

การศึกษาประสิทธิภาพกำบังรังสีของระบบแก้วทองแดงสังกะสี ฟอสเฟตที่เจือด้วยแบเรียมออกไซด์

INVESTIGATION FOR RADIATION SHIELDING EFFICIENCY OF COPPER ZINC PHOSPHATE GLASS SYSTEM DOPED WITH BARIUM OXIDE

กิตติศักดิ์ ศรีวงศ์ษา^{1,2*} พิมพกนก พระภูมิ¹ พิษณุสินี เลิศธำรงยศ¹ นพรัตน์ สุขสี³
ภวัต ผ่องอำไพ³ ศุภาวรรณ รูปสังข์³ พันธุ์ศักดิ์ กล้ากล่อมจิตร³ และ สุนันทศักดิ์ ระว่างวงศ์⁴
Kittisak Sriwongsa^{1,2*}, Pimkanok Prapume², Pisinee Lertthamrongyot², Nopparat Suksee³,
Pawat Pongampai³, Supawan Rupsang³, Punsak Glumglomchit³ and Sunantasak Ravangvong⁴

¹หลักสูตรศิลปศาสตรบัณฑิต คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

²โรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยศิลปากร (มัธยมศึกษา)

³โรงเรียนหัวหินวิทยาลัย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

⁴สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

¹Education Program in Physics, Faculty of Education, Silpakorn University

²The demonstration school of Silpakorn University (High School)

³Huahin Vitthayalai School, Prachuapkhirikhan

⁴Division of Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Phetchaburi Rajabhat University

*corresponding author e-mail: sriwongsa_k@silpakorn.edu

(Received: 13 December 2020; Revised: 9 April 2021; Accepted: 10 April 2021)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาค่าพารามิเตอร์สำหรับการใช้งานของระบบแก้วกำบังรังสี ในระบบ $42\text{P}_2\text{O}_5 \cdot (14-x)\text{Na}_2\text{O} \cdot 39\text{ZnO} \cdot 5\text{BaO} \cdot x\text{Cu}_2\text{O}$ โดย $x = 2 \ 4 \ 6 \ 8$ และ 10 โมลเปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าต่างๆ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เลขอะตอมยังผล ความหนาครึ่งค่า และค่าระยะทางอิสระเฉลี่ย โดยใช้โปรแกรม WinXCom ที่ช่วงพลังงาน 10^{-3} – 10^5 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ผลการศึกษาพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของระบบแก้วตัวอย่างนี้มีค่าลดลงตามระดับพลังงานที่เพิ่มขึ้น สามารถแบ่งลักษณะออกเป็น 3 ช่วงพลังงาน คือ อันตรกิริยาดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบคอมป์ตัน และการผลิตคู่ ซึ่งเป็นอันตรกิริยาหลักที่เกิดขึ้นในช่วงพลังงานระดับต่ำ กลาง และสูง ตามลำดับ และพบว่า ระบบแก้ว $42\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 4\text{Na}_2\text{O} \cdot 39\text{ZnO} \cdot 5\text{BaO} \cdot 10\text{Cu}_2\text{O}$ มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล และเลขอะตอมยังผลสูงสุด ในขณะที่ความหนาครึ่งค่า และระยะทาง

อิสระเฉลี่ยมีค่าต่ำสุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแก้วตัวอย่างนี้มีความสามารถในการกำบังรังสีได้ดีที่สุด และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุกำบังรังสีได้

คำสำคัญ: แก้ว กำบังรังสี สมบัติการลดทอนเชิงมวล

Abstract

In this research was studied parameters of $42\text{P}_2\text{O}_5$: $(14-x)\text{Na}_2\text{O}$: 39ZnO : 5BaO : $x\text{Cu}_2\text{O}$ ($x = 2, 4, 6, 8$ and 10 mol%) glass system for radiation shielding. These parameters were mass attenuation coefficient, effective atomic number, half value layer and mean free path. These parameters have been estimated by using WinXCom at energy ranging from 10^{-3} – 10^5 MeV. The results were presented that mass attenuation coefficient was decreased with increased energy. These events of radiation parameter were separated three processes including photoelectric absorption, Compton scattering and pair production at low, medium and high energy ranging, respectively. Besides that, $42\text{P}_2\text{O}_5$: $4\text{Na}_2\text{O}$: 39ZnO : 5BaO : $10\text{Cu}_2\text{O}$ glass sample had mass attenuation coefficient and effective atomic number highest while half value layer and mean free path had lowest value. These results indicated that this sample had excellent potential and could be applied as radiation shielding material.

Keywords: Glass, Radiation shielding, Mass attenuation coefficient

บทนำ

โดยทั่วไปทางวัสดุศาสตร์จะจัดประเภทของวัสดุตามโครงสร้างออกเป็น 2 แบบ คือ วัสดุที่มีโครงสร้างไม่แน่นอน คาทการณ์โครงสร้างไม่ได้เรียกว่า วัสดุประเภทอสัณฐาน อีกประเภท คือ วัสดุที่มีโครงสร้างแน่นอนสามารถคาทการณ์โครงสร้างได้ เรียกว่า วัสดุประเภทผลึก แก้วเป็นวัสดุประเภทอสัณฐานมีการใช้งานหลากหลายในด้านวิทยาศาสตร์ เช่น ในสาขาเลเซอร์ นิวเคลียร์ และชีววิทยา เป็นต้น ข้อดีของวัสดุประเภทนี้ ได้แก่ มีความโปร่งใสและสามารถเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีได้ง่าย (Elbasha, 2015; Eweis, 2015; Rashad, 2015; Saeed, Elbasha & Kameesy, 2015) แก้วออกไซด์ เช่น แก้วซิลิเกตบอโรต และแก้วฟอสเฟต ถูกนำมาใช้ในหลายๆ งานขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้เจือ (Doremus, 1994; Shelby, 2005) แก้วที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้งานมากที่สุดในปัจจุบัน คือ แก้วฟอสเฟต เนื่องจากมีสมบัติที่ดีมากๆ เช่น มีจุดหลอมเหลวต่ำ การกระจายตัวต่ำ และดัชนีหักเหสูง (Brow, 2000) การเจือแก้วฟอสเฟตด้วย

