

การอุปมาอุปไมยการทอดลูกเต๋ากับการสลายของนิวเคลียส อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

AN ACCURATE AND EFFICIENT ANALOGY OF DICE-SHAKING AND RADIOACTIVE DECAY

พงษ์ศักดิ์ โชขุนทด¹ รัชณุ กัดมัน² และ อรรถพล อ่ำทอง^{1*}

Pongsak Khokhuntod¹, Ratchanoo Katman², and Attapon Amthong^{1*}

¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

¹Department of Physics, Faculty of Science, Naresuan University

²Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University

*corresponding author e-mail: attapona@nu.ac.th

(Received: 10 February 2023; Revised: 7 April 2023; Accepted: 11 April 2023)

บทคัดย่อ

ในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเรื่องการสลายกัมมันตรังสี นิยมใช้ลูกเต๋ามาอุปมาอุปไมยกับนิวเคลียสกัมมันตรังสี เนื่องจากอุปกรณ์มีราคาถูกและมีความปลอดภัยสูงกว่าการใช้ธาตุกัมมันตรังสีจริง อย่างไรก็ตามปัญหาที่มักพบในการทดลองคือค่าคงที่การสลายตัวจากการทอดลูกเต๋ามีค่าคลาดเคลื่อนไปจากค่าตามทฤษฎี ซึ่งปัญหานี้อาจเกิดจากทฤษฎีที่ยังไม่ถูกต้อง งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาแนวโน้มการลดลงของจำนวนลูกเต๋าล้างการทอดด้วยวิธีการทอดลูกเต๋าดังกล่าวและวิธีการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ แล้วนำมาคำนวณหาค่าคงที่การสลายตัวเพื่อไปเปรียบเทียบกับค่าตามทฤษฎีที่เสนอโดย สสวท. และ Murray & Hart เพื่อให้ทราบว่า ทฤษฎีใดถูกต้องที่จะนำมาอธิบายค่าคงที่การสลายตัวของลูกเต๋า นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังศึกษาจำนวนลูกเต๋าดั้งเดิมที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการเรียนการสอน ซึ่งพบว่าจำนวนลูกเต๋าดั้งเดิม 80 ลูกนั้นเพียงพอที่จะทำให้ได้แนวโน้มการลดลงของจำนวนลูกเต๋าส่งผลได้ค่าคงที่การสลายตัวที่ถูกต้องตามทฤษฎีของ Murray & Hart และใช้เวลาในการทดลองไม่นาน การศึกษานี้จึงมีส่วนช่วยในการสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับการลดลงของจำนวนลูกเต๋าและเสนอจำนวนลูกเต๋ามีประสิทธิภาพในการทดลองสำหรับการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการ เรื่อง การอุปมาอุปไมยการทอดลูกเต๋ากับการสลายกัมมันตรังสีได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: การทอดลูกเต๋า ค่าคงที่การสลายตัว การสลายกัมมันตรังสี

Abstract

In teaching radioactive decay labs, dice are often used as metaphors for radioactive nuclei because the equipment is cheaper and safer than real radioactive elements. However, a common problem in experiments is that the dice decay constant deviates from the theoretical value. This problem may be caused by an incorrect theory. In this research, we study the decreasing numbers of dice after rolling by using the actual dice roll method and computer modeling method to calculate the decay constants compared with some theoretical values presented by IPST and Murray & Hart to find the correct theoretical value. In addition, we also consider the appropriate number of initial dice for being used in teaching. It is found that the initial numbers of 80 dice is sufficient to obtain a reasonable trend of decreasing dice, theoretically correct decay constant presented by Murray & Hart, and short time for doing the experiments. Therefore, this study provides a correct understanding of the decrease in the number of dice and proposes an efficient number of dice for teaching the experiments of an analogy of dice-shaking and radioactive decay.

