) \text{B}_2\text{O}_3$  where  $x = 25, 30, 35$  and  $40$  mol%. By analyzing the parameters mass stopping power, projected range were energy range  $0.01-10$  MeV and ion range by the SRIM program, Moreover, it simulates the glass movement of helium protons at thickness  $1 \mu\text{m}$  at energy  $5$  and  $10$  keV, The results showed that the higher the concentration, the lower the average depth and the lower the ion dispersion, resulting in better protection against the particles.

**Keywords:** mass stopping power, charged particle, shielding materials, the SRIM program

### 1. บทนำ

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญอย่างมากกับโลกในยุคปัจจุบันและการดำรงชีวิตของมนุษย์ ทั้งด้านอุตสาหกรรม การแพทย์ เกษตรกรรม (YS Rammah, IO Olarinoye, FI EL-Agawany, A EL-Adawy and El S Yousef,2020) หนึ่งในเทคโนโลยีที่มีความสำคัญคือ เทคโนโลยีทางด้านรังสี ทว่านอกจากจะมีประโยชน์แก่มนุษย์แล้ว กลับกันถ้ามนุษย์สัมผัสกับรังสีโดยตรงในปริมาณมาก ๆ หรือเป็นเวลานาน ๆ ก็อาจก่อให้เกิดอันตรายในระดับเซลล์ได้ (E Mahmoud, M EL-Khatib, S Badawi, R Rashed, M EL-Sharkawy and A A Thabet ,2017) ,(E Kavaz, FI EL\_Agawany, HO Tekin , U. Peris, anoglu and YS Rammah, 2020) ดังนั้นการกำบังรังสีจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายที่จะเกิดขึ้น การกำบังรังสีสามารถทำได้ง่ายโดยใช้วัสดุที่มีความหนาแน่นสูงมากำบัง เช่น ตะกั่ว ซีลีโคเลน คอนกรีต เป็นต้น (G Li, Q Zhanga, J Li, X Zhao, W Xu, M Wang, D Xub, Y Zhou, 2020), (B Ahmed, GB Shaha, A H Malik, Aurangzeb and M Rizwan, 2020), (MHA Mhareb, Y Slimani, YS Alajerami, MI Sayyed, E Lacomme and M A Almessiere, 2020) แต่วัสดุแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป แก้วเป็นหนึ่งในวัสดุที่น่าสนใจและน่าศึกษาในแง่ของการกำบังรังสี เพราะเป็นวัสดุที่ใสจึงสามารถมองผ่านได้ ทั้งยังมีน้ำหนักเบา ง่ายต่อการประดิษฐ์และปรับปรุงโครงสร้าง ในงานวิจัยครั้งนี้ระบบแก้วบิสมัทโซเดียมบอเรต  $x \text{Bi}_2\text{O}_3 : 20\text{Na}_2\text{O} : (80-x) \text{B}_2\text{O}_3$  ที่  $x = 25, 30, 35$  และ  $40$  mol% ถูกใช้เพื่อศึกษาการกำบังอนุภาคแอลฟาของจากอะตอมฮีเลียมที่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก ค่ากำลังหยุดยั้งมวล (mass stopping power; MSP) ช่วงความลึกเฉลี่ยของอนุภาค (projected range; PR) ผ่านโปรแกรม SRIM (The Stopping and Range of Ions in Matter) เพื่อจำลองสถานการณ์ ที่ช่วงพลังงาน  $0.01 - 10$  MeV ซึ่ง SRIM เป็นโปรแกรมที่ได้รับการยอมรับและถูกใช้อย่างกว้างขวางในการคำนวณ

## 2. ทฤษฎี

กำลังหยุดยั้งเนื่องจากการไอออนไนส์และการกระตุ้น (stopping power due to ionization and excitation) เมื่ออนุภาคมีประจุเคลื่อนที่ผ่านวัสดุจะถูกแรงคูลอมบ์กระทำจากอิเล็กตรอนนับล้านจากวัสดุนั้น ๆ ทำให้อนุภาคมีประจุเกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการชน ดังนั้นการออกแบบวัสดุกำบังอนุภาคต้องอาศัยปรากฏการณ์นี้เพื่อทำให้อนุภาคสูญเสียพลังงานจนจลนจันไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ การคำนวณการสูญเสียพลังงานสามารถหาได้จากสมการ (Nicholas Tsoulfanidis 2015)

$$\frac{dE}{dx} (\text{MeV} / m) = 4\pi r_0^2 z^2 \frac{mc^2}{\beta^2} NZ \left[ \ln \left( \frac{2mc^2}{I} \beta^2 \gamma^2 \right) - \beta^2 \right]$$

