JOURNAL OF EDUCATION AND INNOVATION

Journal of Education and Innovation
Vol. 28, No. 1, January - March 2026, 289739
ISSN: 3027-7019 (Online), DOI: 10.71185/jeiejournals.v28i1.289739

Research Article

DEVELOPMENT OF LEARNING ACTIVITIES USING THE 5E INQUIRY PROCESS COMBINED WITH THE PROBLEM-SOLVING PROCESS ON DIRAC PARTICLE IN A POTENTIAL WELL WITH MOVING WALLS TO ENHANCE ANALYTICAL THINKING COMPETENCY IN QUANTUM MECHANICS FOR PHYSICS STUDENTS

การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกระบวนการแก้ปัญหา เรื่อง อนุภาคดิแรกในบ่อศักย์ที่มีผนังทั้งสองด้านเคลื่อนที่ เพื่อพัฒนาสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ในรายวิชากลศาสตร์ควอนตัมของนักศึกษาสาขาฟิสิกส์

Received: November 2, 2025 **Revised:** December 23, 2025 **Accepted:** December 30, 2025

Tanwalai Kaeonikhom[1*] Nattapong Yongram[2] and Panupat Chaiworn[3]
ธัญวลัย แก้วนิคม[1*] นัฏพงษ์ ยงรัมย์[2] และภาณุพัฒน์ ชัยวร[3]

[1,3]Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University
[1,3]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
[2]Faculty of Science, Naresuan University
[2]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

*Corresponding Author, E-mail: 66853601@g.cmru.ac.th

Abstract

This study aimed to develop a 5E Inquiry-Based Learning activity package combined with the Problem-Solving Process, focusing on the topic “Dirac Particle in a One-Dimensional Potential Well with Two Moving Walls”, for undergraduate physics students at Chiang Mai Rajabhat University. The objectives were to achieve an efficiency criterion of 75/75 and to enhance students’ Analytical Thinking Competency in the Quantum Mechanics course. The sample comprised 12 third-year physics students enrolled in the first semester of the 2024 academic year, selected through purposive sampling. Research instruments included the 5E learning activity package, an Analytical Thinking Competency assessment, an achievement test, and a student satisfaction questionnaire. Results showed that the activity package achieved an efficiency of 76.41/78.25, exceeding the standard criterion of 75/75. Students’ learning gain (g) was 0.76, indicating a high level of improvement and a significant enhancement in Analytical Thinking Competency. The 5E Inquiry-Based Learning

approach enabled students to connect quantum concepts, analyze situations, and evaluate outcomes effectively. These results align with higher-order thinking levels of Bloom's Taxonomy. In conclusion, the learning activities emphasized the development of Analytical Thinking Competency. The findings indicate that using the Problem-Solving Process on the Dirac particle in a one-dimensional potential well with two moving walls effectively promotes students' progression from foundational understanding to higher-order thinking, supporting the goals of 21st-century learning.

Keywords: Analytical Thinking Competency, 5E Inquiry-Based Learning, Quantum Mechanics, Bloom's Taxonomy, Problem-Solving Process

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกระบวนการแก้ปัญหา เรื่องอนุภาคดิแรกในบ่อศักย์ที่มีผนังทั้งสองด้านเคลื่อนที่ในรายวิชากลศาสตร์ควอนตัม สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 75/75 และพัฒนาสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ของนักศึกษาโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบแก้ปัญหาในรายวิชากลศาสตร์ควอนตัม กลุ่มตัวอย่างคือนักศึกษาชั้นปีที่ 3 สาขาวิชาฟิสิกส์ ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชากลศาสตร์ควอนตัม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 12 คน ซึ่งได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย ชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E แบบวัดสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ของนักศึกษา แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบวัดความพึงพอใจของนักศึกษา ผลการวิจัยพบว่า ชุดกิจกรรมมีค่าประสิทธิภาพ 76.41/78.25 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 75/75 และมีค่าความก้าวหน้าการเรียนรู้ของนักศึกษา (g) เท่ากับ 0.76 อยู่ในระดับสูง แสดงว่าผู้เรียนมีสมรรถนะการคิดวิเคราะห์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงแนวคิดทางควอนตัม วิเคราะห์สถานการณ์ และประเมินผลได้อย่างมีเหตุผล ผลการเรียนรู้ดังกล่าวสอดคล้องกับกรอบอนุกรมวิธานของบลูมในระดับการคิดขั้นสูง โดยชุดกิจกรรมในการวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการพัฒนาสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ ผลลัพธ์สะท้อนให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้แบบแก้ปัญหาเรื่องอนุภาคดิแรกในบ่อศักย์ที่มีผนังทั้งสองด้านเคลื่อนที่ มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ของผู้เรียน จากระดับความเข้าใจพื้นฐานไปสู่ระดับการคิดขั้นสูง ซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21

คำสำคัญ: สมรรถนะการคิดวิเคราะห์ การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E กลศาสตร์ควอนตัม อนุกรมวิธานของบลูม กระบวนการแก้ปัญหา

บทนำ (Introduction)

ปัญหาการกักขังอนุภาคที่ไม่มีสปินในบ่อศักย์จำกัดและบ่อศักย์อนันต์ 1 มิติ ที่มีผนังศักย์หยุดนิ่ง มีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากเป็นปัญหาพื้นฐานที่ช่วยสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมของอนุภาคในสถานะควอนตัม และใช้เป็นพื้นฐานในการศึกษาและประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ เช่น วัสดุเชิงควอนตัม ทัศนศาสตร์เชิงควอนตัม และเทคโนโลยีเชิงควอนตัม (Dittrich et al., 2024) จนกระทั่งพอล เอเดรียน มอริซ ดิแรก (Paul Adrien Maurice Dirac) ได้เสนอสมการดิแรก (Dirac's equation) ซึ่งสามารถอธิบายพฤติกรรมของอนุภาคที่มีสปิน 1/2 เช่น อิเล็กตรอน โดยพัฒนาต่อจากสมการไคลน์–กอร์ดอน (Klein–Gordon equation) ซึ่งเกิดจากการรวมสมการชเรอดิงเงอร์กับทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษ และนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการกักขังอนุภาคสปิน 1/2 ในบ่อศักย์จำกัดและบ่อศักย์อนันต์ (Koehn, 2012) ทั้งนี้ระบบควอนตัมดังกล่าวถือ

เป็นระบบที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Time-independent) จนกระทั่งนักฟิสิกส์จำนวนมากเริ่มศึกษาระบบพลวัตเชิงควอนตัม (Thanabunsombat, 2023) ทำให้เข้าใจพฤติกรรมของอนุภาคสปิน 1/2 ได้มากขึ้น และนำไปสู่ปัญหาผนังศักย์ที่เคลื่อนที่ได้ เนื้อหาเรื่องการกักขังอนุภาคไม่สามารถเรียนรู้ด้วยการจดจำหรือคำนวณตามสูตรเพียงอย่างเดียว จำเป็นต้องพัฒนาสมรรถนะการคิดวิเคราะห์เพื่อเชื่อมโยงสมมติฐาน เงื่อนไขขอบเขต และตีความผลลัพธ์ทางฟิสิกส์อย่างเป็นระบบ อย่างไรก็ตาม พบว่านักศึกษาจำนวนมากยังเน้นการคำนวณและท่องจำสูตร ส่งผลให้ขาดความเข้าใจเชิงแนวคิดและไม่สามารถอธิบายผลทางฟิสิกส์ได้อย่างถูกต้อง