แบเรียมออกไซด์ (BaO) นั้นจะทำให้แก้วมีความต้านทานการสลายตัวที่ดีขึ้นเมื่อมีการเจือในปริมาณเล็กน้อย (Catauro & Laudisio, 1999; Elhaes et al., 2014) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่ผสมอยู่ในแก้วฟอสเฟตทำให้คุณสมบัติในด้านความทนทานต่อสารเคมีสูง และซิงค์ออกไซด์เป็นวัสดุที่ต้นทุนต่ำ ปลอดภัย และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวมีความสำคัญมากสำหรับการใช้งานด้านทัศนศาสตร์ เช่น แก้วฟิลเตอร์ (Elhaes et al., 2013; Rayan, 2015; Rashad, Rayan & Barawy, 2010)

ในบรรดาออกไซด์ของโลหะทรานซิชันต่างๆ คอปเปอร์ออกไซด์ (Cu_2O) เป็นตัวหนึ่งที่น่าสนใจมากที่สุดที่จะใส่ไว้ในระบบแก้ว ซึ่งช่วยในส่วนของคุณสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้าและทางแสง โดยเกิดจากพฤติกรรมของไอออนทองแดง Cu^+ และ Cu^{2+} ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวปรับแต่งโครงสร้าง อีกทั้งบางส่วนยังทำหน้าที่เป็นตัวโครงสร้าง (Aboufotouh, et al., 2014; Barczynski, Gazda, & Murawski, 2003; Elbasha, Saeed, 2015; Leenakul, 2013; Metwalli, 2003; Metwalli, et al., 2004; Miura, 2003; Nocun, 2004; Saeed, et al., 2014; Sułowska, Waclawska, & Olejniczak, 2013; Vedeau, 2006; Vedeau, Magdas, & Stefan, 2012; Walter, 2003) ดังนั้นแก้วที่มีทองแดงไอออนในสถานะของออกซิเดชันที่ต่างกันจึงมีประโยชน์อย่างมากในการพิจารณาเป็นตัวกรองแบบดีพาสสำหรับการใช้งานที่แตกต่างกัน เช่น เทคโนโลยีแว่นกันแดดและแว่นตาป้องกันแสงเลเซอร์ (Asghar, 2009; Bessell, 2001; Rayan, 2013; Sutter, & Schirmacher, 2001; Sabatini & Richardson, 2003)

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาระบบแก้ว $42\text{P}_2\text{O}_5 \cdot (14-x)\text{Na}_2\text{O} \cdot 39\text{ZnO} \cdot 5\text{BaO} \cdot x\text{Cu}_2\text{O}$ โดย $x = 2 \ 4 \ 6 \ 8$ และ 10 โมลเปอร์เซ็นต์ (Elbasha, Rashad & Rayan, 2017) จะได้ถูกนำมาวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติด้านการกำบังรังสี ซึ่งพารามิเตอร์ที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เลขอะตอมยังผล ความหนาครีคร่า และค่าระยะทางอิสระเฉลี่ย โดยสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลจะถูกนำมาวิเคราะห์โดยโปรแกรม WinXCom ช่วงพลังงาน 10^{-3} ถึง 10^5 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ โดยระบบแก้วนี้ยังไม่ได้มีการศึกษาสมบัติด้านการกำบังรังสีมาก่อนหน้านี้ ซึ่งผลที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบแก้วหรือวัสดุ เช่น คอนกรีตหรืออัลลอยด์ได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาความหนาแน่น (Density; ρ)

ค่าความหนาแน่นของแก้วศึกษาโดยใช้หลักของอิมิดิส คือ การแทนที่วัตถุในของเหลว ซึ่งหาได้จากสมการที่ 1 (Elbasha, Rashad & Rayan, 2017)

$$\rho = \left[\frac{W_{\text{air}}}{W_{\text{air}} - W_1} \right] \rho_0 \quad (1)$$

เมื่อ ρ , W_{air} , W_1 และ ρ_0 หมายถึง ความหนาแน่นของแก้วตัวอย่าง น้ำหนักของวัตถุที่ชั่งในอากาศ น้ำหนักของวัตถุที่ชั่งในของเหลว และ ความหนาแน่นของของเหลว ตามลำดับ

2. การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (Mass attenuation coefficient; μ_m) เลขอะตอมยังผล (Effective atomic number; Z_{eff}) ความหนาครึ่งค่า (Half value layer; HVL) และค่าระยะทางอิสระเฉลี่ย (Mean free path; mfp)