โดยที่ m = มวลนิ่งของอนุภาคมีประจุ kg  
N = จำนวนอะตอม/ตารางเมตรที่อนุภาคเคลื่อนที่ผ่าน  
Z = เลขอะตอม  
z = ขนาดประจุของอนุภาคมีประจุ (z = 1 สำหรับ e<sup>-</sup>, e<sup>+</sup>, p, d, และ z = 2 สำหรับ α)

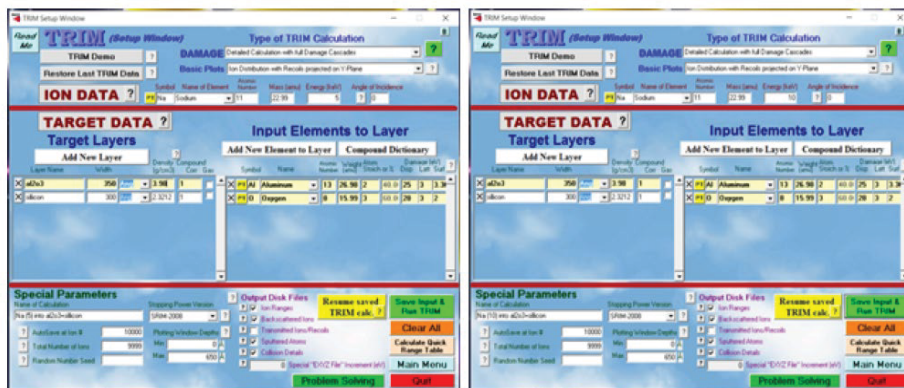
$$\beta = v / c$$

c คือ ความอัตราเร็วแสงในสุญญากาศมีค่า 3x10<sup>8</sup> m/s

v คือ ความเร็วของอนุภาคมีประจุ m/s

โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากำบังอนุภาคโปรตอนของฮีเลียมที่เคลื่อนที่ผ่านระบบแก้วบิสมัทโซเดียมเบอร์ต xBi2O3: 20Na2O : (80-x) B2O3 ที่ x = 25, 30, 35 และ 40 mol% ผ่านการวิเคราะห์ ค่ากำลังหยุดยั้งมวล (mass stopping power; MSP) ช่วงความลึกเฉลี่ยของอนุภาค (projected range; PR) ที่ช่วงพลังงาน 0.01–10 MeV และช่วงการกระจายตัวของไอออน (ion range) โดยใช้โปรแกรม SRIM

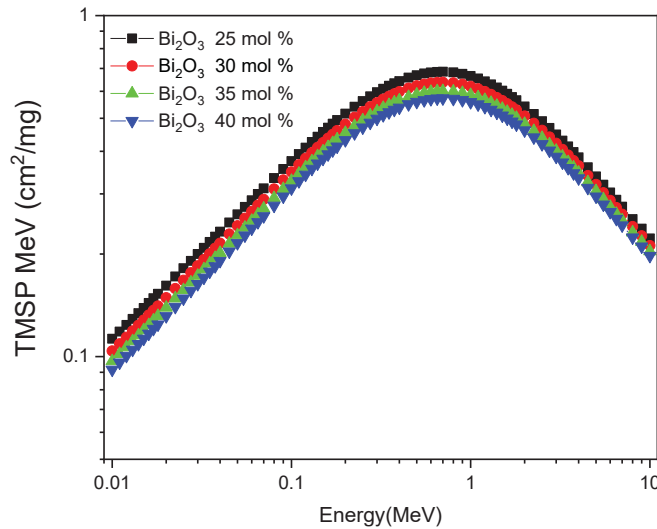
รายละเอียดการคำนวณกำลังหยุดยั้งมวลด้วยโปรแกรม SRIM สามารถศึกษาได้จาก Simulation of very-low energy alkali ion (≤ 10 KeV) induced effects on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> micro flakes (Satyanarayan Dhal, Arpita Patro, Arpita Patro, Supraja, P K Rath, 2020 )