การจัดการเรียนรู้แบบ 5E เป็นแนวทางที่ส่งเสริมสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ของผู้เรียน ผ่านการจัดลำดับขั้นการเรียนรู้และการปฏิบัติอย่างเป็นระบบ ประเทศไทยในยุค 4.0 ด้านการศึกษามุ่งเน้นการส่งเสริมให้ผู้เรียนมีบทบาทในการเรียนรู้มากขึ้น รวมถึงเน้นให้นักเรียนพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ โดยการเผชิญกับปัญหาที่ซับซ้อนและต้องใช้กระบวนการคิดเชิงลึก การจัดการเรียนรู้แบบกระบวนการแก้ปัญหา (Problem-Solving Process) เป็นกระบวนการที่ผู้สอนเน้นให้ผู้เรียนคิดแก้ปัญหาอย่างเป็นกระบวนการ มีขั้นตอน มีเหตุผล ด้วยตนเอง ตั้งแต่การกำหนดปัญหา วางแผน แก้ปัญหา ตั้งสมมติฐาน การเก็บรวบรวมข้อมูล พิสูจน์ข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผล (Savery, 2006) นอกจากนี้ การจัดการเรียนรู้แบบแก้ปัญหาที่เน้นพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหาผ่านการเผชิญกับปัญหาจริงในชีวิตจริง พบว่าช่วยส่งเสริมการเรียนรู้เชิงลึก พัฒนาทักษะการคิดเชิงวิจารณ์ และเสริมสร้างการเชื่อมโยงข้อมูลจากหลายแหล่ง ผู้เรียนสามารถฝึกฝนการวิเคราะห์และวิจารณ์แนวคิดต่าง ๆ ทำให้สามารถตัดสินใจและแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ดียิ่งขึ้น (Hmelo-Silver, 2004) เพื่อให้การแก้ปัญหาเป็นระบบ งานวิจัยได้นำ 5E มาบูรณาการกับการเรียนรู้แบบแก้ปัญหา โดย 5E จัดลำดับขั้นตั้งแต่กระตุ้นความสนใจ สำรวจ อธิบาย ขยายความรู้ และประเมินผล ส่งเสริมการคิดวิเคราะห์ผ่านการปฏิบัติและแก้ปัญหาอย่างมีเหตุผล กระบวนการเรียนรู้ดังกล่าวให้ผู้เรียนทุกคนสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้อย่างต่อเนื่อง โดยยึดผู้เรียนเป็นศูนย์กลางและส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนาตามศักยภาพเต็มที่ ตลอดจนเป็นการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต (Office of the Permanent Secretary, Ministry of Education, 2000)

จากเหตุผลและความสำคัญดังกล่าว ผู้วิจัยสนใจศึกษาเกี่ยวกับ อนุภาคดิแรกในบ่อศักย์ที่มีผนังทั้งสองด้านเคลื่อนที่ ในรายวิชากลศาสตร์ควอนตัมสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี เนื้อหาดังกล่าวมีความซับซ้อนและต้องอาศัยพื้นฐานทางฟิสิกส์เชิงควอนตัมและคณิตศาสตร์ขั้นสูง การเรียนรู้เนื้อหานี้จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการเรียนรู้ที่ช่วยส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ และพัฒนาความสามารถในการวิเคราะห์เชิงลึกของผู้เรียน เพื่อให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงนำ กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E (5E Instructional Model) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับ กระบวนการแก้ปัญหา (Problem-Solving Method) ตามแนวคิดของ Bybee et al. (2006) และ Polya (1957) ซึ่งทั้งสองแนวทางมีความสอดคล้องกันในการพัฒนาสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ (Analytical Thinking Competency) ผ่านการเรียนรู้เชิงปฏิบัติ การตั้งคำถาม การสืบค้นข้อมูล และการสรุปเชิงเหตุผล โดยมีการเชื่อมโยงกับ ระดับพุทธิพิสัยของบลูม (Bloom’s Taxonomy) (Anderson & Krathwohl, 2001) เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ในทุกระดับ ตั้งแต่การจดจำความรู้พื้นฐาน (Remember) การเข้าใจแนวคิด (Understand) การประยุกต์ใช้หลักการ (Apply) การวิเคราะห์เหตุผล (Analyze) การประเมินผล (Evaluate) จนถึงการสร้างองค์ความรู้ใหม่ (Create)

วัตถุประสงค์ (Objectives)

1. เพื่อพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกระบวนการแก้ปัญหา เรื่อง อนุภาคดิแรกในบ่อศักย์ที่มีผนังทั้งสองด้านเคลื่อนที่ รายวิชากลศาสตร์ควอนตัมของนักศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์ระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 75/75

2. เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ของนักศึกษาก่อนและหลังการเรียน ด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้แบบ 5E ร่วมกับกระบวนการแก้ปัญหา ในรายวิชากลศาสตร์ควอนตัม

3. เพื่อวิเคราะห์ค่าความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ด้านสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกระบวนการแก้ปัญหา โดยใช้ค่า Normalized Gain (<g>) สำหรับวัดระดับการพัฒนาการเรียนรู้ของนักศึกษา

สมมติฐานการวิจัย (Hypothesis)

การจัดการเรียนการสอนด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกระบวนการแก้ปัญหาเรื่องอนุภาคดิแรกในบ่อศักย์ที่มีผนังทั้งสองด้านเคลื่อนที่ สมรรถนะการคิดวิเคราะห์ในรายวิชากลศาสตร์ควอนตัมของนักศึกษาสาขาฟิสิกส์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

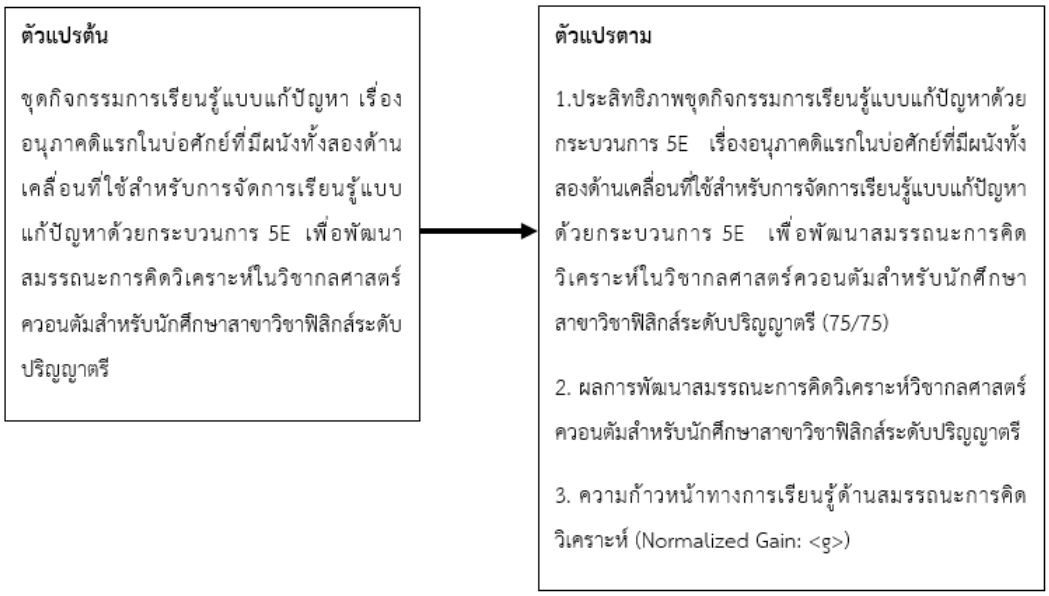
กรอบแนวคิดการวิจัย (Conceptual Framework)