ค่าทางทฤษฎีของสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (μ_m : cm^2/g) สำหรับระบบแก้ว $42\text{P}_2\text{O}_5$: $(14-x)\text{Na}_2\text{O}$: 39ZnO : 5BaO : $x\text{Cu}_2\text{O}$ โดย $x = 2\ 4\ 6\ 8$ และ 10 โมลเปอร์เซ็นต์ จะใช้ “กฎการผสม (Mixture rule)” และค่าทางทฤษฎีหาได้โดยใช้ WinXCom ดังสมการที่ 2 (Intom et al., 2020; Kara, 2020)

$$\mu_m = \sum w_i (\mu_m)_i \quad (2)$$

เมื่อ w_i และ $(\mu_m)_i$ หมายถึง สัดส่วนโดยน้ำหนักและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนมวลของแต่ละธาตุในตัวอย่างแก้ว ตามลำดับ

สำหรับค่าเลขอะตอมยังผล (Z_{eff} : e⁻/atom) คำนวณได้ดังสมการที่ 3 (Abdel-Latif et al., 2020; Levet, Kavaz & Özdemir, 2020; Mahmoud, et al., 2020; Prabhu et al., 2020)

$$Z_{\text{eff}} = \frac{\sum_i f_i A_i (\mu_m)_i}{\sum_i f_i \frac{A_i}{Z_i} (\mu_m)_i} \quad (3)$$

เมื่อ f_i , Z_i และ A_i หมายถึง สัดส่วนจำนวนอะตอม เลขอะตอม และมวลอะตอมของแต่ละธาตุ ตามลำดับ

ความหนาครึ่งค่า (HVL: cm) คือ ค่าความหนาของวัสดุที่ทำให้ความเข้มของรังสีที่ผ่านวัสดุลดลง 50% ดังสมการที่ 4

$$HVL = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (4)$$

ระยะทางอิสระเฉลี่ย (mfp: cm) คือ ระยะทางเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก่อนที่จะชนกับโมเลกุลอื่น หาได้ดังสมการที่ 5

$$mfp = \frac{1}{\mu} \quad (5)$$

เมื่อ μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของตัวอย่างแก้ว

3. องค์ประกอบทางเคมีของระบบแก้ว

ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของระบบแก้ว $42P_2O_5: (14-x)Na_2O: 39ZnO: 5BaO: xCu_2O$ โดยกำหนดให้ x มีค่าเท่า 2 4 6 8 และ 10 โมลเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยทำการสังเคราะห์ด้วยวิธีการหลอมที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส และทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้อง (Conventional melt and quenching technique) (Elbashar, Rashad & Rayan, 2017) ซึ่งรายละเอียดจำนวนโมลเปอร์เซ็นต์ของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในระบบแก้วของแต่ละตัวอย่าง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีและรหัสแก้วของระบบแก้ว $42P_2O_5: (14-x)Na_2O: 39ZnO: 5BaO: xCu_2O$ (โมลเปอร์เซ็นต์) (Elbashar, Rashad & Rayan, 2017)

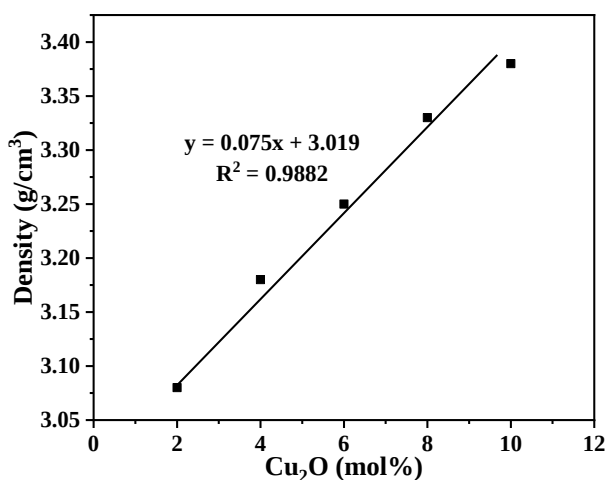
องค์ประกอบทางเคมี (โมลเปอร์เซ็นต์)	รหัสของแก้ว				
	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	Ex5
P_2O_5	42	42	42	42	42
Na_2O	12	10	8	6	4
ZnO	39	39	39	39	39
BaO	5	5	5	5	5
Cu_2O	2	4	6	8	10

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาความหนาแน่นของระบบแก้ว

จากการศึกษาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างแก้วทั้ง 5 โดยใช้หลักของอิมิติส คือ การแทนที่วัตถุในของเหลว ซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังภาพที่ 1 จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มโมลเปอร์เซ็นต์ของ Cu_2O เป็น 2 4 6 8 และ 10 ความหนาแน่นของแก้วก็เพิ่มขึ้น โดยในระบบแก้ว

นี้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นในรูปความสัมพันธ์เชิงเส้น ซึ่งเกิดจากการแทนที่ของ Cu_2O ที่มีความหนาแน่นและมวลอะตอมที่มากกว่า Na_2O

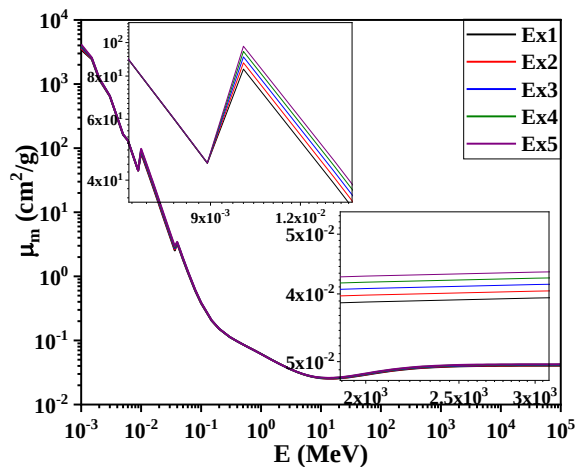


ภาพที่ 1 ความหนาแน่นของระบบแก้วตัวอย่างเทียบกับปริมาณของ Cu_2O (mol%) (Elbashar, Rashad & Rayan, 2017)

2. ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (Mass attenuation coefficient; μ_m) เลขอะตอมยังผล (Effective atomic number; Z_{eff}) ความหนาครึ่งค่า (Half value layer; HVL) และค่าระยะทางอิสระเฉลี่ย (Mean free path; mfp)

2.1 ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของระบบแก้ว

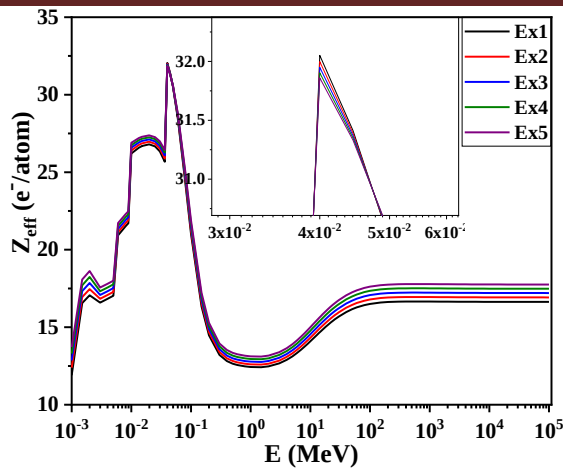
จากภาพที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของระบบแก้วในช่วงพลังงาน 10^{-3} – 10^5 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าสำหรับตัวอย่างแก้วทั้งหมดที่พลังงาน 10^{-3} เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลมีค่ามากที่สุดและลดลงอย่างรวดเร็วจากนั้นเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ที่พลังงาน 10^1 – 10^3 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ และมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลเกือบคงที่ในช่วงพลังงาน 10^3 – 10^5 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ พฤติกรรมเหล่านี้สัมพันธ์กับช่วงพลังงานต่ำ กลาง และสูง ซึ่งอันตรกิริยาหลักที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของระบบแก้วทั้งหมดเป็นลักษณะนี้ คือ อันตรกิริยาดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงคอมป์ตัน และอันตรกิริยาการผลิตคู่ กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลไม่ต่อเนื่องในช่วงพลังงาน 10^{-2} เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ เนื่องจากอยู่ในช่วงของขอบเขตของการดูดกลืนพลังงานในวงโคจรอิเล็กตรอนชั้น K ของ P Zn และ Cu ซึ่งเป็นธาตุองค์ประกอบหลักของระบบแก้วนี้ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างแก้วที่ 5 (Ex5) มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสูงสุด



ภาพที่ 2 สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของระบบแก้วเทียบกับพลังงานของรังสีในช่วง 10^{-3} – 10^{-5} เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

2.2 ผลการศึกษาค่าเลขอะตอมยังผล

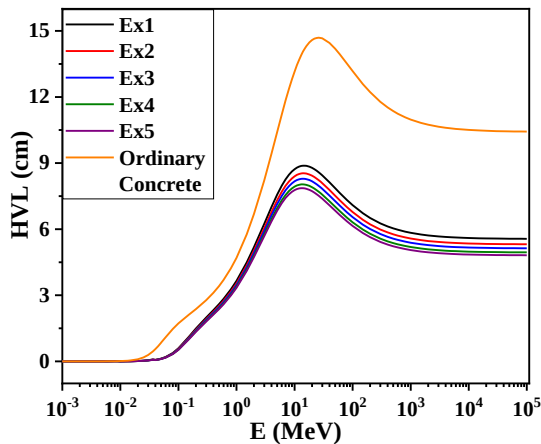
เมื่อพิจารณาภาพที่ 3 ซึ่งแสดงค่าเลขอะตอมยังผลของระบบแก้วในช่วงพลังงาน 10^{-3} – 10^5 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งเลขอะตอมยังผลเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้เกี่ยวกับพฤติกรรมการป้องกันการแผ่รังสีของวัสดุ ถ้าวัสดุนั้นมีค่าเลขอะตอมยังผลสูงหมายความว่าวัสดุนั้นสามารถป้องกันรังสีได้ดี (Shams & Mostafa, 2017) ค่าเลขอะตอมยังผลจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของระบบแก้ว ซึ่งแก้วตัวอย่างที่ 5 (Ex5) มีปริมาณ Cu_2O สูงสุด นอกจากนี้กราฟยังมีจุดสูงสุดที่พลังงานรังสีแกมมา 4.45×10^{-2} เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ เนื่องจากอยู่ในช่วงของขอบดูดกลืน K ของ P, Zn และ Cu ตามลำดับ ที่ช่วงพลังงานต่ำ ($E < 4.45 \times 10^{-2}$ MeV) เลขอะตอมยังผลมีค่าสูงสุดเนื่องจากมีอันตรกิริยาหลัก คือ อันตรกิริยาดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริกที่พลังงานระดับกลาง (4.45×10^{-2} MeV $< E < 1$ MeV) เลขอะตอมยังผลมีค่าต่ำสุดซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาหลัก คือ การกระเจิงคอมป์ตัน หลังจากนั้น ($E > 1$ MeV) เลขอะตอมยังผลจะเพิ่มค่าเกือบคงที่ซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาหลัก คือ อันตรกิริยาการฟิสิกส์ (Abdel-Latif et al., 2020)