รูปภาพที่ 1 แสดงการคำนวณด้วยโปรแกรม SRIM

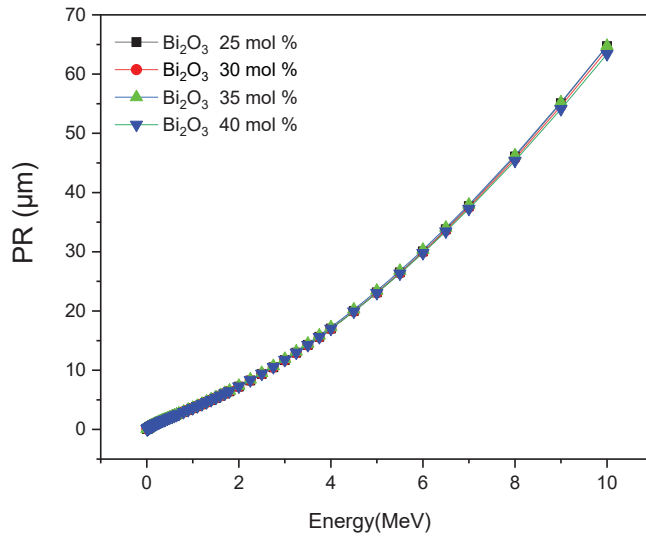
### 3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาระบบแก้วบิสมัทโซเดียมบอเรตเพื่อใช้ในการกำบังอนุภาคแอลฟาจากโปรตอนฮีเลียมโดยอาศัยกำลังหยุดยั้งมวลในการคำนวณเพื่อบ่งบอกความสามารถการกำบังอนุภาคของวัสดุ กำลังหยุดยั้งมวลหมายถึง พลังงานในการหยุดอนุภาคมีประจุที่กำลังเคลื่อนที่ผ่านวัสดุที่ประกอบด้วยอะตอมและอิเล็กตรอนจำนวนมาก ทำให้อนุภาคมีประจุชนกับอิเล็กตรอนเหล่านั้นจนพลังงานจลน์ลดลงเรื่อย ๆ จนพลังงานจลน์ของอนุภาคมีประจุลดลงจนเหลือศูนย์จนไม่อาจเคลื่อนที่ผ่านวัสดุนั้นต่อไปได้อีก ยิ่งไปกว่านั้นยังมีผลของความลึกเฉลี่ย (projected range) เป็นส่วนสำคัญในการบ่งบอกว่าอนุภาคจะเคลื่อนที่ไปได้มากแค่ไหนในเนื้อวัสดุ โดยกำหนดความหนาของวัสดุไว้ที่ 1  $\mu\text{m}$



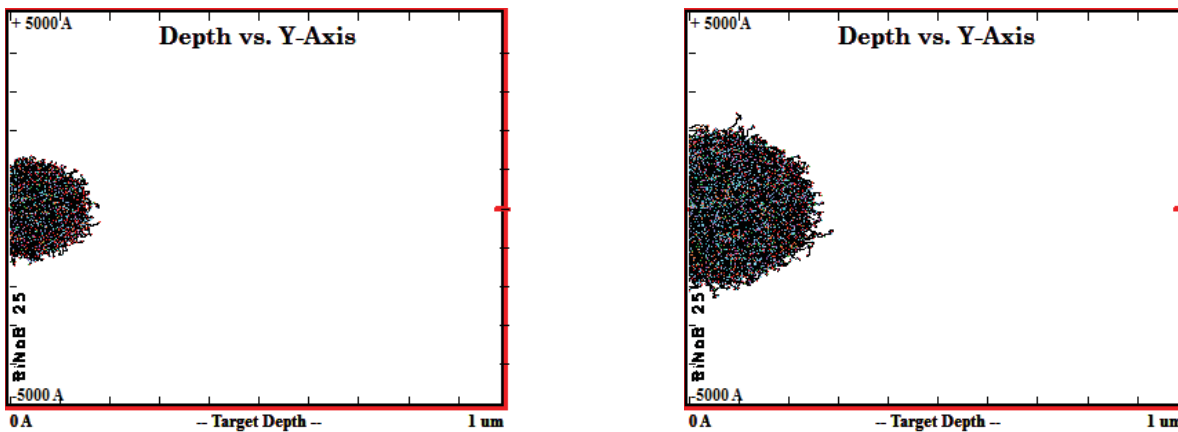
รูปภาพที่ 2 กำลังหยุดยั้งมวลของโปรตอนฮีเลียมในช่วงพลังงาน 0.01 – 10 MeV ในระบบแก้วที่มีปริมาณของบิสมัทที่ต่างกัน