Keywords: Dice-shaking, Decay constant, Radioactive decay

บทนำ

ในการเรียนการสอนฟิสิกส์นิวเคลียร์ระดับมัธยมปลายและระดับอุดมศึกษา การสลายของนิวเคลียสกัมมันตรังสีเป็นองค์ความรู้พื้นฐานซึ่งทำให้นักเรียนหรือนักศึกษาเข้าใจกระบวนการเปลี่ยนแปลงของธาตุกัมมันตรังสีจากธาตุหนึ่งสูงอีกธาตุหนึ่งด้วยการแผ่รังสีอัลฟา บีตาหรือแกมมาออกมา โดยการสลายตัวของนิวเคลียสกัมมันตรังสีนั้นมีลักษณะคล้ายกับการสุ่ม นั่นคือทุกนิวเคลียสในธาตุมีโอกาสที่จะสลายตัวเท่ากัน ด้วยเหตุนี้จึงมักนำการสลายของนิวเคลียสกัมมันตรังสีมาอุปมาอุปไมยกับการทอดลูกเต๋า และมีการนำลูกเต๋ามาใช้ในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการ เรื่อง การสลายของนิวเคลียสธาตุกัมมันตรังสีมากกว่าสองทศวรรษ ตัวอย่างเช่น Schultz (1997) ใช้ลูกเต๋า 4 8 และ 12 หน้า อย่างละ 240 ลูก นำมาทอดแล้วคัดลูกเต๋าค้นออกแต้มที่เลือกออก (แต้มที่เลือกอาจเป็นแต้มใดก็ได้) ทำซ้ำๆ จนกระทั่งลูกเต๋าค้นออกจนหมด พบว่าค่าครึ่งชีวิตของการทอดลูกเต๋ายิ่งมากหากจำนวนหน้าของลูกเต๋ามาก Klein & Kagan (2010) ใช้ลูกเต๋า 200 ลูก ใส่ในท่อพลาสติกใส จำนวน 5 ท่อ เพื่อแสดงแนวโน้มการลดลงของจำนวนลูกเต๋า โดยความสูงของลูกเต๋ายอดในแต่ละท่อนั้นแสดงถึงจำนวนลูกเต๋าค้นออกหลังการทอดแต่ละครั้ง เมื่อนำท่อพลาสติกทั้ง 5 ท่อ มาวางเรียงกันจะทำให้ผู้เรียนเห็นได้อย่างชัดเจนว่าแนวโน้มการลดลงของลูกเต๋าค้นออกเป็นลักษณะของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล นอกจากนี้ในหนังสือเรียนฟิสิกส์ของ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) (สสวท., 2555) การทดลองนี้จะใช้ลูกเต๋าเพียง 40 ลูก แต่ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย แล้วนำเฉลี่ยของลูกเต๋าคู่ที่เหลือมาพล็อตกราฟเพื่อหาค่าครึ่งชีวิตของการทอดลูกเต๋า

จากบทความวิจัยและหนังสือแบบเรียนที่กล่าวมาข้างต้น จะสังเกตได้ว่าการใช้จำนวนลูกเต๋าดั้งเดิมที่ต่างกัน โดยในการทดลองหากจำนวนลูกเต๋ามากเกินไปย่อมใช้เวลาในการเก็บข้อมูลนานและไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการ แต่หากจำนวนลูกเต๋าน้อยเกินไปอาจทำให้แนวโน้มการลดลงของลูกเต๋ามีลักษณะต่างไปจากฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล หรือครึ่งชีวิตของการทอดลูกเต๋อาจคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ควรจะเป็น ปัญหาของจำนวนลูกเต๋อาจแก้ไขได้โดยอาศัยการสุ่มด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังเช่นรายงานในบทความนานาชาติ (Jesse, 2003; Kowalski, 1981; Sahu, 2011) การใช้คอมพิวเตอร์จำลองสถานการณ์การทอดลูกเต๋าสสามารถกำหนดจำนวนลูกเต๋าดั้งเดิมในจำนวนที่มากได้ตามต้องการ และได้กราฟการทดลองที่น่าเชื่อถือ อีกทั้งยังทำได้รวดเร็ว อย่างไรก็ตามการใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผล อาจทำให้ผู้เรียนไม่เห็นกระบวนการและไม่สามารถเชื่อมโยงการทอดลูกเต๋ากับการสลายตัวของนิวเคลียสกัมมันตรังสี จึงยังไม่เหมาะที่จะนำการใช้ในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการ

ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยจึงศึกษาการอุปมาอุปไมยการทอดลูกเต๋ากับการสลายตัวของนิวเคลียสกัมมันตรังสี และมีจุดประสงค์เพื่อหาจำนวนลูกเต๋าคู่ที่เหมาะสมซึ่งสามารถนำมาใช้ในวิชาปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยตั้งสมมติฐานว่าหากจำนวนลูกเต๋าคู่เหมาะสมแล้วค่าคงที่การสลายตัวที่ได้จากการทดลองควรมีค่าใกล้เคียงกับค่าคงที่การสลายตัวตามทฤษฎีและไม่ใช้เวลาในการทอดนานเกินไป ทั้งนี้ในการศึกษานี้จะใช้การทอดลูกเต๋าคู่จริงเปรียบเทียบกับการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อยืนยันผลซึ่งกันและกัน นอกจากนี้ในการศึกษานี้ยังมีจุดประสงค์เพื่อยืนยันผลจากการศึกษาของ Murray & Hart (2012); Santostasi et al. (2017) ซึ่งรายงานว่า ค่าคงที่การสลายตัวของลูกเต๋าคู่ไม่เท่ากับโอกาสที่ลูกเต๋าคู่จะออกแต้มที่เลือก ซึ่งแนวคิดนี้ขัดแย้งกับหนังสือแบบเรียนของ สสวท. (สสวท., 2555) การศึกษานี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับการอุปมาอุปไมยการทอดลูกเต๋ากับการสลายตัวของนิวเคลียสกัมมันตรังสีและทำให้ทราบถึงปริมาณลูกเต๋าคู่ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้จริงในวิชาปฏิบัติการ