ภาพที่ 3 เลขอะตอมยังผลของระบบแก้วตัวอย่างเทียบกับพลังงานของรังสีในช่วง 10^{-3} ถึง 10^{-5} เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

2.3 ผลการศึกษาค่าความหนาครึ่งค่า

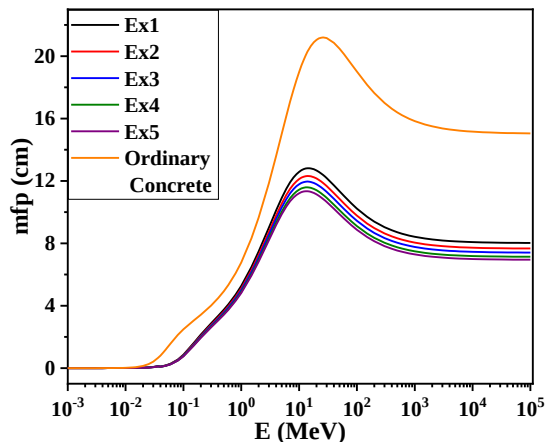
จากภาพที่ 4 แสดงค่าความหนาครึ่งค่าของระบบแก้วในช่วงพลังงาน 10^{-3} – 10^{-5} เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งค่าความหนาครึ่งค่าเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงค่าความหนาของวัสดุที่สามารถทำให้รังสีที่ส่งผ่านได้โดยค่าความเข้มของรังสีจะลดลงครึ่งหนึ่งจากความเข้มของรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสี ถ้าวัสดุนั้นมีค่าความหนาครึ่งค่าต่ำหมายความว่าวัสดุนั้นสามารถกำบังรังสีได้ดี ค่าความหนาครึ่งค่าจะขึ้นอยู่กับโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างพลังงานรังสีเมื่อผ่านเข้าไปในวัสดุ ซึ่งองค์ประกอบของระบบแก้วตัวอย่างที่ 5 (Ex5) ที่มีปริมาณ Cu_2O สูงสุดมีค่าความหนาครึ่งค่าที่ต่ำสุดซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณของ Cu_2O นั้นส่งผลต่อการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีและตัวกลางทำให้เกิดขึ้นได้เร็วทำให้ความหนาของตัวกลางนั้นลดลงและผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าแก้วตัวอย่างที่ 5 (Ex5) สามารถกำบังรังสีได้ดีกว่าแก้วตัวอย่างอื่นๆ โดยผลที่ได้นี้สัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลและเลขอะตอมยังผล เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาครึ่งค่าของแก้วตัวอย่างทั้ง 5 กับคอนกรีตทั่วไป (Bashter, 1997) พบว่า แก้วตัวอย่างทั้งหมดมีค่าความหนาครึ่งค่าต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไป นั้นแสดงให้เห็นว่าแก้วตัวอย่างหมดมีสมบัติการกำบังรังสีดีกว่าคอนกรีตทั่วไป



ภาพที่ 4 ความหนาครึ่งค่าของระบบแก้วตัวอย่างเทียบกับพลังงานของรังสีในช่วง 10^{-3} ถึง 10^{-5} เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

2.4 ผลการศึกษาค่าระยะทางอิสระเฉลี่ย

จากภาพที่ 5 แสดงค่าระยะทางอิสระเฉลี่ยของระบบแก้วที่ช่วงพลังงาน 10^{-3} – 10^5 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งค่าระยะทางอิสระเฉลี่ยเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงระยะทางที่รังสีแกมมาผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุแล้วไม่เกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับวัสดุ ถ้าวัสดุนั้นมีค่าระยะทางอิสระเฉลี่ยต่ำหมายความว่าวัสดุนั้นสามารถกักเก็บรังสีได้ดี ค่าระยะทางอิสระเฉลี่ยจะขึ้นอยู่กับโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างพลังงานรังสีแกมมาเมื่อผ่านเข้าไปในวัสดุ ซึ่งองค์ประกอบของระบบแก้วตัวอย่างที่ 5 (Ex5) ที่มีปริมาณ Cu_2O สูงสุดมีค่าระยะทางอิสระเฉลี่ยที่ต่ำ ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีและตัวกลางทำให้การเคลื่อนที่ของรังสีเมื่อผ่านเข้าไปในตัวกลางแล้วเกิดอันตรกิริยาได้เร็วและผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าแก้วตัวอย่างที่ 5 (Ex5) มีโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาเมื่อมีรังสีผ่านเข้าไปดีกว่าแก้วตัวอย่างอื่นๆ โดยผลที่ได้นี้สัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เลขอะตอมยังผล และค่าความหนาครึ่งค่า เมื่อเปรียบเทียบค่าระยะทางอิสระเฉลี่ยของแก้วตัวอย่างทั้ง 5 กับคอนกรีตทั่วไป (Bashter, 1997) พบว่า แก้วตัวอย่างทั้งหมดมีค่าระยะทางอิสระเฉลี่ยต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไป นั่นแสดงให้เห็นว่าแก้วตัวอย่างทั้งหมดมีสมบัติการกักเก็บรังสีดีกว่าคอนกรีตทั่วไป