รูปภาพที่ 2 แสดงผลการคำนวณ กำลังหยุดยั้งมวลของระบบแก้วบิสมัทโซเดียมบอเรตความเข้มข้น 25, 30, 35 และ 40 mol% ที่พลังงาน 0.01–10 MeV พบว่า ค่ากำลังหยุดยั้งมวลของแก้วบิสมัทโซเดียมบอเรตมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากพลังงาน 0.01 MeV และมีค่าสูงสุดที่ 0.7 MeV และจะค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงพลังงาน 10 MeV ทั้งยังพบว่า กำลังหยุดยั้งมวลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของบิสมัทจาก 25, 30, 35 และ 40 mol% ตามลำดับ เนื่องจากบิสมัทเป็นธาตุที่มีเลขอะตอมสูงจึงมีประจุไฟฟ้าจากอิเล็กตรอนจำนวนมากทำให้สามารถกำบังอนุภาคแอลฟาได้ดีขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของบิสมัทลงไปในระบบแก้ว

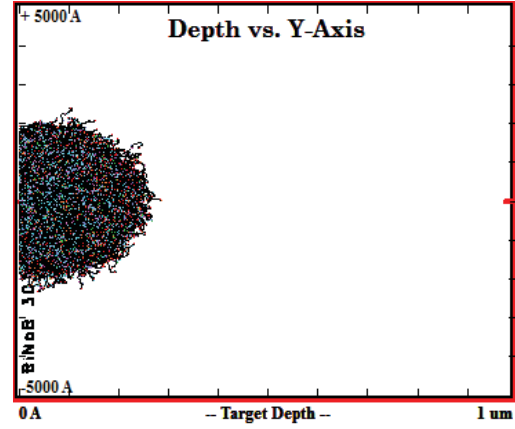
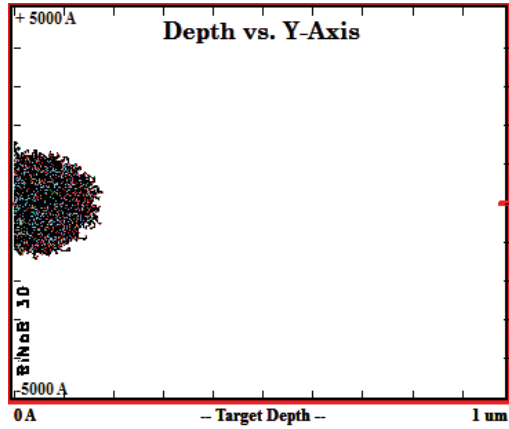


รูปภาพที่ 3 ช่วงความลึกเฉลี่ยเมื่อโปรตอนฮีเลียมเคลื่อนที่ผ่านเนื้อแก้วที่มีความเข้มข้นของบิสมีท์แตกต่างกันในช่วงพลังงาน 0.01 – 10 MeV