งานวิจัยนี้ได้สร้างชุดกิจกรรมกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกระบวนการแก้ปัญหา เรื่องอนุภาคดิแรกในบ่อศักย์ที่มีผนังทั้งสองด้านเคลื่อนที่ รายวิชากลศาสตร์ควอนตัม เพื่อให้นักศึกษาได้เห็นถึงการนำทฤษฎีพื้นฐานทางกลศาสตร์ ได้แก่ แนวคิดฟิสิกส์ยุคใหม่ ฟังก์ชันคลื่นและฟังก์ชันเจาะจง ตัวดำเนินการ สมการชเรอดิงเงอร์ และผลเฉลยของสมการชเรอดิงเงอร์ในปัญหาหนึ่งมิติ ซึ่งมีความซับซ้อนประยุกต์ใช้กับอนุภาคดิแรก ซึ่งเป็นเนื้อหาที่มีความซับซ้อนและต้องอาศัยพื้นฐานความรู้เชิงลึก ผ่านกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบและส่งเสริมการคิดวิเคราะห์เชิงเหตุผล ชุดกิจกรรมจึงช่วยให้นักศึกษาตระหนักถึงการนำหลักการพื้นฐานไปใช้ในการวิเคราะห์ระบบควอนตัม โดยมีกรอบแนวคิดดังแสดงดัง Figure 1

Figure 1

Conceptual Framework

กรอบแนวคิดการวิจัย



วิธีดำเนินการวิจัย (Methodology)

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) การออกแบบชุดกิจกรรมเพื่อพัฒนาสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ในวิชากลศาสตร์ควอนตัมซึ่งมีความซับซ้อนอย่างมาก จำเป็นต้องใช้กระบวนการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนลงมือ

ปฏิบัติ สืบเสาะหาความรู้ และใช้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ แนวทางที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย คือ กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) และกระบวนการแก้ปัญหา (Problem-Solving Method) ทั้งนี้ การดำเนินการตามขั้นตอนของ 5E และกระบวนการแก้ปัญหาจะช่วยส่งเสริมการพัฒนาทักษะการคิดในระดับสูง (Higher-Order Thinking Skills) เพื่อเสริมสร้างการคิดวิเคราะห์ของนักศึกษาสาขาฟิสิกส์มีวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการวิจัย ได้แก่ นักศึกษาครุศาสตรบัณฑิต ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 33 คน

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย ได้แก่ นักศึกษาชั้นปีที่ 3 สาขาวิชาฟิสิกส์ ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชากลศาสตร์ควอนตัม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 12 คน ซึ่งได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจง

2. ขอบเขตด้านเนื้อหา

การวิจัยครั้งนี้มุ่งพัฒนาสมรรถนะการคิดวิเคราะห์โดยการจัดการเรียนรู้แบบแก้ปัญหาในรายวิชากลศาสตร์เชิงควอนตัมของนักศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์ระดับปริญญาตรี ซึ่งผู้วิจัยได้รวบรวมและสรุปขอบเขตเนื้อหาตามรายวิชากลศาสตร์ควอนตัมซึ่งมีรหัสวิชา PHYS3713 ได้แก่ แนวคิดฟิสิกส์ยุคใหม่ ฟังก์ชันคลื่นและฟังก์ชันเจาะจง ตัวดำเนินการ สมการชเรอดิงเงอร์และผลเฉลยของสมการชเรอดิงเงอร์ในปัญหาหนึ่งมิติ งานวิจัยนี้จัดการเรียนรู้โดยบูรณาการ 5E กับกระบวนการแก้ปัญหาโดยไม่แยกขั้นตอน โดยเริ่มจากกระตุ้นความสนใจ สำรวจและค้นหา วิเคราะห์ ทดลอง และอธิบายผลลัพธ์ พร้อมขยายความรู้และประยุกต์ใช้ความรู้จากการแก้ปัญหา สุดท้ายประเมินทั้งกระบวนการเรียนรู้และผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียน ทั้งนี้ การดำเนินการตามขั้นตอนของ 5E และกระบวนการแก้ปัญหาจะช่วยส่งเสริมการพัฒนาทักษะการคิดในระดับสูง (Higher-Order Thinking Skills) ตามลำดับขั้นของอนุกรมวิธานของบลูม

3. รูปแบบกาวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental Research) โดยใช้แบบแผนการวิจัยแบบกลุ่มเดียววัดก่อนและหลังเรียน (One-Group Pretest–Posttest Design) กลุ่มตัวอย่างคือนักศึกษาสาขาฟิสิกส์ ชั้นปีที่ 3 จำนวน 12 คน ผู้วิจัยจัดให้มีการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน แสดงดัง Table1

Table1

Experimental Design

แบบแผนการทดลอง

ทดสอบก่อนเรียน	ทดลอง	ทดสอบหลังเรียน
O_1	X	O_2

สัญลักษณ์ที่ใช้ในรูปแบบการวิจัย

O_1 หมายถึง การทดสอบก่อนเรียน (Pre-test)

X หมายถึง การจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องอนุภาคดิแรกในบ่อศักย์ที่มีผนังทั้งสองด้านเคลื่อนที่ใช้สำหรับการจัดการเรียนรู้แบบแก้ปัญหาด้วยกระบวนการ 5E ในรายวิชากลศาสตร์ควอนตัม

O_2 หมายถึง การทดสอบหลังเรียน (Post-test)

4. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1 ชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกระบวนการแก้ปัญหา เรื่องอนุภาคดิแรกในบ่อศักย์ที่มีผนังทั้งสองด้านเคลื่อนที่ เพื่อพัฒนาสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ในวิชากลศาสตร์ควอนตัมสำหรับนักศึกษาฟิสิกส์ระดับปริญญาตรี แบ่งเป็น 5 ชุดกิจกรรม จำนวน 15 ชั่วโมง ซึ่งรายละเอียดของแต่ละชุดกิจกรรมได้กำหนดไว้ในเอกสารประกอบการสอน ชื่อ Dirac Particle in Potential Well (อนุภาคดิแรกในบ่อศักย์) จำนวน 1 เล่ม ดังนี้

4.1.1 ชุดกิจกรรมที่ 1 เรื่อง กลศาสตร์ควอนตัมสร้างนิวเคลียร์ จำนวน 3 ชั่วโมง ประกอบด้วย เอกสารประกอบการเรียนรู้ สื่อประกอบการสอน Canva เอกสารประกอบการสอน จำนวน 1 เล่ม และแบบฝึกหัดท้ายบท

4.1.2 ชุดกิจกรรมที่ 2 เรื่อง วิวัฒนาการของกลศาสตร์ควอนตัม จำนวน 3 ชั่วโมง ประกอบด้วย เอกสารประกอบการเรียนรู้ สื่อประกอบการสอน Canva เอกสารประกอบการสอน จำนวน 1 เล่ม และแบบฝึกหัดท้ายบท

4.1.3 ชุดกิจกรรมที่ 3 เรื่อง สมการชเรอดิงเงอร์ที่ไม่ขึ้นกับเวลาและบ่อศักย์อนันต์ จำนวน 3 ชั่วโมง ประกอบด้วย เอกสารประกอบการเรียนรู้ สื่อประกอบการสอน Canva เอกสารประกอบการสอน จำนวน 1 เล่ม และแบบฝึกหัดท้ายบท

