



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ : การวิเคราะห์รูปแบบความคิดวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้น
มัธยมศึกษาตอนปลาย

โดย อาจารย์ ดร. พรรัตน์ วัฒนกลวิวิช และคณะ

เดือน ปี ที่เสร็จโครงการ ธันวาคม 2553

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ : การวิเคราะห์รูปแบบความคิดวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา
ตอนปลาย

คณะผู้วิจัย

ดร. พรรรัตน์ วัฒนกลวิวิช

ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รศ. ดร. สุพล อนันตา

ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา(สกอ.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้ให้การสนับสนุนงานวิจัยทุนพัฒนาศักยภาพการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ ประจำปี พ.ศ. 2550 และขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สุปล อนันตา ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้การสนับสนุนและคำแนะนำในทุกด้านเพื่อช่วยให้อาชีพนักวิจัยของผู้วิจัยเริ่มต้นได้ ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และ สถานที่ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ในกลุ่ม PENThai ที่เอื้อเฟื้อแบบทดสอบความเข้าใจฟิสิกส์ที่ได้รับการแปลเป็นภาษาไทยเรียบร้อยแล้ว ขอขอบคุณผู้ร่วมงานทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยเหลือผู้วิจัยให้ดำเนินงานโครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี

(อาจารย์ ดร. พรวรรณ วัฒนกลีวิษฐ์)

หัวหน้าโครงการ

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: MRG5080433

ชื่อโครงการ : การวิเคราะห์รูปแบบความคิดวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ชื่อนักวิจัย : อาจารย์ ดร. พรรตน์ วัฒนกสิวิชัย

ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รองศาสตราจารย์ ดร. สุปล อนันตา

ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

E-mail Address: pwattanakasiwich@gmail.com

ระยะเวลาโครงการ : 2 กรกฎาคม 2550 ถึง 2 ธันวาคม 2553

โครงการวิจัยมีวัตถุประสงค์ที่จะประเมินรูปแบบความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในหัวข้อฟิสิกส์ที่หลากหลายโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบใหม่ที่เรียกว่า “การวิเคราะห์รูปแบบความคิด” เทคนิคนี้มีพื้นฐานมาจากการวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อที่จะนำเสนอรูปแบบความเข้าใจของนักเรียนในเชิงคุณภาพจากข้อมูลเชิงปริมาณ ด้วยการวิเคราะห์รูปแบบความคิดเราสามารถได้ข้อมูลความรู้รูปแบบอื่นๆ ที่นักเรียนมีและโอกาสที่นักเรียนจะนำความรู้นั้นไปใช้ในบริบทต่างๆ การวิเคราะห์รูปแบบความคิดประกอบไปด้วยการคำนวณ 2 แบบ—ปัจจัยความหนาแน่นและการประมาณรูปแบบความคิด การศึกษานี้เน้นเฉพาะการใช้การคำนวณการประมาณรูปแบบความคิด การวิเคราะห์รูปแบบความคิดอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดนั้นจำเป็นที่ข้อมูลที่จะต้องเก็บมาจากระบบทดสอบปรนัยที่มีการออกแบบมาอย่างดี เช่น แบบประเมินความเข้าใจเรื่องการเคลื่อนที่และแรง (FMCE) และ แบบทดสอบความเข้าใจวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (DIRECT) เป็นต้น แบบทดสอบฉบับล่าสุดประกอบด้วยคำถามแบบปรนัยจำนวน 70 ข้อ และแบบทดสอบใช้เวลา 2 ชั่วโมงในการทำ มีนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 2,000 คน ทำแบบทดสอบจากทั่วประเทศ เมทริกซ์ความหนาแน่นของรูปแบบความคิดถูกสร้าง จากนั้นสถานะของรูปแบบความคิดถูกศึกษาลักษณะโดยการวาดจุดของรูปแบบความคิดลงบนกราฟรูปแบบความคิด ทำให้เห็นว่านักเรียนส่วนใหญ่ยังมีสถานะของความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องในหัวข้อฟิสิกส์ต่าง ๆ

คำหลัก: การวิเคราะห์รูปแบบความคิด, ความเข้าใจวิชาฟิสิกส์, และแบบทดสอบความเข้าใจ

Abstract

Project Code: MRG5080433

Project Title: Model Analysis of high school students' understanding of physics

Investigators: Dr. Pornrat Wattanakasiwich

Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science,
Chiang Mai University

Associate Professor Dr. Supon Ananta

Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science,
Chiang Mai University

E-mail Address: pwattanakasiwich@gmail.com

Project Period: July 2, 2007 to Dec 2, 2010

This project aims to assess Grade-12 model of understanding in various physics topics by employing a new analysis method, called “model analysis”. This method was established from qualitative researches in order to qualitatively represent a framework of student understanding from quantitative data. With model analysis, we can obtain students' alternative knowledge and the probabilities for students to use such knowledge in a range of equivalent contexts. The model analysis consists of two algorithms—concentration factor and model estimation. This study was concentrated on using the model estimation algorithm. In order to use the model analysis efficiently, the data must be collected from a well-designed multiple-choice test such as the Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE), the Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test (DIRECT) etc. The final version of the test was consisted of 70 multiple-choice questions. The test took two hours to complete. There were 2,000 Grade-12 students taking the test from all regions in the country. The model density matrices were constructed. Then the model states were characterized by plotting a model point on a model plot, stating that most students were still in misconception states in most physics topics.

Keywords: Model analysis, Physics conceptual understanding, Conceptual evaluation test

Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกอ. และ สกว.

บทความวิชาการที่ได้ตอบรับหรือเสนอเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ (International publications) ที่จัดอยู่ในฐานข้อมูล ISI หรือ Scopus จำนวน 4 เรื่อง โดยเป็นผู้วิจัยหลัก 2 เรื่อง และผู้ควบคุมการวิจัย 2 เรื่อง และมีงานวิจัยในระดับชาติ จำนวน 1 เรื่อง คือ

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ (แสดงในภาคผนวก)

- 1.1 **Wattanakasiwich, P., & Ananta, S.**, “Model analysis: A quantum approach to analyze student understanding”. *Chiang Mai Journal of Science*, 36(1): 24-32 (2009).
ไม่มี impact factor อยู่ใน ISI
- 1.2 **Wattanakasiwich, P., & Ananta, S.** (2010). Analyzing Multiple-Choice Questions by Model Analysis and Item Response Curves. In *Proceedings of International Conference on Physics Education 2009* (pp.245-248), AIP Conference Proceedings 1263; American Institute of Physics: Melville, N.Y. **ไม่มี impact factor อยู่ใน Scopus**
- 1.3 Chanpichai, N., & **Wattanakasiwich, P.** (2010). Teaching Physics with Basketball. In *Proceedings of International Conference on Physics Education 2009* (pp.212-218), AIP Conference Proceedings 1263; American Institute of Physics: Melville, N.Y. **ไม่มี impact factor อยู่ใน Scopus**
- 1.4 Taleab, P., & **Wattanakasiwich, P.** (2010). Development of Thermodynamic Conceptual Evaluation. In *Proceedings of International Conference on Physics Education 2009* (pp.183-186), AIP Conference Proceedings 1263; American Institute of Physics: Melville, N.Y. **ไม่มี impact factor อยู่ใน Scopus**

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติ

- 1.5 **Wattanakasiwich, P.** (2008). Assessing student conceptual understanding of force and motion with model analysis. *Chiang Mai University Journal of Natural Science*, 7(2), 307-315. **ไม่มี impact factor**

การเชื่อมโยงทางวิชาการอื่น ๆ ทั้งในและต่างประเทศ

นอกจาก รศ.ดร. สุปล อนันตา ผู้เป็นนักวิจัย ที่ปรึกษา ยังมีความร่วมมือในประเทศกับกลุ่มฟิสิกส์ศึกษา หรือ กลุ่ม PENThai (Physics Education Network of Thailand) ของมหาวิทยาลัยมหิดล และห้องวิจัยฟิสิกส์ศึกษาของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับในต่างประเทศมีการติดต่อกับกลุ่ม The Sydney University Physics Education Research (SUPER) เพื่อนำผลจากการเครื่องมือประเมิน FMCE มาวิเคราะห์โดยใช้ Model Analysis ซึ่งผู้วิจัยจะได้เดินทางไปทำวิจัยระยะสั้นกับทางกลุ่ม SUPER เป็นเวลา 6 เดือน (1 ก.พ. 54 ถึง 30 ก.ค. 54) ด้วยทุน Endeavour Research Fellowships ของกระทรวงศึกษาธิการ ประเทศออสเตรเลีย

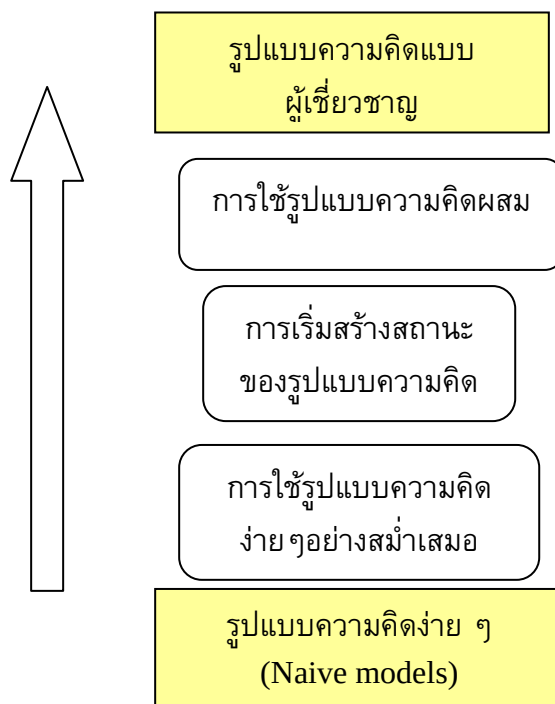
Executive Summary

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ฟิสิกส์เป็นหนึ่งในวิชารากฐานสำคัญสำหรับวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ที่มีความสำคัญต่อเทคโนโลยีใหม่ๆ และจำเป็นต่อการแข่งขันในยุคเศรษฐกิจฐานความรู้ (Knowledge-based economy) แต่ทว่ากลับมีผู้เรียนฟิสิกส์น้อยลงและขาดแคลนผู้ที่มีความรู้พื้นฐานทางด้านฟิสิกส์ รวมไปถึงการขาดแคลนครูสอนฟิสิกส์ นี่เป็นปัญหาที่วงการฟิสิกส์ทั่วโลกเผชิญ นักฟิสิกส์ในหลายประเทศได้เล็งเห็นถึงปัญหานี้และเริ่มให้ความสนใจกับการสอนฟิสิกส์โดยเริ่มทำการวิจัยทางด้านฟิสิกส์ศึกษา พบว่าปัญหาสำคัญของการเรียนฟิสิกส์คือผู้เรียนส่วนใหญ่มี *ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (Misconceptions)* ก่อนที่จะเริ่มเรียนฟิสิกส์ ทำให้ผู้เรียนไม่สามารถเข้าใจหลักการของฟิสิกส์ที่ถูกต้อง⁽¹⁾ และมีผลต่อการเรียนต่อยอดความรู้ที่ต้องใช้ฟิสิกส์ต่อไป เพื่อแก้ปัญหานี้ทำให้การวิจัยด้านฟิสิกส์ศึกษากำลังเป็นที่สนใจอย่างมากในหลายประเทศโดยเฉพาะประเทศที่มีความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แต่ในประเทศไทยยังขาดแคลนผู้ที่ทำการวิจัยทางด้านนี้ ดังนั้นการแก้ปัญหาคือการเรียนการสอนฟิสิกส์จำเป็นต้องมีการเพิ่มศักยภาพการทำการวิจัยทางด้านนี้ในประเทศไทย โดยเฉพาะงานวิจัยที่เน้นวิเคราะห์รูปแบบหรือลักษณะความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องของผู้เรียน

การตรวจสอบว่าผู้เรียนมีความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องหรือไม่ นักวิจัยทางด้านฟิสิกส์ศึกษาในสหรัฐอเมริกาและยุโรปได้ทำการวิจัยมากกว่า 30 ปี และได้สร้างเครื่องมือวัดความเข้าใจวิชาฟิสิกส์หลายหัวข้อด้วยกัน อย่างเช่น Force Concept Inventory (FCI)⁽²⁾ หรือ Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE)⁽³⁾ ใช้ในการวัดความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ โดยเครื่องมือเหล่านี้เป็นข้อสอบปรนัย มีการใช้เครื่องมือเหล่านี้อย่างแพร่หลายในการตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียนกลุ่มใหญ่ แต่การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือยังไม่มีประสิทธิภาพ เพราะใช้การคำนวณหาเฉพาะอัตราส่วนร้อยละของคำตอบที่ถูกต้อง โดยไม่ได้นำคำตอบที่ไม่ถูกต้องมาวิเคราะห์ ซึ่งเป็นการสูญเสียข้อมูลที่จะบ่งบอกถึงลักษณะความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องของผู้เรียน ดังนั้นใน ปี ค.ศ. 2006 Bao และ Redish⁽⁴⁾ นักวิจัยทางด้านฟิสิกส์ศึกษาได้เก็บข้อมูลจากการใช้เครื่องมือ FCI และ FMCE ของนักศึกษาฟิสิกส์พื้นฐาน และนำเสนอการวิเคราะห์ข้อสอบปรนัยวิธีใหม่ที่สามารถบอกถึงรูปแบบความเข้าใจของผู้เรียนได้ เรียกว่า *การวิเคราะห์รูปแบบความคิด (Model Analysis)* เป็นเทคนิคการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่สามารถให้ผลเป็นเชิงคุณภาพ โดยต้องอาศัยเครื่องมือวัดความเข้าใจที่ได้มาตรฐานโดยสร้างตัวลวง (*distractors*) จากผลการวิจัยเชิงคุณภาพเกี่ยวกับความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องของผู้เรียน เพื่อที่จะทำให้ตีความผลการวิเคราะห์ออกมาเป็นรูปแบบความเข้าใจของผู้เรียนได้ การวิเคราะห์รูปแบบความคิดจะได้ผลดีมาก เมื่อใช้ในหัวข้อที่มีงานวิจัยสนับสนุนว่าผู้เรียนส่วนใหญ่มีรูปแบบความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องที่โดดเด่นอยู่ โดย Bao และ Redish อธิบายว่าการ

วิเคราะห์รูปแบบความคิดนี้อาศัยแนวคิดที่ว่าคนเรามีกระบวนการเปลี่ยนความคิด หรือพัฒนาการสถานะของความเข้าใจเป็นขั้นตอนดังภาพที่ 1 โดย**สถานะของรูปแบบความคิดผสม (Hybrid model state)** ซึ่งเป็นสถานะที่ผู้เรียนจะสามารถพัฒนาให้รูปแบบความคิดของเขาใกล้เคียงรูปแบบของผู้เชี่ยวชาญ (Expert model) ที่ถือว่าเป็นความเข้าใจที่เราผู้สอนต้องการให้ผู้เรียนมี



ภาพที่ 1: กระบวนการเปลี่ยนความคิด (Process of conceptual change)

จากภาพที่ 1 แสดงกระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนความคิด โดยเริ่มจากรูปแบบความคิดง่าย ๆ ที่ผู้เรียนมีมาก่อน ในที่นี้รวมถึงรูปแบบความคิดที่เป็นที่มาของความเข้าใจที่ไม่ถูกต้อง โดยการวิเคราะห์รูปแบบความคิดมีหลักการที่ว่าผู้เรียนที่กำลังเริ่มสร้างสถานะรูปแบบความคิดผสม จะสับสนในความคิดจึงให้คำตอบที่หลากหลาย โดยสามารถใช้หลักของความน่าจะเป็นมาช่วยในการวิเคราะห์ ถึงแม้ว่าเทคนิคการวิเคราะห์นี้จะยังใหม่ แต่มีศักยภาพสูงในการนำไปใช้ตรวจสอบความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องในองค์ความรู้อื่น ๆ อย่างเช่น ทางด้านดาราศาสตร์ ด้านชีววิทยา และด้านเคมี เป็นต้น

เนื่องจากผู้วิจัยมีความถนัดและความสนใจที่จะตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียนทางด้านฟิสิกส์ เพราะพบว่าแม้กระทั่งนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ส่วนใหญ่มีความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ก่อนเรียน⁽⁵⁾ ซึ่งทำให้ต้องการตรวจสอบรูปแบบความเข้าใจในหัวข้ออื่น ๆ ทางฟิสิกส์ เช่น พลังงานและโมเมนตัม ไฟฟ้า เป็นต้น และต้องการที่จะขยายงานวิจัยให้ครอบคลุมกลุ่มตัวอย่างก่อนที่จะเข้ามหาวิทยาลัย เพื่อใช้ผลการวิจัยนี้เป็นฐานความรู้สำคัญในการเสนอแนะการปรับปรุงการเรียนการสอนหรือหลักสูตรทั้งในระดับมัธยมศึกษาและในระดับอุดมศึกษา ประการ

สำคัญถือว่าเป็นงานวิจัยแรกที่น่าการวิเคราะห์รูปแบบความคิดมาใช้กับความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องในหัวข้อฟิสิกส์พื้นฐานอื่น ๆ ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดงานวิจัยในการตรวจสอบความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องในวิทยาศาสตร์สาขาอื่นได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะนำเทคนิคการวิเคราะห์รูปแบบความคิดมาตรวจสอบความเข้าใจในหัวข้อฟิสิกส์พื้นฐานของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bao, L. and E.F. Redish. 2002. Concentration analysis: A quantitative assessment of student states. *American Journal of Physics* 69, (7): S45-S53.
- [2] Bao, L. and E.F. Redish. 2006. Model analysis: Representing and assessing the dynamics of student learning. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research* 2, 1-16.
- [3] Bonham, S., D.L. Deardorff, and R.J. Beichner. 2003. Comparison of student performance using web and paper-based homework in college-level physics. *Journal of Research in Science Teaching* 40, (10): 1050-1071.
- [4] Hake, R.R. 1998. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics* 66, (1): 64-74.
- [5] Hammer, D. 1996. More than misconceptions: Multiple perspectives on student knowledge and reasoning, and an appropriate role for education research. *American Journal of Physics* 64, (10): 1316-1325.
- [6] Hestenes, D., M. Wells, and G. Swackhammer. 1992. Force concept inventory. *Physics Teacher* 30: 141-158.
- [7] McDermott, L.C. and E.F. Redish. 1999. Resources Letter PER-01: *Physics Education Research*. *American Journal of Physics* 67, (9): 755-767.
- [8] Savinainen, A. and S. Philip. 2002. The Force Concept Inventory: a tool for monitoring student learning. *Physics Education* 37: 45-52.
- [9] Thornton, R.K. and D.R. Sokoloff. 1998. Assessing student learning of Newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula. *American Journal of Physics* 66, (4): 338-352.
- [10] Wattanakasiwich, P. 2006. Investigation of student understanding of force and motion by using concentration analysis. *Proceedings of The 32nd Congress on Science*

and Technology of Thailand, 10-12 Oct 2006. Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok.

