RESEARCH ARTICLE

Exploring Third-Year Pre-service Physics Teachers' Concepts of Force and Motion

Khajornsak Buaraphan[1], Penchantr Singh[2] and Vantipa Roadrangka[3]

[1] **Ph.D. Candidate (Science Education)**
The Program to Prepare Research and Development Personnel for Science Education,
Department of Education, Faculty of Education,
E-mail address: g4486019@ku.ac.th

[2] **M.Sc.(Nuclear Physics), Associate Professor,**
Department of Physics, Faculty of Science,

[3] **Ph.D.(Secondary Education), Ed.D.(Science Education), Professor,**
Department of Education, Faculty of Education,
Kasetsart University

Abstract

To explore the third-year pre-service physics teachers' concepts of force and motion and categorize those concepts by comparing with scientific concepts, 13 third-year pre-service physics teachers from two Rajabhat Universities in the middle part of Thailand were interviewed in-depth in relation to force and motion concepts by using the Interview-About-Instance (IAI) technique. The results revealed that the third-year pre-service physics teachers' concepts of force and motion varied from scientific concepts, partial scientific concepts, to alternative concepts. From this, the partial scientific concept in relation to neglecting some kinds of abstract forces (i.e., force of gravity, force of friction and reaction force) may be originated from the pre-service physics teachers' human-centred viewpoint. Additionally, the impetus concept and force-implies-motion concept are regarded as most recited alternative concepts.

Keywords: alternative concept, force and motion concepts, pre-service physics teachers, scientific concept

Songklanakarin Journal of Social Sciences and Humanities 11(Suppl.) Dec. 2005: 45-69
รับต้นฉบับ 24 มีนาคม 2548 ปรับปรุง-แก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ 20 กรกฎาคม 2548
รับลงตีพิมพ์ 30 กันยายน 2548

บทความวิจัย

การสำรวจแนวคิดของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่

ขจรศักดิ์ บัวระพันธ์[1], เพ็ญจันทร์ ซิงห์[2] และวรรณทิพา รอดแรงค้า[3]

[1]**นิสิตปริญญาเอกสาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา**
โครงการผลิตนักวิจัยพัฒนาด้านการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์
ภาควิชาการศึกษา, คณะศึกษาศาสตร์
E-mail: g4486019@ku.ac.th

[2]**วท.ม.(นิวเคลียร์ฟิสิกส์), รองศาสตราจารย์**
ภาควิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์,

[3]**Ph.D.(Secondary Education), Ed.D.(Science Education), ศาสตราจารย์**
ภาควิชาการศึกษา, คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

เพื่อสำรวจแนวคิดของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ และจำแนกแนวคิดดังกล่าวโดยเปรียบเทียบกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยสัมภาษณ์แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 จำนวน 13 คน จากมหาวิทยาลัยราชภัฏในภาคกลาง 2 แห่ง โดยใช้การสัมภาษณ์แบบใช้ภาพเขียนลายเส้นประกอบ ผลการวิจัยพบว่านักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 มีแนวคิดที่หลากหลายตั้งแต่แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ แนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ จนถึงแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ โดยแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เกี่ยวกับการละเลยแรงบางชนิดที่กระทำต่อวัตถุ เช่น แรงโน้มถ่วง แรงเสียดทาน และแรงปฏิกิริยา อาจเกิดจากการที่นักศึกษามีมุมมองที่ยึดตนเองเป็นสำคัญ และแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่พบบ่อยมาก คือ แนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุ และแนวคิดเกี่ยวกับแรงแสดงนัยของการเคลื่อนที่ของวัตถุ

คำสำคัญ: นักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์, แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่, แนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์, แนวคิดทางวิทยาศาสตร์

บทนำ

ครูผู้สอนถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการปฏิรูปการเรียนรู้ตามแนวคิดของพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542 (ONEC, 2000, I) และเป็นผู้ที่มีบทบาทหน้าที่โดยตรงในการส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียนซึ่งจะเป็นกำลังสำคัญของประเทศชาติในอนาคต (Office of Rajabhat Institute Council, 2002)

ในการจัดการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ ครูวิทยาศาสตร์ถือว่าเป็นผู้ที่มีบทบาทสำคัญยิ่งในการ

ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดความรอบรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (scientific and technological literacy) กล่าวคือ เป็นผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจแนวคิดพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ สามารถประยุกต์ใช้ความรู้ความเข้าใจเหล่านั้นแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้ และสามารถคิดวิเคราะห์อย่างมีวิจารณญาณต่อประเด็นที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และสังคม (National Research Council, 1995) ซึ่งความรอบรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีถือว่าเป็นคุณสมบัติสำคัญที่จำเป็นต้องพัฒนาให้เกิดกับผู้เรียนทุกคนในโลกสมัยใหม่ซึ่งเป็นสังคมแห่งความรู้ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2545, 1–2)

ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้การพัฒนาและการเตรียมความพร้อมของครูก่อนประจำการได้รับความสนใจมากยิ่งขึ้นว่า นักศึกษาครูวิทยาศาสตร์ควรจะได้รับการพัฒนาและเตรียมความพร้อมอย่างไรเพื่อตอบสนองต่อการพัฒนาวิทยาศาสตร์ศึกษาของประเทศ ในที่นี้การพัฒนาและเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหาวิชาของนักศึกษาครูวิทยาศาสตร์ถือว่าเป็นส่วนสำคัญหนึ่งของหลักสูตรการผลิตครู เพราะความรู้ในเนื้อหาวิชาเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งสามารถส่งผลต่อประสิทธิภาพการสอนของครูผู้สอน (van Driel, de Jong & Verloop, 2002)

เนื้อหาเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ถือว่าเป็นเนื้อหาสำคัญหนึ่งในบรรดาเนื้อหาวิชาทั้งหมดที่สถาบันการผลิตครูบรรจุไว้ในหลักสูตร เพราะแรงและการเคลื่อนที่เป็นแนวคิดสำคัญในสาระการเรียนรู้ที่ 4 แรงและการเคลื่อนที่ ตามคู่มือการจัดการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ซึ่งมุ่งเน้นให้ผู้เรียนเข้าใจธรรมชาติของแรงและลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ของวัตถุในธรรมชาติ (สสวท., 2545, 11) นอกจากนั้นแรงและการเคลื่อนที่ยังเป็นแนวคิดพื้นฐานในการเรียนรู้วิชากลศาสตร์ในระดับอุดมศึกษาโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเรียนรู้เกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ซึ่งหากผู้เรียนขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่แล้ว ก็อาจประสบปัญหาในการเรียนรู้วิชากลศาสตร์ทำให้กลศาสตร์เป็นสิ่งที่ไร้ความหมาย (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992, 150)

งานวิจัยนี้จึงเกิดขึ้นเพื่อศึกษาและจำแนกแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 ของมหาวิทยาลัยราชภัฏในภาคกลาง ซึ่งผลการสำรวจจะให้ข้อมูลย้อนกลับแก่คณาจารย์และบุคลากรที่เกี่ยวข้องในสถาบันการผลิตครูในการเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหาวิชาแก่นักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสำรวจแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3
2. เพื่อจำแนกแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 โดยเปรียบเทียบกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการสำรวจและจำแนกแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 จากมหาวิทยาลัยราชภัฏในภาคกลาง 2 แห่ง

นิยามศัพท์เฉพาะ

แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ หมายถึง แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุในสถานการณ์ต่าง ๆ ของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 ซึ่งได้จากการสัมภาษณ์แบบใช้ภาพเขียนลายเส้นประกอบ

นักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 หมายถึง นักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 จำนวน 13 คน จากมหาวิทยาลัยราชภัฏในภาคกลาง 2 แห่ง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ให้ข้อมูลแก่คณาจารย์สถาบันการผลิตครูที่เกี่ยวข้องในการเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหาวิชา และให้ความช่วยเหลือนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ก่อนปฏิบัติงานสอน
2. ให้ข้อมูลย้อนกลับแก่ผู้บริหาร คณาจารย์และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการพัฒนาหลักสูตรการผลิตครูวิชาเอกฟิสิกส์ในการเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหาวิชาและแนวทางการพัฒนาหลักสูตรการผลิตครูวิชาเอกฟิสิกส์ในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้ ได้แก่ นักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 จำนวน 13 คน จากมหาวิทยาลัยราชภัฏในภาคกลาง จำนวน 2 แห่ง ซึ่งได้จากการสุ่มแบบเจาะจง (purposeful sampling) (Wiersma, 2000, 284–285)

รูปแบบการวิจัย

รูปแบบการวิจัยที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงสำรวจ โดยผู้วิจัยสำรวจแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของนักศึกษาวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 จากมหาวิทยาลัยราชภัฏที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ การสัมภาษณ์แบบใช้ภาพเขียนลายเส้นประกอบ (Interview-About-Instance; IAI) (Osborne & Gilbert, 1980) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและได้รับการยอมรับว่าสามารถใช้ศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับเนื้อหาเรื่องใดเรื่องหนึ่งของผู้เรียนได้

ในการสัมภาษณ์แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของนักศึกษาวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 ผู้สัมภาษณ์จะแสดงภาพเขียนลายเส้นของวัตถุในสถานการณ์ต่าง ๆ เช่น อยู่นิ่ง เคลื่อนที่ในแนวระดับ เคลื่อนที่ในแนวดิ่ง เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ หรือเคลื่อนที่แบบวงกลม แล้วให้ผู้ถูกสัมภาษณ์อธิบายแรงที่กระทำต่อวัตถุและการเคลื่อนที่ของวัตถุในสถานการณ์นั้น ๆ โดยคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์มีอยู่ทั้งหมด 10 ข้อ

ผู้วิจัยมีขั้นตอนในการสร้างคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ ดังนี้

1. ศึกษาเอกสารต่าง ๆ ได้แก่ คู่มือการจัดการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ หนังสือเรียนวิชาฟิสิกส์ และคู่มือครูวิชาฟิสิกส์ เพื่อวิเคราะห์แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่และหาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของแนวคิดเหล่านั้น

2. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างคำถาม

3. นำคำถามที่สร้างขึ้น ตลอดจนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ปรากฏในคำถามเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 2 ท่าน ซึ่งเป็นคณาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อให้ตรวจสอบในประเด็นดังต่อไปนี้

3.1 ความเหมาะสมของคำถามในการวินิจฉัยแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่

3.2 ความถูกต้องของภาษาที่ใช้และการสื่อความหมายของคำถาม

3.3 ความถูกต้องของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ปรากฏในแนวคำตอบ

4. แก้ไข ปรับปรุงคำถาม และนำคำถามไปทดลองสัมภาษณ์กลุ่มนักศึกษาขนาดเล็กจำนวน 3 คน ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบการสื่อความหมายของคำถามและสำรวจปัญหาที่พบในการสัมภาษณ์ จากนั้นนำคำถามที่ผ่านการแก้ไขปรับปรุงและบันทึกปัญหาที่พบในการสัมภาษณ์เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาอีกครั้ง เพื่อรับฟังข้อเสนอแนะในการปรับปรุงคำถาม

5. นำคำถามที่ได้ไปเก็บข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยนัดหมายนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 จำนวน 4 คนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏแห่งที่หนึ่งในวันที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2547 เพื่อสัมภาษณ์แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ และนัดหมายนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 จำนวน 9 คนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏแห่งที่สองในวันที่ 11–12 ตุลาคม พ.ศ. 2547 เพื่อสัมภาษณ์แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ โดยใช้เวลาในการสัมภาษณ์นักศึกษาคนละประมาณ 1 ชั่วโมง

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยถอดเทปบันทึกการสัมภาษณ์แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่แบบคำต่อคำ อ่านคำตอบที่ได้จากการสัมภาษณ์อย่างละเอียด แล้วตีความหมายคำตอบโดยเปรียบเทียบคำตอบที่ได้กับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพื่อจำแนกแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของนักศึกษาออกเป็น 3 แบบ ตามระดับ

ความสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ดังต่อไปนี้

1. แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (scientific concept) หมายถึง นักศึกษามีแนวคิดสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ทุกองค์ประกอบ

2. แนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (partial scientific concept) หมายถึง นักศึกษามีแนวคิดสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 1 องค์ประกอบ

3. แนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (alternative concept) หมายถึง นักศึกษามีแนวคิดไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ปรากฏในคำถามนั้น ๆ จากนั้นผู้วิจัยหาค่าความถี่และร้อยละของแนวคิดแต่ละแบบ

เพื่อหาความถูกต้องในการตีความหมายแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของนักศึกษา ผู้วิจัยสร้างแบบลงความคิดเห็นต่อการวิเคราะห์แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 2 ท่าน ลงความคิดเห็นว่า เห็นด้วยหรือไม่กับการตีความหมายและจำแนกแนวคิดของผู้วิจัย พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะ หลังจากได้รับผลการลงความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว ผู้วิจัยหาค่าความสอดคล้องของการตีความหมายและจำแนกแนวคิดระหว่างผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญ โดยใช้เกณฑ์ความสอดคล้องที่ร้อยละ 80