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย แบ่งได้เป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ การใช้ลูกเต๋าจริงในการทอดและ การใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์

1. การศึกษาการสลายตัวนิวเคลียสกัมมันตรังสีโดยใช้การทอดลูกเต๋า

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจะมีเพียงขวดโหลพลาสติกและลูกเต๋า 6 หน้าที่มีความกว้าง ความยาว และความสูงเท่ากันที่ 1 cm ดังภาพที่ 1 เริ่มต้นทำการทดลองได้โดยนำลูกเต๋าดั้งเดิมจำนวน 10 ลูก ใส่ในโหลพลาสติกแล้วเขย่าเพื่อทำการสุ่มหน้าที่ออก จากนั้นเทลูกเต๋าทั้งหมดออกจากขวดโหลลงบนโต๊ะ คัดลูกเต๋าทิ้งที่ออกแต้มหนึ่งออกแล้วนับจำนวนลูกเต๋าทิ้งเหลือและ จดบันทึก ทำซ้ำๆ จนกระทั่งเหลือลูกเต๋าเพียง 1 ลูก หรือไม่เหลือเลย จากนั้นเริ่มต้นใหม่โดยนำ ลูกเต๋าทั้ง 10 ลูก ใส่เข้าไปในขวดโหลแล้วทำการทดลองซ้ำ 10 รอบโดยทั้ง 10 รอบต้องทอดจน เหลือลูกเต๋าเพียง 1 ลูก หรือไม่เหลือเลย (ในการศึกษานี้จะจำลองสถานการณ์ในวิชาปฏิบัติการ ที่มีจำนวนผู้เรียน จำนวน 10 กลุ่ม นั่นคือ ผลจากการทอดลูกเต๋าแต่ละรอบจะแทนผลการทดลอง ของผู้เรียนแต่ละกลุ่ม) ขั้นตอนต่อไปคือการศึกษาค่าของจำนวนลูกเต๋าดั้งเดิม โดยการเพิ่มจำนวน ลูกเต๋าดั้งเดิมจาก 10 ลูก เป็น 20 30 40 50 จนถึง 150 ลูก ซึ่งจะทำให้การทดลอง 10 รอบในทุกๆ กรณีของจำนวนลูกเต๋าดั้งเดิม

2. การศึกษาการสลายตัวนิวเคลียสกัมมันตรังสีโดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์

วิธีดำเนินการวิจัยโดยแบบจำลองคอมพิวเตอร์จะใช้โปรแกรม Python สร้าง แบบจำลอง การสุ่มของการทอดลูกเต๋า 6 หน้า ซึ่งเป็นการสุ่มที่มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ (Uniformly distributed random) หรือเป็นการสุ่มที่มีโอกาสที่จะออกแต่ละหน้าเท่าๆ กัน โดย กำหนดจำนวนลูกเต๋าดั้งเดิมเป็น 10 20 30 จนถึง 150 ลูก เหมือนกับการทอดลูกเต๋าจริง ทั้งนี้อัลกอริทึมของโปรแกรมดังกล่าว ดังภาพที่ 2

โดยหลักการแล้วการสลายตัวของนิวเคลียสกัมมันตรังสีและการทอดลูกเต๋ามี ความแตกต่างกัน (Murray & Hart, 2012; Santostasi et al., 2017) สำหรับการสลายตัวของ นิวเคลียสกัมมันตรังสี ดังสมการที่ 1

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

เมื่อ N_0 คือ จำนวนนิวเคลียสเริ่มต้น N_t จำนวนนิวเคลียสที่เหลือเมื่อเวลาผ่านไป t วินาที และ λ คือ ค่าคงที่การสลายตัวของนิวเคลียสกัมมันตรังสี ในกรณีของการทอดลูกเต๋า การลดลงของจำนวนลูกเต๋า ดังสมการที่ 2 (Murray & Hart, 2012)

$$N_n = N_0 (1 - P)^n \quad (2)$$

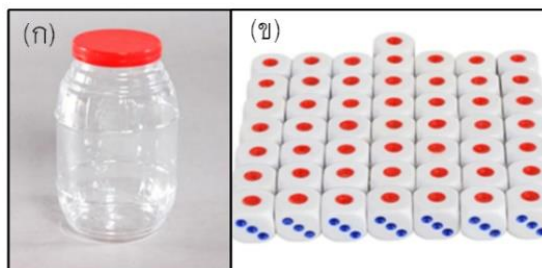
เมื่อ N_n คือ จำนวนลูกเต๋าที่เหลือหลังจากการทอดครั้งที่ n และ P คือ โอกาสที่ลูกเต๋าคู่จะถูกคัดออกซึ่งเท่ากับโอกาสที่ลูกเต๋าคู่จะออกแต้มที่เลือก (เช่น กรณีการทอดลูกเต๋าคู่ 6 หน้าและกำหนดให้ลูกเต๋าคู่ที่ออกแต้ม 1 ถูกคัดออก จะได้ P ของกรณีนี้ คือ $1/6$ หรือ 0.1667) เขียนสมการที่ 2 ให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลจะได้ ดังสมการที่ 3