[11] Wittmann, M. 2001. Force cluster calculation template (2001.2) [Excel Template]. In E.F. Redish *Teaching Physics with the Physics Suite CD*. Wiley, New York.

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อพัฒนาเครื่องมือวัดความเข้าใจฟิสิกส์พื้นฐานจากผลการวิจัยทางด้านฟิสิกส์ศึกษา
- 2.2 เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรง (*Validity*) และความเชื่อมั่น (*Reliability*) ของเครื่องมือ
- 2.3 เพื่อสำรวจรูปแบบความเข้าใจหัวข้อทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้การวิเคราะห์รูปแบบความคิด (Model Analysis)

3. ระเบียบและวิธีวิจัย

- 3.1 ผู้เข้าร่วมการวิจัย (Participants)—เน้นไปที่นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 สายวิทยาศาสตร์
- 3.2 การเลือกกลุ่มตัวอย่าง—ใช้การเลือกแบบเจาะจง (*Purposive sampling*) โดยเก็บข้อมูลเฉพาะนักเรียนในห้องเรียนสายวิทยาศาสตร์ โดยไม่ให้เกิน 1% ของประชากรนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 สายวิทยาศาสตร์ทั่วประเทศ หรือประมาณไม่เกิน 3,000 คน
- 3.3 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือประเมินความเข้าใจ
 - 3.3.1 ค้นคว้าเอกสารและบทความทางวิชาการเพื่อสร้างเครื่องมือประเมิน
 - 3.3.2 การตรวจสอบความเที่ยงตรง
 - ความเที่ยงตรงของเนื้อหา (*Content validity*) โดยให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์วิเคราะห์
 - ความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้าง (*Construct validity*) หากจากการใช้เทคนิคเชิงประจักษ์ชัด (*Known Group Technique*)
 - 3.3.3 การตรวจสอบความเชื่อมั่น
 - ใช้ split-half และใช้สูตรของ Spearman-Brown prediction formula และใช้ Kuder-Richardson (KR_{20})
- 3.4 การเก็บข้อมูลจากเครื่องมือประเมินความเข้าใจฟิสิกส์พื้นฐาน
- 3.5 การวิเคราะห์รูปแบบความคิดและวาดกราฟรูปแบบความคิดของนักเรียนจากกลุ่มตัวอย่าง
- 3.6 สรุปรายงานผลและจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

4. สรุปแผนการดำเนินการวิจัยตลอดโครงการในแต่ละช่วง 6 เดือน

ขั้นตอนของกิจกรรมวิจัย	เดือนที่										
	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18	19-21	22-24	25-30	30-36	36-42
1. ออกแบบเครื่องมือฉบับแรกจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง											
2. รายงานความก้าวหน้า		เดือนที่ 6									
3. ตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหา											
4. รายงานความก้าวหน้า				เดือน 12							
5. ตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้าง											
6. ตรวจสอบความเชื่อมั่น											
7. เก็บข้อมูลตัวอย่าง											
8. รายงานความก้าวหน้า						เดือนที่ 18					
9. กรอกรายการคำตอบ											
10. วิเคราะห์ข้อมูล											
11. แก้ไขแบบทดสอบให้ใช้เวลาน้อยลง											
12. เตรียมนำเสนอผลงานที่ประชุม สกว.									เดือนที่ 27		
13. เก็บข้อมูลจริง											
14. วิเคราะห์ข้อมูล											
12. รายงานฉบับสมบูรณ์											

4. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

จากการวิเคราะห์ทั้งแบบสถิติในรูปทั่วไป และการใช้การวิเคราะห์รูปแบบความคิดทำให้เราได้ข้อมูลความเข้าใจของนักเรียน พบว่าส่วนใหญ่ยังมีความเข้าใจที่ถูกต้องในเรื่องพลังงาน แต่ส่วนใหญ่ยังมีความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องในเรื่องแรง โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับกฎของนิวตัน และนักเรียนมีความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้ากระแสตรง พบว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ยังมีความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องในเรื่องนี้อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งผลนี้ทำให้แสดงว่าการสอนแบบที่ทำกันอยู่นั้นไม่ได้ช่วยให้นักเรียนตระหนักถึงความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องของตนเอง หรือไม่ได้ช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ฟิสิกส์ที่ถูกต้อง

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

- (I) การศึกษาวิจัยเพื่อปรับปรุงเทคนิคการวิเคราะห์รูปแบบความคิดให้สามารถวิเคราะห์ได้สะดวกขึ้น เนื่องจากปัจจุบันขั้นตอนการวิเคราะห์ค่อนข้างจะยุ่งยาก อาจจะมีการพัฒนา software หรือ Excel template เพื่อการวิเคราะห์โดยเฉพาะ
- (II) การวิเคราะห์ยังทำในภาพรวม อาจจะนำข้อมูลมาแยกวิเคราะห์ตามภาค เช่น ภาคเหนือ ภาคอีสาน ภาคกลาง เป็นต้น เพื่อดูแนวโน้มของความเข้าใจของนักเรียนในแต่ละภาค ทั้งนี้อาจมีการวิเคราะห์เทียบกับลักษณะของโรงเรียนประกอบด้วย
- (III) งานวิจัยในอนาคตที่มุ่งเน้นการเปรียบเทียบการวิเคราะห์รูปแบบความคิด กับการวิเคราะห์อื่นๆ ในทางสถิติ เช่น Factor analysis, Cluster analysis เพื่อดูความสามารถในการวิเคราะห์ของแต่ละเทคนิค

5. ภาคผนวก ประกอบไปด้วย

ภาคผนวก ก: **Output** จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกอ. และ สกว.

ภาคผนวก ข: แบบทดสอบความเข้าใจฟิสิกส์ในหัวข้อ กลศาสตร์ เทอร์โมไดนามิกส์ และไฟฟ้ากระแสตรง

ภาคผนวก ก:

Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกอ. และ สกว.



Model Analysis: A Quantum Approach to Analyze Student Understanding

Pornrat Wattanakasriwich*, and Supon Ananta

Department of Physics, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.

*Author for correspondence; e-mail: pornratw@sci.cmu.ac.th

Received: 15 December 2008

Accepted: 22 December 2008.

ABSTRACT

The objective of this study had two folds-1) investigating students' basic understanding of force and motion and 2) employing a new analysis method, called *model analysis*. This method helps obtain students' alternative knowledge and probabilities for students to use such knowledge in a range of equivalent contexts. The model analysis consists of two algorithms-*concentration factor* and *model estimation*. The data were student responses on Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE), 545 engineering freshmen taking an introductory physics with calculus at Chiang Mai University took both pre- and post-test. The concentration factor indicated that students had misconception in concepts of Newton's laws. Hence the class-model density matrices for both pre/post scores were constructed to determine characteristics of the pre/post class; eigenvalues and eigenvectors were calculated by the eigenvalue decomposition method. Results from model plots suggested that most students still had misconception about force-motion concepts and had mixed model states about Newton's third law.

Keywords: model analysis, concentration factor, model estimation, FMCE, conceptual understanding, force and motion, Newton's laws.

1. INTRODUCTION

Learning is an extremely complicated process. However, researchers in many fields have investigated and developed models of students' learning process, in hope for improve learning and teaching. To understand the learning of physics, many physicists have done research to study student difficulties in learning physics. This kind of research has become a new field of physics research, called physics education research (PER). Over three decades, PER findings point out that most students come to a physics classroom with misconceptions, originating from their

misinterpretations of everyday experience and previous instruction [1-4]. These misconceptions influence how students respond to instruction. To design effective teaching methods, physics instructors have to obtain student prior understandings.

The information of misconception obtained from PER findings has been used in creating alternative distracters for multiple choice test such as Force Concept Inventory (FCI) [4] and Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE) [6]. These tests are commonly used to probe student

understanding in a large-scale setting, but only overall scores and average pre/post gains can be determined by classic analysis [7-9]. The model analysis was developed to extract information about models of student understanding from their responses to multiple-choice test [10-12]. In this case, models are defined as functional mental constructs that are associated with specific physics contexts and can be applied directly in different context instances to obtain explanatory results [3, 4]. Therefore, this study aims to investigate students' understanding of force and motion by using the model analysis.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Data Collection

The data were collected by administering Thai-version of FMCE to students taking physics for engineering and agro-industrial students I (PHYS 207105). The FMCE, widely used to probe conceptual understanding of Newtonian mechanics, consists of 47 multiple-choice single response items and one open-ended question. Its items can be categorized into five clusters of basic mechanics concepts-velocity, acceleration, Newton's first and second laws, Newton's third law and energy. For each item of FMCE, if students consider that none of the choice is correct, they can answer choice J. In this study, the model analysis was used to analyse 545 complete responses of students who took both pre- and post-test.

2.2 Model Analysis

The model analysis consists of two algorithms-concentration factor and model estimation. The concentration factor shows a distribution of student responses, whether they are clustered on certain choices or scattered among all choices. The model estimation is a quantitative evaluation of

student models of understandings derived from a numerical analysis of student responses on multiple-choice tests. This method is useful in analyzing student's knowledge states in large classes with well-designed multiple-choice questions.

2.2.1 The Concentration Factor

The concentration factor is for analysing the distribution of students' responses, which gives preliminary information about students' model of understanding. The distribution of responses can be determined from a concentration factor, C , having a value range between 0 and 1, where a higher value referring to more concentrated responses [10]. Consider N students response on a question having m choices. A single student response on this question can be represented by an m -dimensional vector $\vec{r}_k = (y_{k1}, \dots, y_{ki}, \dots, y_{km})$, where $k = 1, \dots, N$ represents different students. Then all the student responses on one question are summed up to form the total response vector [10]:

$$\vec{r} = \sum_{k=1}^N \vec{r}_k = (n_1, \dots, n_i, \dots, n_m),$$

where n_i is the total number of student answering choice i . There are N students taking the test and every student provides answer, so, $\sum_i n_i = N$. The length of one students' response vector is [10]:

$$r_0 = \frac{\sqrt{\sum_i n_i^2}}{N},$$

where $\frac{1}{\sqrt{m}} \leq r_0 \leq 1$. Then the concentration factor, C can be calculated from [10]:

$$C = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m}-1} \times \left(r_0 - \frac{1}{\sqrt{m}} \right)$$

This equation is derived under a condition that N has to be much larger than m or $N \gg m$. This condition was satisfied in this case because the number of students or had a value of 545 and the number of choices in FMCE or was no more than 7 choices. To evidently display the distribution of student responses for each question, its combining score or S for the whole class is plotted against its concentration factor on an S - C plot, as shown in Figure 2.

2.2.2 Model Estimation

This algorithm of model analysis was a result of findings in fields of neuroscience, cognitive science, and education research. From neuroscience and cognitive science research, memory is found to be associative, and cognitive responses are productive and

context dependent [4]. Hence given questions with different physical contexts, most students have difficulties in identifying an accurate physics concept. They tend to use pieces of knowledge that are induced by the surface features of the specific contexts [1-4, 10-12], so their answers are not consistent. They seem to function as if they hold a mixture of different models (a correct one and incorrect ones) without knowing the appropriate situation in which to apply them [10-12]. Bao and Redish [11] proposed that when students answer a particular physics question, the context of that question triggers them to activate or create a certain model, as shown in Figure 1. The process of model activation or creation is complicated, so only the probability of activating a certain model state could be obtained by analyzing students'

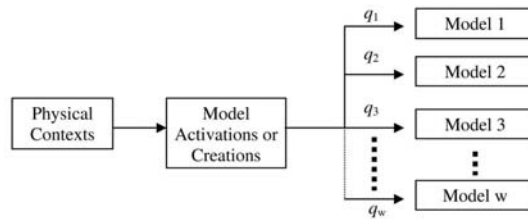


Figure 1. A diagram represents process of model triggers, where $q_1, q_2, \dots, q_w$ represents probability of activating or creating a certain model [11].

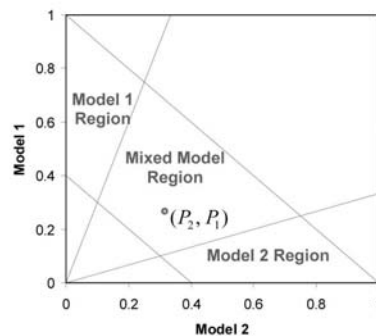


Figure 2. Model plot and meaning of some regions in the model plot [11].

responses to a well-designed instrument. Correspondingly, the process of model activation could be treated as a process of quantum measurement. The students' use of models in different contexts is defined as student model states [11], and model states can be represented with respect to a set of common models in a linear vector space, referred to as the model space. Similar to quantum system, each common model is associated with an element of an orthonormal basis, $\hat{e}_w$ called physical model vectors spanning the model space [10]. If there are w numbers of common models for a certain concept, these model vectors can be written mathematically as:

$$\hat{e}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \hat{e}_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \dots, \hat{e}_w = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}$$

The student model state in a matrix form can be constructed by using student responses from a well-designed multiple-choice test such as FMCE or FCI. To construct a student model state of the k^{th} student as:

$$u_k = \frac{1}{\sqrt{m}} \begin{bmatrix} \sqrt{n_1^k} \\ \vdots \\ \sqrt{n_w^k} \end{bmatrix} = |u_k\rangle,$$

where n_i^k is numbers of the k^{th} student answers corresponding with Model I , w is total number of physical models in a concept group, and m is total number of questions in this concept group. Then Compute a student density matrix of k^{th} student (D_k) as follows:

$$D_k = u_k \otimes u_k^T = |u_k\rangle\langle u_k| = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} n_1^k & \sqrt{n_1^k n_2^k} & \sqrt{n_1^k n_3^k} \\ \sqrt{n_2^k n_1^k} & n_2^k & \sqrt{n_2^k n_3^k} \\ \sqrt{n_3^k n_1^k} & \sqrt{n_3^k n_2^k} & n_3^k \end{bmatrix}$$

The class density matrix can be computed by summing up $\sum_{k=1}^N D_k$ and divided by number of students (N):

$$D = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N D_k = \frac{1}{N \cdot m} \begin{bmatrix} n_1^k & \sqrt{n_1^k n_2^k} & \sqrt{n_1^k n_3^k} \\ \sqrt{n_2^k n_1^k} & n_2^k & \sqrt{n_2^k n_3^k} \\ \sqrt{n_3^k n_1^k} & \sqrt{n_3^k n_2^k} & n_3^k \end{bmatrix}$$

Eigenvalues and eigenvectors can be obtained from the class density matrix by performing eigenvalue decomposition:

$$V^T D V = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3^2 \end{bmatrix},$$

where $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ are eigenvalues for the class density matrix. If the matrix has a large eigenvalue (> 0.65), then there are dominant features of the class model vectors, called a *primary vector* [12], which could be represented by the eigenvector of that dominated eigenvalue. Bao and Redish [11] proposed a model plot, a two-dimensional graph to represent the class use of two models. The primary vector $v_\mu = (v_{1\mu}, v_{2\mu}, v_{3\mu})^T$ with the eigenvalue σ_μ can be represented as a point on the model plot with a coordinate (P_1, P_2) [11], where $P_1 = \sigma_\mu^2 v_{1\mu}^2$ and $P_2 = \sigma_\mu^2 v_{2\mu}^2$. The class model point on the plot give information about the class model state. For example, if the model point is located in the middle, then most students in the class have a mixed model state about the concept.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Concentration Factor

Figure 2 exhibited the S-C plot of pre- and post-test, where questions were sorted according to clusters of physics concept. Most questions in clusters of Newton's first and second laws (Force (1, 2)) and Newton's third

laws (Force (3)) had low scores but high concentrations. This agrees with the results of Bao and Redish [10]. The low scores but high concentrations implied that there was the possibility of students having a multiple model of understanding or being in a mixed model state in these concepts [10]. Thus responses on these concepts were analysed in more detail by using the model estimation.

3.2 Model Estimation

3.2.1 Force-motion Concept

To use the model estimation, we needed models found from previous research to group incorrect responses. Through systematic physics education research, commonly recognized models of force and motion were identified as below [11], and a null model refers to other ideas or incomplete answers:

Model 1: It is necessary to have a force to maintain motion and there is no such thing as a “force in the direction of motion.” (Correct)

Model 2: A force is needed to maintain motion. This model also includes the ideas that there is always a force in the direction of motion and that the force is directly related to the velocity of motion. (Incorrect)

Model 3: Null model

With the measurement data from FMCE, a single-student model state can be created. This state represents student probabilities in applying the different common models. Then the individual student model states are summed up over the class to create the class model density matrix. Using the eigenvalue decomposition, the eigenvalues and eigenvectors of the density matrix are obtained, and these give information about the state of the class's knowledge. The class model point is obtained and plotted on the model plot.

These models were used to identify distracters relating to each model. Then using pre- and post-test responses, each student model state was constructed. The class model density matrix was determined by adding all students' model states. Using the eigenvalue decomposition, the pre- and post-class eigenvalues and eigenvectors were calculated, as shown in Table 1. The model points were calculated using dominant eigenvalues and corresponding eigenvectors, and these points were plotted on the model plot (Figure 4). The post-class model point was located in the incorrect model (model 2) region. This

Table 1. The pre/post dominant eigenvalues, class eigenvectors and components of the class model point.