ผลและวิจารณ์

จากการตีความหมายแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 พบว่านักศึกษามีแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ที่หลากหลายตั้งแต่แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ แนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ จนถึงแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ โดยแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เกี่ยวกับการละเลยแรงบางชนิด (เช่น แรงโน้มถ่วง แรงเสียดทาน และแรงปฏิกิริยา) ที่กระทำต่อวัตถุ อาจเกิดจากการที่นักศึกษามีมุมมองที่ยึดตนเองเป็นสำคัญ (human–centred viewpoint) และแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่พบบ่อยมาก คือ แนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุ (impetus concept) และแนวคิดเกี่ยวกับแรงแสดงนัยของการเคลื่อนที่ของวัตถุ (force–implies–motion concept) ซึ่งผู้วิจัยขอนำเสนอผลและวิจารณ์แยกตามลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ปรากฏในคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ กล่าวคือ วัตถุอยู่นิ่ง วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวผสมผสานกับการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ วัตถุเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย วัตถุเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และวัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลม ดังนี้

กรณีวัตถุอยู่นิ่ง

กรณีวัตถุอยู่นิ่งปรากฏในคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ข้อที่ 1 – 3.1 ดังนี้

คำถามข้อที่ 1 หนังสือวางนิ่งบนโต๊ะ

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อหนังสือที่วางนิ่งบนโต๊ะ พบว่านักศึกษา 5 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงสองแรงที่กระทำต่อหนังสือได้ถูกต้อง คือ น้ำหนักของหนังสือและแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อหนังสือ และพบว่านักศึกษา 2 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อหนังสือ นอกจากนั้นพบว่านักศึกษา 4 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุว่า "ไม่มีแรงกระทำต่อหนังสือเพราะหนังสือไม่เคลื่อนที่" ทั้งนี้ยังพบว่าแม้นักศึกษา 2 คนจะอ้างกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน เช่น "แรงกระทำ[ต่อหนังสือ]เป็นศูนย์ เพราะว่าหนังสืออยู่นิ่ง" แต่ก็ไม่สามารถใช้แนวคิดดังกล่าวอธิบายแรงที่กระทำต่อหนังสือที่วางนิ่งบนโต๊ะได้ถูกต้อง

ในคำถามข้อนี้ยังพบว่านักศึกษา 2 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงกิริยา–ปฏิกิริยาตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน เพราะเข้าใจว่าแรงกิริยา–ปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุก้อนเดียวกัน โดยระบุว่าแรงกิริยาคือน้ำหนักของหนังสือ ส่วนแรงปฏิกิริยาคือแรงที่พื้นดันหนังสือ ซึ่งตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตันแรงกิริยา–ปฏิกิริยาจะกระทำต่อวัตถุคนละก้อน เช่น แรงกิริยาคือแรงที่โลกดึงดูดหนังสือ แรงปฏิกิริยาคือแรงที่หนังสือดึงดูดโลก หรือแรงกิริยาคือแรงที่หนังสือกดพื้น แรงปฏิกิริยาคือ

ตาราง 1 การตีความหมายแนวคิดของนักศึกษาวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่

คำถาม		แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	แนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์	แนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์
วัตถุอยู่นิ่ง	**ข้อ 1** "หนังสือวางนิ่งบนโต๊ะ" มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อหนังสือ	- ระบุน้ำหนักของหนังสือและแรงปฏิกิริยาที่พื้นโต๊ะกระทำต่อหนังสือ (5)	- ไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นโต๊ะกระทำต่อหนังสือ (2)	- "ไม่มีแรงกระทำต่อหนังสือเพราะหนังสือวางอยู่นิ่ง" (4) - "แรงกิริยา-ปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุก้อนเดียวกัน โดยแรงกิริยาคือน้ำหนักของหนังสือ ส่วนแรงปฏิกิริยาคือแรงที่พื้นดันหนังสือ" (2)
	ข้อ 2 "นักยกน้ำหนักยกคานน้ำหนักให้อยู่นิ่ง" มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อคานน้ำหนัก	- ระบุแรงจากการยก และน้ำหนักของคานน้ำหนัก (8)	- ไม่ระบุแรงจากการยก หรือน้ำหนักของคานน้ำหนัก (4)	- "แรงลัพธ์มีทิศตรงข้ามกับแรงจากการยกเพราะคานน้ำหนักอยู่นิ่ง" (1) - "แรงกิริยา-ปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุก้อนเดียวกัน โดยแรงกิริยาคือแรงจากการยก และแรงปฏิกิริยาคือน้ำหนักของคานน้ำหนัก" (1)
	ข้อ 3.1 "ผลักลังไม้ แต่ลังไม้ไม่เคลื่อนที่" มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อลังไม้	- ระบุแรงจากการผลัก แรงเสียดทาน แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ และน้ำหนักของลังไม้ (2) - "การที่ลังไม้ไม่เคลื่อนที่เป็นเพราะแรงจากการผลักมีขนาดน้อยกว่าแรงเสียดทานสถิตสูงสุดที่พื้นกระทำต่อลังไม้ โดยขนาดแรงเสียดทานสถิตสูงสุดขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นและแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้" (3)	- ไม่ระบุแรงจากการผลัก หรือแรงเสียดทาน หรือแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ หรือน้ำหนักของลังไม้ (10) - "การที่ลังไม้ไม่เคลื่อนที่เป็นเพราะแรงผลักมีขนาดน้อยกว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้น" (1)	- "แรงกิริยา-ปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุก้อนเดียวกัน โดยแรงกิริยาคือแรงที่พื้นดันลังไม้ และแรงปฏิกิริยาคือน้ำหนักของลังไม้" (1) - "น้ำหนักมีทิศขึ้น" (1) - "แรงเฉื่อยคล้ายกับแรงเสียดทาน" (1) - "แรงโน้มถ่วงจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่" (1) - "การที่ลังไม้ไม่เคลื่อนที่เป็นเพราะแรงผลักมีขนาดน้อยกว่าน้ำหนักของลังไม้" (9)

คำถาม		แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	แนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์	แนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์
วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว	**ข้อ** 3.2 "ผลักลังไม้แล้วลังไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว" มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อลังไม้	- ระบุแรงจากการผลัก แรงเสียดทาน แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ และน้ำหนักของลังไม้ (2) - "การที่ลังไม้เคลื่อนที่เป็นเพราะแรงจากการผลักมีขนาดมากกว่าแรงเสียดทานสถิตสูงสุดที่พื้นกระทำต่อลังไม้ โดยขนาดแรงเสียดทานสถิตสูงสุดขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นและแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้" (3)	- ไม่ระบุแรงจากการผลักหรือแรงเสียดทาน หรือแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ หรือน้ำหนักของลังไม้ (11) - "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ได้เป็นเพราะคนออกแรงผลักมากขึ้น" (3) - "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ได้เป็นเพราะแรงจากการผลักมีขนาดมากกว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้น" (1)	- "แรงเฉื่อยคล้ายกับแรงเสียดทาน" (3) - "ไม่มีแรงที่ลังไม้กระทำต่อมือ ขณะที่ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว" (1) - "เมื่อวัตถุมีความเร่งคงที่ แรงดึงดูดของโลกจะลดน้อยลง แรงที่พื้นกระทำต่อวัตถุจะไม่มี" (1) - "น้ำหนักมีทิศขึ้น" (1) - "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ได้เป็นเพราะแรงผลักมีขนาดมากกว่าน้ำหนักของลังไม้" (6)
วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง	**ข้อ** 4 "ลังไม้เคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียงด้วยความเร่ง" มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อลังไม้	- ระบุแรงเสียดทาน แรงปฏิกิริยาที่พื้นเอียงกระทำต่อลังไม้ และน้ำหนักของลังไม้ (1) - "การที่ลังไม้เคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียงเป็นเพราะองค์ประกอบของน้ำหนักของลังไม้ในแนวขนานกับพื้นเอียงมีขนาดมากกว่าแรงเสียดทานที่พื้นกระทำต่อลังไม้" (1)	- ไม่ระบุแรงเสียดทาน หรือแรงปฏิกิริยาที่พื้นเอียงกระทำต่อลังไม้ หรือน้ำหนักของลังไม้ (12) - "ลังไม้เคลื่อนที่ลงได้เพราะมุมหรือความชันของพื้นเอียง" (7) - "ลังไม้เคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียงได้เป็นเพราะน้ำหนักของลังไม้" (2) - "ลังไม้เคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียงได้ ขึ้นอยู่กับขนาดของแรงปล่อยลังไม้" (1)	- "มีแรงจากการปล่อยกระทำต่อลังไม้ขณะเคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียงด้วยความเร่ง" (5) - "น้ำหนักมีทิศขึ้น" (2) - "ลังไม้เคลื่อนที่ลงมาเอง ไม่มีแรงใด ๆ มากระทำ" (2) - "ทิศของแรงเสียดทานอยู่ในแนวระดับ" (1) - "ทิศของแรงโน้มถ่วงอยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นเอียง" (1) - "ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว จึงมีความเร่ง" (1) - "แรงกิริยา-ปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุก้อนเดียวกัน" (1)
	ข้อ 5 "ลังไม้เคลื่อนที่ข้าลงตามพื้นราบ" มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อลังไม้			- "มีแรงจากการผลักกระทำต่อลังไม้ แม้ว่าลังไม้เคลื่อนที่พ้นจากมือไปแล้ว" (13) - "แรงปฏิกิริยา คือ แรงเสียดทาน" (2) - "แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่อวัตถุเคลื่อนที่" (1) - "แรงเฉื่อยคล้ายกับแรงเสียดทาน" (1) - "แรงกิริยา-ปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุก้อนเดียวกัน" (1)

คำถาม		แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	แนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์	แนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์
วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวผสมผสานกับโปรเจกไทล์	**ข้อ** 6.1 "ลูกบอลเคลื่อนที่บนโต๊ะเรียบและลื่นด้วยความเร็วคงตัว" มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อลูกบอล			- "เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือไปแล้ว ยังคงมีแรงจากการผลักกระทำต่อลูกบอล" (12) - "ไม่มีแรงกระทำต่อลูกบอลที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว" (1) - "แรงจากการผลักแปรผันตรงกับความเร็ว" (1)
	ข้อ 6.2 ลูกบอลมีเส้นทางการเคลื่อนที่อย่างไร เมื่อเคลื่อนที่พ้นจากขอบโต๊ะ	- ระบุน้ำหนักของลูกบอล (6) - ระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลเป็นเส้นโค้ง (2)		- "เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากขอบโต๊ะ ยังคงมีแรงจากการผลักกระทำต่อลูกบอล" (7) - ระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลเป็นเส้นโค้ง แต่ใช้แนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุมาอธิบาย (6) - ระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลเป็นเส้นตรงพุ่งลงในแนวดิ่ง (4) - ระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลเป็นเส้นโค้งส่วนหนึ่ง แล้วพุ่งตรงลงในแนวดิ่ง (1)
วัตถุเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง	**ข้อ** 7.1 "โยนลูกบอลขึ้นไปในอากาศ" มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อลูกบอล ณ จุดกึ่งกลางของการเคลื่อนที่			- "เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือแล้ว ยังคงมีแรงจากการโยนกระทำต่อลูกบอล" (13)
	ข้อ 7.2 มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อลูกบอล ณ จุดสูงสุด	- ระบุน้ำหนักของลูกบอล (9)		- "เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือแล้ว ยังคงมีแรงจากการโยนกระทำต่อลูกบอล" (4)
	ข้อ 7.3 มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อลูกบอล เมื่อลูกบอลตกลงผ่านจุดกึ่งกลางของการเคลื่อนที่อีกครั้ง	- ระบุน้ำหนักของลูกบอล (10)		- "เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือแล้ว ยังคงมีแรงจากการโยนกระทำต่อลูกบอล" (3)