ภาพที่ 5 ระยะทางอิสระเฉลี่ยของระบบแก้วตัวอย่างเทียบกับพลังงานของรังสีในช่วง 10^{-3} – 10^5 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

อภิปรายผล

ค่าความหนาแน่นกับปริมาณของ Cu_2O ของตัวอย่างแก้วทั้ง 5 ดังภาพที่ 1 พบว่า ความหนาแน่นของแก้วก็เพิ่มขึ้นตามปริมาณของ Cu_2O ที่เพิ่มขึ้น โดยในระบบแก้วนี้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นในรูปความสัมพันธ์เชิงเส้น ซึ่งเกิดจากการแทนที่ของ Cu_2O ที่มีความหนาแน่นและมวลอะตอมที่มากกว่า Na_2O (El-bashir et al. 2017)

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของตัวอย่างแก้วกับพลังงานของรังสีในช่วง 10^{-3} – 10^5 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ พบว่า ลักษณะของกราฟมีแนวโน้มลดลงตามระดับพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 2 และสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของการเกิดอันตรกิริยาในแต่ละช่วงพลังงานแบ่งออกเป็น 3 ปรากฏการณ์หลัก คือ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริกเกิดขึ้นที่พลังงานต่ำ การกระเจิงแบบคอมป์ตันจะเกิดที่พลังงานระดับกลาง และการผลิตคู่จะเกิดที่พลังงานระดับสูง (El-bashir et al., 2017) จากการวิเคราะห์ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสำหรับปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริกและการกระเจิงแบบคอมป์ตัน จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระดับพลังงานเพิ่มมากขึ้น และลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสำหรับการผลิตคู่ พบว่า มีค่าประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานเพิ่มขึ้นถึงระดับพลังงาน 300 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ หลังจากนั้นจะมีค่าเกือบคงที่เป็นเส้นขนานกันตาม ซึ่งวัสดุตัวอย่างใดมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสูงนั้นแสดงว่าโอกาสที่วัสดุนั้นจะเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับวัสดุก็จะสูงไปด้วยส่งผลให้รังสีผ่านวัสดุนั้นได้น้อยกว่าตัวอื่นๆ (Ersundu et al., 2017)

ผลการศึกษาเลเซอร์คอมมิงสของตัวอย่างแก้วกับพลังงานของรังสีในช่วง 10^{-3} – 10^5 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ดังภาพที่ 3 พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงการดูดกลืนของปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก

โดยพบจุดสูงสุดของค่าเลขอะตอมยังผลที่พลังงาน 0.07 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ และจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว ในช่วง 0.07–0.30 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ จนถึงจุดต่ำสุดในช่วง 1 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งเป็นช่วงอันตรกิริยาการกระเจิงแบบคอมป์ตัน หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับพลังงานสูงขึ้น และเริ่มคงที่จากช่วงระดับพลังงานตั้งแต่ 100 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ เป็นต้นไป ซึ่งวัสดุตัวอย่างใดมีค่าเลขอะตอมยังผลสูงนั้นแสดงว่าโอกาสที่วัสดุนั้นจะเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับวัสดุก็จะสูงไปด้วยส่งผลให้รังสีผ่านวัสดุนั้นได้น้อยกว่าตัวอื่นๆ (El-bashir et al., 2017)

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นค่าและระยะทางอิสระเฉลี่ยของตัวอย่างแก้วกับพลังงานของรังสีในช่วง 10^3 – 10^5 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5 พบว่า ตัวอย่างแก้วที่ 5 (Ex5) มีค่าต่ำกว่าวัสดุกำบังรังสีตัวอื่น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างแก้วนี้มีคุณสมบัติในการกำบังรังสีดีกว่าแก้วตัวอย่างอื่นๆ (Intom et al., 2020) และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติการกำบังรังสีกับคอนกรีตทั่วไป (Bashter, 1997) พบว่า ตัวอย่างแก้วทั้งหมดมีค่าความหนาแน่นค่าและระยะทางอิสระเฉลี่ยต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไปทั้งหมดดังแสดงได้ดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5 นั้นแสดงให้เห็นว่าแก้วตัวอย่างทั้งหมดนี้มีสมบัติการกำบังรังสีดีกว่าคอนกรีตทั่วไป ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านการกำบังรังสีแทนคอนกรีตทั่วไปได้ (El-bashir et al., 2017)

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความสัมพันธ์การลดทอนเชิงมวลของระบบแก้ว $42\text{P}_2\text{O}_5 : (14-x)\text{Na}_2\text{O} : 39\text{ZnO} : 5\text{BaO} : x\text{Cu}_2\text{O}$ โดย $x = 2 \ 4 \ 6 \ 8$ และ 10 โมลเปอร์เซ็นต์ นั้น พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของระบบแก้วตัวอย่างนี้มีค่าลดลงตามระดับพลังงานที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกัน 3 ช่วงพลังงาน ขึ้นกับพลังงานในแต่ละช่วงพลังงานที่แตกต่างกัน ได้แก่ อันตรกิริยาคูตกลืนโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบคอมป์ตัน และการผลิตคู่ ซึ่งเป็นอันตรกิริยาหลักที่จะเกิดในช่วงพลังงานโฟตอนในระดับต่ำ กลาง และสูง ตามลำดับ และพบว่า ระบบแก้ว $42\text{P}_2\text{O}_5 : 4\text{Na}_2\text{O} : 39\text{ZnO} : 5\text{BaO} : 10\text{Cu}_2\text{O}$ (Ex5) มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลและเลขอะตอมยังผลสูงสุดในขณะที่ความหนาแน่นค่า และระยะทางอิสระเฉลี่ยมีค่าต่ำสุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบแก้วตัวอย่างนี้มีความสามารถในการกำบังรังสีได้ดีที่สุด และตัวอย่างแก้วทั้งหมดมีค่าความหนาแน่นค่าและระยะทางอิสระเฉลี่ยต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไปทั้งหมด นั้นแสดงให้เห็นว่าแก้วตัวอย่างทั้งหมดนี้มีสมบัติการกำบังรังสีดีกว่าคอนกรีตทั่วไป ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านการกำบังรังสีแทนคอนกรีตทั่วไปได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนงานวิจัยนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณศาสตราจารย์ ดร. Gerward L. สำหรับซอฟต์แวร์ WinXCom