$$N_n = N_0 e^{n \ln(1-P)} = N_0 e^{-kn} \quad (3)$$

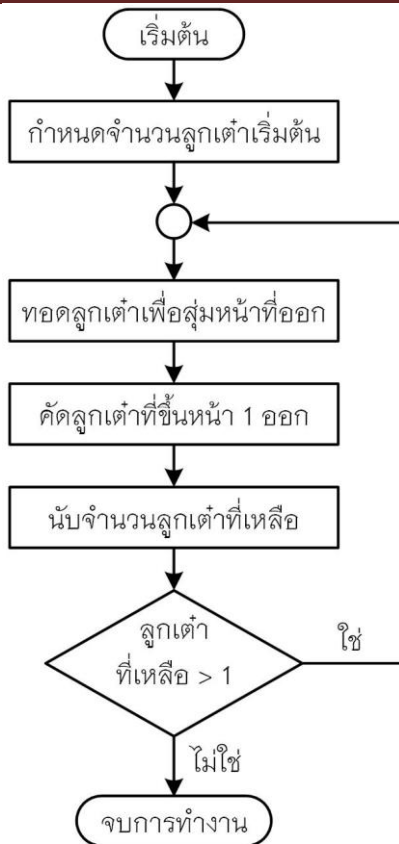
เมื่อ $k = -\ln(1-P)$ คือ ค่าคงที่การสลายตัวของ การทอดลูกเต๋าคู่ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในวิชาปฏิบัติการ ซึ่งนิยมใช้สมการเชิงเส้นในการพล็อตกราฟดังสมการที่ 3 จึงถูกเขียนใหม่ ดังสมการที่ 4

$$\ln(N_n) = \ln(N_0) - kn \quad (4)$$

ในการศึกษานี้จะพล็อตกราฟระหว่าง $\ln(N_n)$ และ n ซึ่งมีความชันเป็น $-k$ โดยมีประเด็นสำคัญ คือ ค่า k โดยหากผลการทดลองได้ค่า $k = P$ ค่าคงที่การสลายตัวของ การทอดลูกเต๋าคู่จะเป็นไปตามที่หนังสือแบบเรียนของสสวท. กล่าวไว้ (สสวท., 2555) แต่หากผลการทดลองได้ค่า $k = -\ln(1-P)$ ค่าคงที่การสลายตัวของ การทอดลูกเต๋าคู่จะเป็นไปตามแนวคิดของ Murray & Hart (2012); Santostasi et al. (2017)



ภาพที่ 1 (ก) ขวดโพลีพลาสติกสำหรับเขย่าลูกเต๋าคู่ และ (ข) ลูกเต๋าคู่สีเหลี่ยม 6 หน้าที่ใช้ในการทดลอง



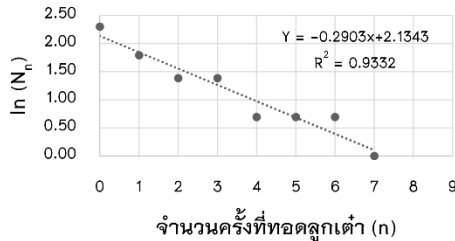
ภาพที่ 2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองการทอดลูกเต๋า

ผลการวิจัย

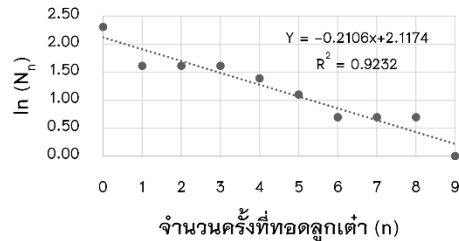
1. ผลการศึกษาจำนวนการทอดลูกเต๋าดังด้วยวิธีการทอดลูกเต๋าดังและแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

ผลจากการศึกษาการทอดลูกเต๋าดังจากวิธีทอดลูกเต๋าดังและจากวิธีการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ พบว่า ผลการทดลองทั้งสองวิธีมีความสอดคล้องกัน ดังภาพที่ 3 ซึ่งแสดงลอการิทึมธรรมชาติของจำนวนลูกเต๋าคู่ที่เหลือหลังจากการทอดครั้งที่ n โดยจะเห็นได้ชัดว่ากราฟจะมีการลดลงอย่างเป็นเชิงเส้น ดังสมการที่ 4 เมื่อจำนวนลูกเต๋าดังตั้งต้นมีค่ามากพอ ดังภาพที่ 3(ค) และภาพที่ 3(ง) ในขณะที่ข้อมูลจะมีแนวโน้มการลดลงในรูปแบบที่ไม่ชัดเจนเมื่อจำนวนลูกเต๋าดังตั้งต้นมีค่าน้อยเกินไป ดังภาพที่ 3(ก) และภาพที่ 3(ข) จากผลการทดลอง ดังภาพที่ 3 ยังพบว่า ในบางครั้งของการทอด จำนวนลูกเต๋าคู่ที่เหลือมีค่าเท่าเดิมซึ่งเกิดขึ้นจากการที่ไม่มีลูกเต๋าคู่ที่ออกหน้าหนึ่งเลย เหตุการณ์เช่นนี้มักเกิดขึ้นได้เมื่อจำนวนลูกเต๋าคู่ที่ทำการทอดมีจำนวนน้อย