	Pre-	Post-
Dominant eigenvalues	0.82	0.79
Class eigenvectors	$\begin{bmatrix} -0.18 \\ -0.91 \\ -0.37 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -0.22 \\ -0.91 \\ -0.35 \end{bmatrix}$
Model Point		
A vertical component	$P_1 = (0.82)^2(-0.18)^2 = 0.02$	$P_1 = (0.79)^2(-0.22)^2 = 0.03$
A horizontal component	$P_2 = (0.82)^2(-0.91)^2 = 0.56$	$P_2 = (0.79)^2(-0.91)^2 = 0.52$

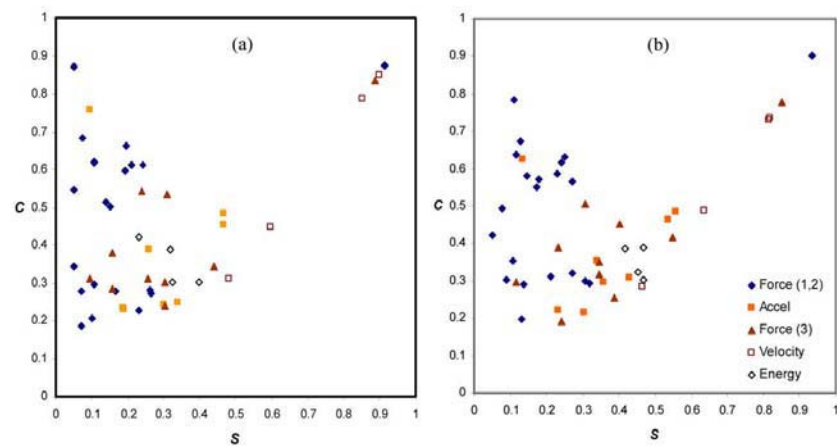


Figure 3. S-C plot of all questions categorized into five concept clusters - force (1,2), acceleration, force (3), velocity, and energy.

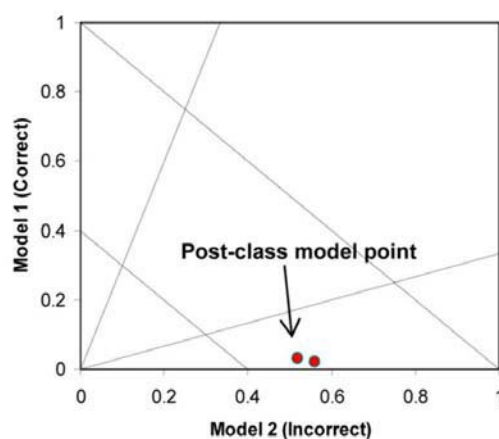


Figure 4. Model plot comparing between pre- and post-class model points about force-velocity concept.

indicated that most students in the class still had a misconception about force and motion even after an instruction. Since the characteristics of this misconception were known, so an instructor could use this

information to improve teaching of the class. A small shift of post-class model point towards the correct model indicated a slightly better understanding of students in this class. Compared to Bao and Redish [11], our pre-

class model point was located in the incorrect model, but their post-class model point moved to the correct model region ($P_2 = 0.21$, $P_1 = 0.46$). This may be due to different style of instruction; Bao and Redish [11] class were taught by using interactive teaching techniques.

3.2.2 Newton's Third Law

Maloney [13] found that students often used a *dominant principle* to reason about action-reaction force between two objects. Students often think that one object dominates over another because of a greater mass [13], a greater velocity, a greater acceleration [12],

Table 2. The pre/post dominant eigenvalues, class eigenvectors and model point components for the class density matrices of four misconceptions.

	Pre				Post			
	V	M	P	A	V	M	P	A
Dominant eigenvalues	0.91	0.92	0.92	0.91	0.88	0.89	0.91	0.89
Eigenvector	$\begin{bmatrix} -0.56 \\ -0.62 \\ -0.55 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -0.55 \\ -0.60 \\ -0.58 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -0.56 \\ -0.58 \\ -0.59 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -0.56 \\ -0.69 \\ -0.45 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -0.62 \\ -0.61 \\ -0.49 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -0.62 \\ -0.60 \\ -0.51 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -0.62 \\ -0.60 \\ -0.50 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -0.62 \\ -0.67 \\ -0.39 \end{bmatrix}$
Model Point								
A vertical component	0.23	0.26	0.26	0.26	0.30	0.30	0.32	0.30
A horizontal component	0.32	0.31	0.28	0.39	0.29	0.29	0.30	0.36

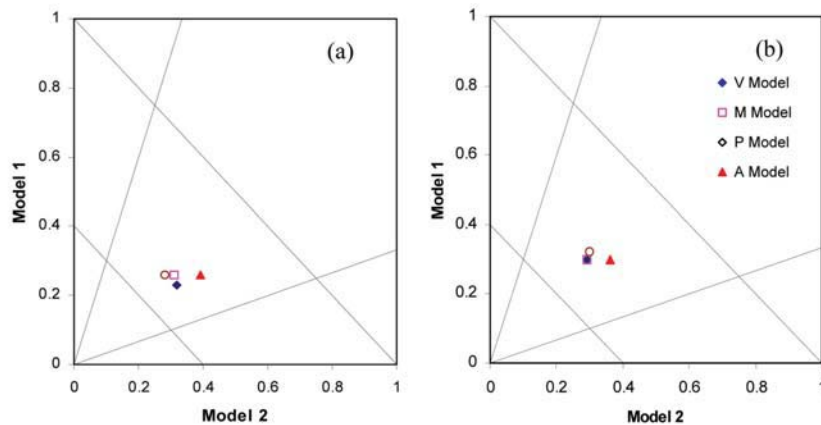


Figure 5. Model plot of Newton's third law concept.

or exerting a push [13]. These four misconceptions could be stated as follows:

V-model: Object with larger velocity exerts a larger force.

M-model: Object with larger mass exerts a larger force.

A-model: Object with larger acceleration exerts a larger force.

P-model: Object starting the push exerts a larger force.

These models were used to identify distracters on FMCE questions 30-39. Then we constructed the class model density matrix based on the model space spanning by a correct model, an incorrect model (V-model, M-model, A-model or P-model) and a null model. Therefore there were four class model density matrices, corresponding to each misconception. The dominant eigenvalues, eigenvectors and model points for each matrix showed in Table 2. The model plot of these matrices (Figure 5) pointed out that students were in mixed model states when answering Newton's third law questions. This agrees with Bao and Redish [10, 11]. This may be due to the context setting of the FMCE problems could have considerable influence on the activation of student's model.

4. CONCLUSION

In this investigation, the concentration factors indicated that our students had significant misconceptions about Newton's laws. This agrees with previous findings that most students had troubles understanding concepts of Newton's laws [1, 5-8, 10-13]. The data were analyzed by the model estimation to identify the class model state. The model plot of both pre- and post-class indicated a small improvement in conceptual understanding of the force-motion concept. For Newton's third law, both pre- and post-class were found to have a mixed model state. Different contexts of questions may trigger

different model, so students used inconsistent model to answer questions. By using the model analysis, the major misconceptions was pointed out, so instructors could use this information to improve teaching and learning of the next class.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to acknowledge the Thailand Research Fund (TRF) and the Commission on Higher Education (CHE) for financial support. The authors also would like to show gratitude to Physics Education Network of Thailand (PENThai) team for providing Thai version of FMCE.

REFERENCES

- [1] McDermott L.C., Research on Conceptual Understanding in Mechanics, *Phys.Today*, 1984; **37(7)**: 24-26.
- [2] McDermott L.C., and Redish E.F., Resources Letter PER-01: Physics Education Research, *Am. J. Phys.*, 1999; **67(9)**: 755-767.
- [3] Hammer D., More than misconceptions: Multiple perspectives on student knowledge and reasoning, and an appropriate role for education research, *Am. J. Phys.*, 1996; **64(10)**: 1316-1325.
- [4] Redish E. F., A theoretical framework for physics education research: Modeling student thinking; in Redish E. F., Tarsitani C., and Vicentini M., eds., *Proceedings of the Enrico Fermi Summer School, Course CLVI*, Italian Physical Society, Italy, 2004; 1-51.
- [5] Hestenes D, Wells M., and Swackhammer G., Force concept inventory. *Phys. Teach.*, 1992; **30**: 141-158.
- [6] Thornton R.K., and Sokoloff D.R., Assessing student learning of Newton's laws: The force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active

- learning laboratory and lecture curricula, *Am. J. Phys.*, 1998; **66(4)**: 338-352.
- [7] Hake R.R., Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses, *Am. J. Phys.*, 1998; **66(1)**: 64-74.
- [8] Savinainen A., and Philip S., The force concept inventory: a tool for monitoring student learning, *Phys. Ed.*, 2002; **37**: 45-52.
- [9] Huffman D., Effect of explicit problem solving instruction on high school students' problem-solving performance and conceptual understanding of physics, *J. Res. Sci. Teach.*, 1998; **34(6)**: 551-570.
- [10] Bao, L., and Redish E. F., Concentration analysis: A quantitative assessment of student states, *Am. J. Phys.*, 2001; **69 (7)**: S45-53.
- [11] Bao L., and Redish E. F., Model analysis: Representing and assessing the dynamics of student learning, *Phys. Rev ST Phys. Educ. Res.*, 2006; **2**: 1-16.
- [12] Bao L., Hogg K., and Zollman D., Model analysis of fine structures of student models: An example with Newton's third law, *Am. J. Phys.*, 2002; **70**: S766-S787.
- [13] Maloney, D.P., Rule-governed approaches to physics-Newton's Third Law, *Phys. Ed.*, 1984; **19**: 37-42.

Analyzing Multiple-Choice Questions by Model Analysis and Item Response Curves

P. Wattanakasiwich*[†] and S. Ananta*

**Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science, Chiang Mai University,
Chiang Mai 50200, Thailand*

[†]Physics Education Research Unit, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

Abstract. In physics education research, the main goal is to improve physics teaching so that most students understand physics conceptually and be able to apply concepts in solving problems. Therefore many multiple-choice instruments were developed to probe students' conceptual understanding in various topics. Two techniques including model analysis and item response curves were used to analyze students' responses from Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE). For this study FMCE data from more than 1000 students at Chiang Mai University were collected over the past three years. With model analysis, we can obtain students' alternative knowledge and the probabilities for students to use such knowledge in a range of equivalent contexts. The model analysis consists of two algorithms—concentration factor and model estimation. This paper only presents results from using the model estimation algorithm to obtain a model plot. The plot helps to identify a class model state whether it is in the misconception region or not. Item response curve (IRC) derived from item response theory is a plot between percentages of students selecting a particular choice versus their total score. Pros and cons of both techniques are compared and discussed.

Keywords: Test analysis, multiple-choice test, model analysis, item response curves

PACS: 01.40.Fk

INTRODUCTION

Over the past 30 years, physics education research has been studied how students learn and understand physics in order to improve physics instruction. To probe students' conceptual understanding in a large-scale setting, multiple-choice test is the easiest to analyze and the cheapest to administer. Many physics education researchers have developed various multiple-choice conceptual tests to detect student misconceptions such as Force Concept Inventory (FCI) [1], Force and Motion Conceptual Evaluation [2], Conceptual Survey of Electricity and Magnetism (CSEM) [3] and Heat and Temperature Concept Evaluation (HCTE) [4]. Many studies employed these instruments to measure student understanding. However, the typical analysis of the multiple-choice tests not only fails to provide information about students' misconceptions but also ignores students' incorrect answers containing a large amount of valuable information [5,6]. Therefore in this study, we present two methods to analyze students' incorrect responses—model analysis [1] and item response curve (IRC) [3].

DATA COLLECTION

Participants were freshmen with engineering major taking an introductory physics I with calculus in 2006 and 2008 at Chiang Mai University. Thai-version of Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE) was used to probe student understanding of force and motion. FMCE was translated to Thai by physics education researchers from PenThai (Physics Education Network in Thailand) groups. Thai FMCE were used and validated in physics classes at both pre-college and first-year university levels. FMCE was administered to students on the first day of class as pre-test and the day after they finished learning topics of mechanics as post-test. Students were given an hour to finish the test and they received extra credit for compensation. Only responses from students taking both pre and post-test were used in data analysis. Figure 1 shows typical analysis of student responses including average scores and normalized gain, which can be calculated as in equation 1.

$$<g> = \frac{(\%post-test) - (\%pre-test)}{100 - (\%pre-test)} \quad (1)$$

CP1263, International Conference on Physics Education 2009 – ICPE2009
edited by B. Paosawatanyong and P. Wattanakasiwich
© 2010 American Institute of Physics 978-0-7354-0816-6/10/\$30.00

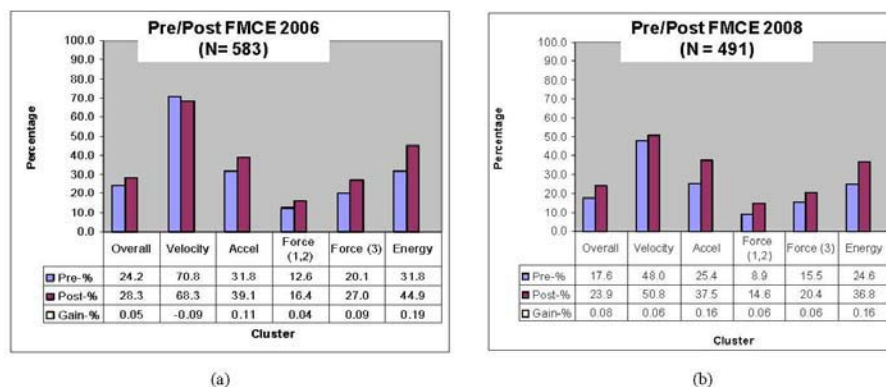


FIGURE 1. Typical analysis of FMCE pre and post-test from [7] (a) 2006 academic year (b) 2008 academic year

MODEL ANALYSIS

With model analysis, we can obtain students' alternative knowledge and probabilities for students to use such knowledge in a range of equivalent contexts. The model analysis consists of two algorithms—concentration factor and model estimation [10]. This paper only presents results from using the model estimation.

An answer from each student is used to create a single-student model state, which represents student probabilities in applying the different common models. Then the individual student model states are summed up over the class to create the class model density matrix. The eigenvalues and eigenvectors of the density matrix are obtained, and these give information about the state of the class's knowledge.

The class model point is determined from eigenvector and plotted on the model plot. More detail of calculation can be found in [8-10]. The plot helps to identify conception level of a whole class, called a class model state whether it is in the misconception region or not, as shown in Fig 2.

This paper only presents results from using the model estimation algorithm to obtain a model plot for concepts of Newton's first and second law, which students from both classes got the lowest marks, as shown in Fig. 1. Through systematic physics education research, commonly recognized models of this conception were identified as below [10], and a null model refers to other ideas or incomplete answers:

Model 1: It is necessary to have a force to maintain motion and there is no such thing as a "force in the direction of motion." (Correct)

Model 2: A force is needed to maintain motion. This model also includes the ideas that there is always a force in the direction of motion and that the force is directly related to the velocity of motion. (Incorrect)

Model 3: Null model

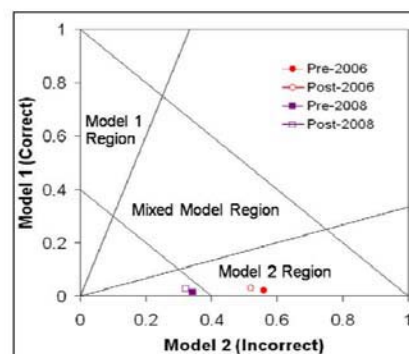


FIGURE 2. Model plot comparing between pre- and post-class model points and meaning of some regions in the model plot [10].

In the FMCE, four questions (questions 2, 5, 11 and 12) are associated with Newton's first and second law. Using the model estimation algorithm, model states for pre/post of 2006 and 2009 classes are presented in Fig. 3. Students in 2008 class entered a class with better understanding than 2006 class, but their class model state were still in the misconception region or Model 2

region. After physics instruction, model point of both 2006 and 2008 class shift slightly toward correct conception, as seen from Fig. 2. However, both classes understanding were still in the misconception region.

ITEM RESPONSES CURVES

Item response curve (IRC) derived from item response theory is a plot between percentages of students selecting a particular choice versus their total scores. IRC mainly is for evaluating quality of multiple-choice questions [11]. We use IRC to analyze class conceptual state of Newton's first and second laws in FMCE (excluding question 11). Then student responses for each question are plotted against total scores.

Figure 3 shows that Question 2 yields a step-function-like IRC [11]. This is a good question for discriminating students. Students with high conceptual understanding choose a correct answer and students with low understanding chose an incorrect answer. Also, this question helps an instructor to find out a misconception for students with low conceptual understanding. This misconception is not difficult to correct because not the whole class held this misconception.

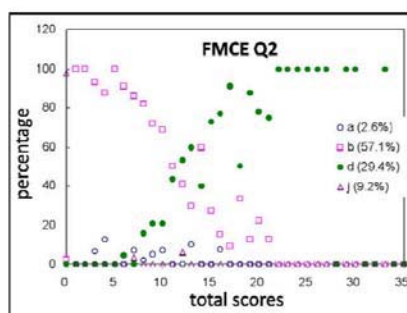


FIGURE 3. Item response curves for Question 2 from the FMCE (a correct answer choice is d).

Figure 4 shows evenly distributed responses from Question 5. Same numbers of students with high and low conceptual understanding chose incorrect answers. This result suggests that most students have misconceptions disregarding their ability levels. If we consider this result from a process of conceptual change [10], then this class conceptual understanding might be in a hybrid model state [8,10]. For students to reach a complete expert model, they need to go through a process of conceptual change [8-10]. The

hybrid state is regarded as an important transitional stage for a student to reach a complete favorable conceptual change in learning physics. For instruction, we can use this question again in class and employ Peer Instruction approach to motivate students' process of conceptual change. This question is challenging enough for students at all levels of understanding.

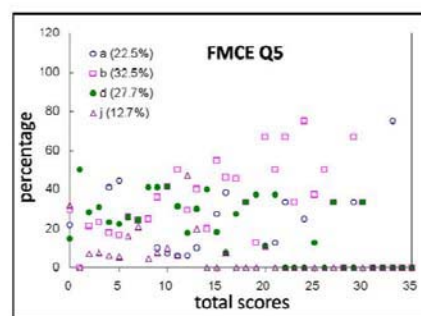


FIGURE 4. Item response curves for Question 5 from the FMCE (a correct answer choice is d).

Figure 5 shows the IRC analysis for Question 12, which has two dominated responses, choice a and choice d. This result suggests that the class has a major misconception. This question is good for identifying misconceptions that students have either before or after a physics instruction. To correct this misconception, an active teaching in physics such as Peer Instruction and Interactive Lecture Demonstration should be used in teaching this topic.

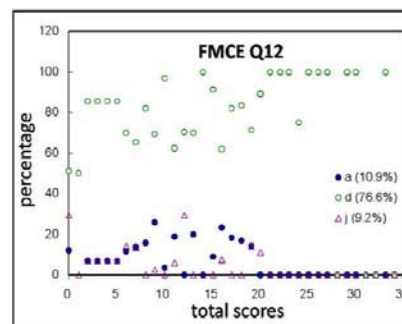


FIGURE 5. Item response curves for Question 12 from the FMCE (a correct answer choice is a).