คำถาม		แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	แนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์	แนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์
วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	**ข้อ** 8.1 "ลูกตุ้มอยู่นิ่ง" มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อลูกตุ้ม	- ระบุแรงดึงเชือกและน้ำหนักของลูกตุ้ม (6)	- ไม่ระบุน้ำหนักของลูกตุ้ม (1)	- "ไม่มีแรงกระทำต่อลูกตุ้ม ถ้ามีแรงกระทำลูกตุ้มจะเคลื่อนที่ ถ้าไม่มีแรงกระทำ ลูกตุ้มจะไม่เคลื่อนที่" (6)
	ข้อ 8.2 "ลูกตุ้มแกว่ง" มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อลูกตุ้ม			- "ขณะที่ลูกตุ้มแกว่งยังคงมีแรงจากการแกว่งหรือแรงเหวี่ยงกระทำต่อลูกตุ้ม"(12) - "แรงจากการเหวี่ยงแปรตามความเร็ว" (6) - "ลูกตุ้มเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว" (3) - "ไม่มีแรงกระทำ ลูกตุ้มเคลื่อนที่เอง" (1) - "ลูกตุ้มเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว" (1)
วัตถุเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์	**ข้อ** 9.1 "ลูกกอล์ฟถูกตีขึ้นไปในอากาศ" มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อลูกกอล์ฟ			- "ขณะที่ลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ขึ้นไปในอากาศยังคงมีแรงจากการตีกระทำต่อลูกกอล์ฟ" (13)
	ข้อ 9.2 "ลูกกอล์ฟตกสู่พื้น" มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อ ลูกกอล์ฟ	- ระบุน้ำหนักของลูกกอล์ฟ (3)		- "ขณะที่ลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ลง ยังคงมีแรงจากการตีกระทำต่อลูกกอล์ฟ" (9) - "ไม่มีแรงใด ๆ กระทำต่อลูกกอล์ฟที่เคลื่อนที่ลงลูกกอล์ฟตกลงมาเอง" (1) - ระบุทิศของน้ำหนักอยู่ในทิศเดียวกับทิศการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ (1)
วัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลม	**ข้อ** 10.1 "แกว่งลูกบอลที่ผูกติดกับเชือกเหนือศีรษะในแนวระดับ" มีแรงอะไรบ้างกระทำต่อลูกบอล	- ระบุแรงดึงเชือก และน้ำหนักของลูกบอล (1)	- ไม่ระบุแรงดึงเชือก หรือน้ำหนักของลูกบอล (4)	- "มีแรงจากการเหวี่ยงหรือแรงจากการแกว่งกระทำต่อลูกบอล" (8)
	ข้อ 10.2 ระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอล เมื่อเส้นเชือกขาด	- ระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลว่าอยู่ในแนวเส้นสัมผัสวงกลมหรือในแนวตั้งฉากกับเส้นเชือก ณ ตำแหน่งที่ลูกบอลหลุด (2)		- ระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลเป็นเส้นโค้งที่ค่อย ๆ เบนออกจากแนววงกลม (8) - ระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลเป็นมุมป้านกับเส้นเชือก (2) - ระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลเป็นเส้นตรงพุ่งออกมาจากจุดศูนย์กลาง (1)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บ ( ) แทนจำนวนนักศึกษาที่มีแนวคิดนั้น ๆ

แรงที่พื้นดันหนังสือ (ส่วนที่ขีดเส้นใต้แสดงให้เห็นว่าแรงกิริยา-ปฏิกิริยาจะกระทำต่อวัตถุคนละก้อน)

คำถามข้อที่ 2 นักยกน้ำหนักยกคานน้ำหนักให้อยู่นิ่ง

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อคานน้ำหนักที่ถูกยกให้อยู่นิ่งโดยนักยกน้ำหนัก พบว่านักศึกษา 8 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงสองแรงที่กระทำต่อคานน้ำหนักได้ถูกต้อง คือ แรงจากการยกและน้ำหนักของคานน้ำหนัก และพบว่านักศึกษา 4 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ซึ่งในจำนวนนี้นักศึกษา 2 คนไม่ระบุน้ำหนักของคานน้ำหนัก นักศึกษา 1 คนไม่ระบุแรงจากการยก นักศึกษา 1 คนระบุแรงที่กระทำต่อคานน้ำหนักสองแรง คือ แรงจากการยกและแรงกระทำต่อคนในทิศลง แต่ไม่สามารถระบุได้ว่าแรงกระทำต่อคนในทิศลงนั้นคือน้ำหนักของคานน้ำหนัก นอกจากนั้นพบว่านักศึกษา 1 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "แรงลัพธ์ซึ่งมีทิศตรงข้ามกับแรงจากการยกทำให้คานอยู่นิ่งได้" ซึ่งตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน เมื่อคานน้ำหนักอยู่นิ่งแรงลัพธ์ที่กระทำต่อคานน้ำหนักจึงเป็นศูนย์และนักศึกษา 1 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงกิริยา-ปฏิกิริยาเพราะเข้าใจว่าแรงกิริยา-ปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุก้อนเดียวกัน โดยระบุว่าแรงกิริยาคือแรงจากการยก และแรงปฏิกิริยาคือน้ำหนักของคานน้ำหนัก ซึ่งตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตันแรงกิริยา-ปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุคนละก้อน เช่น แรงกิริยาคือแรงที่มือดันคานน้ำหนัก แรงปฏิกิริยาคือแรงที่คานน้ำหนักกดมือ หรือแรงกิริยาคือแรงที่โลกดึงดูดคานน้ำหนัก แรงปฏิกิริยาคือแรงที่คานน้ำหนักดึงดูดโลก (ส่วนที่ขีดเส้นใต้แสดงให้เห็นว่าแรงกิริยา-ปฏิกิริยาจะกระทำต่อวัตถุคนละก้อน)

คำถามข้อที่ 3.1 ผลักลังไม้แต่ลังไม้ไม่เคลื่อนที่

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ที่ถูกผลักแต่ไม่เคลื่อนที่ พบว่านักศึกษาเพียง 2 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงสี่แรงที่กระทำต่อลังไม้ได้ถูกต้อง คือ แรงจากการผลัก แรงเสียดทาน แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ และน้ำหนักของลังไม้ และพบว่านักศึกษาถึง 11 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ซึ่งในจำนวนนี้นักศึกษา 4 คนไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ นักศึกษา 3 คนไม่ระบุแรงเสียดทานและแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ นักศึกษา 2 คนไม่ระบุแรงเสียดทาน น้ำหนักของลังไม้ และแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ นักศึกษา 1 คนไม่ระบุน้ำหนักของลังไม้ และแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ และนักศึกษา 1 คนไม่ระบุแรงเสียดทาน

เมื่อให้นักศึกษาอธิบายว่าทำไมเมื่อออกแรงผลักแล้วลังไม้ไม่เคลื่อนที่ พบว่านักศึกษา 3 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะอธิบายได้ว่าการที่ลังไม้ไม่เคลื่อนที่เป็นเพราะแรงจากการผลักมีขนาดน้อยกว่าแรงเสียดทานสถิตสูงสุดที่พื้นกระทำต่อลังไม้ โดยขนาดแรงเสียดทานสถิตสูงสุดขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นและแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ และพบว่านักศึกษา 1 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะอธิบายว่าการที่ลังไม้ไม่เคลื่อนที่เป็นเพราะแรงผลักมีขนาดน้อยกว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้น นอกจากนั้นพบว่านักศึกษาถึง 9 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะอธิบายว่าการที่ลังไม้ไม่เคลื่อนที่เป็นเพราะแรงผลักมีขนาดน้อยกว่าน้ำหนักของลังไม้ ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แรงที่กระทำต่อลังไม้ในแนวดิ่งมีสองแรง คือน้ำหนักของลังไม้และแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ โดยแรงทั้งสองมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศตรงข้ามกันทำให้แรงลัพธ์ในแนวดิ่งเป็นศูนย์จึงไม่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของลังไม้

ในคำถามข้อนี้ยังพบว่านักศึกษา 1 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงกิริยา-ปฏิกิริยาเพราะเข้าใจว่าแรงกิริยา-ปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุก้อนเดียวกัน โดยระบุว่าแรงกิริยาคือแรงที่พื้นดันลังไม้ และแรงปฏิกิริยาคือน้ำหนักของลังไม้ ซึ่งตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน แรงกิริยา-ปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุคนละก้อน เช่น แรงกิริยาคือแรงที่ลังไม้กดพื้น แรงปฏิกิริยาคือแรงที่พื้นดันลังไม้ หรือแรงกิริยาคือแรงที่โลกดึงดูดลังไม้ แรงปฏิกิริยาคือแรงที่ลังไม้ดึงดูดโลก (ส่วนที่ขีดเส้นใต้แสดงให้เห็นว่าแรงกิริยา-ปฏิกิริยาจะกระทำต่อวัตถุคนละก้อน) นักศึกษา 1 คน มีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับน้ำหนักว่า "น้ำหนักมีทิศขึ้น" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์น้ำหนักมีทิศลงสู่จุดศูนย์กลางของโลกเสมอ

และนักศึกษา 1 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงเสียดทานเพราะเข้าใจว่าแรงเฉื่อยคล้ายกับแรงเสียดทานดังนี้ "แรงเฉื่อยมีทิศตรงข้ามทิศการผลัก" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่มีการนิยาม "แรงเฉื่อย" แต่มีการนิยาม "ความเฉื่อย" (inertia) โดยความเฉื่อยไม่ใช่แรงเสียดทาน และขนาดของความเฉื่อยขึ้นอยู่กับมวลของวัตถุ นอกจากนั้นพบว่านักศึกษา 1 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงโน้มถ่วงเพราะเข้าใจว่าแรงโน้มถ่วงจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่ดังนี้ "ลังไม้ไม่มีแรงโน้มถ่วงเพราะมันอยู่กับที่ มันหนักของมันเองไม่ได้มีแรงอะไรมาดึงดูดมัน ถ้าเรายกขึ้นไป มัน[ลังไม้]จะมีแรงโน้มถ่วง" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์วัตถุใด ๆ ที่อยู่ภายใต้สนามความโน้มถ่วงของโลกจะมีแรงโน้มถ่วงกระทำต่อวัตถุนั้น ๆ เสมอไม่ว่าจะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ก็ตาม

กล่าวโดยสรุปในกรณีวัตถุอยู่นิ่ง จากคำถามทั้งสามข้อนักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อวัตถุเพราะไม่ได้ระบุน้ำหนักของวัตถุ แรงเสียดทานที่พื้นกระทำต่อวัตถุ หรือแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อวัตถุ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนักศึกษามีมุมมองที่ยึดตนเองเป็นสำคัญ นั่นคือมองว่าแรงบางชนิด (เช่น น้ำหนักของวัตถุ แรงเสียดทานที่พื้นกระทำต่อวัตถุ หรือแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อวัตถุ) ไม่ปรากฏอยู่ในสถานการณ์ที่ศึกษา จนกว่าจะสังเกตเห็นอิทธิพลของแรงเหล่านั้นอย่างชัดเจนเสียก่อน (Osborne & Gilbert, 1980, 378; Gilbert, Watts & Osborne, 1982) ซึ่งยืนยันได้จากคำตอบของคำถามข้อที่ 2 ที่ถามเกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อคานน้ำหนักที่ถูกยกให้อยู่นิ่ง ซึ่งพบว่ามีนักศึกษาจำนวนมากที่ระบุน้ำหนักของคานน้ำหนัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในสถานการณ์ของข้อคำถามดังกล่าวนักศึกษาสามารถสังเกตเห็นอิทธิพลของน้ำหนักอย่างชัดเจน นอกจากนั้นในคำถามข้อที่ 1 ถึงแม้จะมีนักศึกษาบางคนอ้างกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน แต่ก็ไม่สามารถใช้แนวคิดดังกล่าวอธิบายแรงที่กระทำต่อหนังสือที่วางนิ่งบนโต๊ะได้ถูกต้อง สิ่งนี้สะท้อนให้เห็นว่านักศึกษายังมีปัญหาในการประยุกต์ใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันอธิบายเหตุการณ์ในชีวิตประจำวัน

จากคำถามทั้งสามข้อยังพบว่านักศึกษาบางส่วนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงกิริยา–ปฏิกิริยาเพราะใช้การอุปมาแบบขัดแย้ง (conflict metaphor) ดังนี้ "แรงสองแรงที่มีขนาดเท่ากันกระทำต่อวัตถุเดียวกันแต่อยู่ในทิศตรงข้ามกันเป็นแรงกิริยา–ปฏิกิริยา ยกตัวอย่างเช่น แรงกิริยาคือน้ำหนักของวัตถุในทิศลง และแรงปฏิกิริยาคือแรงที่พื้นดันวัตถุในทิศขึ้น" ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Hestenes และคณะ (1992, 144–145) นอกจากนั้นนักศึกษาบางส่วนไม่สามารถระบุได้ว่า "เมื่อแรงกิริยาคือน้ำหนักของวัตถุหรือแรงที่โลกดึงดูดวัตถุ จะมีแรงปฏิกิริยาคือแรงที่วัตถุดึงดูดโลก" ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Terry and Jones (1986, 295)

ในคำถามข้อที่ 1 นักศึกษาบางส่วนมีแนวคิดว่า "ไม่มีแรงกระทำต่อหนังสือเพราะหนังสือไม่เคลื่อนที่" ซึ่งเป็นแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่เรียกว่า แนวคิดเกี่ยวกับแรงแสดงนัยของการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งมีใจความสำคัญว่า "ถ้าวัตถุเคลื่อนที่แสดงว่ามีแรงมากระทำต่อวัตถุนั้น ถ้าวัตถุไม่เคลื่อนที่แสดงว่าไม่มีแรงมากระทำต่อวัตถุนั้น" (Watts, 1983; Dekkers & Thijs, 1998, 41; Champagne, Klopfer & Anderson, 1980, 1077; Champagne, Gunstone & Klopfer, 1983, 177; Halloun & Hestenes, 1985; Shelley & Marjan, 2000; Gunstone & Watts, 1985, 93) ซึ่งแนวคิดนี้ไม่สอดคล้องกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน เพราะขณะวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุจะเป็นศูนย์ หรือขณะวัตถุอยู่นิ่งอาจมีแรงหลายแรงมากระทำต่อวัตถุก็ได้ แต่เมื่อรวมแรงเหล่านั้นแล้วได้แรงลัพธ์เป็นศูนย์ แนวคิดของนักศึกษาเกี่ยวกับแรงแสดงนัยของการเคลื่อนที่ของวัตถุอาจเกิดจากประสบการณ์ที่ได้จากการสังเกตการเคลื่อนที่ของวัตถุในชีวิตประจำวัน แล้วพบว่าในการทำให้วัตถุเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องเราต้องออกแรงกระทำต่อวัตถุอย่างต่อเนื่องในทิศเดียวกับทิศการเคลื่อนที่ มิฉะนั้นวัตถุจะเคลื่อนที่ช้าลง ๆ จนหยุดนิ่ง (Jimoyiannis & Komis, 2003; Clement, 1983, 325–326) ซึ่งประสบการณ์ดังกล่าวนี้ทำให้ผู้เรียนจำนวนมากมีปัญหาในการเรียนรู้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน เพราะ