4.1.4 ชุดกิจกรรมที่ 4 เรื่อง ดิแรก หนึ่งในผู้วางรากฐานกลศาสตร์ควอนตัม จำนวน 3 ชั่วโมง ประกอบด้วย เอกสารประกอบการเรียนรู้ สื่อประกอบการสอน Canva เอกสารประกอบการสอน จำนวน 1 เล่ม และแบบฝึกหัดท้ายบท

4.1.5 ชุดกิจกรรมที่ 5 เรื่อง อนุภาคดิแรกในบ่อศักย์ที่มีผนังเคลื่อนที่ จำนวน 3 ชั่วโมง ประกอบด้วย เอกสารประกอบการเรียนรู้ สื่อประกอบการสอน Canva และแบบฝึกหัดท้ายบท

4.2 แบบวัดสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ใช้วัดผลสัมฤทธิ์ก่อนและหลังเรียน ประกอบด้วยข้อสอบปรนัย 4 ตัวเลือก 15 ข้อต่อชุดกิจกรรม และข้อสอบอัตนัย 5 ข้อต่อชุดกิจกรรม รวมทั้งหมด 100 ข้อ มีค่าความเชื่อมั่น (Reliability) โดยใช้สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha) เท่ากับ 0.846 ซึ่งอยู่ในระดับสูง การวิเคราะห์ความเที่ยงตรงโดยการหาค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (IOC) โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อวัดความสอดคล้องของข้อคำถามตลอดจนเนื้อหากับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ซึ่งในกระบวนการจำเป็นต้องพิจารณาหลายด้านที่เกี่ยวข้องกับความเหมาะสมและความถูกต้อง ตัวอย่างด้านที่ควรพิจารณาในการหาค่า IOC ได้แก่ 1) ด้านความครอบคลุมของเนื้อหา 2) ด้านความเหมาะสมของการวัด 3) ด้านความถูกต้องของเนื้อหา 4) ด้านความชัดเจนของเนื้อหา และ 5) ด้านความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ สมรรถนะการคิดวิเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหาและเงื่อนไขทางฟิสิกส์ (40 ข้อ) การประเมินเหตุผลและตีความผลลัพธ์ทางฟิสิกส์ (35 ข้อ) และการสังเคราะห์เพื่อสร้างแนวทางแก้ปัญหาเชิงควอนตัม (25 ข้อ) รวมทั้งหมด 100 ข้อ

5. วิธีการดำเนินการสร้างและหาคุณภาพของเครื่องมือ

5.1 การสร้างและหาคุณภาพชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกระบวนการแก้ปัญหา เรื่อง อนุภาคดิแรกในบ่อศักย์ที่มีผนังทั้งสองด้านเคลื่อนที่ ได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

5.1.1 การออกแบบและพัฒนาโครงสร้าง เริ่มจากการวิเคราะห์เนื้อหา ศึกษาวิเคราะห์เนื้อหารายวิชากลศาสตร์ควอนตัมที่เกี่ยวข้องกับอนุภาคดิแรก และแนวคิดพื้นฐาน เช่น แนวคิดฟิสิกส์ยุคใหม่ ฟังก์ชันคลื่นและฟังก์ชันเจาะจง ตัวดำเนินการ สมการชเรอดิงเงอร์ และผลเฉลยของสมการชเรอดิงเงอร์ในปัญหาหนึ่งมิติ เป็นต้น เป้าหมายเพื่อกำหนดขอบเขตและลำดับของชุดกิจกรรม การออกแบบชุดกิจกรรมให้สอดคล้องกับขั้นตอนของ 5E Engage, Explore, Explain, Elaborate, Evaluate) และบูรณาการ กระบวนการแก้ปัญหา (การทำความเข้าใจปัญหา, การวางแผน, การดำเนินการ, การตรวจสอบผล) เข้าไปในแต่ละขั้นตอนอย่างเหมาะสม

5.1.2 การตรวจสอบความสอดคล้องเชิงเนื้อหา การหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) นำชุดกิจกรรมการเรียนรู้ฉบับร่างไปให้ ผู้เชี่ยวชาญในสาขาฟิสิกส์และสาขาการสอนวิทยาศาสตร์ จำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความสอดคล้องของ

เนื้อหา จุดประสงค์การเรียนรู้ และความเหมาะสมของกิจกรรม ผลการตรวจสอบในงานวิจัยนี้ได้ค่า IOC เฉลี่ยรวมเท่ากับ 0.88 สำหรับชุดกิจกรรม และ 0.84 สำหรับการประเมินความเหมาะสม ซึ่งแสดงว่ามีความสอดคล้องในระดับสูง

5.1.3 การหาประสิทธิภาพของ E1/E2 นำชุดกิจกรรมที่ผ่านการตรวจสอบ IOC จากผู้เชี่ยวชาญไปทดลองกับนักศึกษาระดับปริญญาตรีที่ 3 สาขาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ภาคเรียนที่ 2/2567 จำนวน 12 คน ที่เรียนรายวิชากลศาสตร์ควอนตัม เพื่อประเมินประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 75/75 โดยใช้กรอบการประเมินสื่อของ Promwong (2013) ผลปรากฏว่าชุดกิจกรรมมีประสิทธิภาพ 76.41/78.25 ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

5.2 การสร้างและหาคุณภาพแบบวัดสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ โดยแบบวัดสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ถูกสร้างขึ้นเพื่อวัดความสามารถของนักศึกษาในการคิดระดับสูงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยมีขั้นตอนดังนี้

5.2.1 การสร้างแบบวัดเริ่มจากการกำหนดกรอบให้สอดคล้องกับเนื้อหา เพื่อประเมินสมรรถนะการคิดวิเคราะห์เชิงปฏิบัติผ่านการแก้ปัญหาเชิงสถานการณ์ โดยใช้กรอบอนุกรมวิธานของบลูมฉบับปรับปรุงระดับคิดขั้นสูง ได้แก่ การวิเคราะห์ การประเมินค่า และการสร้างสรรค์ (Anderson & Krathwohl, 2001) แบบวัดประกอบด้วยข้อสอบปรนัย 4 ตัวเลือก 15 ข้อ พร้อมเกณฑ์การให้คะแนน และข้อสอบอัตนัย 5 ข้อรวม 100 ข้อ ครอบคลุมการเรียนรู้ทั้งหมด

5.2.2 การหาคุณภาพรายข้อโดยนำแบบวัดไปทดลองใช้กับกลุ่มนักศึกษาที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์รายข้อเพื่อหาค่าความตรง (Validity) และความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของข้อสอบแต่ละข้อ เพื่อคัดเลือกข้อสอบที่มีคุณภาพ

5.2.3 การหาความเชื่อมั่น (Reliability) โดยเป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient) นำคะแนนจากการทดลองใช้มาคำนวณหาค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดทั้งฉบับ ผลการหาความเชื่อมั่นแบบทดสอบหลังเรียนมีค่า Cronbach's Alpha เท่ากับ 0.846 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความเชื่อมั่นในระดับสูง (High Reliability) และเพียงพอต่อการนำไปใช้วิจัยในสาขาการศึกษา

6. การเก็บรวบรวมข้อมูล

6.1 การเตรียมการก่อนการทดลอง ขั้นตอนแรกผู้วิจัยขออนุญาตประสานงานและขออนุญาตจากคณาจารย์ผู้รับผิดชอบรายวิชา และผู้บริหารที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้กลุ่มตัวอย่างและสถานที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