CONCLUSION

Both analyses are good for identifying student misconceptions. Model analysis is good for determine overall misconceptions, but it is required a well-design questions to probe a certain misconception. IRC is excellent for identifying misconceptions in a specific context. IRC also is good for item analysis and for developing a diagnostic test. Different appearance of IRC can help a test developer categorize questions into:

(1) A question for discriminating students with different levels of understanding i.e. Question 2 from the FMCE.

(2) a question for identifying a hybrid model i.e. Question 5 from the FMCE.

(3) a question for spotting major misconceptions i.e. Question 12 from the FMCE.

However, IRC might be inconvenient to compare pre/post-test results from a diagnostic test.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to acknowledge Faculty of Science, Chiang Mai University, Thailand Research Fund (TRF) and the Commission on Higher Education (CHE) for financial support.

REFERENCES

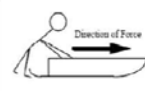
1. D. Hestenes and M. Wells, *Phys. Teach.* **30**, 159-166 (1992).
2. R. K. Thornton and D.R. Sokoloff, *Am. J. Phys.* **66**, 338-352 (1998).
3. D. P. Maloney, T. L. O'Kuma, C. Hieggelke, and A. Van Heuvelen, *Am. J. Phys.* **69**, S12-S23 (2001).
4. The Heat and Temperature Concept Evaluation (HCTE) Developed by R. Thornton and D. Sokoloff
5. R. R. Hake, *Am. J. Phys.* **66**(1), 64-74 (1998).
6. D. Hammer, *Am. J. Phys.* **64**(10), 1316-1325 (1996).
7. M. Wittmann, "Force cluster calculation template (2001.2) [Excel Template]" in *Teaching Physics with the Physics Suite CD* edited by E.F. Redish, Wiley, New York, 2001.
8. P. Wattanakasiwich, *CMU. J. Nat. Sci.*, **7**(2) : 307-315. (2008).
9. P. Wattanakasiwich and S. Ananta, *Chiang Mai J. Sci.* **36**(1): 24-32. (2009).
10. Bao, L. and E.F. Redish, *Phys. Rev. ST PER* **2**, 1-16 (2006).
11. Morris et.al., *Am. J. of Phys* **74**, 449-453 (2006).

APPENDIX: SELECTED FMCE QUESTIONS

The selected questions including Question 2, 5, 11 and 12 from the Force and Motion Conceptual Evaluationⁱ are shown here.

A sled on ice moves in the ways described in question 1-7 below. *Friction is so small that it can be ignored.* A person wearing spiked shoes standing on the ice can apply a force to the sled and push it along the ice. Choose the one force (A through G) which would keep the sled moving as described in each statement below.

You may use a choice more than once or not at all but choose only one answer for each blank. If you think that none is correct, answer choice J.

	A. The force is toward the right and is increasing in strength (magnitude). B. The force is toward the right and is of constant strength (magnitude). C. The force is toward the right and is decreasing in strength (magnitude).
	D. No applied force is needed
	E. The force is toward the left and is decreasing in strength (magnitude). F. The force is toward the left and is of constant strength (magnitude). G. The force is toward the left and is increasing in strength (magnitude).

__2. Which force would keep the sled moving toward the right at a steady (constant) velocity?

__5. The sled was started from rest and pushed until it reached a steady (constant) velocity toward the right. Which force would keep the sled moving at this velocity?

Question 11-13 refer to a coin which is tossed straight up into the air. After it is released it moves upward, reaches its highest point and falls back down again. Use one of the following choices (A through G) to indicate the force acting on the coin for each of the case described below. Answer choice J if you think that none is correct. **Ignore any effects of air resistance.**

- The force is **down** and constant.
- The force is **down** and increasing.
- The force is **down** and decreasing.
- The force is zero.
- The force is **up** and constant.
- The force is **up** and increasing.
- The force is **up** and decreasing.

__11. The coin is moving upward after it is released.

__12. The coin is at its highest point.

ⁱ Reprinted with permission from R. K. Thornton and D.R. Sokoloff, *Am. J. Phys.* **66**, 338-352 (1998). Copyright 1998, American Association of Physics Teachers.

Teaching Physics with Basketball

N. Chanpichai* and P. Wattanakasiwich*[†]

**Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science, Chiang Mai University,
Chiang Mai 50200, Thailand*

[†]Physics Education Research Unit, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

Abstract. Recently, technologies and computer takes important roles in learning and teaching, including physics. Advance in technologies can help us better relating physics taught in the classroom to the real world. In this study, we developed a module on teaching a projectile motion through shooting a basketball. Students learned about physics of projectile motion, and then they took videos of their classmates shooting a basketball by using the high speed camera. Then they analyzed videos by using Tracker, a video analysis and modeling tool. While working with Tracker, students learned about the relationships between three kinematics graphs. Moreover, they learned about a real projectile motion (with an air resistance) through modeling tools. Students' abilities to interpret kinematics graphs were investigated before and after the instruction by using the Test of Understanding Graphs in Kinematics (TUG-K). The maximum normalized gain or $\langle g \rangle$ is 0.77, which indicated students' improvement in determining displacement from the velocity-time graph. The minimum $\langle g \rangle$ is 0.20, which indicated that most students still have difficulties interpreting the change in velocity from the acceleration-time graph. Results from evaluation questionnaires revealed that students also satisfied with the instructions that related physics contents to shooting basketball.

Keywords: kinematics graph, projectile motion, drags force, video analysis

PACS: 01.40.Fk

INTRODUCTION

Previous physics education researches about student expectations revealed that after physics instruction students perceived physics phenomena disconnected from their real-life experiences [1, 2]. Unless the materials is an examples that they see as relevant or directly related to student experience [2]. This is a serious problem in terms of students' attitudes in learning physics.

To motivate students and to help them relate physics to the real world, we developed a teaching module which integrates physics with other disciplines by using basketball as a theme. Also, we integrated video-analysis software in teaching kinematics graphs to help students better understand how to interpret and to relate three kinematics graphs.

PARTICIPANTS

Participants consisted of twenty-nine Grade-9 students at Chiang Mai University demonstration school. They enrolled in a science classroom project, supported by ministry of science and technology. The students learn science and mathematics from Chiang

Mai University lecturers and learn other subjects from the demonstration-school teachers. The curriculum was particularly designed to promote scientific thinking skills through problem-based learning.

SPORT SCIENCE MODULE

In a sport science module, we integrated knowledge of physics, biology, physical education (PE) and statistics in order to teach about playing basketball. Total hours of teaching this module were 46 hours and the percentage of each subject hours is presented in Figure 1.

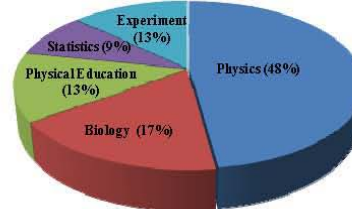


FIGURE 1. Hours distribution in the module

In physics, we taught 1-D kinematics, projectile motion, Newton's laws, and a drag force. Also, students learned how to use a video analysis freeware, called Tracker [4]. In biology, students learned about functions of tendon, joint, bone and muscle when shooting a basketball. In physical education, students learned how to play basketball, especially shooting positions and how to measure strength of different muscle groups. For example, when throwing the basketball, the important muscle group is Triceps Brachii, located on the back of the upper arm [3]. The strength of this muscle group was measured by using a hand-grip dynamometer. In statistics, they learned how to calculate a correlation coefficient and to interpret correlation from a scatter plot. This module structure is shown in Figure 2. At the end of module, students designed, conducted an experiment to study a basketball and also wrote a report.

MODEL BASKETBALL MOTION

In "Motion analysis with Tracker" activity, students learned basic function of Tracker and a

model builder function. Then they modelled a basketball motion with/without an air drag and compared with the real motion.

Making a Video

After learning basketball shooting position from physical education, students were asked to throw the basketball with a position similar to an overhand push shot, but they were instructed to fix their elbows and upper arms parallel to the ground and only moving their forearms to push the ball. To throw the ball, students' forearms had to be near the shoulder and launched the shot by a one-hand. Throughout the throw, both of their feet firmly planted on the ground and made both knees fixed with no bending.

The motion of each student was captured at 300 frames/second using a Casio EX-F1 camera. The camera was pointed at the right angles toward a plane of basketball motion, so the motion was recorded completely in two dimensions.

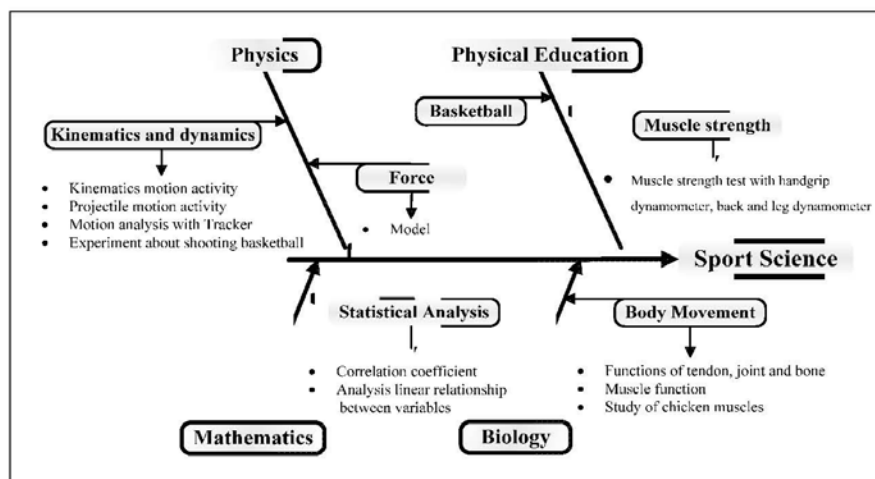


FIGURE 2. Structure of an integrated teaching module, called "sports science"

Video Analysis

Students first learned to use Tracker to analyze a projectile motion of a sample video. Then they were taught about force and Newton's laws. They also learned about air resistance, so they could model a real

trajectory of a basketball. The models of basketball motion were used to compare with the real motion data. This step was determined by using the Model Builder function in Tracker. The first dynamics model accounted only a gravitational force or the basketball weight. The second model included the air drag force exerting on the basketball while moving through air.

The drag force depends on the basketball speed, air density and basketball size and shape. This can be written in term of an equation as:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A v^2 \quad (1)$$

where C_D is the drag coefficient (at acceleration 6.0-9.0 m/s², $C_D = 0.5$) [5], A is the cross-sectional area

of the basketball (0.046 m²), ρ is the air density (at 30 °C, $\rho = 1.164$ kg/m³) [6], and a mass of basketball is 0.6 kg. The drag force direction is tangent to the basketball path. Students were instructed to input a drag force due to the air resistance into the model builder and the simulated motion with drag was displayed, as shown in Figure 3.

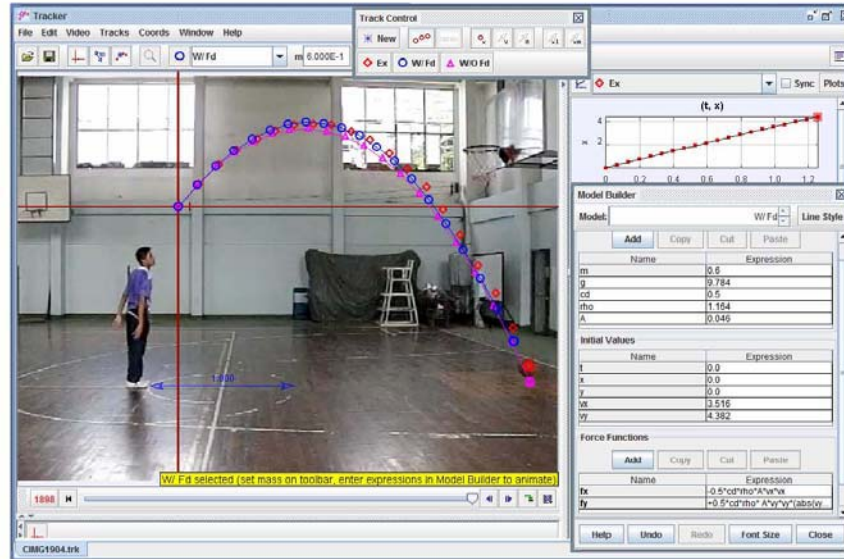


FIGURE 3. Modelling the actual basketball trajectory (♦), using a model without a drag force (▲) and a model with a drag force (●) using Dynamics Particle Model function in Tracker

RESULTS AND DISCUSSION

While working with Tracker, students learned about the relationships between three kinematics graphs through video analysis activity. Moreover, they learned about a real projectile motion (with an air resistance) through modeling tools. Students' abilities to interpret kinematics graphs were investigated before and after the instruction by using the Test of Understanding Graphs in Kinematics (TUG-K) [6]. The objectives of this test were presented in Table 1. Three items were written for each objective, so the test consists of 21 multiple-choice questions. Students' responses on both pre-test and post-test were used to

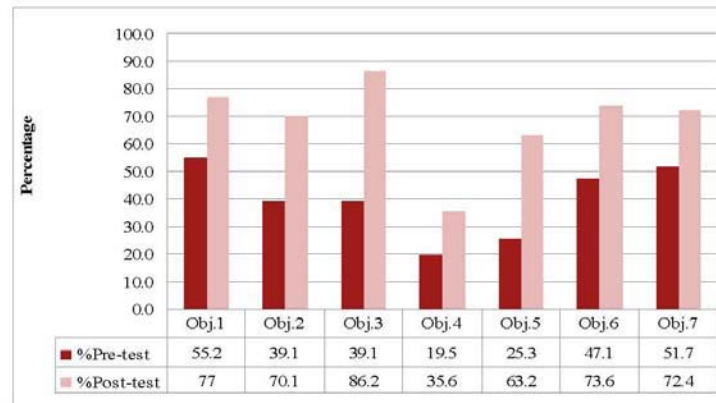
determine a normalized gain [7], can be calculated as:

$$\langle g \rangle = \frac{(\% \text{ post-test}) - (\% \text{ pre-test})}{100 - (\% \text{ per-test})} \quad (2)$$

From Figure 4, the maximum normalized gain or $\langle g \rangle$ is 0.77, which indicated students' improvement in determining displacement from the velocity-time graph. The minimum $\langle g \rangle$ is 0.20, which indicated that most students still have difficulties interpreting the change in velocity from the acceleration-time graph. This result is similar to previous findings [6]. Results from evaluation questionnaires revealed that students also satisfied with the instructions that related physics contents to shooting basketball.

TABLE 1. Objectives of the Test of Understanding Graphs Kinematics [6]

Objectives	Given	The student will
1	Position – Time Graph (x vs. t)	Determine Velocity
2	Velocity – Time Graph (v vs. t)	Determine Acceleration
3	Velocity – Time Graph (v vs. t)	Determine Displacement
4	Acceleration – Time Graph (a vs. t)	Determine Change in Velocity
5	A Kinematics Graph	Select Corresponding Graph
6	A Kinematics Graph	Select Textual Description
7	Motion Description	Select Corresponding Graph

**FIGURE 4.** Percentage scores of pre-test, post-test and normalized gain from TUG-K.

CONCLUSION

In this module, we integrated physics with biology, physics education and statistics by using basketball as a theme. In physics part, we used a video analysis program to help students understand physics concepts better, especially kinematics graph. Using TUG, we found that students improve in their overall understanding of kinematics graph. This should be the result from using Tracker in analyzing the real motion and students did the activity of analyzing motion in terms of kinematics graph.

ACKNOWLEDGMENTS

This study has been supported by the Graduate School Chiang Mai University and department of physics and material science, faculty of science. Also, we would like to acknowledge Thailand Research Fund (TRF) and the Commission on Higher Education (CHE) for financial support.

REFERENCES

1. P. Wattanakasiwith, *Thai. J. Phys* **22**(4), 15-16 (2006).
2. E. F. Redish, J.M. Saul and R.N. Steinberg, *Am. J. Phys* **66**(3), 212-224 (1998).
3. E. Kreighbaum and K. M. Barthels, *Biomechanics* (Allyn and Bacon, Boston, 1996), 4th ed., p. 578.
4. D. Brown, <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>, (4 February 2009)
5. A. Tan and G. Miller, *Am. J. Phys* **49**(6), 542-544 (1981).
6. R.J. Beichner, *Am. J. Phys* **62**(8), 750-762 (1994).
7. R. Hake, *Am. J. Phys* **66**(1), 64-74 (1998).

Development of Thermodynamic Conceptual Evaluation

P. Talaeb* and P. Wattanakasiwich*[†]

**Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science, Chiang Mai University,
Chiang Mai 50200, Thailand*

[†]Physics Education Research Unit, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

Abstract. This research aims to develop a test for assessing student understanding of fundamental principles in thermodynamics. Misconceptions found from previous physics education research were used to develop the test. Its topics include heat and temperature, the zeroth and the first law of thermodynamics, and the thermodynamics processes. The content validity was analyzed by three physics experts. Then the test was administered to freshmen, sophomores and juniors majored in physics in order to determine item difficulties and item discrimination of the test. A few items were eliminated from the test. Finally, the test will be administered to students taking Physics I course in order to evaluate the effectiveness of Interactive Lecture Demonstrations that will be used for the first time at Chiang Mai University.

Keywords: thermodynamics, conceptual understanding, physics education

PACS: 01.40.Fk

INTRODUCTION

For the past 30 years, numerous physics education research (PER) studies reveal that students enter physics classes with similar learning difficulties and preconceptions about how physical systems behave [1-4]. Most of these concepts are in conflict with accepted scientific one, so they are called misconceptions, alternative conceptions, naive conceptions or “common sense”. Many PER have investigated designed and constructed multiple-choice tests to probe these misconceptions both before and after an instruction. Physics instructors can use these results to design more effective teaching methods.

Our main objective is to develop an Interactive Lecture Demonstrations (ILDs) [2,4] in thermodynamics. To evaluate an effectiveness of ILD approach, students’ knowledge before and after teaching had to be assessed, and compared with another class teaching with a traditional approach. Therefore, we have developed a test to evaluate student understanding of basic thermodynamic concepts, called Thermodynamic Conceptual Evaluation (TCE). The development and analysis of this test will be described in this article.

TEST DESIGN

The thermodynamic conceptual evaluation aims to evaluate students’ understanding of concepts including work, heat, internal energy, the zeroth and the first law of thermodynamics and thermal processes. Most questions in this survey were obtained and adapted from previous PERs [5-8]. The first version of TCE consisted of 40 multiple-choice questions, and was reviewed by three physics faculty members at Chiang Mai University in terms of its content validity [9]. Five questions were eliminated and ten questions were modified based upon the feedback from three experts about their appropriateness and wording. The recent version of TCE consists of 35 multiple-choice questions covering three main conceptual areas in thermodynamics, as shown in Table 1.