ตามกฎข้อนี้เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว แรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุจะเป็นศูนย์ วัตถุจะรักษาสภาพการเคลื่อนที่ กล่าวคือ อยู่นิ่ง หรือเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวค่าเดิมในทิศทางเดิม โดยไม่ได้เคลื่อนที่ช้าลงจนหยุดนิ่งดังที่สังเกตเห็นในชีวิตประจำวัน แต่มีเงื่อนไขสำคัญก็คือต้องไม่มีแรงเสียดทานที่พื้นกระทำต่อวัตถุ ซึ่งโลกที่ปราศจากแรงเสียดทานเป็นโลกที่ผู้เรียนไม่คุ้นเคยและยากจะมองเห็นได้ (Halloun & Hestenes, 1985; Champagne et al., 1980, 1077)

นอกจากนั้นในคำถามข้อที่ 3.1 นักศึกษาบางส่วนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับน้ำหนัก (เช่น น้ำหนักมีทิศขึ้น) แรงเสียดทาน (เช่น ความเฉื่อยมีทิศตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่) และแรงโน้มถ่วง (เช่น แรงโน้มถ่วงจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kruger, Summers and Palacio (1990, 92) ที่พบว่าผู้เรียนจำนวนมากประสบปัญหาในการเรียนรู้แนวคิดเกี่ยวกับน้ำหนัก แรงเสียดทาน และแรงโน้มถ่วง

กรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว

กรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวปรากฏในคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ข้อที่ 3.2 ดังนี้

คำถามข้อที่ 3.2 ผลักลังไม้ให้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ที่ถูกผลักให้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว พบว่านักศึกษาเพียง 2 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงสี่แรงที่กระทำต่อลังไม้ได้ถูกต้อง คือ แรงจากการผลัก แรงเสียดทาน แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ และน้ำหนักของลังไม้ และพบว่านักศึกษาถึง 11 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ซึ่งในจำนวนนี้นักศึกษา 3 คนไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ นักศึกษา 3 คนไม่ระบุแรงเสียดทานและแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ นักศึกษา 3 คนไม่ระบุแรงเสียดทาน แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ และน้ำหนักของลังไม้ และนักศึกษา 2 คนไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้และน้ำหนักของลังไม้

ในคำถามข้อนี้ยังพบว่า นักศึกษา 1 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงกิริยา-ปฏิกิริยาดังนี้ "ไม่มีแรงที่ลังไม้กระทำต่อมือขณะที่ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว" ซึ่งตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตันเมื่อออกแรงผลักลังไม้จะมีแรงโต้ตอบจากลังไม้กระทำต่อมือเสมอ ไม่ว่าลังไม้จะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวก็ตาม

เมื่อให้นักศึกษาอธิบายการเคลื่อนที่ของลังไม้ พบว่านักศึกษา 3 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะอธิบายได้ว่าการที่ลังไม้เคลื่อนที่เป็นเพราะแรงจากการผลักมีขนาดมากกว่าแรงเสียดทานสถิตสูงสุดที่พื้นกระทำต่อลังไม้ โดยขนาดแรงเสียดทานสถิตสูงสุดขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นและแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ และพบว่า นักศึกษา 4 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ซึ่งในจำนวนนี้นักศึกษา 3 คนอธิบายว่าการที่ลังไม้เคลื่อนที่ได้เป็นเพราะคนออกแรงผลักมากขึ้น และนักศึกษา 1 คนอธิบายว่าการที่ลังไม้เคลื่อนที่ได้เป็นเพราะแรงจากการผลักมีขนาดมากกว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้น นอกจากนั้นพบว่านักศึกษา 6 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะอธิบายว่าการที่ลังไม้เคลื่อนที่ได้เป็นเพราะแรงผลักมีขนาดมากกว่าน้ำหนักของลังไม้ ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แรงที่กระทำต่อลังไม้ในแนวดิ่งมีอยู่สองแรง คือ น้ำหนักของลังไม้และแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ โดยแรงทั้งสองมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศตรงข้ามกัน ทำให้แรงลัพธ์ในแนวดิ่งเป็นศูนย์จึงไม่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของลังไม้

ในคำถามข้อนี้ยังพบว่านักศึกษา 3 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงเสียดทานว่าแรงเฉื่อยคล้ายกับแรงเสียดทาน เช่น "แรงเฉื่อยมีทิศตรงข้ามทิศการผลัก" หรือ "คนออกแรงมากขึ้น แรงเฉื่อยน้อยลง วัตถุจึงเคลื่อนที่ไปได้" และนักศึกษา 1 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงโน้มถ่วงและแรงปฏิกิริยาโดยเข้าใจว่า "เมื่อวัตถุมีความเร่งคงที่ แรงดึงดูดของโลกจะลดน้อยลง แรงที่พื้นกระทำต่อวัตถุจะไม่มี" ซึ่งตามกฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน แรงดึงดูดที่โลกกระทำต่อวัตถุจะขึ้นอยู่กับมวลของโลกและมวลของวัตถุ และระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของโลกกับจุดศูนย์กลางของวัตถุ โดยไม่ขึ้นกับความเร่งของวัตถุ ส่วนแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อวัตถุจะเกิดขึ้นตลอดเวลาที่วัตถุสัมผัสพื้น โดย

ไม่ขึ้นกับความเร่งของวัตถุเช่นกัน นอกจากนั้นพบว่านักศึกษา 1 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับน้ำหนักว่า "น้ำหนักมีทิศขึ้น" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์น้ำหนักมีทิศลงสู่จุดศูนย์กลางของโลก

กล่าวโดยสรุปในกรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว นักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อลังไม้เพราะไม่ได้ระบุน้ำหนักของลังไม้ แรงเสียดทานที่พื้นกระทำต่อลังไม้ หรือแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนักศึกษามีมุมมองที่ยึดตนเองเป็นสำคัญ (Osborne & Gilbert, 1980, 378; Gilbert et al., 1982) นั่นคือมองว่าแรงบางชนิด (เช่น น้ำหนักของลังไม้ แรงเสียดทานที่พื้นกระทำต่อลังไม้ หรือแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้) ไม่ปรากฏอยู่ในสถานการณ์ที่ศึกษา จนกว่าจะสังเกตเห็นอิทธิพลของแรงเหล่านั้นอย่างชัดเจนเสียก่อน (Osborne & Gilbert, 1980, 378; Gilbert et al., 1982) นอกจากนั้น นักศึกษาบางส่วนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับน้ำหนัก (เช่น น้ำหนักมีทิศขึ้น) แรงเสียดทาน (เช่น แรงเฉื่อยมีทิศตรงข้ามทิศการผลัก) และแรงปฏิกิริยาและแรงโน้มถ่วง (เช่น เมื่อวัตถุมีความเร่งคงที่ แรงดึงดูดของโลกจะลดน้อยลง แรงที่พื้นกระทำต่อวัตถุจะไม่มี) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kruger และคณะ (1990, 92)

กรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง

กรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งปรากฏในคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ข้อที่ 4 – 5 ดังนี้

คำถามข้อที่ 4 ลังไม้เคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียงด้วยความเร่ง

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ที่ถูกปล่อยให้เคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียงด้วยความเร่ง พบว่านักศึกษาเพียง 1 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงสามแรงที่กระทำต่อลังไม้ได้ถูกต้อง คือ แรงเสียดทาน แรงปฏิกิริยาที่พื้นเอียงกระทำต่อลังไม้ และน้ำหนักของลังไม้ และพบว่านักศึกษาถึง 12 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ซึ่งในจำนวนนี้นักศึกษา 5 คนไม่ระบุแรงเสียดทาน แรงปฏิกิริยาที่พื้นเอียงกระทำต่อลังไม้ และน้ำหนักของลังไม้ นักศึกษา 4 คนไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นเอียงกระทำต่อลังไม้ นักศึกษา 2 คนไม่ระบุแรงเสียดทาน และนักศึกษา 1 คนไม่ระบุแรงปฏิกิริยาที่พื้นเอียงกระทำต่อลังไม้และน้ำหนักของลังไม้ นอกจากนั้นพบว่านักศึกษา 5 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ โดยระบุว่ามีแรงจากการปล่อยกระทำต่อลังไม้ขณะเคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียงด้วยความเร่ง ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เมื่อลังไม้เคลื่อนที่พ้นจากมือแล้วถือว่าอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างมือกับลังไม้ก็สิ้นสุดลง จึงไม่มีแรงจากมือกระทำต่อลังไม้อีกต่อไป

เมื่อให้นักศึกษาอธิบายการเคลื่อนที่ของลังไม้ลงตามพื้นเอียง พบว่านักศึกษาเพียง 1 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะอธิบายได้ว่าการที่ลังไม้เคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียงเป็นเพราะองค์ประกอบของน้ำหนักของลังไม้ในแนวขนานกับพื้นเอียงมีขนาดมากกว่าแรงเสียดทานที่พื้นกระทำต่อลังไม้ และพบว่านักศึกษาถึง 10 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ซึ่งในจำนวนนี้นักศึกษา 7 คนมีแนวคิดว่า "ลังไม้เคลื่อนที่ลงได้เพราะมุมหรือความชันของพื้นเอียง" และนักศึกษา 2 คนมีแนวคิดว่า "ลังไม้เคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียงได้เป็นเพราะน้ำหนักของลังไม้" และนักศึกษา 1 คนมีแนวคิดว่า "ลังไม้เคลื่อนที่[ลงตามพื้นเอียง]ได้ ขึ้นอยู่กับขนาดของแรงปล่อยลังไม้" นอกจากนั้นพบว่า นักศึกษา 2 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุว่า "ลังไม้เคลื่อนที่ลงมาเอง ไม่มีแรงใดๆ มากระทำ"

ในคำถามข้อนี้ยังพบว่านักศึกษา 2 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับน้ำหนักว่า "น้ำหนักมีทิศขึ้น" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์น้ำหนักมีทิศลงสู่จุดศูนย์กลางของโลกเสมอ นักศึกษา 1 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับทิศของแรงเสียดทาน โดยเขียนทิศของแรงเสียดทานอยู่ในแนวระดับ ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แรงเสียดทานที่พื้นเอียงกระทำต่อลังไม้จะมีทิศขนานกับพื้นเอียง นักศึกษา 1 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับทิศของแรงโน้มถ่วง โดยเขียนทิศของแรงโน้มถ่วงอยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นเอียง ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อลังไม้จะมีทิศลงสู่จุดศูนย์กลาง

ของโลกเสมอ และนักศึกษา 1 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับอัตราเร็วและความเร่งว่า "ลังไม้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวจึงมีความเร่ง" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว ความเร่งจะเป็นศูนย์ นอกจากนั้นนักศึกษา 1 คน มีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงกิริยา–ปฏิกิริยาเพราะเข้าใจว่าแรงกิริยา–ปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุก้อนเดียวกัน เช่น ระบุว่าแรงกิริยาคือแรงที่พื้นดันลังไม้ แรงปฏิกิริยาคือน้ำหนักของลังไม้ ซึ่งตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน แรงกิริยา–ปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุคนละก้อน เช่น แรงกิริยาคือแรงที่ลังไม้กดพื้น แรงปฏิกิริยาคือแรงที่พื้นดันลังไม้ หรือแรงกิริยาคือแรงที่โลกดึงดูดลังไม้ แรงปฏิกิริยาคือแรงที่ลังไม้ดึงดูดโลก (ส่วนที่ขีดเส้นใต้แสดงให้เห็นว่าแรงกิริยา–ปฏิกิริยาจะกระทำต่อวัตถุคนละก้อน)

คำถามข้อที่ 5 ผลักลังไม้แล้วปล่อยให้เคลื่อนที่ตามพื้นราบแล้วลังไม้เคลื่อนที่ช้าลง