6.2 ผู้สอนชี้แจงกลุ่มตัวอย่างชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัย และขั้นตอนการเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้ให้กับนักศึกษาครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชากลศาสตร์ควอนตัม ในปีการศึกษา 2567 จำนวน 12 คน ดำเนินการทดสอบก่อนเรียนโดยใช้ แบบวัดสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ ทั้งส่วนปรนัยและอัตนัย เพื่อเก็บข้อมูลพื้นฐานของนักศึกษา ก่อนเริ่มการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

6.3 ผู้วิจัยดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกระบวนการแก้ปัญหาตามแผนการสอนที่กำหนดไว้ เป็นระยะเวลาที่เหมาะสม

6.4 ระหว่างการดำเนินกิจกรรม นักศึกษาจะทำแบบฝึกหัดหรือกิจกรรมย่อยในแต่ละขั้นตอนของชุดกิจกรรม 5 ชุดกิจกรรม ซึ่งคะแนนจากแบบฝึกหัดเหล่านี้จะถูกรวบรวมเพื่อนำไปคำนวณหา ประสิทธิภาพเชิงกระบวนการ (E1) ของชุดกิจกรรม

6.5 การดำเนินการหลังการทดลอง ให้นักศึกษาตอบแบบวัดความพึงพอใจต่อชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อประเมินทัศนคติและแรงจูงใจในการเรียนรู้ของกลุ่มตัวอย่าง

6.6 ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จาก Pre-test, Post-test, คะแนนระหว่างเรียน (E1), และแบบวัดความพึงพอใจไปวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อสรุปผลการวิจัยต่อไป

7. การวิเคราะห์ข้อมูล

7.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกระบวนการแก้ปัญหา โดยใช้เกณฑ์ 75/75 หาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสูตรการหาประสิทธิภาพ E1/E2

7.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ของนักศึกษาก่อนและหลังเรียน โดยการใช้ Paired Samples (t-test)

7.3 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามความพึงพอใจโดยการใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หลังจากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด

7.4 การวิเคราะห์ค่าพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเชิงสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ของนักศึกษา โดยใช้ค่า Normalized Gain (<g>) สำหรับวัดระดับการพัฒนาการเรียนรู้ของนักศึกษา

7.5 การวิเคราะห์ความพึงพอใจ (Satisfaction Analysis) ใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนจากแบบวัดความพึงพอใจ เพื่อสรุประดับและแนวโน้มความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดกิจกรรมการเรียนรู้ สำหรับเกณฑ์การตัดสินนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์การแปลความหมายของมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ

ผลการวิจัย (Results)

การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกระบวนการแก้ปัญหา เรื่องอนุภาคดิแรกในบ่อศักย์ที่มีผนังทั้งสองด้านเคลื่อนที่ รายวิชากลศาสตร์ควอนตัมของนักศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์ มีผลการวิจัยดังนี้

Table 2

Analysis of the Efficiency of the Learning Activity Packages According to the E1/E2

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ตามเกณฑ์ E1/E2

ประสิทธิภาพ	ร้อยละคะแนนเฉลี่ย	ร้อยละคะแนนเฉลี่ยรวม	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	การแปลความหมาย
ประสิทธิภาพกระบวนการ (E1)				
ชุดกิจกรรมที่ 1	79.46%			
ชุดกิจกรรมที่ 2	79.17%	76.41%	7.21	มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 75
ชุดกิจกรรมที่ 3	77.50%			
ชุดกิจกรรมที่ 4	73.25%			
ชุดกิจกรรมที่ 5	72.67%			
ประสิทธิภาพกระบวนการ (E2)	-	78.25%	7.82	มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 75

จาก Table 2 พบว่า ประสิทธิภาพกระบวนการ (E1) มีร้อยละคะแนนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 76.41 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.21 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 75 แสดงให้เห็นว่าชุดกิจกรรมมีประสิทธิภาพของกระบวนการตามเกณฑ์มาตรฐาน ในส่วนของ ประสิทธิภาพผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (E2) พบว่ามีร้อยละคะแนนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 78.25 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.82 ซึ่งอยู่ในระดับที่มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 75 เช่นเดียวกัน สะท้อนให้เห็นว่าชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นสามารถส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Table 3

Results of the Analysis of Students' Pretest and Posttest Scores

ผลการวิเคราะห์คะแนนทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษา

การทดสอบ	N	Min	Max	$\overline{X}$	SD	Variance
ก่อนเรียน	12	21	26	23.58	1.73	2.992
หลังเรียน	12	76	90	81.58	4.48	20.083

ผลการวิเคราะห์คะแนนทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษา จำนวน 12 คน จาก Table 2 พบว่า คะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนอยู่ที่ 23.58 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 1.73 และความแปรปรวนเท่ากับ 2.99 โดยคะแนนต่ำสุดและสูงสุดอยู่ที่ 21 และ 26 ตามลำดับ ส่วนคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนอยู่ที่ 81.58 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 4.48 และความแปรปรวนเท่ากับ 20.083 โดยคะแนนต่ำสุดและสูงสุดอยู่ที่ 76 และ 90 ตามลำดับ ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกระบวนการแก้ปัญหา สามารถส่งเสริมสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ของนักศึกษาในเชิงการปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลคะแนนก่อนและหลังเรียนโดยใช้การทดสอบ Shapiro-Wilk พบว่า คะแนนก่อนเรียนมีค่า Shapiro-Wilk Statistic เท่ากับ 0.934 และ p-value เท่ากับ 0.422 ส่วนคะแนนหลังเรียนมีค่า Shapiro-Wilk Statistic เท่ากับ 0.921 และ p-value เท่ากับ 0.295 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า .05 แสดงดัง Table 7 จึงสรุปได้ว่าข้อมูลทั้งสองชุดมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 4

Comparison of Pretest and Posttest Scores Using Paired Samples t-Test

ผลการเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยสถิติ t-test แบบกลุ่มสัมพันธ์ (Paired Samples t-test)

การทดสอบ	N	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	SD	t	df	Sig.
ก่อนเรียน	12	100	23.58	1.73	-43.19	11	.000*
หลังเรียน	12	100	81.58	4.65			

จาก Table 4 ผลการทดสอบ Normality test ด้วย Shapiro–Wilk Test พบว่า คะแนนก่อนเรียนมีค่า Shapiro-Wilk Statistic เท่ากับ 0.934 และ p-value เท่ากับ 0.422 ส่วนคะแนนหลังเรียนมีค่า Shapiro-Wilk Statistic เท่ากับ 0.921 และ p-value เท่ากับ 0.295 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าข้อมูลทั้งสองชุดมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยใช้สถิติ t-test แบบกลุ่มสัมพันธ์ (Paired Samples t-test) พบว่า สมรรถนะการคิดวิเคราะห์ของนักศึกษาก่อนและหลังเรียน คะแนนเฉลี่ยหลังเรียน ($\overline{\mathbf{X}}$ = 81.58, SD = 4.65) สูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน ($\overline{\mathbf{X}}$ = 23.58, SD = 1.73) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (t (11) = -43.19, p < .001) แสดงว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

Table 5

Assessment of Students' Learning Progress Using Normalized Gain

การประเมินความก้าวหน้าการเรียนรู้ของนักศึกษาด้วย Normalized Gain

ตัวแปร	คะแนนเต็ม	ก่อนเรียน	หลังเรียน	$< g >$	ระดับการพัฒนา
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	100	23.58	81.58	0.76	สูง