เอกสารอ้างอิง

- Abdel-Latif, A.M., Sayyed, M.I., Tekin, H.O., & Kassab, M.M. (2020). Optimizing the shielding properties of strength-enhanced concrete containing marble. **Papers in Physics**, **12**, 120005.
- Aboulfotoh, N., Elbashar, Y., Ibrahim, M., & Elokr, M. (2014). Characterization of copper doped phosphate glasses for optical applications. **Ceramics International Part B**, **40**(7), 10395–10399.
- Asghar, M.H., Shoaib, M., Placido, F., & Naseem, S. (2009). Modeling and preparation of practical optical filters. **Current Journal of Applied Physics**, **9**, 1046–1053.
- Barczynski, R.J., Gazda, M., & Murawski, L. (2003). Mixed ionic–polaron transport and rapid crystallization in (Bi,Pb)–Sr–Ca–Cu–O glass. **Solid State Ionics**, **157**, 299–303.
- Bashter, I.I. (1997). Calculation of radiation attenuation coefficients for shielding concretes. **Annals of Nuclear Energy**, **24**(17), 1389–1401.
- Bessell, M. (2001). **Encyclopedia of astronomy and astrophysics**. UK: Nature Publishing Group and Institute of Physics Publishing.
- Brow, R.K. (2000). Review: the structure of simple phosphate glasses. **Journal of Non–Crystalline Solids**, **263/264**, 1–28.
- Catauro, M., & Laudisio, G. (1999). The non–isothermal devitrification of glasses in the SrO_4GeO_2 – BaO_4GeO_2 composition range. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, **58**, 617–623.
- Doremus, R.H. (1994). **Glass science**. (2nd ed.). New York: Wiley.
- Elbashar, Y.H., Rashad, M.M. & Rayan, D.A. (2017). Protection Glass Eyewear Against a YAG Laser Based on a Bandpass Absorption Filter. **Silicon**, **9**, 111–116.
- Elbashar, Y.H., & Saeed, A. (2015). Computational spectroscopic analysis by using Clausius–Mossotti method for sodium borate glass doped neodymium oxide. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical**, **6**(5), 320–326.
- Elbashar, Y.H. (2015) Structural and spectroscopic analyses of copper doped P_2O_5 – ZnO – K_2O – Bi_2O_3 glasses. **Processing and Application of Ceramics**, **9**(3), 169–173.
- El-bashir, B.O., Sayyed, M.I., Zaid, M.H.M., & Matori, K.A. (2017). Comprehensive study on physical, elastic and shielding properties of ternary BaO – Bi_2O_3 – P_2O_5 glasses as a potent radiation shielding material. **Journal of Non–Crystalline Solids**, **468**, 92–99.

- Elhaes, H., Attallah, M., Elbashar, Y., Al-Alousi, A., El-Okr, M., & Ibrahim, M. (2013). Modeling and optical properties of P_2O_5 - $ZnOCaO$ - Na_2O glasses doped with copper oxide. **Journal of Computational and Theoretical Nanoscience**, 11(10), 2079–2084.
- Elhaes, H., Attallah, M., Elbashar, Y., Ibrahim, M., & El-Okr, M. (2014). Application of Cu_2O -doped phosphate glasses for bandpass filter. **Journal of Physics: Condensed Matter**, 449, 251–254.
- Ersundu, M.C., Ersundu, A.E., Sayyed, M.I., Lakshminarayana, G., & Aydin, S. (2017). Evaluation of physical, structural properties and shielding parameters for K_2O - WO_3 - TeO_2 glasses for gamma ray shielding applications. **Journal of Alloys and Compounds**, 714, 278–286.
- Ewais, E.M.M., Besisa, D.H.A., El-Amir, A.A.M., El-Sheikh, S.M., & Rayan, D.E. (2015). Optical properties of nanocrystalline magnesium aluminate spinel synthesized from industrial wastes. **Journal of Alloys and Compounds**, 649, 159–166.
- Intom, S., Kalkomsurapranee, E., Johns, J., Kaewjaeng, S., Kothan, S., Hongtong, W., Chaiphaksa, W., & Kaewkhao, J. (2020). Mechanical and radiation shielding properties of flexible material based on natural rubber/ Bi_2O_3 composites. **Radiation Physics and Chemistry**, 172, 108772.
- Kara, U., Issa, S.A.M., Yorgun, N.Y., Kilicoglu, O., Rashad, M., Abuzaid, M.M., Kavaz, E., & Tekin, H.O. (2020). Optical, structural and gamma ray shielding properties of dolomite doped lithium borate glasses for radiation shielding applications. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 539, 120049.
- Leenakul, W., Kantha, P., Pisitpipathsin, N., Rujjanagul, G., Eitssayeam, S., & Pengpat, K. (2013). Structural and magnetic properties of SiO_2 - CaO - Na_2O - P_2O_5 containing BaO - Fe_2O_3 glass-ceramics. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, 325, 102–106.
- Levet, A., Kavaz, E., & Özdemir, Y. (2020). An experimental study on the investigation of nuclear radiation shielding characteristics in iron-boron alloys. **Journal of Alloys and Compounds**, 819, 152946.
- Mahmoud, K.A., Tashlykov, O.L., Sayyed, M.I., & Kavaz, E. (2020). The role of cadmium oxides in the enhancement of radiation shielding capacities for alkali borate glasses. **Ceramics International**, 46(15), 23337–23346.
- Metwalli, E. (2003). Copper redox behavior structure and properties of copper lead borate glasses. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 317, 221–230.
- Metwalli, E., Karabulut, M., Sidebottom, D.L., Morsi, M.M., & Brow, R.K. (2004). Properties and structure of copper ultraphosphate glasses. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 344, 128–134.
- Miura, T., Benino, Y., Sato, R., & Komatsu, T. (2003). Universal hardness and elastic recovery in Vickers nanoindentation of copper phosphate and silicate glasses. **Journal of the European Ceramic Society**, 23, 409–416.
- Nocun, M. (2004). Structural studies of phosphate glasses with high ionic conductivity. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 333, 90–94.