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลังไม้ที่ถูกผลักแล้วปล่อยให้เคลื่อนที่ตามพื้นราบแล้วลังไม้เคลื่อนที่ช้าลง พบว่าไม่มีนักศึกษาคนใดมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ โดยสามารถระบุแรงสามแรงที่กระทำต่อลังไม้ได้ถูกต้อง คือ แรงเสียดทาน แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลังไม้ และน้ำหนักของลังไม้ และพบว่านักศึกษาทุกคนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์โดยระบุว่า มีแรงจากการผลักกระทำต่อลังไม้ แม้ว่าลังไม้เคลื่อนที่พ้นจากมือไปแล้วก็ตาม ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เมื่อลังไม้เคลื่อนที่พ้นจากมือแล้วถือว่าอันตรกิริยาระหว่างมือกับลังไม้ก็สิ้นสุดลง จึงไม่มีแรงจากมือกระทำต่อลังไม้อีกต่อไป ซึ่งในจำนวนนี้นักศึกษา 10 คน อธิบายเพิ่มเติมว่า เมื่อลังไม้เคลื่อนที่พ้นจากมือแล้ว แรงจากการผลักจะลดลง ทำให้ความเร็วของลังไม้ลดลง เช่น "ลังไม้ที่เคลื่อนที่พ้นจากมือไปแล้ว ยังมีแรงจากการผลักกระทำต่อลังไม้อยู่ และแรงผลักนี้ลดลงเรื่อย ๆ ทำให้ลังเคลื่อนที่ช้าลง" สำหรับสาเหตุที่ทำให้แรงจากการผลักลดลงนั้น นักศึกษา 4 คนมีแนวคิดว่าแรงจากการผลักลดลงเพราะอิทธิพลของแรงเสียดทาน เช่น "เมื่อผลักลังไม้แล้วปล่อยให้เคลื่อนที่เอง ก็ยังมีแรงผลักกระทำต่อลังไม้ แรงผลักนี้เปลี่ยนแปลงเพราะว่ามีแรงเสียดทาน...แรงผลักโดนแรงเสียดทานบั่นทอน...ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ช้าลง" และนักศึกษา 1 คนมีแนวคิดว่าแรงจากการผลักลดลงเพราะอิทธิพลของแรงเฉื่อยดังนี้ "เมื่อผลักแล้วปล่อย ยังมีแรงผลักอยู่ แรงผลักนี้จะน้อยลงเรื่อย ๆ แรงเฉื่อยมากขึ้น ทำให้ลังไม้เคลื่อนที่ช้าลง"

ในคำถามข้อนี้ยังพบว่านักศึกษา 5 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงเสียดทาน ซึ่งในจำนวนนี้นักศึกษา 2 คนมีแนวคิดว่าแรงปฏิกิริยาคือแรงเสียดทานดังนี้ "แรงที่ลังกระทำต่อมือคือแรงปฏิกิริยาซึ่งทำให้ลังไม้เคลื่อนที่ช้าลง" นักศึกษา 1 คนมีแนวคิดว่าแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ เช่น "แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่อลังไม้เคลื่อนที่" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แรงเสียดทานที่กระทำต่อลังไม้ขณะเคลื่อนที่ คือ แรงเสียดทานจลน์ ซึ่งมีค่าคงตัว และนักศึกษา 1 คนมีแนวคิดว่าแรงเฉื่อยคล้ายกับแรงเสียดทานดังนี้ "แรงผลักนี้จะน้อยลงเรื่อย ๆ แรงเฉื่อยมากขึ้น ทำให้ลังไม้เคลื่อนที่ช้าลง" นอกจากนั้นพบว่านักศึกษา 1 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงกิริยา–ปฏิกิริยาเพราะเข้าใจว่าแรงกิริยา–ปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุก้อนเดียวกัน เช่น ระบุว่าแรงกิริยาคือแรงที่พื้นดันลังไม้ และแรงปฏิกิริยาคือน้ำหนักของลังไม้ ซึ่งตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน แรงกิริยา–ปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุคนละก้อน เช่น แรงกิริยาคือแรงที่ลังไม้กดพื้น แรงปฏิกิริยาคือแรงที่พื้นดันลังไม้ หรือแรงกิริยาคือแรงที่โลกดึงดูดลังไม้ แรงปฏิกิริยาคือแรงที่ลังไม้ดึงดูดโลก (ส่วนที่ขีดเส้นใต้แสดงให้เห็นว่าแรงกิริยา–ปฏิกิริยาจะกระทำต่อวัตถุคนละก้อน)

กล่าวโดยสรุปในกรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง นักศึกษาทุกคนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "มีแรงจากการผลักกระทำต่อลังไม้ แม้ว่าลังไม้เคลื่อนที่พ้นจากมือไปแล้วก็ตาม" ซึ่งแนวคิดนี้สอดคล้องกับแนวคิดที่พบในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ว่า "มีแรงจากผู้ให้แรงกระทำ (active agent) อาศัยหรือแฝง (embed) อยู่ในวัตถุเพื่อทำให้วัตถุเคลื่อนที่ต่อไปได้หลังจากวัตถุเคลื่อนที่พ้นจากผู้ให้แรงกระทำไปแล้ว" ซึ่งเรียกว่า แนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุ ตามแนวคิดนี้แรงขับดันภายในของวัตถุได้รับการถ่ายทอดมาจากการกระทำ (action) ของผู้ให้แรงกระทำ เช่น การผลัก การดึง การปล่อย การตี การโยน หรือการชน

เป็นต้น (Palmer, 1997; Twigger et al., 1994; Heywood & Parker, 2001; Jimoyiannis & Komis, 2003; Brown, 1989) แนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในนี้พบบ่อยมาก เมื่อให้ผู้เรียนอธิบายแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุเคลื่อนที่พ้นจากผู้ให้แรงกระทำไปแล้ว(Thijs, 1992; Fischbein, Stavy & Ma–Naim, 1989; Viiri, 1996, 56; Steinberg et al., 1990, 266; Kruger et al., 1990, 92)

นอกจากนั้นนักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "เมื่อลังไม้เคลื่อนที่พ้นจากมือ แรงจากการผลักจะลดลง ทำให้ความเร็วของลังไม้ลดลง" ซึ่งเป็นแนวคิดเกี่ยวกับการสูญเสียแรงขับดันภายในของวัตถุที่สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kass and Lambert (1983), Kruger และคณะ (1990, 92), Clement, (1983), Whitley (1996), Trumper and Gorsky (1996), Galili and Bar (1992), Palmer (1994), Fischbein และคณะ (1989) และ Shelley and Marjan (2000) ที่พบว่าผู้เรียนจำนวนมากมีแนวคิดว่า "การสูญเสียแรงขับดันภายในจะเกิดขึ้นในระหว่างที่วัตถุเคลื่อนที่ เมื่อแรงขับดันภายในลดลงวัตถุจะเคลื่อนที่ช้าลง และเมื่อแรงขับดันภายในสูญเสียหมดวัตถุจะหยุดนิ่ง" สำหรับแนวคิดของนักศึกษาบางส่วนเกี่ยวกับสาเหตุของการสูญเสียแรงขับดันภายใน ของวัตถุ อันเนื่องมาจากอิทธิพลของแรงเสียดทานที่พบ ในงานวิจัยนี้ สอดคล้องกับผลการวิจัยของ McCloskey (1983b, 311) และ Thijs (1992) ที่พบว่าผู้เรียนจำนวนมากมีแนวคิดว่าอิทธิพลของแรงภายนอก เช่น แรงเสียดทาน ทำให้วัตถุสูญเสียแรงขับดันภายในได้

แนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุและการสูญเสียแรงขับดันภายในของวัตถุที่พบในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับทฤษฎีแรงขับดันภายในของนักวิทยาศาสตร์และนักปรัชญาในสมัยโบราณ เช่น ทฤษฎีแรงขับดันภายในของ Philoponus ในศตวรรษที่ 6 และทฤษฎีแรงขับดันภายในของ Buridan ในศตวรรษที่ 14 (Wandersee, Mintzes & Novak, 1994; Viennot, 1979, 213; Halloun & Hestenes, 1985, 105) นั่นเป็นเพราะแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุเป็นแนวคิดที่เกิดจากประสบการณ์การสังเกตการเคลื่อนที่ของวัตถุในชีวิตประจำวัน (McCloskey, 1983a, 119; McCloskey, 1983b, 318)

จากคำถามทั้งสองข้อนักศึกษาบางส่วนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงกิริยา–ปฏิกิริยาเพราะใช้การอุปมาแบบขัดแย้ง (conflict metaphor) ดังนี้ "แรงสองแรงที่มีขนาดเท่ากัน กระทำต่อวัตถุเดียวกันแต่อยู่ในทิศตรงข้ามกันเป็นแรงกิริยา–ปฏิกิริยา ยกตัวอย่างเช่น แรงกิริยาคือน้ำหนักของลังไม้ในทิศลง และแรงปฏิกิริยาคือแรงที่พื้นดันลังไม้ในทิศขึ้น" ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Hestenes และคณะ (1992, 144–145) นอกจากนั้นนักศึกษาบางส่วนไม่สามารถระบุได้ว่า "เมื่อแรงกิริยาคือน้ำหนักของลังไม้ หรือแรงที่โลกดึงดูดลังไม้ จะมีแรงปฏิกิริยาคือแรงที่ลังไม้ดึงดูดโลก" ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Terry and Jones (1986, 295)

นอกจากนั้นนักศึกษาบางส่วนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับน้ำหนัก (เช่น น้ำหนักมีทิศขึ้น) แรงเสียดทาน (เช่น แรงปฏิกิริยาคือแรงเสียดทาน, แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่อวัตถุเคลื่อนที่, แรงเฉื่อยคล้ายกับแรงเสียดทาน และระบุทิศของแรงเสียดทานไม่ถูกต้อง) และแรงโน้มถ่วง (เช่น ระบุทิศของแรงโน้มถ่วงไม่ถูกต้อง) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kruger และคณะ (1990, 92) นอกจากนั้นนักศึกษาบางส่วนยังมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับความเร็วและความเร่ง (เช่น ลังไม้ เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว จึงมีความเร่ง) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Hestenes และคณะ (1992), Shelley and Marjan (2000) และ Halloun and Hestenes (1985, 1060)

กรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวผสมผสานกับการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

กรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยด้วยอัตราเร็วคงตัวผสมผสานกับการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ปรากฏในคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ข้อที่ 6 ดังนี้

คำถามข้อที่ 6.1 ลูกบอลเคลื่อนที่บนโต๊ะเรียบและลื่นด้วยอัตราเร็วคงตัว

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลูกบอลที่ถูกผลักให้เคลื่อนที่บนโต๊ะเรียบและลื่นด้วยอัตราเร็วคงตัว พบว่าไม่มีนักศึกษาคนใดมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์โดย

สามารถระบุแรงสองแรงที่กระทำต่อลูกบอลได้ถูกต้อง คือ แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อลูกบอลและน้ำหนักของลูกบอล และพบว่านักศึกษาทุกคนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งในจำนวนนี้นักศึกษาถึง 12 คนมีแนวคิดว่า "เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือไปแล้ว ยังคงมีแรงจากการผลักกระทำต่อลูกบอล" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือแล้วถือว่าอันตรกิริยาระหว่างมือกับลูกบอลก็สิ้นสุดลง จึงไม่มีแรงจากมือกระทำต่อลูกบอลอีกต่อไป และนักศึกษา 1 คนมีแนวคิดว่า "ไม่มีแรงกระทำต่อลูกบอลที่เคลื่อนที่บนโต๊ะที่เรียบและลื่น" สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างแรงจากการผลักและความเร็วนั้นมีนักศึกษา 4 คนอธิบายคลาดเคลื่อนว่าแรงจากการผลักแปรผันตรงกับความเร็ว ดังนี้ "แรงผลักจากมือกระทำต่อลูกบอลจะเท่าเดิมตลอด ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว" หรือ "มีแรงจากการผลักในทิศการผลักเท่าเดิมตลอด แรงนี้แปรผันตรงกับความเร็ว"

คำถามข้อที่ 6.2 ลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากขอบโต๊ะ

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลูกบอลเมื่อเคลื่อนที่พ้นจากขอบโต๊ะ พบว่านักศึกษา 6 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงหนึ่งแรงที่กระทำต่อลูกบอลเมื่อเคลื่อนที่พ้นจากขอบโต๊ะได้ถูกต้อง คือ น้ำหนักของลูกบอล และพบว่านักศึกษา 7 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากขอบโต๊ะ ยังคงมีแรงจากการผลักกระทำต่อลูกบอล" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือแล้ว ถือว่าอันตรกิริยาระหว่างมือกับลูกบอลก็สิ้นสุดลงจึงไม่มีแรงจากมือกระทำต่อลูกบอลอีกต่อไป

เมื่อให้นักศึกษาระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลเมื่อเคลื่อนที่พ้นจากขอบโต๊ะ พบว่านักศึกษาเพียง 2 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลเป็นเส้นโค้ง และพบว่านักศึกษาถึง 11 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งในจำนวนนี้นักศึกษา 6 คนแม้จะระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลเป็นเส้นโค้ง แต่ใช้แนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุซึ่งเป็นแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มาอธิบายการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งของลูกบอลดังนี้ "ลูกบอลเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งเพราะมีแรงสองแรงกระทำต่อลูกบอลในแนวตั้งฉากกัน คือ แรงจากการผลักและแรงโน้มถ่วง" (ส่วนที่ขีดเส้นใต้แสดงแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุ) นักศึกษา 4 คนระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลเป็นเส้นตรงพุ่งลงในแนวดิ่ง โดยให้เหตุผลว่า "เพราะแรงจากการปล่อยของลูกบอลถูกใช้จนหมด ณ ขอบโต๊ะ ดังนั้นลูกบอลจึงตกลงมาในแนวดิ่ง" (ส่วนที่ขีดเส้นใต้แสดงแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุ) และนักศึกษา 1 คนระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลเป็นเส้นโค้งส่วนหนึ่ง แล้วพุ่งตรงลงในแนวดิ่ง โดยให้เหตุผลว่า "เพราะแรงจากการปล่อยของลูกบอลไม่ได้ถูกใช้จนหมด ณ ขอบโต๊ะ แต่ถูกใช้จนหมดเมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากขอบโต๊ะเป็นระยะทางหนึ่ง ดังนั้นลูกบอลจึงเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งก่อนแล้วตกลงในแนวดิ่ง" (ส่วนที่ขีดเส้นใต้แสดงแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุ)