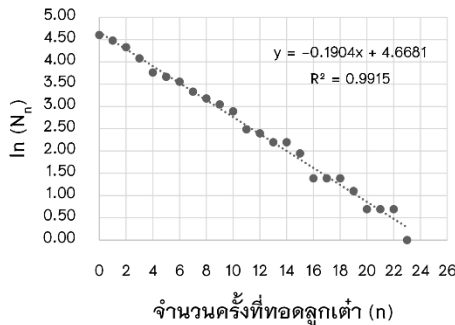
(ก) Real Dice ($N_0=10$)



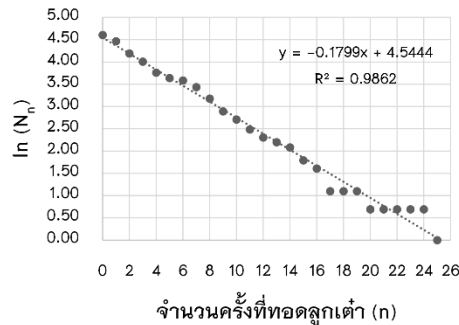
(ข) Simulation ($N_0=10$)



(ค) Real Dice ($N_0=100$)



(ง) Simulation ($N_0=100$)



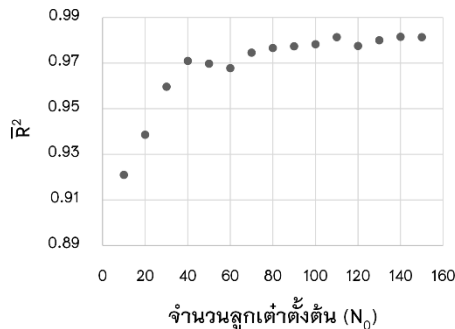
ภาพที่ 3 ลอการิทึมธรรมชาติของจำนวนลูกเต๋าคู่ที่เหลือหลังจากการทอดครั้งที่ n ในกรณีที่จำนวนลูกเต๋าดั้งเดิม คือ $N_0 = 10$ ลูกซึ่งได้จาก (ก) การทอดลูกเต๋าดั้งเดิม (ข) การจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และในกรณีที่ $N_0 = 100$ ลูกซึ่งได้จาก (ค) การทอดลูกเต๋าดั้งเดิม และ (ง) การจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ข้อมูลที่แสดงในภาพนี้แสดง 1 ใน 10 ชุดข้อมูลของกรณีที่ $N_0 = 10$ และ 100 ลูก)

2. ผลการศึกษาอิทธิพลของจำนวนลูกเต๋าดั้งเดิม

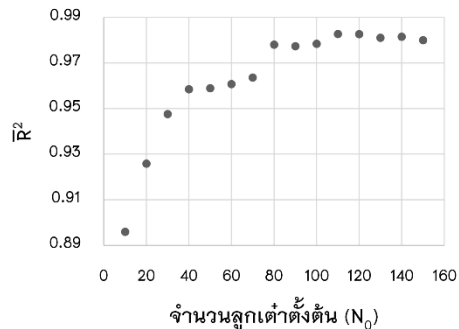
ในการศึกษานี้ในแต่ละกรณีของจำนวนลูกเต๋าดั้งเดิม (N_0) จะทำการทดลอง 10 รอบ ดังนั้นจะได้ค่า R^2 สำหรับแต่ละกรณีเป็นจำนวน 10 ค่า เมื่อนำค่า R^2 มาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่า $\bar{R}^2$ จากนั้นเพื่อให้ทราบถึงจำนวนลูกเต๋าดั้งเดิม (N_0) ที่เหมาะสมต่อการพล็อตกราฟเชิงเส้น จึงพล็อตกราฟระหว่าง $\bar{R}^2$ และ N_0 ดังแสดงในภาพที่ 4(ก) และภาพที่ 4(ข) ซึ่งพบว่าค่า $\bar{R}^2$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนลูกเต๋าดั้งเดิมเพิ่มขึ้น นั่นหมายถึง ข้อมูลมีการเรียงตัวเป็นแบบเชิงเส้นมากขึ้น โดยผลจากวิธีทอดลูกเต๋าดั้งเดิมและจากวิธีการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ยืนยันว่า ค่า $\bar{R}^2$ มีแนวโน้มคงที่เมื่อ N_0 มากกว่าหรือเท่ากับ 80 ลูก นอกจากนี้ยังพบว่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า R^2 จากข้อมูลทั้งหมด 10 รอบ มีแนวโน้มลดลง เมื่อจำนวนลูกเต๋าดั้งเดิมมีค่าเพิ่มขึ้น