จาก Table 5 พบว่า คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.58 คะแนน จากคะแนนเต็ม 100 คะแนน แสดงให้เห็นว่านักศึกษามีพื้นฐานความรู้ในเนื้อหาที่เรียนอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ขณะที่หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ค่าเฉลี่ยคะแนนเพิ่มขึ้นเป็น 81.58 คะแนน ซึ่งสูงกว่าก่อนเรียนอย่างชัดเจน เมื่อคำนวณค่าดัชนีการพัฒนาความรู้หรือความเข้าใจของนักศึกษา (normalized gain: <g>) ได้ค่าเท่ากับ 0.76 ซึ่งอยู่ในระดับสูงตามเกณฑ์ของ Hake (as cited in Phonphok & Wannapiroon, 2019)

การประเมินความเที่ยงตรงภายใน (internal consistency) ของแบบทดสอบที่มีจำนวน 100 ข้อ พบว่า ค่า Cronbach's Alpha = 0.846 ซึ่งแสดงถึงความเชื่อถือระดับสูง (High reliability) โดยทั่วไป ค่า Cronbach's Alpha ที่มากกว่า 0.7 ถือว่ามีความเชื่อถือได้เพียงพอสำหรับงานวิจัยด้านการศึกษาและจิตวิทยา (Taber, 2018; Hair et al., 2019) นอกจากนี้ ค่า Cronbach's Alpha Based on Standardized Items = 0.835 ซึ่งเป็นการคำนวณเมื่อพิจารณาคะแนนของแต่ละข้อในหน่วยมาตรฐาน มีค่าใกล้เคียงกับค่าเดิม แสดงว่าผลลัพธ์ของแบบทดสอบมีความสม่ำเสมอสูง แม้จะมีการปรับมาตรฐานของคะแนนข้อแต่ละข้อ

Table 6

Evaluation of Students' Satisfaction as Supporting Evidence for the Quality of the 5E Inquiry-Based Learning Activities Integrated with Problem-Solving Process

ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาเพื่อสนับสนุนคุณภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกระบวนการแก้ปัญหา

ข้อ	รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
		$\bar{X}$	SD	การแปลผล
1	เนื้อหาการเรียนรู้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์	4.75	0.45	มากที่สุด
2	คำอธิบายเนื้อหาในเอกสารประกอบการสอนแต่ละชุดกิจกรรมมีความชัดเจน	4.58	0.51	มากที่สุด
3	เนื้อหาในเอกสารประกอบและสื่อการสอนมีความยาก ง่าย อย่างเหมาะสม	4.58	0.51	มากที่สุด
4	เนื้อหามีการเรียงลำดับขั้นตอนจากง่ายไปยาก ชัดเจน และน่าสนใจ	4.75	0.45	มากที่สุด
5	ผู้สอนสอนตามลำดับขั้นตอน ทำให้ผู้เรียนสามารถปฏิบัติตามได้ง่าย	4.42	0.51	มาก
6	แบบฝึกหัดท้ายบทของแต่ละชุดกิจกรรม มีความยากง่ายอย่างเหมาะสม	4.67	0.49	มากที่สุด
7	แบบฝึกหัด เนื้อหา และสื่อการสอนส่งเสริมสมรรถนะการคิดวิเคราะห์	4.83	0.39	มากที่สุด
8	การนำเสนอเนื้อหา การดำเนินการสอนในแต่ละชุดกิจกรรม ส่งเสริมสมรรถนะการคิดวิเคราะห์	4.67	0.49	มากที่สุด
9	ชุดกิจกรรมเข้าถึงง่าย สามารถศึกษาตลอดเวลา	4.83	0.39	มากที่สุด

ข้อ	รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
		$\bar{X}$	SD	การแปลผล
10	ชุดกิจกรรมมีความเหมาะสมกับเนื้อหาที่เรียน	4.50	0.52	มาก
11	ผู้เรียนมีความรู้และเข้าใจเนื้อหามากขึ้น หลังจากการใช้ชุดกิจกรรม	4.42	0.51	มาก
12	ผู้เรียนสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้รายวิชากลศาสตร์ควอนตัมได้	4.75	0.45	มากที่สุด
13	ผู้เรียนเกิดทักษะการใช้เทคโนโลยี	4.83	0.39	มากที่สุด
14	สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้	4.17	0.39	มาก
15	ผู้เรียนสามารถถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่บุคคลอื่นได้	4.08	0.51	มาก
	รวมเฉลี่ย	**4.59**	**0.47**	**มากที่สุด**

ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาเพื่อสนับสนุนคุณภาพชุดกิจกรรมการเรียนรู้ 5E ที่บูรณาการกับกระบวนการแก้ปัญหา จาก Table 5 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนต่อชุดกิจกรรมการเรียนรู้อยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.59 (SD = 0.47) สะท้อนความเห็นที่มีความสอดคล้องกันในภาพรวม รายการที่ได้คะแนนสูงสุด ได้แก่ การส่งเสริมสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ การเข้าถึงชุดกิจกรรม และการพัฒนาทักษะการใช้เทคโนโลยี ($\bar{X}$ = 4.83, SD = 0.39) ซึ่งอยู่ในระดับมากที่สุด แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมในการสนับสนุนทักษะสำคัญของผู้เรียน ในขณะที่ด้านความสามารถในการถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ผู้อื่นมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด ($\bar{X}$ = 4.08, SD = 0.51) ซึ่งอยู่ในระดับมากที่สุด แสดงถึงโอกาสในการพัฒนาทักษะการสื่อสารและการประยุกต์ใช้ความรู้เพิ่มเติม

Table 7

Results of the Analysis of the Index of Item-Objective Congruence (IOC) of the Learning Activity Packages Evaluated by Three Experts

ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้องของเนื้อหา (IOC) ของชุดกิจกรรมการเรียนรู้จากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

ชุดกิจกรรม	รายการประเมิน					IOC
	ความครอบคลุมของเนื้อหา	ความเหมาะสมของการวัด	ความถูกต้องของเนื้อหา	ความชัดเจนของเนื้อหา	ความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	
ชุดที่ 1	0.67	1.00	1.00	1.00	0.67	0.87
ชุดที่ 2	0.67	1.00	1.00	1.00	0.67	0.87
ชุดที่ 3	0.67	1.00	1.00	1.00	0.67	0.87
ชุดที่ 4	0.67	1.00	1.00	1.00	0.67	0.87
ชุดที่ 5	0.67	1.00	1.00	1.00	0.67	0.87
ค่าเฉลี่ยรวม	**0.67**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**0.67**	**0.87**

จาก Table 7 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้องของเนื้อหา (Index of Item-Objective Congruence: IOC) ของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ได้รับการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่า ค่า IOC ของชุดกิจกรรมทั้ง 5 ชุด อยู่ในช่วงระหว่าง 0.67 ถึง 1.00 โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 0.87 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ (≥ 0.67) แสดงให้เห็นว่าชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ ครอบคลุมเนื้อหา มีความถูกต้อง ชัดเจน

และสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยล่าสุดยังพบว่า การใช้สมการดิแรกสำหรับอนุภาคสปิน 1/2 ในบ่อศักย์ต่าง ๆ ช่วยให้นักศึกษาสามารถเข้าใจพฤติกรรมของอนุภาคในสถานะควอนตัมได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น (Boumali, 2025a; Boumali, 2025b; Ghosh & Mandal, 2025; Zhang, 2025)

Table 8

Results of the Evaluation of the Index of Item-Objective Congruence (IOC) for the Learning Activity Packages
*ผลการประเมินค่าดัชนีความสอดคล้องของรายการประเมิน (**IOC**) ของชุดกิจกรรมการเรียนรู้*