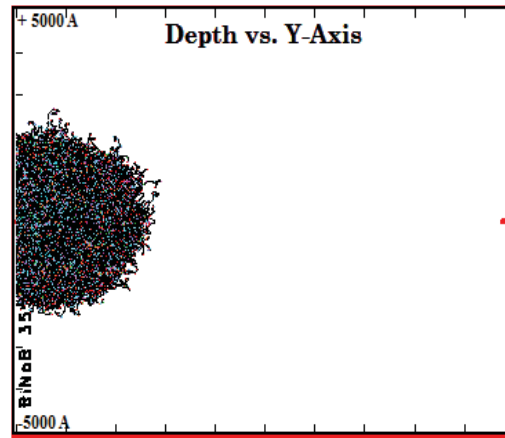
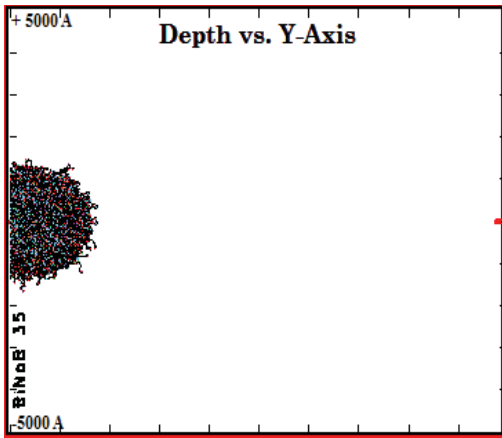
รูปภาพที่ 3 แสดงผลความลึกเฉลี่ยของอนุภาคแอลฟาจากโปรตอนฮีเลียมที่เคลื่อนที่เข้าไปในเนื้อแก้ว พบว่าอนุภาคอนุภาคแอลฟาจะเข้าไปได้ลึกมากขึ้นเรื่อย ๆ แบบเอกซ์โพเนนเชียลเมื่อพลังงานเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มความเข้มข้นของบิสมีท์ยังทำให้อนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่เข้าไปได้ยากกว่าเดิมส่งผลให้สามารถก้ำบังอนุภาคได้ดีขึ้น



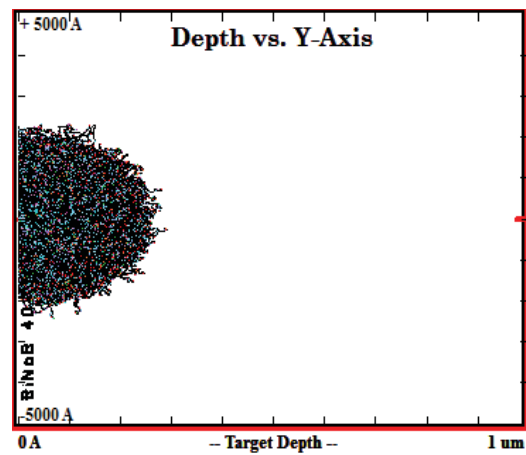
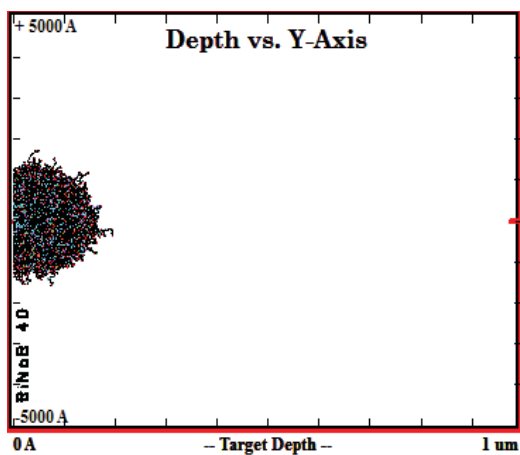
รูปภาพที่ 4 จำลองโปรตอนฮีเลียมที่พลังงาน 5 และ 10 keV เข้าไปในเนื้อแก้วหนา 1 µm ที่ความเข้มข้นของบิสมีท์ 25 mol %



รูปภาพที่ 5 จำลองโปรตอนฮีเลียมที่พลังงาน 5 และ 10 keV เข้าไปในเนื้อแก้วหนา 1 μm ที่ความเข้มข้นของบิสมีท 30 mol %