กล่าวโดยสรุป ในกรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวผสมผสานกับการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ นักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือไปแล้วยังคงมีแรงจากการผลักกระทำต่อลูกบอล" (ส่วนที่ขีดเส้นใต้แสดงแรงขับดันภายในของลูกบอล) ซึ่งเป็นแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุที่สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Palmer (1997), Twigger et al. (1994), Heywood and Parker (2001), Jimoyiannis and Komis (2003) และ Brown (1989) นักศึกษาบางส่วนมีแนวคิดว่า แรงขับดันภายในของวัตถุแปรผันตรงกับความเร็วของวัตถุ เช่น "มีแรงจากการผลักในทิศการผลักเท่าเดิมตลอด แรงนี้แปรผันตรงกับความเร็ว" ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Halloun and Hestenes (1985) ที่พบว่าผู้เรียนจำนวนมากมีแนวคิดว่าแรงขับดันภายในของวัตถุมีขนาดแปรผันตรงกับมวลและความเร็วดังสมการ F = mv นอกจากนั้นนักศึกษาบางส่วนมีแนวคิดเกี่ยวกับการสูญเสียแรงขับดันภายในของวัตถุ เช่น "แรงจากการปล่อยของลูกบอลถูกใช้จนหมด... ดังนั้นลูกบอลจึงตกลงมาในแนวดิ่ง" ซึ่งสอดคล้องกับ

ผลการวิจัยของ Kass and Lambert (1983), Kruger และคณะ (1990, 92), Clement, (1983), Whitley (1996), Trumper and Gorsky (1996), Galili and Bar (1992), Palmer (1994), Fischbein และคณะ (1989), Shelley and Marjan (2000), McCloskey (1983b, 311) และ Thijs (1992) นอกจากนั้นยังพบว่าแนวคิดเกี่ยวกับแรงของนักศึกษาส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์กับการอธิบายเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุอันเนื่องมาจากแรงนั้น เช่น "ลูกบอลเมื่อเคลื่อนที่พ้นจากขอบโต๊ะจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงพุ่งลงในแนวดิ่งเพราะมีแรงโน้มถ่วงกระทำต่อลูกบอลในทิศลง" หรือ "ลูกบอลเมื่อเคลื่อนที่พ้นจากขอบโต๊ะจะเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งเพราะมีแรงสองแรงกระทำต่อลูกบอลในแนวตั้งฉากกัน คือ แรงจากการผลักในทิศการเคลื่อนที่ และแรงโน้มถ่วงในทิศลง" เป็นต้น

กรณีวัตถุเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง

กรณีวัตถุเคลื่อนที่ในแนวดิ่งปรากฏในคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ข้อที่ 7 ดังนี้

คำถามข้อที่ 7.1 โยนลูกบอลขึ้นในแนวดิ่ง

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลูกบอลที่ถูกโยนขึ้นในแนวดิ่ง พบว่าไม่มีนักศึกษาคนใดมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ โดยสามารถระบุแรงหนึ่งแรงที่กระทำต่อลูกบอลได้ถูกต้อง คือ น้ำหนักของลูกบอล และพบว่านักศึกษาทุกคนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือแล้วยังคงมีแรงจากการโยนกระทำต่อลูกบอล" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือแล้วถือว่าอันตรกิริยาระหว่างมือกับลูกบอลก็สิ้นสุดลง จึงไม่มีแรงจากมือกระทำต่อลูกบอลอีกต่อไป ซึ่งในจำนวนนี้นักศึกษาถึง 12 คนมีแนวคิดว่าขณะที่ลูกบอลเคลื่อนที่ขึ้นไปในแนวดิ่ง แรงจากการโยนของลูกบอลจะลดลงเรื่อย ๆ จนเป็นศูนย์ที่จุดสูงสุดของการเคลื่อนที่ เช่น "ความเร็ว[ของลูกบอล]จะช้าลงเรื่อย ๆ แรงที่ปล่อยจากมือลดลงจนเป็นศูนย์ที่จุดสูงสุด" และนักศึกษา 1 คนมีแนวคิดว่า "ขณะที่ลูกบอลเคลื่อนที่ขึ้นไปในแนวดิ่ง แรงจากการโยนของลูกบอลจะลดลงเรื่อย ๆ แต่ไม่เป็นศูนย์ที่จุดสูงสุดของการเคลื่อนที่"

คำถามข้อที่ 7.2 ลูกบอล ณ จุดสูงสุดของการเคลื่อนที่

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลูกบอล ณ จุดสูงสุดของการเคลื่อนที่ พบว่านักศึกษา 9 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงหนึ่งแรงที่กระทำต่อลูกบอลได้ถูกต้อง คือ น้ำหนักของลูกบอล และพบว่านักศึกษา 4 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือ ยังคงมีแรงจากการโยนกระทำต่อลูกบอล" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือแล้วถือว่าอันตรกิริยาระหว่างมือกับลูกบอลก็สิ้นสุดลงจึงไม่มีแรงจากมือกระทำต่อลูกบอลอีกต่อไป

คำถามข้อที่ 7.3 ลูกบอลขณะเคลื่อนที่ลงสู่พื้น

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลูกบอลที่เคลื่อนที่ลงสู่พื้น พบว่านักศึกษาถึง 10 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุแรงหนึ่งแรงที่กระทำต่อลูกบอลได้ถูกต้อง คือ น้ำหนักของลูกบอล และพบว่านักศึกษา 3 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือแล้วยังคงมีแรงจากการโยนกระทำต่อลูกบอล" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือแล้วถือว่าอันตรกิริยาระหว่างมือกับลูกบอลสิ้นสุดลง จึงไม่มีแรงจากมือกระทำต่อลูกบอลอีกต่อไป

กล่าวโดยสรุป ในกรณีวัตถุเคลื่อนที่ในแนวดิ่งนักศึกษาทุกคนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่พ้นจากมือแล้วยังคงมีแรงจากการโยนกระทำต่อลูกบอล" (ส่วนที่ขีดเส้นใต้แสดงแรงขับดันภายในของลูกบอล) ซึ่งเป็นแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุที่สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Palmer (1997), Twigger et al. (1994), Heywood and Parker (2001), Jimoyiannis and Komis (2003) และ Brown (1989) และนักศึกษาทุกคนมีแนวคิดเกี่ยวกับการสูญเสียแรงขับดันภายในของวัตถุ เช่น "แรงจากการโยนของลูกบอลจะลดลงเรื่อยๆ จนเป็นศูนย์ที่จุดสูงสุดของการเคลื่อนที่" หรือ "ขณะที่ลูกบอลเคลื่อนที่ขึ้นไปในแนวดิ่ง แรงจากการโยนของลูกบอลจะลดลงเรื่อย ๆ แต่ไม่เป็นศูนย์ที่จุดสูงสุดของการเคลื่อนที่" ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kass and

Lambert (1983), Kruger และคณะ (1990: 92), Clement, (1983), Whitley (1996), Trumper and Gorsky (1996), Galili and Bar (1992), Palmer (1994), Fischbein และคณะ (1989), Shelley and Marjan (2000), McCloskey (1983b, 311) และ Thijs (1992) นอกจากนั้นนักศึกษาบางส่วนมีแนวคิดว่า แรงขับดันภายในของวัตถุแปรผันตรงกับความเร็วของวัตถุ เช่น "ความเร็ว[ของลูกบอล]จะช้าลงเรื่อย ๆ แรงที่ปล่อยจากมือลดลง" ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Halloun and Hestenes (1985)

กรณีวัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

กรณีวัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายปรากฏในคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ข้อที่ 8 ดังนี้

คำถามข้อที่ 8.1 ลูกตุ้มแขวนด้วยเชือกเบาติดกับเพดาน

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลูกตุ้มที่แขวนด้วยเชือกเบาติดกับเพดาน พบว่านักศึกษา 6 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถระบุแรงสองแรงที่กระทำต่อลูกตุ้มได้ถูกต้อง คือ แรงตึงเชือกและน้ำหนักของลูกตุ้ม และพบว่านักศึกษา 1 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพราะไม่ระบุน้ำหนักของลูกตุ้ม นอกจากนั้นพบว่านักศึกษา 6 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "ไม่มีแรงกระทำต่อลูกตุ้ม ถ้ามีแรงกระทำ ลูกตุ้มจะเคลื่อนที่ ถ้าไม่มีแรงกระทำ ลูกตุ้มจะไม่เคลื่อนที่" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เมื่อลูกตุ้มเคลื่อนที่พ้นจากมือแล้วถือว่าอันตรกิริยาระหว่างมือกับลูกตุ้มสิ้นสุดลง จึงไม่มีแรงจากมือกระทำต่อลูกตุ้มอีกต่อไป

คำถามข้อที่ 8.2 ลูกตุ้มแกว่ง

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลูกตุ้มที่ถูกแกว่งให้เคลื่อนที่ พบว่าไม่มีนักศึกษาคนใดมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์โดยสามารถระบุแรงสองแรงที่กระทำต่อลูกตุ้มได้ถูกต้อง คือ แรงตึงเชือกและน้ำหนักของลูกตุ้ม และพบว่านักศึกษาทุกคนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งในจำนวนนี้นักศึกษา 12 คนมีแนวคิดว่า "ขณะที่ลูกตุ้มแกว่งยังคงมีแรงจากการแกว่งหรือแรงเหวี่ยงกระทำต่อลูกตุ้ม" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เมื่อลูกตุ้มเคลื่อนที่พ้นจากมือแล้ว ถือว่าอันตรกิริยาระหว่างมือกับลูกตุ้มสิ้นสุดลง จึงไม่มีแรงจากมือกระทำต่อลูกตุ้มอีกต่อไป และนักศึกษา 1 คนมีแนวคิดว่า "ไม่มีแรงกระทำต่อลูกตุ้ม ลูกตุ้มเคลื่อนที่เอง" นอกจากนั้นพบว่านักศึกษา 6 คนมีแนวคิดว่าแรงจากการเหวี่ยงแปรผันตรงกับความเร็ว เช่น "แรงเหวี่ยงจะลดลงเรื่อย ๆ ความเร็วลดลงเรื่อย ๆ" หรือ "แรงเหวี่ยงไม่เปลี่ยนแปลง ความเร็วจึงสม่ำเสมอ"

ในคำถามข้อนี้ยังพบว่านักศึกษา 4 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับความเร็วและความเร่งของลูกตุ้ม ซึ่งในจำนวนนี้นักศึกษา 3 คนมีแนวคิดว่า "ลูกตุ้มเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว" และนักศึกษา 1 คนอธิบายคลาดเคลื่อนว่า "ลูกตุ้มเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ลูกตุ้มที่ถูกแกว่งจะเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายซึ่งมีความเร็วและความเร่งที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

กล่าวโดยสรุป ในกรณีวัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายนักศึกษาบางส่วนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อลูกตุ้มเพราะไม่ระบุน้ำหนักของลูกตุ้ม ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะนักศึกษามีมุมมองที่ยึดตนเองเป็นสำคัญ นั่นคือมองว่าแรงบางชนิด (เช่น น้ำหนักของลูกตุ้ม) ไม่ปรากฏอยู่ในสถานการณ์ที่ศึกษา จนกว่าจะสังเกตเห็นอิทธิพลของแรงเหล่านั้นอย่างชัดเจนเสียก่อน (Osborne & Gilbert, 1980: 378; Gilbert et al., 1982)

นักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "ขณะที่ลูกตุ้มแกว่งยังคงมีแรงจากการแกว่งหรือแรงเหวี่ยงกระทำต่อลูกตุ้ม" (ส่วนที่ขีดเส้นใต้แสดงแรงขับดันภายในของลูกตุ้ม) ซึ่งเป็นแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุที่สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Palmer (1997), Twigger et al. (1994), Heywood and Parker (2001), Jimoyiannis and Komis (2003), Brown (1989) และนักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดเกี่ยวกับการสูญเสียแรงขับดันภายในของวัตถุ เช่น "แรงเหวี่ยงจะลดลงเรื่อย ๆ ความเร็วลดลงเรื่อย ๆ" ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kass and Lambert (1983), Kruger และคณะ (1990, 92),

Clement, (1983), Whitley (1996), Trumper and Gorsky (1996), Galili and Bar (1992), Palmer (1994), Fischbein และคณะ (1989), Shelley and Marjan (2000), McCloskey (1983b, 311), Thijs (1992) นอกจากนั้น นักศึกษาบางส่วนมีแนวคิดว่าแรงขับดันภายในของวัตถุแปรผันตรงกับความเร็วของวัตถุ เช่น "แรงเหวี่ยงจะลดลงเรื่อย ๆ ความเร็วลดลงเรื่อย ๆ" หรือ "แรงเหวี่ยงไม่เปลี่ยนแปลงความเร็วจึงสม่ำเสมอ" ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Halloun and Hestenes (1985)