รายการประเมิน	ข้อที่	IOC	แปลผล
1. สาระสำคัญ	1.1 สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	1.00	สอดคล้อง
	1.2 เหมาะสมกับวัยของผู้เรียน	1.00	สอดคล้อง
	1.3 มีความชัดเจนเข้าใจง่าย	1.00	สอดคล้อง
2. จุดประสงค์การเรียนรู้	2.1 เนื้อหาสอดคล้องกับสาระการเรียนรู้	0.67	สอดคล้อง
	2.2 ภาษาที่ใช้มีความชัดเจนเข้าใจง่าย	1.00	สอดคล้อง
	2.3 เหมาะสมกับวัยของผู้เรียน	1.00	สอดคล้อง
3. สาระการเรียนรู้	3.1 สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	0.67	สอดคล้อง
	3.2 มีความชัดเจนเข้าใจง่าย	1.00	สอดคล้อง
	3.3 นำเสนอในลำดับประเด็นที่ต่อเนื่องกัน	1.00	สอดคล้อง
4. การจัดกระบวนการเรียนรู้	4.1 สอดคล้องกับสาระการเรียนรู้	0.67	สอดคล้อง
	4.2 สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	0.67	สอดคล้อง
	4.3 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้จัดกิจกรรม	0.67	สอดคล้อง
	4.4 สร้างความสนใจให้ผู้เรียนกระตือรือร้นที่จะเรียนรู้และเข้าร่วมกิจกรรม	0.67	สอดคล้อง
	4.5 กิจกรรมการเรียนรู้เป็นไปตามลำดับ	1.00	สอดคล้อง
	4.6 ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรม	0.67	สอดคล้อง
5. สื่อการเรียนรู้	5.1 สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	0.67	สอดคล้อง
	5.2 สอดคล้องกับสาระการเรียนรู้และกิจกรรม	0.67	สอดคล้อง
	5.3 สร้างความสนใจของผู้เรียน	1.00	สอดคล้อง
	5.4 ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการใช้	0.67	สอดคล้อง
	5.5 เหมาะสมกับวัยและความสนใจของผู้เรียน	1.00	สอดคล้อง
6. การวัดและประเมินผล	6.1 สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	0.67	สอดคล้อง
	6.2 สอดคล้องกับสาระการเรียนรู้	0.67	สอดคล้อง
	6.3 การวัดที่ระบุไว้สามารถวัดและประเมินได้	1.00	สอดคล้อง
	6.4 เครื่องมือสำหรับการวัดเหมาะสม	1.00	สอดคล้อง
	รวมเฉลี่ย	**0.84**	

ผลการประเมินความเหมาะสมของชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน โดยใช้ดัชนีความสอดคล้องของเนื้อหา IOC เพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างแต่ละรายการประเมินกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ รายการประเมิน ประกอบด้วย

6 ด้าน ได้แก่ 1) สาระสำคัญ 2) จุดประสงค์การเรียนรู้ 3) สาระการเรียนรู้ 4) การจัดกระบวนการเรียนรู้ 5) สื่อการเรียนรู้ และ 6) การวัดและประเมินผล จาก Table 2 ผลการประเมินพบว่า IOC ของแต่ละข้ออยู่ระหว่าง 0.67–1.00 ซึ่งแสดงถึงความสอดคล้องในระดับดีถึงดีมาก ทุกข้อมีค่า IOC ≥ 0.67 ซึ่งถือว่าเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ค่าเฉลี่ยของ IOC ทั้งหมดเท่ากับ 0.84 แสดงว่าชุดกิจกรรมมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้โดยรวมในระดับสูง

Table 9

Distribution of Test Items based on Bloom's Taxonomy Levels for Assessing Students' Cognitive Competence การกระจายจำนวนข้อสอบตามระดับพฤติกรรมการเรียนรู้ของบลูม เพื่อประเมินสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ของนักศึกษา

ระดับของบลูม	จำนวนข้อ	ร้อยละ (%)	การตีความ
จดจำ (remembering)	25	25%	ครอบคลุมความรู้พื้นฐาน
เข้าใจ (understanding)	20	20%	ทดสอบความเข้าใจแนวคิดและหลักการสำคัญ
ประยุกต์ (applying)	10	10%	การนำความรู้ไปใช้แก้โจทย์หรือสถานการณ์
วิเคราะห์ (analyzing)	40	40%	การคิดวิเคราะห์เชิงเหตุผล
ประเมินค่า (Evaluating)	5	5%	ความสามารถในการออกแบบหรือเสนอแนวคิดใหม่

จาก Table 9 การวิเคราะห์การกระจายข้อสอบตามระดับของบลูม พบว่า ข้อสอบครอบคลุมทุกระดับของกระบวนการคิดอย่างเหมาะสม โดยระดับ จดจำ (Remembering) มี 25 ข้อ คิดเป็น 25% ของข้อสอบ สะท้อนถึงการประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน ระดับ เข้าใจ (Understanding) มี 20 ข้อ หรือ 20% เน้นการทดสอบความเข้าใจแนวคิดและหลักการสำคัญ ระดับ ประยุกต์ (Applying) จำนวน 10 ข้อ (10%) เพื่อวัดความสามารถในการนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหาหรือสถานการณ์ที่กำหนด ขณะที่ระดับ วิเคราะห์ (Analyzing) มีจำนวนมากที่สุด 40 ข้อ (40%) แสดงถึงการเน้นการคิดวิเคราะห์เชิงเหตุผล และระดับ ประเมินค่า (Evaluating) มี 5 ข้อ (5%) เพื่อประเมินความสามารถในการออกแบบหรือเสนอแนวคิดใหม่ สรุปได้ว่า ข้อสอบชุดนี้มีการกระจายตามระดับบลูมอย่างสมดุลและเน้นการพัฒนาทักษะคิดวิเคราะห์ควบคู่กับความเข้าใจและการประยุกต์ใช้ความรู้

อภิปรายผล (Discussions)

ผลการวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกระบวนการแก้ปัญหา เรื่อง อนุภาคดิแรกในบ่อศักย์ที่มีผนังทั้งสองด้านเคลื่อนที่ ในรายวิชากลศาสตร์ควอนตัม สำหรับนักศึกษาสาขาฟิสิกส์ มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการพัฒนาสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ของนักศึกษาอย่างชัดเจน ซึ่งสามารถอภิปรายผลตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้

1. ประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ E1/E2 = 76.41/78.25 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้คือ 75/75 สอดคล้องกับแนวคิดของ ชัยยงค์ พรหมวงศ์ ที่ว่า ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่มีคุณภาพควรส่งเสริมทั้งกระบวนการและผลลัพธ์การเรียนรู้อย่างสมดุล สำหรับประสิทธิภาพกระบวนการ (E1) ค่าร้อยละคะแนนเฉลี่ยรวมจากการทำแบบฝึกหัดในระหว่างกิจกรรมเท่ากับ 76.41 แสดงว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามขั้นตอนของ 5E และกระบวนการแก้ปัญหา ส่งเสริมให้นักศึกษามีส่วนร่วมและสามารถทำความเข้าใจเนื้อหาที่ซับซ้อนของอนุภาคดิแรกในบ่อศักย์ที่มีผนังเคลื่อนที่ได้เป็นอย่างดี สำหรับประสิทธิภาพกระบวนการ (E2) ค่าร้อยละคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบหลังเรียนเท่ากับ 78.25 ซึ่งเป็นหลักฐานยืนยันว่านักศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นหลังจากการใช้ชุดกิจกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ 7นอกจากนี้