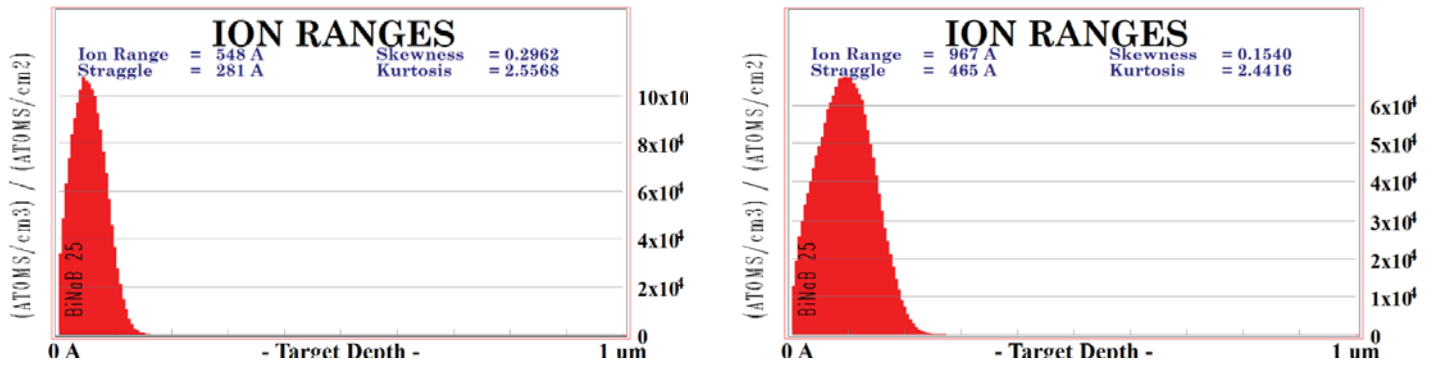


รูปภาพที่ 6 จำลองโปรตอนฮีเลียมที่พลังงาน 5 และ 10 keV เข้าไปในเนื้อแก้วหนา 1 μm ที่ความเข้มข้นของบิสมีท 35 mol %

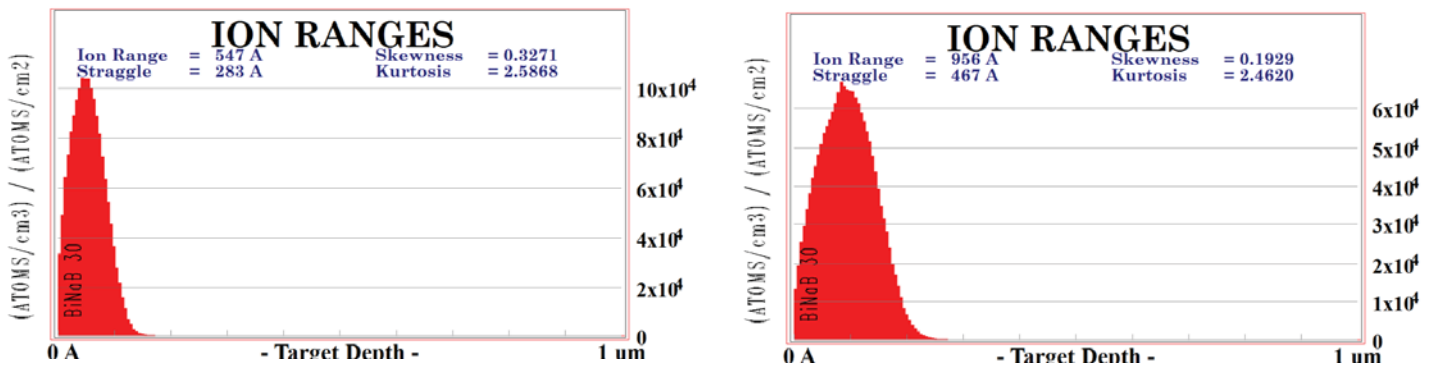


รูปภาพที่ 7 จำลองโปรตอนฮีเลียมที่พลังงาน 5 และ 10 keV เข้าไปในเนื้อแก้วหนา 1 μm ที่ความเข้มข้นของบิสมีท 40 mol %