- Prabhu, S., Sneha, A.C., Shetty, P.P., Narkar, A.A., Bubbly, S.G., & Gudennavar, S.B. (2020). Effective atomic number and electron density of some biologically important lipids for electron, proton, alpha particle and photon interactions. **Applied Radiation and Isotopes**, **160**, 109137.
- Rashad, M.M., Rayan, D.A., & El-Barawy, K. (2010). Hydrothermal synthesis of Mn doped ZnS nanoparticles. **Journal of Physics: Conference Series**, **200**, 072077.
- Rashad, M.M., Rayan, D.A., Turkey, A.O., & Hessien, M.M. (2015). Effect of Co^{2+} and Y^{3+} ions insertion on the microstructure development and magnetic properties of $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ powders synthesized using co-precipitation method. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, **374**, 359–366.
- Rayan D.A., Elbashar Y.H., El Basaty A.B., & Rashad M.M. (2015) Infrared spectroscopy of cupric oxide doped barium phosphate glass. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical**, **6**(3), 1026–1030.
- Rayan, D.A., Elbashar, Y.H., Rashad, M.M., & El-Korashy, A. (2013). Optical spectroscopic analysis of cupric oxide doped barium phosphate glass for bandpass absorption filter. **Journal of Non-Crystalline Solids**, **382**, 52–56.
- Sabatini, R., & Richardson, M.A. (2003). A new approach to eyesafety analysis for airborne laser systems flight test and training operations. **Optics and Laser Technology**, **35**, 191–198.
- Saeed, A., Elbashar, Y.H., & El Kameesy, S.U. (2015). Towards modeling of copper-phosphate glass for optical bandpass absorption filter. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical**, **6**(4), 1390–1397.
- Saeed, A., Elbashar, Y.H., & El Kameesy, S.U. (2015). Study of gamma ray attenuation of high-density bismuth silicate glass for shielding applications. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical**, **6**(4), 1830–1837.
- Saeed A., El-Shazly R.M., Elbashar Y.H., El-azm A.M.A., El-Okr M.M., Comsan M.N.H., Osman A.M., Abdal-monem A.M., & El-Sersy A.R. (2014). Gamma ray attenuation in developed borate glassy. **International Journal for Radiation Physics and Chemistry**, **102**, 167–170.
- Shams, A.M.I., & Mostafa, A.M.A. (2017). Effect of Bi_2O_3 in borate-tellurite-silicate glass system for development of gamma-rays shielding materials. **Journal of Alloys and Compounds**, **695**, 302–310.
- Shelby, J.E. (2005). **Introduction to glass science and technology**. (2nd ed.). New York: The Royal Society of Chemistry.
- Sułowska, J., Waclawska, I., & Olejniczak, Z. (2013). Structural studies of copper-containing multicomponent glasses from the $\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O-CaO-MgO}$ system. **Vibrational Spectroscopy**, **65**, 44–49.
- Sutter, E., & Schirmacher, A. (2001). Protective area of laser eye protectors. **Optics and Laser Technology**, **33**, 255–258.
- Vedeanu, N., Cozar, O., Ardelean, I., & Lendl, B. (2006). IR and Raman investigation of $x(\text{CuO}\cdot\text{V}_2\text{O}_5)$. $(1-x)$ $[\text{P}_2\text{O}_5\text{CaF}_2]$ glass system. **Journal of Optoelectronics and Advanced Materials**, **8**, 78–81.

- Vedeanu, N., Magdas, D.A., & Stefan, R. (2012). Structural modifications induced by addition of copper oxide to lead-phosphate glasses. **Journal of Non-Crystalline Solids**, **358**, 3170–3174.
- Walter, G., Vogel, J., Hoppe, U., & Hartmann, P. (2003). Structural study of magnesium polyphosphate glasses. **Journal of Non-Crystalline Solids**, **320**, 210–222.