นอกจากนั้น นักศึกษาบางส่วนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับความเร็วและความเร่งของลูกตุ้ม เช่น "ลูกตุ้มเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว" หรือ "ลูกตุ้มเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว" ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Hestenes และคณะ (1992), Shelley and Marjan (2000) และ Halloun and Hestenes (1985, 1060)

กรณีวัตถุเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

กรณีวัตถุเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ปรากฏในคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ข้อที่ 9 ดังนี้

คำถามข้อที่ 9.1 ตีลูกกอล์ฟขึ้นไปในอากาศ

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลูกกอล์ฟขณะเคลื่อนที่ขึ้นไปในอากาศ พบว่าไม่มีนักศึกษาคนใดมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์โดยสามารถระบุแรงหนึ่งแรงที่กระทำต่อลูกกอล์ฟได้ถูกต้อง คือ น้ำหนักของลูกกอล์ฟ และพบว่านักศึกษาทุกคนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "ขณะที่ลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ขึ้นไปในอากาศยังคงมีแรงจากการตีกระทำต่อลูกกอล์ฟ" ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เมื่อลูกกอล์ฟเคลื่อนที่พ้นจากไม้ตีแล้วถือว่าอันตรกิริยาระหว่างไม้ตีกับลูกกอล์ฟสิ้นสุดลง จึงไม่มีแรงจากมือกระทำต่อลูกกอล์ฟอีกต่อไป ซึ่งในจำนวนนี้นักศึกษา 8 คนมีแนวคิดว่า "เมื่อลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ขึ้นไปในอากาศ แรงจากการตีจะลดลง แต่ไม่เป็นศูนย์ที่จุดสูงสุดของการเคลื่อนที่" นักศึกษา 4 คนมีแนวคิดว่า "เมื่อลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ขึ้นไปในอากาศ แรงจากการตีจะลดลงจนเป็นศูนย์ที่จุดสูงสุดของการเคลื่อนที่" และนักศึกษา 1 คนมีแนวคิดว่า "ขณะลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ขึ้นไปในอากาศ แรงจากการตีจะเพิ่มขึ้น ขณะลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ลงแรงจากการตีจะลดลง"

คำถามข้อที่ 9.2 ลูกกอล์ฟขณะเคลื่อนที่ลงสู่พื้น

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลูกกอล์ฟขณะเคลื่อนที่ลงสู่พื้น พบว่านักศึกษา 3 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถระบุแรงหนึ่งแรงที่กระทำต่อลูกกอล์ฟได้ถูกต้อง คือ น้ำหนักของลูกกอล์ฟ และพบว่านักศึกษา 10 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้ นักศึกษา 9 คนระบุว่า "ขณะที่ลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ลงยังคงมีแรงจากการตีกระทำต่อลูกกอล์ฟ" และนักศึกษา 1 คนระบุว่า "ไม่มีแรงใด ๆ กระทำต่อลูกกอล์ฟที่เคลื่อนที่ลง ลูกกอล์ฟตกลงมาเอง" ในคำถามข้อนี้พบว่านักศึกษา 1 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับน้ำหนักเพราะระบุทิศของน้ำหนักอยู่ในทิศเดียวกับทิศการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ ซึ่งตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์น้ำหนักจะมีทิศลงสู่จุดศูนย์กลางของโลกเสมอ

กล่าวโดยสรุป ในกรณีวัตถุเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ นักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "ขณะที่ลูกกอล์ฟเคลื่อนที่พ้นจากไม้ตีกอล์ฟ ยังคงมีแรงจากการตีกระทำต่อลูกกอล์ฟ" (ส่วนที่ขีดเส้นใต้แสดงแรงขับดันภายในของลูกตุ้ม) ซึ่งเป็นแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุที่สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Palmer (1997), Twigger et al. (1994), Heywood and Parker (2001), Jimoyiannis and Komis (2003), Brown (1989) และนักศึกษาบางส่วนมีแนวคิดเกี่ยวกับการสูญเสียแรงขับดันภายในของวัตถุ เช่น "เมื่อลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ขึ้นไปในอากาศ แรงจากการตีจะลดลง แต่ไม่เป็นศูนย์ที่จุดสูงสุดของการเคลื่อนที่" หรือ "เมื่อลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ขึ้นไปในอากาศ แรงจากการตีจะลดลงจนเป็นศูนย์ที่จุดสูงสุดของการเคลื่อนที่" ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kass and Lambert (1983), Kruger และคณะ (1990, 92), Clement, (1983), Whitley (1996), Trumper and Gorsky (1996), Galili and Bar (1992), Palmer (1994), Fischbein และคณะ (1989), Shelley and Marjan (2000), McCloskey (1983b, 311), Thijs (1992) นอกจากนั้นนักศึกษาบางส่วนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับน้ำหนัก เช่น ระบุทิศของน้ำหนักอยู่ในทิศเดียวกับทิศการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ

ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kruger และคณะ (1990, 92)

กรณีวัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลม

กรณีวัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลมปรากฏในคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ข้อที่ 10 ดังนี้

คำถามข้อที่ 10.1 แกว่งลูกบอลที่ผูกติดกับเชือกในแนวระดับเหนือศีรษะ

เมื่อให้นักศึกษาระบุแรงที่กระทำต่อลูกบอลที่ผูกติดกับเชือกแล้วแกว่งในแนวระดับเหนือศีรษะนักศึกษา 1 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะสามารถระบุแรงสองแรงที่กระทำต่อลูกบอลได้ถูกต้อง คือ แรงตึงเชือกและน้ำหนักของลูกบอล และพบว่านักศึกษาถึง 4 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้ นักศึกษา 3 คนไม่ระบุแรงตึงเชือก และนักศึกษา 1 คนไม่ระบุน้ำหนักของลูกบอล นอกจากนั้นพบว่านักศึกษา 8 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุว่า มีแรงจากการเหวี่ยงหรือแรงจากการแกว่งกระทำต่อลูกบอล

คำถามข้อที่ 10.2 ลูกบอลหลุดจากเชือก

เมื่อให้นักศึกษาระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลหลังจากหลุดจากเชือก พบว่านักศึกษา 2 คนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพราะระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลว่าอยู่ในแนวเส้นสัมผัสวงกลมหรือในแนวตั้งฉากกับเส้นเชือก ณ ตำแหน่งที่ลูกบอลหลุด นอกจากนั้นพบว่านักศึกษาถึง 11 คนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอล ซึ่งในจำนวนนี้นักศึกษา 8 คนระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลเป็นเส้นโค้งที่ค่อย ๆ เบนออกจากแนววงกลม เช่น "ลูกบอลจะกระเด็นออกมาเป็นแนวโค้ง ในวงที่กว้างกว่าวงกลมที่แกว่ง" โดยให้เหตุผลว่า "ขณะที่ลูกบอลหลุดจากเชือกยังคงมีแรงจากการเหวี่ยงกระทำต่อลูกบอลอยู่ แต่แรงจากการเหวี่ยงนี้ลดลงทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่ค่อย ๆ เบนออกจากแนววงกลม" นักศึกษา 2 คนระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลเป็นมุมป้านกับเส้นเชือก และนักศึกษา 1 คนระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลเป็นเส้นตรงพุ่งออกมาจากจุดศูนย์กลาง

กล่าวโดยสรุป ในกรณีวัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลม นักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อลูกบอลเพราะไม่ได้ระบุน้ำหนักของลูกบอลหรือแรงตึงเชือก ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะนักศึกษามีมุมมองที่ยึดตนเองเป็นสำคัญ นั่นคือมองว่าแรงบางชนิด (เช่น แรงตึงเชือก หรือน้ำหนักของลูกบอล) ไม่ปรากฏอยู่ในสถานการณ์ที่ศึกษาจนกว่าจะสังเกตเห็นอิทธิพลของแรงเหล่านั้นอย่างชัดเจนเสียก่อน (Osborne & Gilbert, 1980, 378; Gilbert et al., 1982)

นักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า "ขณะที่ลูกบอลหลุดจากเชือกยังคงมีแรงจากการเหวี่ยงกระทำต่อลูกบอลอยู่ แต่แรงจากการเหวี่ยงนี้ลดลงทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่ค่อย ๆ เบนออกจากแนววงกลม" (ส่วนที่ขีดเส้นใต้แสดงแรงขับดันภายในของลูกบอล) ซึ่งเป็นแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุที่เคลื่อนที่ในแนววงกลมที่สอดคล้องกับผลการวิจัยของ McCloskey (1983a, 114, 1983b, 311) ที่พบว่าผู้เรียนจำนวนมากมีแนวคิดว่า วัตถุที่เคลื่อนที่ในแนววงกลมจะมีแรงขับดันภายในเพื่อรักษาสภาพการเคลื่อนที่ในแนววงกลม และนักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดเกี่ยวกับการสูญเสียแรงขับดันภายในของวัตถุที่เคลื่อนที่ในแนววงกลม เช่น "แรงจากการเหวี่ยงนี้ลดลงทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่ค่อย ๆ เบนออกจากแนววงกลม" ซึ่งเป็นแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kass and Lambert (1983), Kruger และคณะ (1990, 92), Clement, (1983), Whitley (1996), Trumper and Gorsky (1996), Galili and Bar (1992), Palmer (1994), Fischbein และคณะ (1989), Shelley and Marjan (2000), McCloskey (1983b, 311), Thijs (1992) นอกจากนั้นจะเห็นว่าแนวคิดเกี่ยวกับการสูญเสียแรงขับดันภายในของวัตถุที่เคลื่อนที่ในแนววงกลมของนักศึกษามีความสัมพันธ์กับการอธิบายเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอล เช่น "แรงจากการเหวี่ยงนี้ลดลง ทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่[ของลูกบอล]ค่อย ๆ เบนออกจากแนววงกลม" ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแนวคิดของนักศึกษาเกี่ยวกับแรงมีความสัมพันธ์กับการอธิบายเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุอันเนื่องมา

จากแรงนั้น

สำหรับการตีความหมายแนวคิดของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ และจำนวนนักศึกษาที่มีแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ แสดงได้ดังตาราง 1 และตาราง 2 ในภาคผนวก

ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

แนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์และแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 ที่พบในงานวิจัยนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมุมมองที่ยึดตนเองเป็นสำคัญ แนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในและแนวคิดเกี่ยวกับแรงแสดงนัยของการเคลื่อนที่มีความสอดคล้องกับแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ที่พบในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนที่มีความแตกต่างด้านอายุ เพศ ความสามารถ และวัฒนธรรม มีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ที่สอดคล้องและคล้ายคลึงกัน (Gunstone, 1987, 691; Champagne et al., 1983, 174; Smith, diSessa & Roschelle, 1993)

การที่นักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์มีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ที่หลากหลาย และไม่สามารถประยุกต์ใช้แนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่อธิบายเหตุการณ์ในชีวิตประจำวันได้ บ่งชี้ว่าสถาบันการผลิตครูยังมีปัญหาในการเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหาวิชาโดยเฉพาะนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 ซึ่งผ่านการเรียนในรายวิชากลศาสตร์มาแล้ว ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Dykstra, Boyle and Monarch (1992) ที่พบว่าผู้เรียนจำนวนมากผ่านการเรียนในรายวิชากลศาสตร์โดยปราศจากความเข้าใจเกี่ยวกับกรอบแนวคิดของนิวตัน

สิ่งนี้ยังแสดงให้เห็นว่าแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เป็นแนวคิดที่เปลี่ยนแปลงได้ยาก ซึ่ง Champagne และคณะ (1983, 177), Hestenes และคณะ (1992, 142) Jimoyiannis and Komis (2003), Kass and Lambert (1983, 402), Salamand and Kess (1990, 533) ให้เหตุผลว่าเป็นเพราะแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ช่วยให้ผู้เรียนสามารถตีความหมาย ทำนาย และอธิบายปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันได้ดีทำให้ผู้เรียนพึงพอใจ ในขณะที่แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ให้คำอธิบายที่สอดคล้องกับปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวัน เช่น ในการเรียนรู้เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ผู้สอนมักจะให้ผู้เรียนละเลยอิทธิพลของความเสียดทานหรือถือว่าอิทธิพลของความเสียดทานมีน้อยมาก ในขณะที่เหตุการณ์ที่ศึกษาอิทธิพลจากความเสียดทานปรากฏอย่างชัดเจน และเนื่องด้วยแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เป็นแนวคิดที่เปลี่ยนแปลงได้ยาก การใช้วิธีสอนแบบดั้งเดิม เช่น การสอนแบบบรรยาย จึงไม่ค่อยประสบความสำเร็จในการช่วยให้ผู้เรียนเปลี่ยนแปลงแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (Jimoyiannis & Komis, 2003; Champagne et al., 1983, 173; Brown, 1989, 357; Terry, Jones & Hurford, 1985; Smith et al., 1993; Van Hise, 1988, 500; Gunstone, 1987, 691; Shymansky et al., 1997; Clement, 1983, 333; Enderstein & Spango, 1996, 489)

แนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ที่พบในงานวิจัยนี้ เป็นสิ่งกระตุ้นให้ผู้บริหาร คณาจารย์ นักการศึกษา และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในสถาบันการผลิตครู ตระหนัก และหาแนวทางเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหาวิชาแก่นักศึกษาครูวิทยาศาสตร์ให้ดียิ่งขึ้น เพื่อป้องกันไม่ให้นักศึกษามีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เพราะเขาอาจถ่ายทอดแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ดังกล่าวไปยังนักเรียนที่ตนเองสอนได้ ซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบต่อการศึกษาวิทยาศาสตร์ในวงกว้าง เพราะแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เป็นอุปสรรคในการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ของผู้เรียน โดยทำให้เกิดผลการเรียนรู้ที่ไม่พึงประสงค์มากมาย โดยการบิดเบือนข้อมูลที่ได้จากกิจกรรมการเรียนรู้ต่าง ๆ ให้เข้ากับแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิด

ตาราง 2 จำนวนนักศึกษาที่มีแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ

คำถาม	จำนวนนักศึกษาที่มีแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ (N = 13)		
	แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	แนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์	แนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์
วัตถุอยู่นิ่ง			
ข้อ 1 ให้ระบุแรง	5	2	6
ข้อ 2 ให้ระบุแรง	8	4	1
ข้อ 3.1 ให้ระบุแรง	2	10	1
ให้อธิบายการเคลื่อนที่	3	1	9
วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว			
ข้อ 3.2 ให้ระบุแรง	2	11	0
ให้อธิบายการเคลื่อนที่	3	4	12
วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง			
ข้อ 4 ให้ระบุแรง	1	12	0
ให้อธิบายการเคลื่อนที่	1	10	2
ข้อ 5 ให้ระบุแรง	0	0	13
วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวผสมผสานกับการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์			
ข้อ 6.1 ให้ระบุแรง	0	0	13
ข้อ 6.2 ให้ระบุแรง	6	0	7
ให้ระบุเส้นทางการเคลื่อนที่	2	0	11
วัตถุเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง			
ข้อ 7.1 ให้ระบุแรง	0	0	13
ข้อ 7.2 ให้ระบุแรง	9	0	4
ข้อ 7.3 ให้ระบุแรง	10	0	3
วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย			
ข้อ 8.1 ให้ระบุแรง	6	1	6
ข้อ 8.2 ให้ระบุแรง	0	0	23
วัตถุเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์			
ข้อ 9.1 ให้ระบุแรง	0	0	13
ข้อ 9.2 ให้ระบุแรง	3	0	11
วัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลม			
ข้อ 10.1 ให้ระบุแรง	1	4	8
ข้อ 10.2 ให้ระบุเส้นทางการเคลื่อนที่	2	0	11

หมายเหตุ นักศึกษาแต่ละคนอาจมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้มากกว่า 1 แนวคิด

ทางวิทยาศาสตร์ที่ผู้เรียนมีอยู่ (Clement, 1983, 326; Wandersee et al., 1994; McCloskey, 1983b, 318; Champagne et al., 1983)

ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนะดังนี้

1. เนื่องจากผู้เรียนไม่ได้เข้ามาสู่ห้องเรียนวิชาฟิสิกส์ด้วยสมองที่ว่างเปล่าเสมือนกระดาษเปล่าที่รอคอยให้ครูขีดเขียนความรู้ลงไป ในทางตรงกันข้ามผู้เรียนเข้ามาสู่ห้องเรียนวิชาฟิสิกส์ด้วยแนวคิดเดิมที่หลากหลายเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ซึ่งบางส่วนเป็นแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้นครูผู้สอน ควรสำรวจแนวคิดก่อนเรียนของผู้เรียน เพื่อให้ทราบว่าผู้เรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หรือไม่ อย่างไร แล้วจะได้หาแนวทางส่งเสริมให้ผู้เรียนเปลี่ยนแปลงแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ อันจะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้แนวคิดเรื่องใหม่ได้ถูกต้องยิ่งขึ้น นอกจากนั้นควรมีการสำรวจแนวคิดของผู้เรียนหลังเรียนเพื่อให้แน่ใจว่าผู้เรียนเกิดการเรียนรู้แนวคิดที่ถูกต้องแล้ว ในการนี้ครูผู้สอนอาจใช้แนวคิด คำถาม หรือสถานการณ์เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ในงานวิจัยนี้ไปสร้างแบบสำรวจแนวคิดเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ก่อนเรียนและหลังเรียนได้

2. เนื่องจากวิธีสอนแบบดั้งเดิม เช่น การสอนแบบบรรยายไม่ค่อยประสบความสำเร็จในการทำให้ผู้เรียนเปลี่ยนแปลงแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ครูผู้สอนควรใช้วิธีสอนแบบสร้างองค์ความรู้แบบต่าง ๆ เพื่อช่วยให้ผู้เรียนเปลี่ยนแปลงแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

3. ครูผู้สอนอาจช่วยให้ผู้เรียนปรับเปลี่ยนแนวคิดเกี่ยวกับแรงขับดันภายในของวัตถุและแรงแสดงนัยของการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดเกี่ยวกับแรงอย่างชัดเจนก่อนเรียนว่า แรงเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างวัตถุ เมื่ออันตรกิริยาสิ้นสุดลงก็ไม่มีแรงกระทำระหว่างวัตถุอีกต่อไป กล่าวคือ ไม่มีแรงที่อาศัยหรือแฝงอยู่ในวัตถุเพื่อทำให้วัตถุเคลื่อนที่ต่อไปได้หลังจากอันตรกิริยาสิ้นสุดลง สมบัติทางฟิสิกส์ที่อยู่ในวัตถุที่เคลื่อนที่นั้นเรียกว่า โมเมนตัม ไม่ใช่แรง

4. ครูผู้สอนอาจช่วยให้ผู้เรียนปรับเปลี่ยนมุมมองที่ยึดตนเองเป็นสำคัญ โดยส่งเสริมให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติการทดลองหรือทำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันเพื่อเชื่อมโยงความเป็นนามธรรมของแรงบางชนิด เช่น แรงโน้มถ่วง แรงเสียดทาน แรงปฏิกิริยา ให้ผู้เรียนมองเห็นเป็นรูปธรรมยิ่งขึ้น

5. สถาบันการผลิตครูควรปรับปรุงการเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ เพื่อให้นักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์มีความรู้ความเข้าใจแนวคิดดังกล่าวอย่างถ่องแท้ นอกจากนั้นควรมีการทดสอบความรู้พื้นฐานในวิชาฟิสิกส์ก่อนออกฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูหรือก่อนจบการศึกษา เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมของนักศึกษาครูก่อนปฏิบัติงานสอนจริง

เอกสารอ้างอิง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2545. **คู่มือการจัดการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์.** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

Brown, D. E. (1989). Students' concept of force: the importance of understanding Newton's third law. **Physics Education,** 24, 353–358.

Champagne, A.B., Gunstone, R.F. & Klopfer, L.E. (1983). Naïve knowledge and science learning. **Research in Science and Technological Education,** 1(2), 173–183.

Champagne, A.B., Klopfer, L.E. & Anderson, J.H. (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. **American Journal of Physics,** 48(12), 1074–1079.

Clement, J. (1983). A conceptual model discussed by Galileo and used intuitively by physics students. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), **Mental Models** (pp.325–339). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Dekkers, Pl.J.J.M. & Thijs, G. (1998). Making productive use of students' initial conceptions in developing the concept of force. **Science Education,** 82, 31–51.

Dykstra, D. I. Jr., Boyle, F. C., & Monarch, I. A. (1992). Studying conceptual change in learning physics. **Science Education,** 76(6), 615-652.

Enderstein, L. G. & Spango, P. E. (1996). Beliefs regarding force and motion: A longitudinal and cross-cultural study of South African school pupils. **International Journal of Science Education,** 18(4), 479-492.

Fischbein, E., Stavy, R., & Ma-Naim, H. (1989). The psychological structure of naïve impetus conceptions. **International Journal of Science Education,** 11(1), 71-81.

Galili, I., & Bar, V. (1992). Motion implies force: Where to expect vestiges of the misconception? **International Journal of Science Education,** 14(1), 63-81.

Gilbert, J. K. Watts, D. M. & Osborne, R. J. (1982). Students' conceptions of ideas in mechanics. **Physics Education,** 17, 62-66.

Gunstone, R. F. & Watts, M. (1985). Force and motion. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds.), **Children's ideas in science.** Milton Keynes: Open University Press.

Gunstone, R. F. (1987). Student understanding in mechanics: A large population survey. **American Journal of Physics,** 55(8), 691-696.

Halloun, I. A. & Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. **American Journal of Physics,** 53(11), 1056-1065.

Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. **The Physics Teacher,** 30(3), 141-158.

Heywood, D. & Parker, J. (2001). Describing the cognitive landscape in learning and teaching about forces. **International Journal of Science Education,** 23(11), 1177-1199.

Jimoyiannis, A. & Komis, V. (2003). Investigating Greek Students' Ideas about Forces and Motion. **Research in Science Education,** 33, 375-392.

Kass, H. & Lambert, P. (1983). Student preconceptioin in introductory high school physics related to course achievement. In J. D. Novak (Ed.), **Proceedings of the International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics** (pp.392-405). New York: Cornell University.

Kruger, C., Summers, M. K., & Palacio, D. J. (1990). A survey of primary school teachers' conceptions of force and motion. **Educational Research,** 32(2), 83-94.

McCloskey, M. (1983a). Naïve theories of motion. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), **Mental Models** (pp.299-324). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

McCloskey, M. (1983b). Intuitive physics. **Scientific American,** 248(4), 114-122.

National Research Council. (1995). **National Science Education Standards.** Washington, DC: National Academy Press.

Office of Rajabhat Institute Council. (2002). **Conceptual framework to reform the teacher and educational personnel preparation and development.** Available: http://www.rajabhat.ac.th/edu/develop.htm.

Office of the National Education Commission (ONEC). 2000. **Learning reform: A learner-centred approach.** Bangkok: ONEC.

Osborne, R. J. & Gilbert, J. K. (1980). A technique for exploring students' views of the world. **Physics education,** 15, 376-379.

Palmer, D. (1994). The effect of the direction of motion on students' conceptions of forces. **Research in Science Education,** 24, 253-260.

Palmer, D. (1997). The effect of context on students' reasoning about forces. **International Journal of Science Education,** 19(6), 681-696.

Salamand, N., & Kess, J. (1990). Concepts in force and motion. **The Physics Teacher,** 28(8), 530-533.

Shelley, Y. & Marjan, Z. (2000). Newton, we have a problem. **Australian Scinece Teacher Journal,** 46(1), 9–17.

Shymansky, J. A., et al. (1997). Examining the construction process: A study of changes in level 10 students' understanding of classical mechanics. **Journal of Research in Science Teaching,** 34(6), 571–593.

Smith, J. P., diSessa, A. A., & Roschelle, J. (1993). Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. **Journal of the Learning Sciences,** 3(2), 115–163.

Steinberg, M. et al (1990). Genius is not immune to persistent misconceptions: conceptual difficulties impeding Isaac Newton and contemporary physics students. **International Journal of Science Education,** 12(3), 265–273.

Terry, C. & Jones, G. (1986). Alternative frameworks: Newton's third law and conceptual change. **European Journal of Science Education,** 8(3), 291–298.

Terry, C., Jones, G., & Hurford, W. (1985). Children's conceptual understanding of forces and equilibrium. **Physics Education,** 20, 162–165.

Thijs, G. D. (1992). Evaluation of an introductory course on "Force" considering students' preconceptions. **Science Education,** 76(2), 155–174.

Trumper, R. & Gorsky, P. (1996). A cross–college age study about physics students' conceptions of force in pre–service training for high school teachers. **Physics Education,** 31(4), 227–236.

Twigger, D. et al. (1994). The conception of force and motion of students age between 10 and 15 years: an interview study designed to guide instruction. **International Journal of Science Education,** 16(2), 215–229.

van Driel, J. H., de Jong, O., & Verloop, N. (2002). The development of preservice chemistry teachers' pedagogical content knowledge. **Science Education,** 86, 572–590.

Van Hise, Y. A. (1988). Student misconceptions in mechanics: an international problem? **The Physics Teacher,** 26(8), 498–502.

Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. **European Journal of Science Education,** 1(2), 205–221.

Viiri, J. (1996). Teaching the force concept: A constructivist teaching experiment in engineering education. **European Journal of Engineering Education,** 21(1), 55–63.

Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. L. Gabel (Ed.), **Handbook of Research on Science Teaching and Learning** (pp.177–210). New York: Macmillan Publishing Company.

Watts, D. M. (1983). A study of schoolchildren's alternative frameworks of the concept of force. **European Journal of Science Education,** 5(2), 217–230.

Wiersma, W. (2000). **Research methods in education: An introduction.** (7th ed.). Boston: Allyn & Bacon.

Whitley, P. (1996). Using free body diagrams as a diagnostic instrument. **Physics Education,** 31, 309–313.