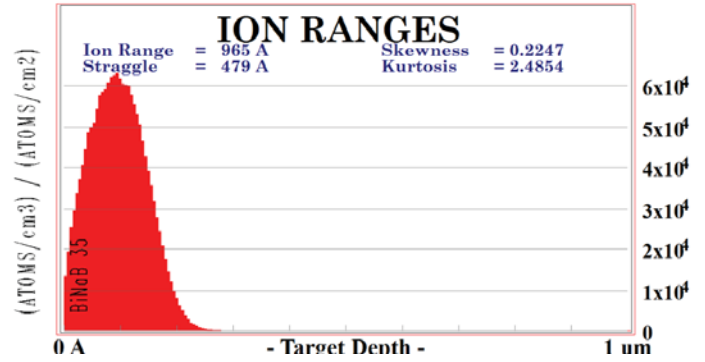
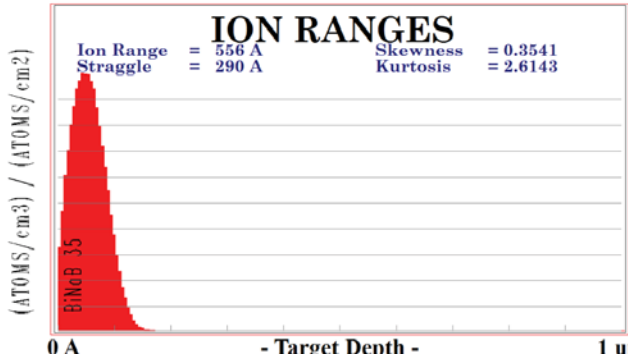
รูปภาพที่ 4-7 เป็นการจำลองอนุภาคแอลฟาจากโปรตอนฮีเลียมที่มีมวลเท่ากับ 4.003 amu ที่พลังงาน 5 และ 10 keV เคลื่อนที่เข้าไปยัง ระบบแก๊วบิสมีทโซเดียมบอเรตมีความเข้มข้นต่างกัน ที่ความหนา 1  $\mu\text{m}$  ผลการจำลองพบว่าอนุภาคแอลฟาของประจุฮีเลียมที่พลังงาน 10 keV สามารถเคลื่อนที่เข้าไปได้ลึกกว่า ที่พลังงาน 5 keV ในขณะที่เข้าไปนั้นอนุภาคแอลฟาจะชนกับอะตอมของบิสมีท(ถูกแทนโดยจุดสีแดง) หลังจากถูกชนจะเกิดพื้นที่ว่างภายใน จากนั้นอนุภาคแอลฟาจะถูกสะท้อนกลับ(แทนด้วยจุดสีฟ้า) กระบวนการนี้เป็นกลไกที่ถูกเรียกว่า recoil cascade



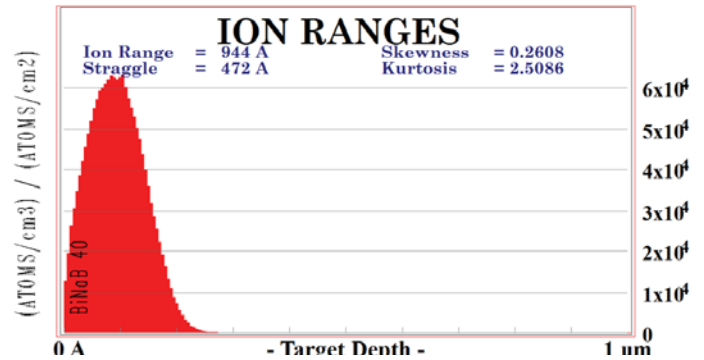
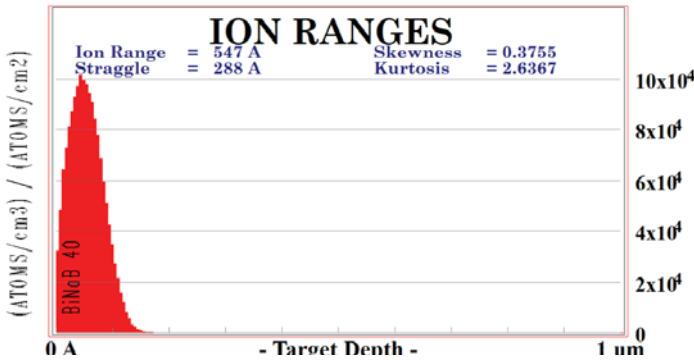
รูปภาพที่ 8 การกระจายตัวของไอออนในช่วงพลังงาน 5 และ 10 keV ในเนื้อแก้วที่ความเข้มข้นของบิสมีท 25 mol %



รูปภาพที่ 9 การกระจายตัวของไอออนในช่วงพลังงาน 5 และ 10 keV ในเนื้อแก้วที่ความเข้มข้นของบิสมีท 30 mol %