ดั่งภาพที่ 4(ค) และภาพที่ 4(ง) โดยมีแนวโน้มคงที่เมื่อ N_0 มากกว่าหรือเท่ากับ 80 ลูก เหมือนกรณีของค่า $\bar{R}^2$

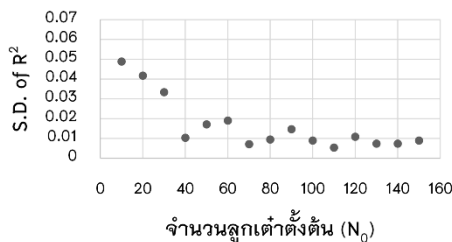
(ก) Real Dice



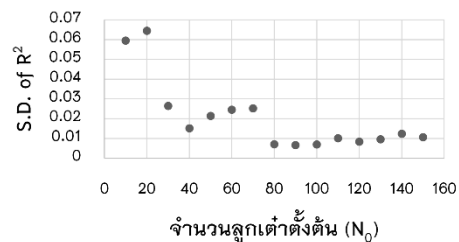
(ข) Simulation



(ค) Real Dice



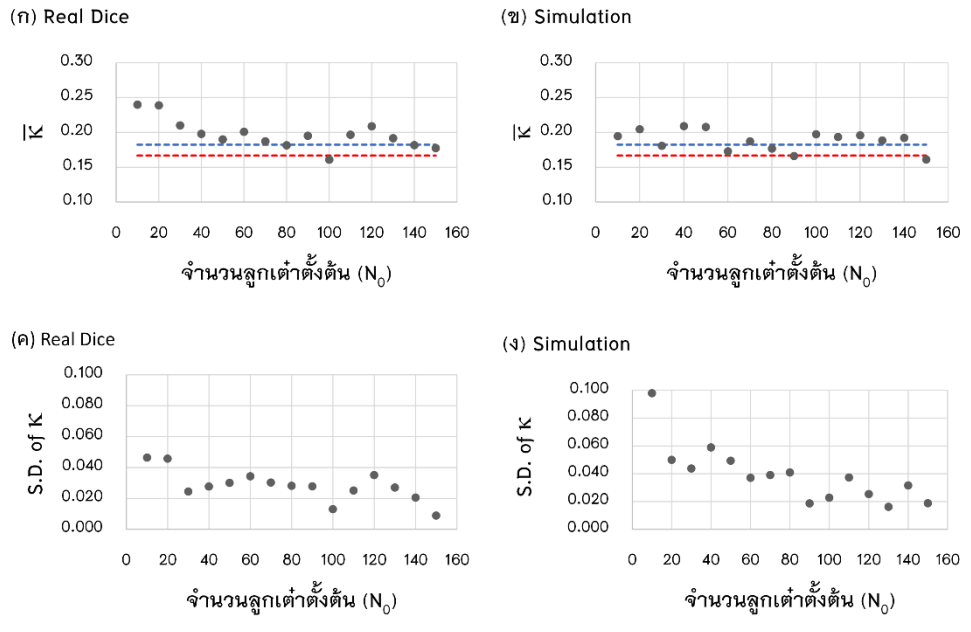
(ง) Simulation



ภาพที่ 4 ค่าเฉลี่ยของ R^2 เมื่อ N_0 มีค่าต่างๆ ซึ่งได้จาก (ก) การทอดลูกเต๋าจริง (ข) การจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า R^2 เมื่อ N_0 มีค่าต่างๆ ซึ่งได้จาก (ค) การทอดลูกเต๋าจริง และ (ง) การจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3. ผลการศึกษาการหาค่าคงที่การสลายตัวของการทอดลูกเต๋า

หลังจากวิเคราะห์ความชันของกราฟตามสมการที่ 4 จากข้อมูลทั้ง 10 กลุ่ม จะได้ค่าเฉลี่ยของค่าคงที่การสลายตัวของการทอดลูกเต๋า ($\bar{k}$) ดั่งภาพที่ 5(ก) และภาพที่ 5(ข) พบว่า $\bar{k}$ จากการทอดลูกเต๋าจริงมีค่าระหว่าง 0.161–0.240 สอดคล้องกับ $\bar{k}$ จากแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.161–0.209 นอกจากนี้ยังพบว่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า $\bar{k}$ มีค่าสูงเมื่อจำนวนลูกเต๋าดั้งเดิมมีจำนวนน้อย ดั่งภาพที่ 5(ค) และภาพที่ 5(ง) นั่นหมายถึง หากใช้ลูกเต๋าดั้งเดิมจำนวนน้อยเกินไป เช่น $N_0=10$ ลูก จะทำให้ค่าของ $\bar{k}$ ที่ได้จากผู้เรียนทั้ง 10 กลุ่ม มีค่าแตกต่างกันมาก