ค่า IOC ของชุดกิจกรรมและรายการประเมินทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์สูง 0.88 และ 0.84 ตามลำดับ สะท้อนให้เห็นว่าความเที่ยงตรงและความเหมาะสมเชิงเนื้อหาของนวัตกรรมที่สร้างขึ้น (Laws, 2004; Savery, 2006)

2. การพัฒนาสมรรถนะการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ผลการเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยสถิติ Paired Samples T-Test พบว่าคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($t(11) = -43.19$, $p < .001$) ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าสามารถพัฒนาสมรรถนะการคิดวิเคราะห์ของนักศึกษาได้ ค่า Normalized Gain (<g>) เท่ากับ 0.72 ซึ่งอยู่ในระดับสูง ค่านี้บ่งชี้ถึงความก้าวหน้าในการเรียนรู้ที่แท้จริงของนักศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาความรู้ความเข้าใจจากระดับพื้นฐานที่ต่ำ (คะแนนก่อนเรียน $\bar{X}$ = 23.58) ไปสู่ระดับที่สูงขึ้น ความสำเร็จนี้เป็นผลมาจากการบูรณาการที่สอดคล้องของสองแนวคิดหลัก คือ กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 5E และกระบวนการแก้ปัญหา กล่าวคือ กระบวนการ 5E จัดลำดับขั้นตอนการเรียนรู้ให้เป็นไปอย่างมีเหตุผล ตั้งแต่การกระตุ้นความสนใจไปจนถึงการขยายความรู้ การออกแบบข้อสอบที่เน้นระดับวิเคราะห์ 40% และครอบคลุมถึงระดับการประเมินค่าและการสร้างองค์ความรู้ใหม่ตามอนุกรมวิธานของบลูมเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ชุดกิจกรรมนี้สามารถพัฒนาทักษะการคิดในระดับสูง (Higher-Order Thinking Skills) ผลการวิจัยชี้ว่า การจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์โดยบูรณาการกระบวนการสืบเสาะหาความรู้แบบ 5E ร่วมกับการแก้ปัญหา สามารถพัฒนาสมรรถนะการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับแนวคิดคอนสตรัคติวิสต์ (Bybee et al., 2006; Hmelo-Silver, 2004) และงานวิจัยที่ใช้รูปแบบ 5E ร่วมกับคำถามเชิงวิเคราะห์ในฟิสิกส์ (Tasikhaow et al., 2019) นอกจากนี้ การประเมินผลที่เน้นทักษะคิดขั้นสูงตามอนุกรมวิธานของบลูมฉบับปรับปรุงยังส่งเสริมการใช้ทักษะดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง (Anderson & Krathwohl, 2001) สนับสนุนการจัดการศึกษาฟิสิกส์ในศตวรรษที่ 21

3. นักศึกษามีความพึงพอใจต่อชุดกิจกรรมในระดับสูงมาก ($\overline{X}$ = 4.59) โดยเฉพาะด้านการส่งเสริมสมรรถนะการคิดวิเคราะห์และทักษะการใช้เทคโนโลยี ($\bar{X}$ = 4.83) สะท้อนว่าวิธีการสอนแบบบูรณาการนี้ทั้งมีประสิทธิภาพและสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้ อย่างไรก็ตาม ด้านความสามารถในการถ่ายทอดความรู้ให้ผู้อื่นมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด ($\bar{X}$ = 4.08) ซึ่งควรปรับปรุงโดยเพิ่มกิจกรรมเน้นทักษะการสื่อสารและการอธิบายเชิงวิชาการ (Savery, 2006; Hmelo-Silver, 2004)

ข้อเสนอแนะ (Recommendations)

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 ควรมีการติดตามและประเมินผลการใช้นวัตกรรมอย่างต่อเนื่อง

1.2 เพิ่มกิจกรรมที่เน้นการสื่อสารทางวิชาการ การทำงานร่วมกัน และการนำเสนอ เพื่อพัฒนาทักษะการถ่ายทอดความรู้ของนักศึกษา

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของนวัตกรรมกับวิธีการสอนแบบอื่นๆ

2.2 ควรพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการสื่อสารทางวิชาการ การอภิปรายเชิงลึก และการทำงานร่วมกัน เพื่อเพิ่มศักยภาพในการถ่ายทอดความรู้ อธิบายและประยุกต์หลักการฟิสิกส์อย่างเป็นระบบ ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจเชิงลึกและพัฒนาสมรรถนะด้านวิชาการในระยะยาว

2.3 ควรขยายกลุ่มตัวอย่างให้มีจำนวนมากขึ้นและหลากหลาย เพื่อเพิ่มความทั่วไปของผลการวิจัยและความน่าเชื่อถือของข้อมูล

References

Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York, NY: Longman.

Boumali, A. (2025a). Dirac oscillator for spin-1/2 particles in a spinning cosmic string spacetime with spacelike disclination and dislocation. Manuscript submitted for publication. Retrieved from https://arxiv.org/abs/2509.18197

Boumali, A. (2025b). Feshbach-Villars formalism for spin-1/2 particles in curved spacetime. Manuscript submitted for publication. Retrieved from https://arxiv.org/abs/2504.01179

Bybee, R., Taylor, J., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness*. Colorado Springs, CO: BSCS.

Dittrich, J., Rakhmanov, S., & Matrasulov, D. (2024). Dirac particle under dynamical confinement: Fermi acceleration, trembling motion and quantum force. *Physics Letters A, 503,* 129408. DOI: 10.1016/j.physleta.2024.129408

Ghosh, A., & Mandal, B. P. (2025). Dirac-isotonic oscillators in (1 + 1) and (2 + 1) dimensions. Manuscript submitted for publication. Retrieved from https://arxiv.org/abs/2502.16165

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Boston, MA: Cengage Learning.

Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review, 16*(3), 235–266. DOI: 10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3

Koehn, H. (2012). *Relativistic quantum mechanics and the Dirac equation*. Berlin, Germany: Springer.

Office of the Permanent Secretary, Ministry of Education. (2000). *Guidelines for the reform of Thai education*. Bangkok, Thailand: Ministry of Education.

Phonphok, N., & Wannapiroon, P. (2019). Development of learning innovation to enhance problem-solving ability and learning achievement based on inquiry-based learning and STEM education. *Journal of Education Studies, 47*(3), 65–80.

Polya, G. (1957). *How to solve it: A new aspect of mathematical method* (2nd ed.). Princeton, NJ: Princeton University Press.

Promwong, C. (2013). *Instructional media development*. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Press.

Savery, J. R. (2006). Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning, 1*(1), 9–20. DOI: 10.7771/1541-5015.1002

Taber, K. S. (2018). The use of Cronbach's alpha when developing and reporting research instruments in science education. *Research in Science Education, 48*(6), 1273–1296. DOI: 10.1007/s11165-016-9602-2

Tasikhaow, K., Phibanchan, S., & Sirisawat, C. (2019). The effect of 5E inquiry approach and analytical questions to promote analytical thinking and learning achievement on linear motion in physics of 10th grade students. *Journal of Education and Innovation, 23*(4), 58–68.

Thanabunsombat, B. (2023, July 7). *Paul Dirac: A quiet physicist whose lectures were as beautiful as music*. Matichon Weekly. Retrieved from https://www.matichon.co.th/weekly/column/article_687471

Zhang, Y. (2025). Experimental simulation of Dirac equation in 3+1 dimensions using superconducting circuits. *Nature Communications Physics*. Retrieved from https://www.nature.com/articles/s42005-025-02112-2