รูปภาพที่ 10 การกระจายตัวของไอออนในช่วงพลังงาน 5 และ 10 keV ในเนื้อแก้วที่ความเข้มข้นของบิสมีท 35 mol %



รูปภาพที่ 11 การกระจายตัวของไอออนในช่วงพลังงาน 5 และ 10 keV ในเนื้อแก้วที่ความเข้มข้นของบิสมีท 40 mol %

รูปภาพที่ 8-11 แสดงผลการจำลองการกระจายของอนุภาคแอลฟาที่เข้าไปยังระบบแก้วบิสมีทโซเดียมบอเรตที่มีปริมาณบิสมีทต่างกันที่มีความหนา 1  $\mu\text{m}$  ด้วยพลังงาน 5 กับ 10 keV โดยที่พลังงาน 5 keV มีค่าช่วงของไอออน 0.0548, 0.0547, 0.0556 และ 0.0547  $\mu\text{m}$  และที่พลังงาน 10 keV มีช่วงของไอออน 0.0967, 0.0956, 0.0965 และ 0.0944  $\mu\text{m}$  ที่ความเข้มข้น 25, 30, 35 และ 40 mol% ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นพบว่า เมื่อค่าช่วงไอออนมีคาลดลงส่งผลให้การป้องกันโปรตอนได้ดียิ่งขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของบิสมีทในระบบแก้ว

#### 4. สรุปผลการทดลอง

การใช้สมการ กำลังหยุดยั้งมวลและการจำลองเหตุการณ์อนุภาคมีประจุของฮีเลียมที่เคลื่อนที่เข้าไปยังระบบแก้วบิสมีทโซเดียมบอเรตที่มีสูตรเคมี  $x \text{ Bi}_2\text{O}_3 : 20\text{Na}_2\text{O} : (80-x) \text{ B}_2\text{O}_3$  ที่  $x = 25, 30, 35$  และ 40 mol% โดยวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม SRIM ผลจากการวิเคราะห์พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของบิสมีทจะทำให้สามารถป้องกันอนุภาคมีประจุของฮีเลียมได้ดียิ่งขึ้นที่ความเข้มข้น 40 mol % และสามารถป้องกันได้สูงสุดเมื่ออนุภาคมีประจุมีพลังงาน 0.7 MeV บ่งบอกว่าระบบแก้วบิสมีทโซเดียมบอเรตสามารถป้องกันอนุภาคมีประจุได้ดี



## 5. เอกสารอ้างอิง

E Mahmoud, M El-Khatib, S Badawi, R Rashed, M El-Sharkawy and A A Thabet, Fabrication, characterization and gamma rays shielding properties of nano and micro lead oxide-dispersed-high density polyethylene composites. **Radiat. Phys. Chem**, 145, 160-173 (2017).

YS Rammah, IO Olarinoye, FI El-Agawany, A El-Adawy and El S Yousef, Environment friendly La<sup>3+</sup> ions doped phosphate glasses/glass-ceramics for gamma radiation shielding: Their potential in nuclear safety applications. **Ceram. Int.**46, 27616-27626 (2020).

E Kavaz, FI El\_Agawany, HO Tekin , U. Peris, anoglu and YS Rammah, Nuclear radiation shielding using barium borosilicate glass ceramics. **J. Phys**,142, 109437 (2020).

G Li, Q Zhanga, J Li, X Zhao, W Xu, M Wang, D Xub, Y Zhou, A facile route to prepare lead borate crystals for jointly shielding neutron and gamma rays. **Inorg. Chem**, 112, 107719 (2020).

B Ahmed, GB Shaha, A H Malik, Aurangzeb and M Rizwan. Gamma-ray shielding characteristics of flexible silicone tungsten composites. **Appl. Radiat**,155, 108901 (2020).

MHA Mhareb, Y Slimani, YS Alajerami, MI Sayyed, E Lacomme and M A Almessiere, Structural and radiation shielding properties of BaTiO<sub>3</sub> ceramic with different concentrations of Bismuth and Ytterbium. **Ceram. Int.** 46, 28877-28886 (2020).

Tsoufanidis, N. (2015). **MEASUREMENT & DETECTION of RADIATION**, CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL 33487-2742.