ANALYSIS OF THE TCE

During the first semester of 2009, the TCE was administered to three groups of students. The first group consisted of 285 freshmen taking pre-test and 291 freshmen taking post-test. They were taking an introductory physics with algebra-based. The second group included 12 physics sophomores taking a thermal physics course and the third group consisted

CP1263, *International Conference on Physics Education 2009 – ICPE2009*
edited by B. Paosawatanyong and P. Wattanakasiwich
© 2010 American Institute of Physics 978-0-7354-0816-6/10/\$30.00

of 22 physics graduate students. Students were given an hour to finish the test. Test responses from the first group were used to calculate an item analysis. Also the overall quality of the test was measured by determining reliability and validity.

Item Analysis

The post-test responses of the first group were used to calculate item analysis—item difficulty and item discrimination. The difficulty for each item is displayed in Fig. 1, where 0.0 means no students answer correctly and 1.0 means all students answer correctly. Difficulty of items ranged from 0.1 to 0.9, which is a reasonable range.

Item discrimination was calculated by ranking the students according to total score and then selecting the top 27% and the lowest 27% in terms of total score. For each item, the percentage of students in the upper and lower groups answering correctly is calculated, and the difference of these percentages was a measure of item discrimination [1]. Figure 2 displays the discrimination index for each item. The index for each item ranges from -0.2 to a little over 0.6. The low discrimination index may due to that the item difficulty strongly related to the item discrimination [1]. To understand a possible cause of negative discrimination index, we investigated students' responses on item 13 and item 20. This result will be discussed on the next section.

TABLE 1. Categories of conceptual area

Conceptual Areas	Items
Temperature, Heat, and Zeroth Law of Thermodynamics	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
First Law and Process of Thermodynamics	- Isobaric process
	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14
	- Isochoric process
	17
	- Isothermal process
	15, 16
	- Adiabatic process
	22, 23, 24, 25, 26, 27, 28
	- Cyclic process
	19, 20, 21, 30, 31, 32
	- PV diagram
	18, 29, 33, 34, 35

Quality Analysis

Generally to measure the overall quality of the test, reliability and validity are determined. We calculated a KR-20 coefficient, the most common method for measuring the internal consistency or the reliability [1,2]. The KR-20 coefficient equals to 0.60 while $KR-20 \geq 0.70$ is considered to be reliable. However, this low value was due to that the TCE contains only 35 items. If we would like to increase the reliability, we have to increase more items on this test. Also this reliability value was appropriate for using this test as a tool to evaluate the ILD approach because a range of KR-20 from 0.5 to 0.6 is common for well-made classroom tests [1].

We measured two types of validity—content validity and construct validity. Three physics faculty members evaluated the content validity of TCE by rating each item on a five-point scale (1 being low and 5 being high) for reasonableness and appropriateness. Then the index of consistency was calculated based on five-rating scale. All items were received high score (> 4.0), so no items were either eliminated or modified.

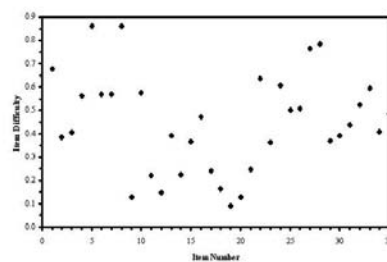


FIGURE 1. Item difficulty of each item on the TCE for 291 students.

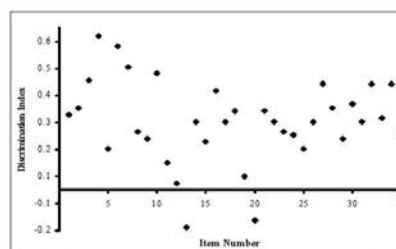


FIGURE 2. Item discrimination of each item on the TCE.

STUDENT RESULTS

The overall results of students in three groups are displayed in Table 2. The freshmen group took the TCE as a pretest and a posttest. They scored 43% on the pretest and 45% on the posttest. Additionally, data from sophomores majoring in physics were collected two weeks before finishing a thermal physics class. They scored 66%, which was highest among three groups. The last group was 12 graduate students at a Master level. They scored 52% on the TCE. The overall results from these three groups were compared on two main conceptual areas, as shown in Figure 3. The sophomores scored higher than the graduate students because they were learning thermodynamics at the time of test taking. Most graduate students had not taken any thermal physics course since they were undergraduate students.

To understand students' conceptions in thermodynamics, we analyzed each item in detail according to two main conceptual areas. We only used both pretest and posttest responses from the first group.

TABLE 2. Overall results for each student group.

Student Group	N	Mean Score (%)
Freshmen (Pre-test)	285	43
Freshmen (Post-test)	291	45
Sophomores	12	66
Graduate Students	22	52

Temperature, Heat and the Zeroth Law of Thermodynamics

Students seem to have an unclear conception of "boiling point." On item 2, students were given a statement about a boiling point as, "If I was camping on a high mountain, then I could not make a cup of tea because water does not boil at a high altitudes." Then they were given four different statements and asked to pick one statement that they mostly agreed on. 35% of students chose to agree with a statement, "The boiling point decreases when boiling at a high altitudes, but water still has a temperature of 100°C."

Ideal Gas Law

Most students seem to have difficulties with items about an ideal gas law, as displayed in Fig. 3. Item 9 and item 13, which relates to both an ideal gas law and an isobaric process, are items that students scored lowest. Item 9 is displayed on Fig. 4 (modified from [7]). 57% answered in the posttest

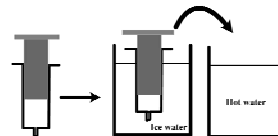
that gas pressure would increase after the syringe was submerged under hot water. The correct answer is that the pressure remains the same because of the piston is in mechanical equilibrium at all time. Therefore the gas pressure from forces exerting from a piston weight and the atmospheric pressure are the same [8]. However, most students chose an incorrect answer and provided a brief reasoning that when the volume increases, the pressure also increases. From discussing with several students, they did not associate gas pressure with a piston weight at all. This result indicated that most students had a weak association of pressure and force. This resulted in students' confusion of an isobaric process. They recalled that the isobaric process has to have a constant pressure but they did not know what condition could be considered as having a constant pressure.

Use this information to answer questions 8-10.

A syringe with frictionless piston of mass M contains an ideal gas, as shown in figure below. Initially, it is submerged in ice-cold water. Finally, it is submerged into hot water, where it reaches a thermal equilibrium.

Please answers with these choices.

a) increases b) decreases c) remains the same



9. How does the final pressure of gas compared with the initial pressure? Please provide a brief reasoning.

FIGURE 4. Item 9 of the TCE

The First Law and Thermodynamic Processes

We obtained similar results as compared with previous physics education researches [5-6]. 53% of students answered incorrectly about work done in an isobaric process, having a volume expansion. Students confused about the sign of work done by gas. After briefly interviewing students, we found out that they were confused about a definition of work in physics with a definition in chemistry. In chemistry, they defined work as the work done on gas by the environment, so the sign of work are opposite.

From item 19, 20, 29, 30, 31 and 35, 30% of students chose an incorrect answer. This answer indicated that they considered work and heat depending on a thermodynamic state or being energy of a state, not energy transfer. Students seemed to confuse heat transfer in a closed system with heat transfer inside an isolated system.

Question 32 and 34 aimed to evaluate students' understanding of internal energy. We found that 30% of students chose an incorrect answer. This answer indicated that students considered the internal energy as transfer energy of a system, not energy of a state.

From item 14, 16, 17, 20, 31 and 35, students had difficulties applying the first law of thermodynamics to determine heat or internal energy in a different process. Further investigation such as an interview is

required to gain insightful information about students' difficulties.

CONCLUSION

The TCE is a conceptual evaluation of students' basic knowledge in thermodynamics. The results obtained from this test are used in developing an interactive lecture demonstration on topics of heat transfer, thermodynamic process and heat engines [7]. To evaluate an effectiveness of these ILDs, the TCE will be administered to the classes teaching with ILD and compared with this class teaching traditionally.

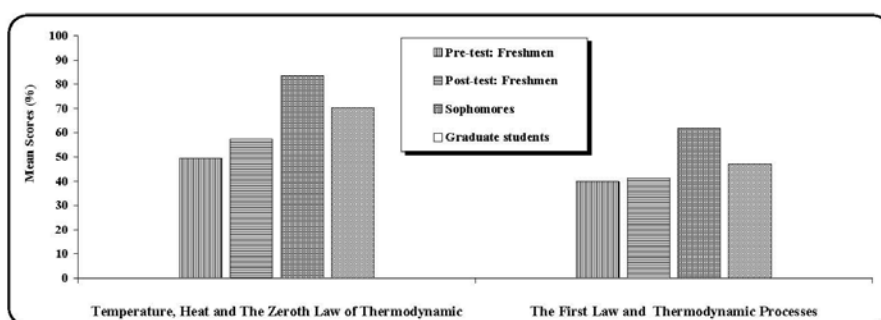


FIGURE 3. Mean score in each conceptual area for the different student groups.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank physics faculty members for reviewing our work. We would like to acknowledge the Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, the Faculty of Science, the Graduate School of Chiang Mai University, Thailand Research Fund (TRF) and the Commission on Higher Education (CHE) for financial support.

REFERENCES

1. D. P. Maloney, T. L. O'Kuma, C. J. Hieggelke, A. V. Heuvelen, *Am. J. Phys. Suppl.* **69**, S12 (2001).
2. D. R. Sokoloff, R. K. Thornton, *Phys. Teach.* **35**, 340 (1997).
3. S. Yeo, M. Zadnik, *Phys. Teach.* **39**, 496 (2001).
4. M. Niaz, *Journal of Science Education and Technology* vol. 15(3)(2006), p. 269-276
5. M. E. Loverude, C. H. Kautz, P. R. L. Heron, *Am. J. Phys.* **70**, 137 (2002).
6. C. H. Kautz, M. E. Loverude, P. R. L. Heron, L. C. McDermott, *Am. J. Phys.* **73**, 1055 (2005).
7. D. P. Jackson, P. W. Laws, *Am. J. Phys.* **74**, 91 (2006).
8. The Heat and Temperature Concept Evaluation (HCTE) Developed by R. Thornton and D. Sokoloff
9. Thai version of this exam can be found at <http://www.physics.science.cmu.ac.th/teachingphysics>

Assessing Student Conceptual Understanding of Force and Motion with Model Analysis

Pornrat Wattanakasiwich*

Department of Physics, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author. E-mail: pornratw@chiangmai.ac.th

ABSTRACT

This study aims to assess student conceptual model of understanding about force and motion by employing a new analysis method, called "model analysis". This method was established from qualitative researches in order to qualitatively represent a framework of student understanding. With model analysis, we can obtain students' alternative knowledge and the probabilities for students to use such knowledge in a range of equivalent contexts. The model analysis consists of two algorithms—concentration factor and model estimation. This paper only presents results from using the model estimation algorithm.

In order to use the model analysis efficiently, the data must be collected from a well-designed multiple-choice test. The Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE), the most well-known test for probing mechanics conceptual understanding was administered to 746 engineering freshmen taking an introductory physics with calculus at Chiang Mai University. Only 545 complete student responses were analyzed by the model analysis.

The class model density matrices for both pre/post scores were constructed. In order to determine characteristics of the pre/post class, eigenvalue decomposition was used to analyze both matrices. Each matrix had a large eigenvalue (> 0.65), indicating the dominant features of the single-student model vectors. This model eigenvectors well represented the overall model structure of pre/post class. Then the pre/post class model states were characterized by a class model point on a model plot. Both pre/post points were located in the incorrect model region, so both pre/post class states were still in a misconception state. However, there was a small shift of post-class model point towards the correct model, indicating a small improvement of overall understanding.

Key words: Model Analysis, FMCE, Conceptual Understanding, Force and Motion

INTRODUCTION

Over three decades, results from physics education research (PER) indicate that most students come to a physics classroom with misconceptions, originating

from their misinterpretations of everyday's experience and previous instruction (McDermott and Redish, 1999). These misconceptions affect how students respond to instruction, so physics instructors should acquire student prior understandings in order to design more-effective teaching methods. In PER, free-response questions, interviews and multiple-choice questions are often used to probe student understandings.

In a large-scale setting, multiple-choice test is the easiest to analyze and the cheapest to conduct, but there is a lack of efficient methods to analyze student responses. Many physics education researchers have developed various multiple-choice conceptual tests to detect student misconceptions such as Force Concept Inventory (FCI) (Hestenes et al., 1992) and Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE) (Thornton and Sokoloff, 1998). Many studies employed these instruments to measure student understanding, however, the results from these instruments tend to be used to obtain overall scores and average pre/post gains (Hake, 1998; Huffman, 1998; Savinainen and Philip, 2002; Bonham et al., 2003).

The typical analysis of the multiple-choice tests not only fails to provide information about students' misconceptions but also ignores students' wrong answers containing a large amount of valuable information. Thus, the model analysis was developed to extract information about models of student understanding from their responses to multiple-choice test (Bao and Redish, 2006). This method is most effective in detecting well-defined misconceptions. These misconceptions were documented from qualitative researches that students often enter a classroom with a few number of strong naïve conceptions. These misconceptions are often in conflict with or encourage misinterpretations of the expert view. One of the well-defined misconceptions is about force and motion. Therefore, this study aims to investigate students' conceptions of force and motion by using the model analysis.

METHODOLOGY

Settings

The data were collected during the first semester of academic year 2006. The FMCE pre- and post-tests were given to students taking physics for engineering and agro-industrial students I (PHYS207105) on the first and the last day of class. Students were given 45 minutes to complete the FMCE. There were 746 students taking both pre- and post-test. After disregarding incomplete responses, only data from 545 students were analyzed by the model analysis.

Instrument

The FMCE was developed by Thornton and Sokoloff (1998). Since then it has become one of the most popular instruments used to probe student understanding of Newtonian mechanics. This test consists of 47 multiple-choice single-response items and one open-ended question. FMCE items can be categorized into five clusters of basic mechanics concepts—velocity, acceleration, Newton's first and second laws, Newton's third law and energy. For each item of FMCE, if students

think that none of the choice is correct, they can choose to answer choice J. The Thai version of FMCE translated by Physics Education Network of Thailand (PENThai) was used to collect data.

TRADITIONAL ANALYSIS

The traditional and typical quantitative analysis of multiple-choice test was used in order to compare the results with the one using model analysis. Student responses were input into an excel template designed by Wittmann (2001), then the percentage of students' correct responses on pre-and post-test were plotted according to different clusters and overall scores, as shown in Figure 1. The percentage gain is calculated as follows:

$$\% \text{ Gain} = \frac{\% \text{ post} - \% \text{ pre}}{(100 - \% \text{ pre})} \quad (1)$$

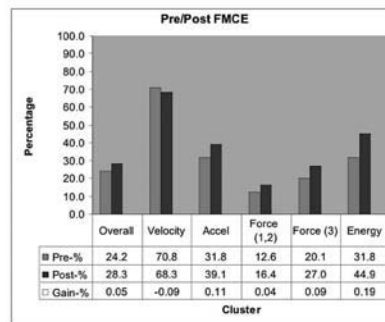


Figure 1: Percentage of Pre/Post FMCE scores categorized into overall and five concept clusters.

From Figure 1, Newton's 1st and 2nd laws cluster has the lowest percent correction in both pre/post test scores. Therefore, using the model analysis should provide useful results of student's understanding model in this topic.

MODEL ANALYSIS

The model analysis consists of two algorithms—concentration factor and model estimation. The concentration factor shows a distribution of student responses, whether they are clustered on certain choices or scattered among all choices. The model estimation is a quantitative evaluation of student models of understandings derived from a numerical analysis of student responses on multiple-choice tests. Since the concentration factor of student responses on FMCE

has already been reported (Wattanakasiwich, 2006), this paper only presents the result from using the model estimation algorithm.

Theoretical Framework: Student Model State

It is a continuing effort among educational researchers to look for new ways to understand student learning process. However, learning is a complicated process, so it could not be measured directly. We can only model student ways of thinking and further improve our understanding of student learning. From physics teaching experiences, students are not consistent in solving problems and sometimes even use contradictory ideas to answer similar questions. In many cases when a similar concept is presented under different physical contexts, students may have difficulties in identifying the correct physics. They tend to use pieces of knowledge that are induced by the surface features of the specific contexts. Therefore, students seem to function as if they hold a mixture of different models (a correct one and incorrect ones) without knowing the appropriate situation in which to apply them.

From results of cognitive research, it may be of great interest to consider the student as always being in a consistent mental state. For students to reach a complete expert model, they need to go through a process of conceptual change, as shown in Figure 2. The mixed state is regarded as an important transitional stage for a student to reach a complete favorable conceptual change in learning physics. Hence, measurements of such mixed states have important values in assessment and instruction (Bao and Redish, 2006). Students in this mixed model state (sometimes referred to as a hybrid model) often combine certain parts of the new knowledge and parts of their existing knowledge. It is a solution of reconciliation to produce a locally-consistent model for two types of knowledge which are otherwise contradictory.

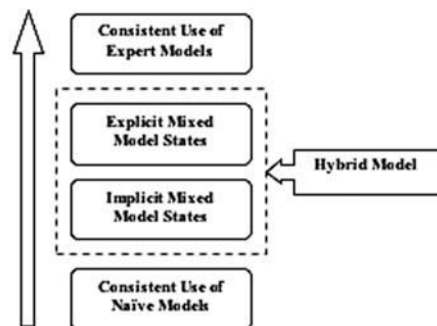


Figure 2: A process of model development leading to a conceptual change.

When students answer a particular physics question, the context of that question triggers them to apply a certain model. The process of model activation is complicated, so we cannot measure students' model states directly. Bao and Redish

(2006) proposed that the probability of activating model state could be obtained by analyzing students' responses to a well-designed instrument. In other words, the process of model activation could be treated as a process of quantum measurement. Accordingly, the mental state of the student can be represented with respect to a set of common models in a linear vector space, referred to as *the model space*. Each common model is associated with an element of an orthonormal basis, e_n as shown in Figure 3. This supports the fact that different mental models can have similar features. Bao and Redish (2006) indicated that studies in neuroscience about neural networks stimulated the ideas of using this representation.

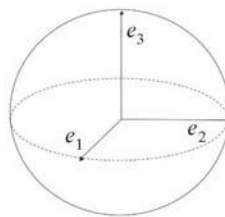


Figure 3: A model space consisting of three orthogonal model vectors— e_1 , e_2 and e_3 .