ภาพที่ 5 ค่าเฉลี่ยของค่าคงที่การสลายตัวจากการทอดลูกเต๋าคือเมื่อ N_0 มีค่าต่างๆ ซึ่งได้จาก (ก) การทอดลูกเต๋าคือจริง (ข) การจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า k เมื่อ N_0 มีค่าต่างๆ ซึ่งได้จาก (ค) การทอดลูกเต๋าคือจริง และ (ง) การจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เส้นประสีแดงแสดงค่า $k = P = 0.1667$ ตามหนังสือแบบเรียนของ สสวท. (สสวท., 2555) และเส้นประสีน้ำเงินแสดงค่า $k = -\ln(1 - P) = 0.1823$ ตามแนวคิดของ Murray & Hart (2012); Santostasi et al. (2017)

อภิปรายผล

ผลการทดลองโดยวิธีการทอดลูกเต๋าคือจริง และการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ มีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดีในทุกๆ ประเด็นที่ศึกษา ทั้งค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า R^2 และ k การลดลงของจำนวนลูกเต๋าคือเหลือในภาพที่ 3 นั้นเป็นไป ดังสมการที่ 4 โดยจะเห็นได้ชัดในกรณีที่ N_0 มีค่ามากพอ ทั้งนี้คณะผู้วิจัยมีความเห็นว่าการนำเสนอการลดลงของจำนวนลูกเต๋าคือด้วยกราฟเส้นตรงนี้จะ เป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้จริงในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการ เนื่องจากผู้เรียนสามารถลากเส้นตรงและคำนวณค่าคงที่การสลายตัวจากความชันได้ด้วยตนเอง ต่างจากกราฟเอกซ์โพเนนเชียล ซึ่งจำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เท่านั้นในการทำ Fit curve เพื่อหาค่าคงที่การสลายตัว (Murray & Hart, 2012; Santostasi et al., 2017)

การพิจารณาว่า R^2 ทำให้ทราบถึงความเป็นเชิงเส้นของข้อมูล โดยค่า R^2 ของกราฟจากการทดลองที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงนั้นจะมีค่าใกล้เคียงหนึ่ง ผลการทดลอง ดังภาพที่ 4 แนะนำว่าควรใช้จำนวนลูกเต๋าดั้งต้นตั้งแต่ 80 ลูกขึ้นไป เพื่อให้ได้กราฟที่มีความเป็นเชิงเส้นที่สูง โดยหากใช้เกิน 80 ลูก ก็จะได้กราฟที่มีความเป็นเชิงเส้นใกล้เคียงกับกรณี 80 ลูก เนื่องจาก $\bar{R}^2$ ค่อนข้างคงที่ในช่วงดังกล่าว นอกจากนี้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ R^2 ยังมีค่าน้อยเมื่อลูกเต๋าดั้งต้นมากกว่า 80 ซึ่งหมายความว่าค่า R^2 จากผู้เรียนทั้ง 10 กลุ่ม มีค่าใกล้เคียงกันหรือกราฟจากการทดลองจากทั้ง 10 กลุ่ม มีความเป็นเชิงเส้นอย่างดีนั่นเอง ด้วยเหตุผลที่กล่าวมานี้คณะผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่าการใช้ลูกเต๋าดั้งต้น 80 ลูก จะทำให้ประหยัดเวลาในการทำการทดลอง ได้ผลการทดลองที่เป็นเชิงเส้นและเชื่อถือได้ ทั้งนี้จำนวนลูกเต๋าดั้งต้นที่เหมาะสม (80 ลูก) ที่รายงานในงานวิจัยนี้น้อยกว่าจำนวนลูกเต๋าดั้งต้นที่ใช้ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ทั้งสิ้น (Klein & Kagan, 2010; Murray & Hart, 2012; Santostasi et al., 2017; Schultz, 1997) อีกประเด็นที่น่าสนใจคือการเพิ่มค่า R^2 ซึ่งคณะผู้วิจัยมีความเห็นว่าอาจสามารถเพิ่มได้โดยการเพิ่มจำนวนลูกเต๋าดั้งต้นที่เหลือก่อนหยุดทอด (ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ทอดลูกเต๋าดั้งจนกระทั่งเหลือแค่หนึ่งลูกหรือไม่เหลือเลยแล้วจึงหยุดทอด) หากเพิ่มจำนวนลูกเต๋าดั้งต้นที่เหลือก่อนหยุดทอดให้มากกว่าหนึ่งจะลดโอกาสของการทอดแล้วเหลือจำนวนลูกเต๋าดั้งเดิมซึ่งเป็นต้นเหตุสำคัญของความไม่เป็นเชิงเส้นดังเห็นได้ชัด ดังภาพที่ 3(ค) และภาพที่ 3(ง) เมื่อ $n > 15$