Construct Student Model State

In order to construct student model state, student responses from a well-designed multiple-choice test are required. The “well-designed” instrument has to be developed so that the choices of the question are designed to probe the different common student models. These models have been revealed from qualitative physics education research. There are 2 common models of force and motion found from PER and a null model refers to other ideas or incomplete answers:

Model 1: It is necessary to have a force to maintain motion and there is no such thing as a “force in the direction of motion.” (Correct)

Model 2: A force is needed to maintain motion. This model also includes the ideas that there is always a force in the direction of motion and that the force is directly related to the velocity of motion. (Incorrect)

Model 3: Null model

In the FMCE, four questions (questions 2, 5, 11 and 12) are associated with Newton's first and second law. When analyzing each question, we can identify distracters associating with a particular model, as shown in Table 1.

Table 1: Distracters of force-motion questions with a specific model.

Question	Model 1	Model 2	Model 3	The k th student
2	D	B	Others	A
5	D	B	Others	B
11	A	G	Others	G
12	A	D	Others	A

The last column represents choices that an arbitrary kth student might answer for each question. From this student's answers, we can construct the kth student's model state or u_k , as in (2), where m is number of questions associated with the specific concept, and n_1, n_2, n_3 are numbers of choices corresponding with Model 1, Model 2 and Model 3, respectively (Bao and Redish, 2006).

$$u_k = \frac{1}{\sqrt{m}} \begin{bmatrix} \sqrt{n_1^k} \\ \sqrt{n_2^k} \\ \sqrt{n_3^k} \end{bmatrix} \Rightarrow u_k = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ \sqrt{2} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Construct Class Model Density Matrix

After constructing the kth student's model state, his model density matrix can be determined as below:

$$D_k = u_k \otimes u_k^T = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} n_1^k & \sqrt{n_1^k n_2^k} & \sqrt{n_1^k n_3^k} \\ \sqrt{n_2^k n_1^k} & n_2^k & \sqrt{n_2^k n_3^k} \\ \sqrt{n_3^k n_1^k} & \sqrt{n_3^k n_2^k} & n_3^k \end{bmatrix} \quad (3)$$

Then each student's model density matrix is summed up to get a class model density matrix as in (4), where N is total number of students in the class.

$$D = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^M D_k \quad (4)$$

After calculating the class model density matrix for both pre- and post-test, eigenvalues and eigenvectors for both matrices were calculated by using MATLAB program, as shown in Table 2.

Table 2: The pre/post class model density matrix, their eigenvalues and their eigenvectors.

	Pre-			Post-		
Class model density matrix	$\begin{bmatrix} 0.11 & 0.12 & 0.05 \\ 0.12 & 0.71 & 0.22 \\ 0.22 & 0.22 & 0.18 \end{bmatrix}$			$\begin{bmatrix} 0.14 & 0.13 & 0.06 \\ 0.13 & 0.68 & 0.19 \\ 0.19 & 0.19 & 0.17 \end{bmatrix}$		
Eigenvalues	0.82	0.05	0.13	0.79	0.06	0.15
Eigenvectors	$\begin{bmatrix} -0.18 \\ -0.91 \\ -0.37 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -0.29 \\ -0.26 \\ 0.92 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.13 \\ -0.38 \\ 0.92 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -0.22 \\ -0.91 \\ -0.35 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -0.34 \\ -0.21 \\ 0.92 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.31 \\ -0.39 \\ 0.87 \end{bmatrix}$

The characteristic of models that students in the class used can be obtained by analyzing these matrices. Both the similarity of individual student's model vectors and the number of students with similar model vectors influence the eigenvalue, especially if the class model density matrix has a dominant and large eigenvalue (> 0.65). This implies that most students in the class have similar model vectors, referred to as a *primary vector* (Bao and Redish, 2006). From Table 2, both pre/post matrices have dominant eigenvalues, so both classes have primary vectors which give a good evaluation of the model structure of both classes. Bao and Redish (2006) suggested to use a model plot to further analyze the primary vector.

Model Plot

The model plot is for representing the class model state with respect to common models. The model plot, in this case, is a two-dimensional graph because there are two common models used in answering the force and motion questions. The class model states or eigenvectors with dominant eigenvalues can be represented as a class model point on the model plot with a coordinate (P_1, P_2) . From Table 3, vertical and horizontal components for pre/post class model point are calculated and plotted on the model plot as shown in Figure 4.

Table 3: The pre/post dominant eigenvalues, class model eigenvectors and vertical/horizontal components for the class model point.

	Pre-	Post-
Eigenvalues	0.82	0.79
Eigenvectors	$\begin{bmatrix} -0.18 \\ -0.91 \\ -0.37 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -0.22 \\ -0.91 \\ -0.35 \end{bmatrix}$
Model Point		
A vertical component	$P_1 = (0.82)^2(-0.18)^2 = 0.02$	$P_1 = (0.79)^2(-0.22)^2 = 0.03$
A horizontal component	$P_2 = (0.82)^2(-0.91)^2 = 0.56$	$P_2 = (0.79)^2(-0.91)^2 = 0.52$

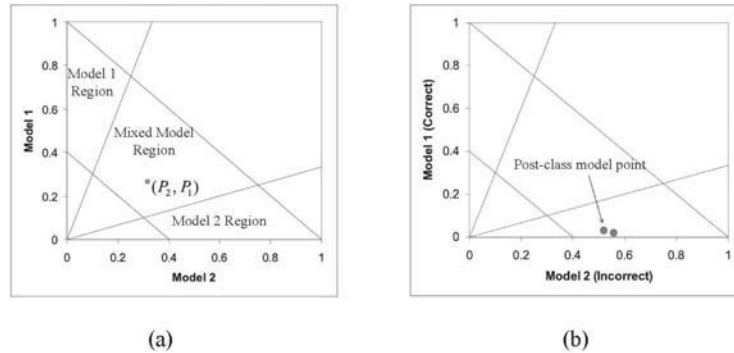


Figure 4: (a) Meaning of some regions in the model plot.
(b) Model plot comparing between pre- and post-class model points.

From the model plot in Figure 4 (b), the post-class model point is located in the Model 2 region. This indicates that most students in the class still had a misconception about force and motion. Due to the model analysis, the characteristics of this misconception are known, so an instructor can use this information to improve teaching of this class. A small shift of post-class model point towards the correct model indicates a small improvement of overall class understanding in this topic.

CONCLUSION

In this paper, the author used the model analysis to analyze quantitative data in order to obtain a qualitative result of student conceptual understanding of force and motion. This method is useful in analyzing student's knowledge states in large classes with well-designed multiple-choice questions. With the measurement data from FMCE, a single-student model state can be created. This state represents student probabilities in applying the different common models. Then the individual student model states are summed up over the class to create the class model density matrix. Using the eigenvalue decomposition, the eigenvalues and eigenvectors of the density matrix are obtained, and these give information about the state of the class's knowledge. The class model point is obtained and plotted on the model plot. This is helpful in providing clear information about class model state. From the result of this study, only small progress in understanding was found by comparing the pre/post class model points. However, the class model state was still in a misconception region even after a proper instruction. This information is extremely helpful in notifying the instructor and can be used to improve a future instruction.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to acknowledge the Faculty of Science, Chiang Mai University, Thailand Research Fund (TRF) and the Commission on Higher Education (CHE) for financial support. The author also would like to thank the PENThai team for providing the Thai version of FMCE.

REFERENCES

- Bao, L., and E.F. Redish. 2002. Concentration analysis: A quantitative assessment of student states. *American Journal of Physics* 69(7): S45-S53.
- Bao, L., and E.F. Redish. 2006. Model analysis: Representing and assessing the dynamics of student learning. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research* 2: 1-16.
- Bonham, S., D.L. Deardorff, and R.J. Beichner. 2003. Comparison of student performance using web and paper-based homework in college-level physics. *Journal of Research in Science Teaching* 40(10): 1050-1071.
- Hake, R.R. 1998. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics* 66(1): 64-74.
- Hammer, D. 1996. More than misconceptions: Multiple perspectives on student knowledge and reasoning, and an appropriate role for education research. *American Journal of Physics* 64(10): 1316-1325.
- Hestenes, D., M. Wells, and G. Swackhammer. 1992. Force concept inventory. *Physics Teacher* 30: 141-158.
- Huffman, D. 1998. Effect of explicit problem solving instruction on high school students' problem-solving performance and conceptual understanding of physics. *Journal of Research in Science Teaching* 34(6): 551-570.
- McDermott, L.C., and E.F. Redish. 1999. Resources Letter PER-01: Physics Education Research. *American Journal of Physics* 67(9): 755-767.
- Savinainen, A., and S. Philip. 2002. The force concept inventory: a tool for monitoring student learning. *Physics Education* 37: 45-52.
- Thornton, R.K., and D.R. Sokoloff. 1998. Assessing student learning of Newton's laws: The force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. *American Journal of Physics* 66(4): 338-352.
- Wattanakaswich, P. 2006. Investigation of student understanding of force and motion by using concentration analysis. *Proceedings of The 32nd Congress on Science and Technology of Thailand*, 10-12 Oct 2006. Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok.
- Wittmann, M. 2001. Force cluster calculation template (2001.2) [Excel Template]. In E.F. Redish (ed) *Teaching Physics with the Physics Suite CD*. Wiley, New York.

ภาคผนวก ข:
แบบทดสอบความเข้าใจฟิสิกส์ในหัวข้อ
กลศาสตร์ เทอร์โมไดนามิกส์ และไฟฟ้ากระแสตรง

**แบบทดสอบความเข้าใจฟิสิกส์ในหัวข้อ
กลศาสตร์ เทอร์โมไดนามิกส์ และไฟฟ้ากระแสตรง**

วัตถุประสงค์: เพื่อวัดความเข้าใจฟิสิกส์ของนักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายและอุดมศึกษาชั้นปีที่ 1 โดยเน้นหัวข้อกลศาสตร์ เทอร์โมไดนามิกส์ และไฟฟ้ากระแสตรง ที่นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน

คำชี้แจง:

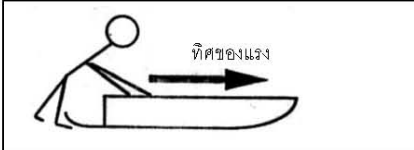
1. แบบทดสอบความเข้าใจนี้เป็นส่วนหนึ่งในการทำวิจัย เพื่อเก็บข้อมูลความเข้าใจฟิสิกส์พื้นฐานของหน่วยวิจัยฟิสิกส์ศึกษา (Physics Education Research Unit) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2. ขอความกรุณานักเรียนตอบคำถามทุกข้อ ตามความเข้าใจของนักเรียน
3. ข้อมูลที่ได้จากการตอบแบบทดสอบความเข้าใจของนักเรียน จะถูกนำเสนอในเชิงสถิติ โดยผลสอบของนักเรียนแต่ละคนจะถูกเก็บเป็นความลับ และไม่มีผลต่อคะแนนเรียนของผู้ตอบแบบสอบถาม
4. แบบทดสอบความเข้าใจมีทั้งหมด 70 ข้อ ใช้เวลาในการตอบ 120 นาที
5. ให้ทำแบบทดสอบลงในกระดาษคำตอบที่เตรียมไว้ให้

คำถามส่วนใหญ่ในแบบทดสอบได้รับการแปลและเรียบเรียงโดยกลุ่ม PENThai จากมหาวิทยาลัยมหิดล

แบบทดสอบความเข้าใจฟิสิกส์ในหัวข้อ
กลศาสตร์ เทอร์โมไดนามิกส์ และไฟฟ้ากระแสตรง

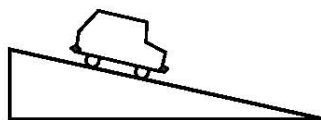
คำถามข้อ 1 – 7 เลื่อนน้ำแข็งเคลื่อนที่บนพื้นน้ำแข็งซึ่งแรงเสียดทานมีขนาดน้อยมากจนไม่ต้องนำมาคิด คนใส่รองเท้าที่พื้นรองเท้ามีปุ่มแหลม ๆ สามารถยึบนน้ำแข็งและออกแรงดันเลื่อนให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นน้ำแข็งได้ จงเลือกแรงหนึ่งแรง (จาก A ถึง G) ที่กระทำต่อเลื่อน ซึ่งสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของเลื่อนในแต่ละข้อ

ใช้ตัวเลือกได้มากกว่าหนึ่งครั้งหรือไม่ใช้เลยก็ได้ และเลือกได้เพียงคำตอบเดียวในแต่ละข้อ ให้ตอบตัวเลือก J ถ้าไม่มีตัวเลือกใดถูก

	A. แรงมีทิศไปทางขวาและมีขนาดที่กำลังเพิ่มขึ้น B. แรงมีทิศไปทางขวาและมีขนาดที่คงตัว C. แรงมีทิศไปทางขวาและมีขนาดที่กำลังลดลง
	D. ไม่จำเป็นต้องมีแรงกระทำ
	E. แรงมีทิศไปทางซ้ายและมีขนาดที่กำลังลดลง F. แรงมีทิศไปทางซ้ายและมีขนาดคงตัว G. แรงมีทิศไปทางซ้ายและมีขนาดที่กำลังเพิ่มขึ้น

1. เลื่อนกำลังเคลื่อนที่ไปทางขวาโดยเคลื่อนที่เร็วขึ้นด้วยอัตราสม่ำเสมอ (ความเร่งคงตัว)
2. เลื่อนกำลังเคลื่อนที่ไปทางขวาด้วยความเร็วคงตัว
3. เลื่อนกำลังเคลื่อนที่ไปทางขวา โดยเคลื่อนที่ช้าลงด้วยอัตราสม่ำเสมอ (ความเร่งคงตัว)
4. เลื่อนกำลังเคลื่อนที่ไปทางซ้าย โดยเคลื่อนที่เร็วขึ้นด้วยอัตราสม่ำเสมอ (ความเร่งคงตัว)
5. เลื่อนถูกดันให้เคลื่อนที่จากหยุดนิ่ง จนกระทั่งมีความเร็วขนาดหนึ่ง ไปทางขวา แรงใดที่จะทำให้เลื่อนยังคงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วนี้
6. เลื่อนกำลังเคลื่อนที่ช้าลงด้วยอัตราสม่ำเสมอและมีความเร่งไปทางขวา
7. เลื่อนกำลังเคลื่อนที่ไปทางซ้าย โดยเคลื่อนที่ช้าลงด้วยอัตราสม่ำเสมอ (ความเร่งคงตัว)

คำถามข้อ 8 – 10 รถของเล่นถูกผลักอย่างเร็วให้เคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียง หลังจากปล่อยมือ รถเคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียงไปจนถึงตำแหน่งสูงสุดและเคลื่อนที่กลับลงมาอีก แรงเสียดทานมีขนาดน้อยมากจนไม่ต้องนำมาคิด



ให้ใช้ตัวเลือกต่อไปนี้ (จาก A ถึง G) เพื่อแสดง**แรงสุทธิ**หรือ**แรงลัพธ์**ที่กระทำต่อรถในแต่ละกรณีที่มีบรรยายข้างล่าง ให้ตอบตัวเลือก J ถ้าไม่มีตัวเลือกใดถูก

- | | |
|--|--|
| (A) แรงสุทธิคงตัว ทิศลงตามพื้นเอียง | (E) แรงสุทธิคงตัว ทิศขึ้นตามพื้นเอียง |
| (B) แรงสุทธิมีขนาดที่กำลังเพิ่มขึ้น
ทิศลงตามพื้นเอียง | (D) แรงสุทธิเป็นศูนย์ |
| (C) แรงสุทธิมีขนาดที่กำลังลดลง
ทิศลงตามพื้นเอียง | (F) แรงสุทธิมีขนาดที่กำลังเพิ่มขึ้น
ทิศขึ้นตามพื้นเอียง |
| | (G) แรงสุทธิมีขนาดที่กำลังลดลง
ทิศขึ้นตามพื้นเอียง |

8. รถกำลังเคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียงหลังจากปล่อยมือ
9. รถอยู่ที่จุดสูงสุด
10. รถกำลังเคลื่อนที่ลงพื้นเอียง

คำถามข้อ 11 – 13 โยนเหรียญ ๆ หนึ่งขึ้นไปตรง ๆ หลังจากที่ยื่นเหรียญสุดมือ เหรียญเคลื่อนที่ขึ้นไปจนถึงจุดสูงสุดแล้วตกกลับลงมาอีก ให้ใช้ตัวเลือกต่อไปนี้ (จาก A ถึง G) เพื่อบอกว่า**แรง**ใดกำลังกระทำต่อเหรียญในแต่ละกรณีที่มีบรรยายข้างล่าง ให้ตอบตัวเลือก J ถ้าไม่มีตัวเลือกใดถูก **ไม่ต้องคำนึงถึงผลเนื่องจากแรงต้านอากาศ**

- A. แรงมีทิศลงและมีขนาดคงตัว
- B. แรงมีทิศลงและมีขนาดที่กำลังเพิ่มขึ้น
- C. แรงมีทิศลงและมีขนาดที่กำลังลดลง
- D. แรงเป็นศูนย์
- E. แรงมีทิศขึ้นและมีขนาดคงตัว
- F. แรงมีทิศขึ้นและมีขนาดที่กำลังเพิ่มขึ้น
- G. แรงมีทิศขึ้นและมีขนาดที่กำลังลดลง

11. เหรียญกำลังเคลื่อนที่ขึ้นหลังจากที่ถูกโยน
12. เหรียญอยู่ที่จุดสูงสุด
13. เหรียญกำลังเคลื่อนที่ลง

คำถามข้อ 14 – 16 โยนเหรียญขึ้นไปตรง ๆ หลังจากที่ยื่นเหรียญสุดมือ เหรียญเคลื่อนที่ขึ้นไปจนถึงจุดสูงสุดแล้วตกกลับลงมาอีก ให้ใช้ตัวเลือกต่อไปนี้ (จาก A ถึง G) เพื่อบอก**ความเร่ง**ของเหรียญในแต่ละกรณีที่มีบรรยายข้างล่าง โดยให้ใช้**ทิศขึ้น**เป็นทิศบวก ตอบตัวเลือก J ถ้าไม่มีตัวเลือกใดถูก

- A. ความเร่งมีทิศลงและมีขนาดคงตัว
- B. ความเร่งมีทิศลงและมีขนาดที่กำลังเพิ่มขึ้น
- C. ความเร่งมีทิศลงและมีขนาดที่กำลังลดลง
- D. ความเร่งเป็นศูนย์

- E. ความเร่งมีทิศบวกและมีขนาดคงตัว
- F. ความเร่งมีทิศบวกและมีขนาดที่กำลังเพิ่มขึ้น
- G. ความเร่งมีทิศบวกและมีขนาดที่กำลังลดลง

- 14. เหยื่อที่กำลังเคลื่อนที่ขึ้นหลังจากถูกโยน
- 15. เหยื่ออยู่ที่จุดสูงสุด
- 16. เหยื่อกำลังเคลื่อนที่ลง

คำถามข้อ 17 – 21 เป็นการสนระหว่างรถยนต์และรถบรรทุก สำหรับการชนในแต่ละข้อ (17 – 21) ข้างล่าง ให้เลือกหนึ่งคำตอบจากตัวเลือก A ถึง J ซึ่งบรรยายแรงระหว่างรถยนต์และรถบรรทุกที่ถูกต้องที่สุด

- A. รถบรรทุกออกแรงกระทำต่อรถยนต์ด้วยขนาดที่มากกว่าแรงที่รถยนต์กระทำต่อรถบรรทุก
- B. รถยนต์ออกแรงกระทำต่อรถบรรทุกด้วยขนาดที่มากกว่าแรงที่รถบรรทุกกระทำต่อรถยนต์
- C. รถทั้งสองไม่ได้ออกแรงกระทำต่อกันเลยรถยนต์ถูกชนเพียงเพราะว่ามันไปอยู่ขวางทางรถบรรทุก
- D. รถบรรทุกออกแรงกระทำต่อรถยนต์ แต่รถยนต์ไม่ได้ออกแรงกระทำต่อรถบรรทุก
- E. รถบรรทุกออกแรงกระทำต่อรถยนต์ด้วยขนาดเท่ากับแรงที่รถยนต์กระทำต่อรถบรรทุก
- F. ข้อมูลที่ให้มาไม่เพียงพอที่จะเลือกคำตอบข้อใดข้อหนึ่งจากข้างบนได้
- J. ไม่มีข้อใดถูก

ในคำถามข้อ 17 – 19 รถบรรทุกหนักกว่ารถยนต์มาก ๆ



- 17. รถทั้งคู่กำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่ากันขณะที่ชนกัน
- 18. รถยนต์กำลังเคลื่อนที่เร็วกว่ารถบรรทุกมาก ๆ
- 19. รถบรรทุกอยู่นิ่งขณะที่รถยนต์เคลื่อนที่เข้าชน

ในคำถามข้อ 20 – 21 เปลี่ยนรถบรรทุกเป็นรถปิกอัพซึ่งมีน้ำหนักเท่ากับรถยนต์



- 20. ทั้งรถปิกอัพและรถยนต์กำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่ากันขณะที่ชนกัน
- 21. รถปิกอัพอยู่นิ่งขณะที่รถยนต์เคลื่อนที่เข้าชน

คำถามข้อ 22 – 25 รถบรรทุกคันใหญ่ซึ่งจอดเสียอยู่บนถนนถูกดันกลับเข้าเมืองด้วยรถยนต์เล็ก



เลือกตัวเลือก A ถึง J ข้างล่างที่บรรยายแรงระหว่างรถยนต์และรถบรรทุกในแต่ละสถานการณ์ (ข้อ 22-25) ได้ถูกต้อง

- A. แรงที่รถยนต์ดันรถบรรทุกมีขนาดเท่ากับแรงที่รถบรรทุกดันรถยนต์กลับ
- B. แรงที่รถยนต์ดันรถบรรทุกมีขนาดน้อยกว่าแรงที่รถบรรทุกดันรถยนต์กลับ
- C. แรงที่รถยนต์ดันรถบรรทุกมีขนาดมากกว่าแรงที่รถบรรทุกดันรถยนต์กลับ
- D. เนื่องจากรถยนต์ติดเครื่องอยู่ดังนั้นรถยนต์จึงออกแรงกระทำต่อรถบรรทุก แต่เพราะเครื่องยนต์รถบรรทุกดับอยู่ รถบรรทุกจึงไม่สามารถออกแรงดันรถยนต์กลับได้
- E. รถทั้งสองไม่ได้ออกแรงกระทำซึ่งกันและกันเลย รถบรรทุกถูกดันไปข้างหน้าเพราะว่ามันไปอยู่ขวางทางรถยนต์
- J. ไม่มีข้อใดถูก

22. รถยนต์กำลังดันรถบรรทุกแต่ไม่สามารถทำให้รถบรรทุกเคลื่อนที่ได้

23. ขณะที่รถยนต์กำลังดันรถบรรทุก รถยนต์กำลังเร่งเครื่องเร็วขึ้นเพื่อให้ได้อัตราเร็วที่ต้องการแล่น

24. รถยนต์ซึ่งกำลังดันรถบรรทุกกำลังแล่นด้วยอัตราเร็วที่ต้องการและยังคงเคลื่อนที่ต่อไปด้วยอัตราเร็วเดิม

25. รถยนต์ซึ่งกำลังดันรถบรรทุกกำลังแล่นด้วยอัตราเร็วที่ต้องการอยู่ขณะที่คนขับรถบรรทุกเหยียบเบรกและทำให้ รถยนต์เคลื่อนที่
ช้าลง

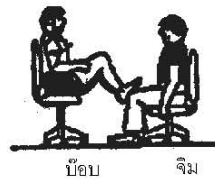
26. นักเรียนสองคนนั่งอยู่บนเก้าอี้สำนักงานที่เหมือนกันทุก

ประการและหันหน้าเข้าหากัน บ๊อบมีมวล 95 kg ขณะที่จิมมีมวล 77 kg

บ๊อบวางเท้าเปล่าของเขากับเท้าของจิมดังที่แสดงให้เห็นในรูปด้านขวามือ

บ๊อบดันเท้าของเขาออกไปทันทีทันใดทำให้เก้าอี้ทั้งสองเลื่อน ในขณะที่

เท้าของบ๊อบยังคงอยู่กับเท้าของจิม ข้อใดต่อไปนี้เป็นข้อที่ต้อง



- A. นักเรียนทั้งสองไม่ได้ออกแรงกระทำต่อกันเลย
- B. บ๊อบออกแรงกระทำต่อจิม แต่จิมไม่ได้ออกแรงใด ๆ กระทำต่อบ๊อบเลย
- C. นักเรียนแต่ละคนต่างออกแรงกระทำซึ่งกันและกัน แต่จิมออกแรงมากกว่า
- D. นักเรียนแต่ละคนต่างออกแรงกระทำซึ่งกันและกัน แต่บ๊อบออกแรงมากกว่า
- E. นักเรียนแต่ละคนออกแรงขนาดเท่ากันกระทำต่อกันและกัน
- J. ไม่มีข้อใดถูก

27. คุณยกกระเป๋าเดินทางจากพื้นชั้นวางบนโต๊ะ นอกจากน้ำหนักของกระเป๋าแล้ว ให้เลือกปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่องานเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อกระเป๋านี้

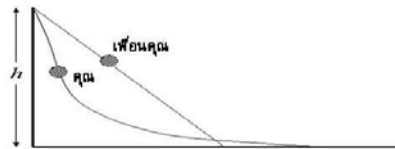
(1) ทิศทางหรือเส้นทางในการยกกระเป๋าจากพื้นถึงโต๊ะ

(2) ความเร็วในการยกกระเป๋า

(3) ความสูงจากพื้นถึงโต๊ะ

- A. ข้อ (1) เท่านั้น
- B. ข้อ (3) เท่านั้น
- C. ข้อ (1) และ (3) เท่านั้น
- D. ข้อ (2) และ (3) เท่านั้น
- E. ข้อ (1) , (2) และ (3)

28. ทางลาดที่ไม่มีแรงเสียดทาน 2 เส้นทาง มีรูปร่างแตกต่างกัน แต่มีจุดเริ่มต้นที่ความสูง h เดียวกันและมีจุดสิ้นสุดอยู่ในระดับเดียวกัน ดังรูปข้างล่าง คุณและเพื่อนของคุณซึ่งมีน้ำหนักเท่ากันเลื่อนไถลจากหยุดนิ่งลงจากจุดยอดของทางลาด ข้อใดบรรยายได้ดีที่สุดว่าใครมีอัตราเร็วสูงกว่าที่จุดต่ำสุดของทางลาด



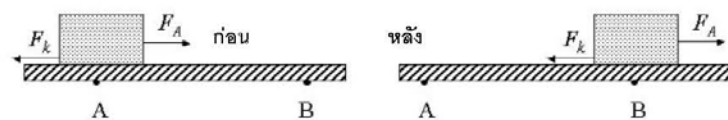
- A. คุณ เพราะคุณเริ่มต้นจากทางลาดที่มีความชันมากกว่า ดังนั้นจึงมีโอกาสมากกว่าที่จะเกิดความเร่ง
- B. คุณ เพราะ คุณเลื่อนไถลบนระยะทางที่ยาวกว่า ดังนั้น จึงมีโอกาสมากกว่าที่จะเกิดความเร่ง
- C. เพื่อนคุณ เพราะ ทางลาดของเขามีความชันคงตัว ดังนั้น จึงมีโอกาสมากกว่าที่จะเกิดความเร่ง
- D. เพื่อนคุณ เพราะ เขาเดินทางบนระยะทางที่สั้นกว่า ดังนั้นเขาจึงสามารถอนุรักษ์พลังงานจลน์ของตัวเขาได้ดีกว่า
- E. ทั้งคุณและเพื่อนมีอัตราเร็วเท่ากัน

29. ลูกออกกอล์ฟเคลื่อนที่เข้าชนแบบยืดหยุ่นกับลูกออกกอล์ฟสีแดงซึ่งวางอยู่กับที่ บนพื้นผิวในแนวระดับที่ไม่มีแรงเสียดทานและไม่มีแรงสุทธิภายนอกกระทำต่อระบบของลูกออกกอล์ฟทั้งสอง ข้อความใดต่อไปนี้เป็นจริง สำหรับการชนแบบยืดหยุ่นนี้

- (1) พลังงานจลน์ของลูกสีขาวมีการอนุรักษ์ (เท่ากันทั้งก่อนและหลังชน)
- (2) โมเมนตัมเชิงเส้นของลูกสีขาวมีการอนุรักษ์
- (3) โมเมนตัมเชิงเส้นของระบบของลูกออกกอล์ฟทั้งสองมีการอนุรักษ์

- A. ข้อ (1) เท่านั้น
- B. ข้อ (3) เท่านั้น
- C. ข้อ (1) และ (2) เท่านั้น
- D. ข้อ (1) และ (3) เท่านั้น
- E. ข้อ (1) , (2) และ (3)

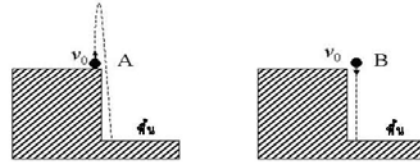
30. คุณใช้เชือกที่มีมวลน้อยมาก ๆ ดึงกล่องไปตามพื้นผิวในแนวระดับด้วยแรงคงตัว F_A กล่องเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวจากตำแหน่ง A ไปตำแหน่ง B โดยต้องคิดผลเนื่องจากแรงเสียดทาน F_k ข้อใดบรรยายการเคลื่อนที่ของกล่องจาก A ไป B ได้ถูกต้อง



- A. งานที่ทำต่อกล่องเนื่องจากแรงโน้มถ่วงไม่เป็นศูนย์
- B. งานที่ทำต่อกล่องเนื่องจาก F_k เป็นบวก
- C. งานรวมที่ทำต่อกล่องเนื่องจากแรงสุทธิไม่เป็นศูนย์
- D. ขนาดของงานที่ทำต่อกล่องเนื่องจาก F_A เท่ากับขนาดของงานที่ทำเนื่องจาก F_k
- E. ขนาดของ F_A มากกว่าขนาดของ F_k

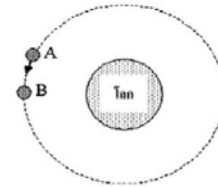
31. ก้อนหิน 2 ลูก เหมือนกัน (A และ B) ถูกยิงจากหน้าผาสูงเท่ากัน และมีอัตราเร็วต้น v_0 เท่ากัน ก้อน A ถูกยิงขึ้นในแนวตั้ง ส่วนก้อน B ถูกยิงลงในแนวตั้ง (ดังภาพข้างล่าง) ข้อใดบรรยายได้ดีที่สุดว่า หินก้อนใดมีอัตราเร็วมากกว่าก่อนที่จะกระทบพื้นพอดี

- A. หินทั้ง 2 ก้อนมีอัตราเร็วเท่ากัน
- B. ก้อน A เพราะเดินทางไกลกว่า
- C. ก้อน A เพราะใช้เวลานานกว่า
- D. ก้อน A เพราะเดินทางไกลกว่าและใช้เวลานานกว่า
- E. ก้อน B เพราะไม่มีการทำงานเพื่อไปต้านแรงดึงดูดของโลก



32. ดาวเทียมโคจรรอบโลกเป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วคงตัว (ดังภาพข้างล่าง) มีเพียงแรงเดียวเท่านั้นที่กระทำต่อดาวเทียม คือ แรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งมีทิศพุ่งเข้าหาใจกลางโลก ข้อใดบรรยายการเคลื่อนที่ของดาวเทียมจากจุด A ไปจุด B ในวงโคจรได้อย่างถูกต้อง

- A. พลังงานศักย์โน้มถ่วงของดาวเทียมลดลง ขณะเคลื่อนที่จาก A ไป B
- B. งานที่ทำต่อดาวเทียมเนื่องจากแรงโน้มถ่วงเป็นลบ สำหรับการเคลื่อนที่จาก A ไป B
- C. งานที่ทำต่อดาวเทียมเนื่องจากแรงโน้มถ่วงเป็นศูนย์ สำหรับการเคลื่อนที่จาก A ไป B
- D. ความเร็วของดาวเทียมไม่มีการเปลี่ยนแปลงขณะเคลื่อนที่ จาก A ไป B
- E. ไม่มีข้อใดถูกต้อง



33. รถจักรยาน 3 คัน เคลื่อนที่เข้าใกล้เนินเขา ดังลักษณะที่บรรยายข้างล่าง

- (1) นักปั่นจักรยานคนที่ 1 หยุดปั่นที่จุดต่ำสุดของเนินเขา แล้วปล่อยให้จักรยานเคลื่อนที่ขึ้นเนินเขาเอง
- (2) นักปั่นจักรยานคนที่ 2 ปั่นขึ้นเนินเขาด้วยอัตราเร็วคงตัว
- (3) นักปั่นจักรยานคนที่ 3 ปั่นแรงกว่า ทำให้เกิดความเร่งในทิศขึ้น ตามเนินเขา

ถ้าไม่คิดผลของความหน่วง เนื่องจากแรงเสียดทาน กรณีใดบ้างที่ทำให้ทั้งนักปั่นและจักรยานเกิดการอนุรักษ์พลังงานกลรวม

- A. ข้อ (1) เท่านั้น
- B. ข้อ (2) เท่านั้น
- C. ข้อ (1) และ (2) เท่านั้น
- D. ข้อ (2) และ (3) เท่านั้น
- E. ข้อ (1) , (2) และ (3)

34. คุณต้องการนำกล่องหนักไปวางบนที่สูง h โดยการผูกติดกับเชือกที่มีมวลน้อยมาก ๆ แล้วดึงให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว คุณมีทางเลือก 2 ทางที่ได้ (ดังภาพข้างล่าง) คือ กรณีที่ (1) ดึงเชือกขึ้นตรง ๆ ในแนวตั้ง หรือ กรณีที่ (2) ดึงขึ้นไปตามพื้นเอียงที่ไม่มีแรงเสียดทาน ข้อใดต่อไปนี้ถูกต้อง

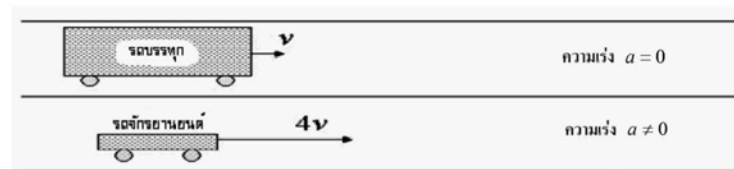


- A. ขนาดของแรงดึงเชือกในกรณีที่ (1) น้อยกว่า กรณีที่ (2)
- B. ขนาดของแรงดึงเชือกเท่ากันทั้ง 2 กรณี
- C. งานที่ทำต่อกล่องโดยแรงดึงเชือกเท่ากันทั้ง 2 กรณี
- D. งานที่ทำต่อกล่องโดยแรงดึงเชือกในกรณีที่ (2) น้อยกว่า กรณีที่ (1)
- E. งานที่ทำต่อกล่องโดยแรงโน้มถ่วงของโลก ในกรณีที่ (2) น้อยกว่า กรณีที่ (1)

35. คุณปล่อยลูกบอลจากตึกสูงให้ตกอย่างเสรีภายใต้อิทธิพลของแรงโน้มถ่วง ข้อใดกล่าวถูกต้อง

- A. พลังงานจลน์ของลูกบอลเพิ่มขึ้นเท่ากัน ในช่วงเวลาที่เท่ากัน
- B. พลังงานจลน์ของลูกบอลเพิ่มขึ้นเท่ากัน ในช่วงระยะทางที่เท่ากัน
- C. ในขณะที่ลูกบอลตก งานที่ทำต่อลูกบอลเนื่องจากแรงโน้มถ่วงเป็นศูนย์
- D. ในขณะที่ลูกบอลตก งานที่ทำต่อลูกบอลเนื่องจากแรงโน้มถ่วงเป็นลบ
- E. ในขณะที่ลูกบอลตก พลังงานกลรวมของลูกบอลลดลง

36. รถจักรยานยนต์และรถบรรทุกกำลังเคลื่อนที่ไปในทิศเดียวกัน ในช่องทางที่อยู่ติดกันบนทางหลวง ณ ขณะหนึ่ง อัตราเร็วของรถจักรยานยนต์เพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่า ของอัตราเร็วรถบรรทุก (v) และขณะเวลานั้นเองรถจักรยานยนต์ก็มีความเร่งไปข้างหน้า ส่วนรถบรรทุกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ข้อใดบรรยายถูกต้องว่ารถคันใดมีโมเมนตัมมากกว่า ณ ขณะเวลานั้น

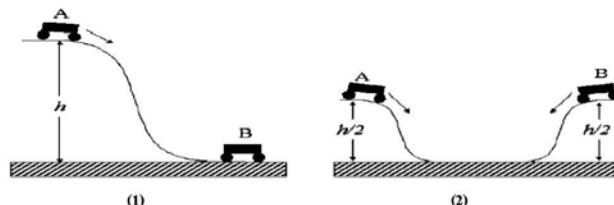


- A. รถบรรทุก เพราะ มีมวลมากกว่า
- B. รถจักรยานยนต์ เพราะเคลื่อนที่เร็วกว่า
- C. รถจักรยานยนต์ เพราะมีความเร่ง
- D. รถจักรยานยนต์ เพราะเคลื่อนที่เร็วกว่า และมีความเร่ง
- E. ข้อมูลไม่เพียงพอ