ในภาพที่ 5(ก) และภาพที่ 5(ข) แม้ว่าการกระจายตัวข้อมูลซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยของค่าคงที่การสลายตัวจากการทอดลูกเต๋าดั้ง (K) มีลักษณะที่ไม่สัมพันธ์กับจำนวนลูกเต๋าดั้งต้น (K เป็นอิสระจาก N_0) แต่ค่า K สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจได้ว่า ค่าคงที่การสลายตัวของ การทอดลูกเต๋าดั้งจะเป็นไปตามที่หนังสือแบบเรียนของสสวท. กล่าวไว้ (สสวท., 2555) ซึ่งกล่าวว่า $k = P = 0.1667$ หรือเป็นไปตามแนวคิดของ Murray & Hart (2012); Santostasi et al. (2017) ซึ่งเสนอว่า $k = -\ln(1 - P) = 0.1823$ สืบเนื่องจากผล ดังภาพที่ 4 ซึ่งถือว่าข้อมูลที่นำเสนอเชื่อถือคือ ในกรณีที่ $N_0 \geq 80$ ลูก เมื่อนำค่า K สำหรับกรณีที่ N_0 มีค่าตั้งแต่ 80 ถึง 150 ลูก มาหาค่าเฉลี่ยจะพบว่า ค่าเฉลี่ยของ K คือ 0.1867 และ 0.1839 เมื่อค่าแรกคือค่าที่ได้จากกรณีของการทอดลูกเต๋าดั้งจริงและค่าหลังคือค่าที่ได้จากกรณีของการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 2.414% และ 0.878% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่า $k = 0.1823$ ชัดเจนว่าค่าที่ได้ทั้งสองค่านี้ใกล้เคียงกับ k ตามแนวคิดของ Murray & Hart (2012); Santostasi et al. (2017) การศึกษานี้จึงได้ผลการทดลองที่สนับสนุนแนวคิดดังกล่าว นอกจากนี้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า k ซึ่งมีค่าน้อยในช่วง $N_0 \geq 80$ ลูก ทำให้มั่นใจได้ว่าค่า k จากผู้เรียนทั้ง 10 กลุ่ม มีค่าใกล้เคียงกัน และสามารถนำไปเป็นค่าจำนวนลูกเต๋าดั้งต้นในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ นั่นคือ หากใช้จำนวนลูกเต๋าดั้งต้นดังกล่าวใน

การทำการทดลองกับผู้เรียน 10 กลุ่ม จะทำให้ได้ค่า R^2 ที่สูงใกล้เคียงหนึ่ง และค่า k ที่ใกล้เคียงกับค่าตามทฤษฎี (0.1823) นอกจากนี้ค่าที่ได้จากผู้เรียนในแต่ละกลุ่มจะมีค่าใกล้เคียงกันด้วย

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้ศึกษาการอุปมาอุปไมยการทอดลูกเต๋ากับการสลายตัวนิวเคลียสกัมมันตรังสีโดยใช้วิธีการทอดลูกเต๋ามาเปรียบเทียบกับวิธีการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ผลจากการทดลองทั้งสองวิธีมีความสอดคล้องกันว่าจำนวนลูกเต๋าดั้งต้นที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่จะนำไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการ คือ 80 ลูก ด้วยเหตุผลหลายประการ ได้แก่ ข้อมูลมีการเรียงตัวแบบเชิงเส้น (R^2 มีค่าสูง) จึงง่ายต่อการลากเส้นตรงในการหาความชัน ใช้เวลาในการทดลองน้อยที่สุด แต่ได้ค่าคงที่การสลายตัวใกล้เคียงตามทฤษฎี และผลการทดลองในแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกันมาก จึงสามารถสรุปผลการทดลองได้อย่างถูกต้องและสอดคล้องกัน นอกจากนี้ผลจากการศึกษานี้ยังยืนยันค่าคงที่การสลายตัวของลูกเต๋าดำตามแนวคิดของ Murray & Hart (2012); Santostasi et al. (2017) การศึกษานี้จึงมีส่วนช่วยสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับการลดลงของจำนวนลูกเต๋าดำในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเรื่องการอุปมาอุปไมยการทอดลูกเต๋ากับการสลายตัวนิวเคลียสกัมมันตรังสีได้เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) (2555). **หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 5**. กรุงเทพฯ: องค์การฯ ของ สกสศ.

Jesse, K.E. (2003). Computer simulation of radioactive decay. **The Physics Teacher**, 41(9), 542–543.

Klein, L., & Kagan, D. (2010). “Radio-Active” Learning: Visual Representation of Radioactive Decay Using Dice. **The Physics Teacher**, 48(1), 45–45.

Kowalski, L. (1981). Simulating radioactive decay with dice. **The physics teacher**, 19(2), 113–113.

Murray, A., & Hart, I. (2012). The ‘radioactive dice’ experiment: why is the ‘half-life’ slightly wrong?. **Physics Education**, 47(2), 197.

Sahu, S. (2011). Model of radioactive decay using dice. **Physics Education**, 46(3), 255.

Santostasi, D., Malgieri, M., Montagna, P., & Vitulo, P. (2017). An experiment on radioactive equilibrium and its modelling using the ‘radioactive dice’ approach. **Physics Education**, 52(4), 045023.

Schultz, E. (1997). Dice shaking as an analogy for radioactive decay and first order kinetics. **Journal of Chemical Education**, 74(5), 505.