ข้อมูลสำหรับคำถามข้อ 37 และ 38 รถทดลอง A และ B ไม่มีความแตกต่างกันก่อนเกิดการชน

ภาพ (1) : รถทดลอง A เริ่มจากหยุดนิ่งบนเนินเขาสูง h เหนือพื้นดิน จากนั้นรถเลื่อนลงแล้วชนประสานงากับรถทดลอง B ซึ่งหยุดนิ่งบนพื้นดิน รถทั้งสองคันติดกันไป

ภาพ (2) : รถทดลอง A และ B หยุดนิ่งบนเนินเขาที่อยู่ตรงข้ามกันซึ่งอยู่สูง $h/2$ เหนือพื้นดินเท่ากัน จากนั้นรถทั้งสองเลื่อนลงมาชนประสานงากันบนพื้นดิน แล้วติดกัน



37. ข้อใดเป็นจริงเกี่ยวกับระบบของรถทดลอง 2 คัน ที่บนพื้นดินก่อนจะชนกับพอดี ในทั้ง 2 กรณี

- A. พลังงานจลน์ของระบบในกรณีที่ (2) เป็นศูนย์
- B. พลังงานจลน์ของระบบในกรณีที่ (1) มากกว่า กรณีที่ (2)
- C. พลังงานจลน์ของระบบ เท่ากันทั้ง 2 กรณี
- D. โมเมนตัมของระบบในกรณีที่ (2) มากกว่า กรณีที่ (1)
- E. โมเมนตัมของระบบ เท่ากันทั้ง 2 กรณี

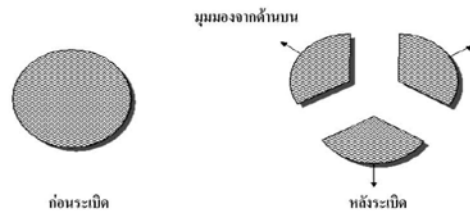
38. ข้อใดเป็นจริงเกี่ยวกับระบบของรถทดลอง 2 คัน ที่บนพื้นดินหลังชนกันทันที ในทั้ง 2 กรณี

- A. พลังงานจลน์ของระบบในกรณีที่ (2) มากกว่า กรณีที่ (1)
- B. พลังงานจลน์ของระบบเท่ากันทั้ง 2 กรณี
- C. โมเมนตัมของระบบในกรณีที่ (2) มากกว่า กรณีที่ (1)
- D. โมเมนตัมของระบบในกรณีที่ (1) ไม่เป็นศูนย์ ขณะที่กรณีที่ (2) เป็นศูนย์
- E. โมเมนตัมของระบบเท่ากันทั้ง 2 กรณี

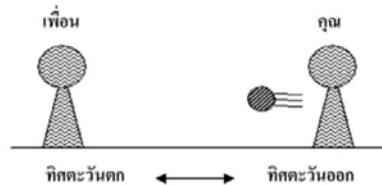
39. ลูกกระเบิดซึ่งหยุดนิ่งอยู่บนพื้นผิวที่ไม่มีแรงเสียดทานในแนวระดับ ระเบิดออกเป็น 3 ชิ้นแล้วเคลื่อนที่แยกออกจากกันในแนวระดับ (ดังภาพข้างล่าง) ให้เลือกข้อที่บรรยายเหตุการณ์ได้ถูกต้องหลังเกิดการระเบิด

- (1) พลังงานจลน์รวมของชิ้นส่วนระเบิดทั้งสามเท่ากับพลังงานจลน์รวมของลูกกระเบิดก่อนการระเบิด
- (2) โมเมนตัมรวมของชิ้นส่วนระเบิดทั้งสามเท่ากับโมเมนตัมรวมของลูกกระเบิดก่อนการระเบิด
- (3) โมเมนตัมรวมของชิ้นส่วนระเบิดทั้งสามเป็นศูนย์

- A. ข้อ (1) เท่านั้น
- B. ข้อ (2) เท่านั้น
- C. ข้อ (3) เท่านั้น
- D. ข้อ (2) และ (3) เท่านั้น
- E. ข้อ (1), (2) และ (3)



40. คุณและเพื่อนยืนบนพื้นผิวที่ไม่มีแรงเสียดทานในแนวระดับ คุณเรียกร้องความสนใจจากเพื่อนโดยการขว้างลูกบอลไปหาเพื่อน คุณทางทิศตะวันตก ดังรูป ลูกบอลชนหลังของเพื่อนคุณแล้วกระดอนกลับออกมาแบบยืดหยุ่น ข้อใดบรรยายเกี่ยวกับสถานการณ์นี้ ได้ถูกต้อง



- A. เพื่อนคุณจะยังคงหยุดนิ่ง เพราะลูกบอลกระดอนแบบยืดหยุ่น และไม่มีการถ่ายเทโมเมนตัมให้เพื่อนคุณ
- B. เพื่อนคุณจะยังคงหยุดนิ่ง เพราะเกิดการอนุรักษ์พลังงานจลน์ของลูกบอลในการชนแบบยืดหยุ่น
- C. เพื่อนคุณจะยังคงหยุดนิ่ง เนื่องจากเกิดการอนุรักษ์ทั้งโมเมนตัมเชิงเส้นและพลังงานจลน์
- D. คุณยังคงหยุดนิ่งหลังจากขว้างลูกบอล เนื่องจากเกิดการอนุรักษ์ทั้งโมเมนตัมและพลังงานจลน์
- E. คุณจะเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกหลังขว้างลูกบอล เนื่องจากเกิดการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงเส้น

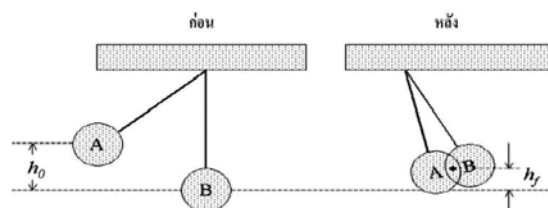
41. ขณะอยู่ในสนามเด็กเล่น คุณและหลานสาวเลื่อนไถลงตามไม้ลื่นที่ไม่มีแรงเสียดทาน คุณมีมวล 75 กิโลกรัม ขณะที่หลานสาวมีมวลเพียง 25 กิโลกรัมเท่านั้น สมมติว่าทั้งคุณและหลานเริ่มเลื่อนจากหยุดนิ่งที่ความสูงเดียวกัน ข้อใดบรรยายถูกต้องว่าใครมีอัตราเร็วสูงกว่าที่จุดต่ำสุดของไม้ลื่น

- A. ทั้งสองคนมีอัตราเร็วเท่ากันที่จุดต่ำสุด
- B. หลานสาวคุณ เนื่องจากน้ำหนักที่กดลงบนไม้ลื่นมีไม่มาก ดังนั้น การเคลื่อนที่ของหลานสาวจึงใกล้เคียงกับการตกแบบอิสระมากกว่าการเคลื่อนที่ของคุณ
- C. คุณ เพราะมีน้ำหนักมากกว่า ซึ่งเป็นสาเหตุให้มีความเร่งในทิศลงมากกว่า
- D. หลานสาวคุณ เพราะเบากว่าจึงเกิดความเร่งง่ายกว่า
- E. คุณ เพราะคุณใช้เวลาในการเลื่อนลงน้อยกว่า

42. ทรงกลมขนาดเล็ก 2 ลูก A และ B มีมวลเท่ากัน แหวนด้วยเชือกที่เบาและยาวเท่ากัน ทรงกลม A ถูกยกขึ้นสูง h_0 (ดังรูป) แล้วปล่อยให้ชนกับทรงกลม B (ซึ่งหยุดนิ่งอยู่กับที่) หลังชน ทรงกลมทั้งสองติดกันและแกว่งขึ้นไปได้สูงสุด h_f ความสูง h_f สามารถเขียนได้ในรูปของ h_0 โดยอาศัยหลักการข้อใด

(1) การอนุรักษ์พลังงานกล

(2) การอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงเส้น

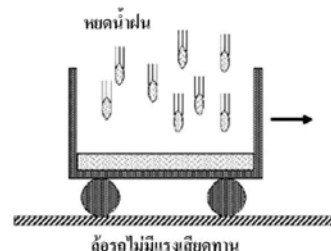


- A. ข้อ (1) เท่านั้น
- B. ข้อ (2) เท่านั้น
- C. ข้อ (1) และ (2)
- D. ข้อ (1) หรือ (2) อย่างใดอย่างหนึ่ง
- E. หลักการ ข้อ (1) และ (2) ไม่เพียงพอต่อการหา h_f ในรูปของ h_0

43. ฝนเริ่มตกลงมาในแนวตั้งบนรถทดลองที่ล้อไม่มีแรงเสียดทาน ซึ่งตอนแรกกำลังเคลื่อนที่ไปบนพื้นผิวในแนวระดับด้วยความเร็วคงตัว ฝนตกลงมาซึ่งอยู่ในรถทดลอง และเพิ่มปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ ข้อใดบรรยายถูกต้องเกี่ยวกับสถานการณ์นี้

- (1) รถทดลองยังคงเคลื่อนที่ต่อไปด้วยความเร็วคงตัว เพราะฝนตกลงในแนวตั้ง ขณะที่รถทดลองเคลื่อนที่ในแนวระดับ
- (2) รถทดลองยังคงเคลื่อนที่ต่อไปด้วยความเร็วคงตัว เพราะมีการอนุรักษ์พลังงานกลรวมของระบบรถและฝน
- (3) รถทดลองจะเคลื่อนที่ช้าลง เพราะมีการอนุรักษ์โมเมนตัมของระบบรถและฝนในแนวระดับหยดน้ำฝน

- A. ข้อ (1) เท่านั้น
- B. ข้อ (2) เท่านั้น
- C. ข้อ (3) เท่านั้น
- D. ข้อ (1) และ (2) เท่านั้น
- E. ไม่มีข้อใดถูกต้อง



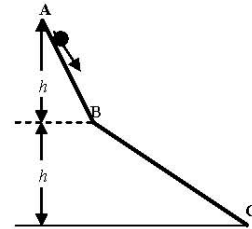
10

44. คุณไถลลงตามพื้นน้ำแข็งที่มีความชัน 2 ช่วงและไม่มีแรงเสียดทาน ทั้ง 2 ช่วงมีความสูง h เท่ากัน ดังภาพข้างล่าง

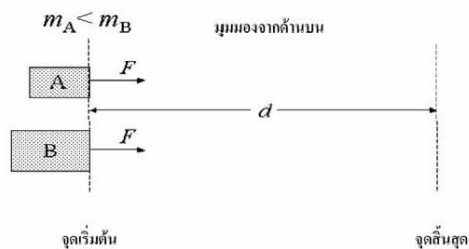
ข้อใดต่อไปนี้ถูกต้อง

- (1) การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของคุณเท่ากัน สำหรับการไถลจาก A ไป B และจาก B ไป C
- (2) งานที่แรงโน้มถ่วงกระทำต่อคุณจาก A ไป B น้อยกว่าจาก B ไป C
- (3) งานที่แรงโน้มถ่วงกระทำต่อคุณจาก A ไป B มากกว่าจาก B ไป C

- A. ข้อ (1) เท่านั้น B. ข้อ (2) เท่านั้น
C. ข้อ (3) เท่านั้น D. ข้อ (1) และ (2) เท่านั้น E. ข้อ (1) และ (3) เท่านั้น



45. กล้อง 2 อัน หนึ่งอันอยู่กับที่บนพื้นในแนวระดับ ที่ไม่มีแรงเสียดทาน มวล m_A ของกล้อง A น้อยกว่ามวล m_B ของกล้อง B คุณออกแรง F คงตัวเท่ากันดึงกล้องให้เคลื่อนที่ไปในแนวเส้นตรง เป็นระยะทาง d เท่ากัน ดังภาพข้างล่าง (คุณออกแรง F ดึงกล้องตลอดระยะทาง d) ข้อใดบรรยายได้ถูกต้องในการเปรียบเทียบพลังงานจลน์ ของกล้อง หลังจากคุณดึงให้เคลื่อนที่ได้ผ่านระยะทาง d เท่ากัน



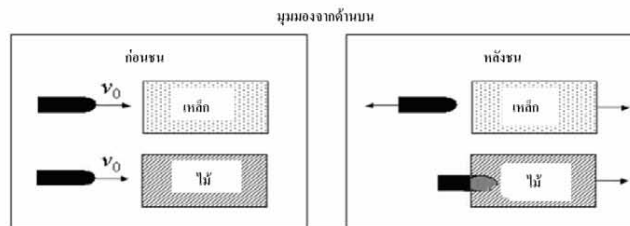
- A. พลังงานจลน์ของทั้ง 2 กล้องมีค่าเท่ากัน
B. พลังงานจลน์ของกล้องมวลน้อยจะมีค่ามากกว่า เพราะมีอัตราเร็วมากกว่า
C. พลังงานจลน์ของกล้องมวลมากจะมีค่ามากกว่า เพราะมวลมีค่ามากกว่า
D. ข้อมูลไม่เพียงพอ เนื่องจากเราจำเป็นต้องรู้มวลจริงของกล้องทั้งสอง เพื่อนำมาเปรียบเทียบพลังงานจลน์
E. ข้อมูลไม่เพียงพอ เนื่องจากเราจำเป็นต้องรู้ขนาดที่แท้จริงของแรง F เพื่อนำมาเปรียบเทียบพลังงานจลน์

46. กล้องเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วต้น v_0 ไปบนพื้นในแนวระดับ ซึ่งมีแรงเสียดทาน และในที่สุดกล้องก็หยุดเคลื่อนที่ ข้อใดมีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของกล้อง



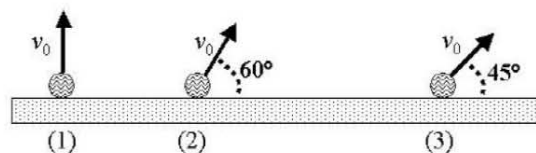
- A. โมเมนตัมของกล้องคุณระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ก่อนมาถึงจุดหยุดนิ่ง
B. โมเมนตัมของกล้องคุณเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ก่อนมาถึงจุดหยุดนิ่ง
C. โมเมนตัมของกล้องคุณความหน่วงของกล้อง
D. มวลของกล้องคุณความหน่วงของกล้อง E. ไม่มีข้อใดถูกต้อง

47. ลูกกระสุนปืนเหมือนกัน 2 ลูกถูกยิงออกไปในแนวระดับด้วยอัตราเร็ว v_0 เท่ากัน เข้าชนแท่งวัตถุ 2 ชนิดที่มีมวลเท่ากัน ซึ่งวางนิ่งบนพื้นผิวในแนวระดับที่ไม่มีแรงเสียดทานเหมือนกัน แท่งวัตถุชิ้นแรกทำจากเหล็กแข็ง ส่วนแท่งวัตถุอีกชิ้นทำจากไม้อ่อน (ดังภาพข้างล่าง) หลังชน กระสุนลูกแรกกระดอนแบบยืดหยุ่นออกจากแท่งเหล็ก ส่วนกระสุนปืนอีกลูกฝังติดไปกับแท่งไม้ ข้อใดบรรยายได้ดีที่สุดว่าแท่งวัตถุชนิดใดเคลื่อนที่เร็วกว่าหลังการชน



- A. แท่งไม้ เพราะ ได้รับโมเมนตัมจากลูกกระสุนปืน ขณะที่กระสุนปืนอีกลูกไม่ได้ถ่ายเทโมเมนตัมให้กับแท่งเหล็ก
- B. แท่งไม้ เพราะ กระสุนปืนถ่ายเทพลังงานจลน์ทั้งหมดให้กับแท่งไม้
- C. แท่งไม้ เพราะ มวลที่มากกว่าหลังการชน (ตามกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน) ส่งผลให้เกิดแรงกระทำที่มากกว่าไปทำให้แท่งไม้เกิดความเร่ง
- D. แท่งเหล็ก เพราะกระสุนปืนกระดอนออกไปจากแท่งเหล็ก
- E. ทั้งสองแท่งเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่ากัน.

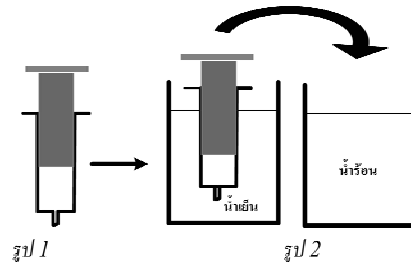
48. ลูกบอล 3 ลูก ถูกยิงขึ้นจากระดับแนวราบเดียวกัน ด้วยอัตราเร็ว v_0 เท่ากัน (ดังแสดงภาพข้างล่าง) บอลลูกที่ 1 ถูกยิงขึ้นตรง ๆ ในแนวตั้ง บอลลูกที่ 2 ถูกยิงที่มุม 60 องศา กับแนวระดับ และบอลลูกที่ 3 ถูกยิงที่มุม 45 องศา กับแนวระดับ จงเรียงลำดับอัตราเร็วของลูกบอลแต่ละลูก เมื่อเคลื่อนที่ไปถึงเส้นประในแนวนอน (เรียงจากน้อยไปมาก) ลูกบอลทั้ง 3 ลูก มีอัตราเร็วมากพอที่จะเคลื่อนที่ไปถึงเส้นประ



- A. (1) , (2) , (3)
- B. (1) , (3) , (2)
- C. (3) , (2) , (1)
- D. ลูกบอลทั้ง 3 ลูก มีอัตราเร็วเท่ากัน
- E. ข้อมูลไม่เพียงพอ เนื่องจากอัตราเร็วของลูกบอลขึ้นอยู่กับมวลของลูกบอล

จงใช้ข้อมูลต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อที่ 49-51

กระบอกสูบปิดด้วยลูกสูบที่ไม่มีมวล M ภายในบรรจุแก๊สอุดมคติ ดังรูป 1 เริ่มต้นกระบอกสูบจุ่มอยู่ในน้ำเย็น จากนั้นนำกระบอกสูบไปจุ่มลงในน้ำร้อน ดังรูป 2 จงตอบคำถามต่อไปนี้ เมื่อกระบอกสูบเข้าสู่ภาวะสมดุลความร้อนกับน้ำร้อน



49. อุณหภูมิของแก๊สจะมีการเปลี่ยนแปลงตามข้อใด

- A. เพิ่มขึ้น B. ลดลง C. ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

50. ความดันของแก๊สจะมีการเปลี่ยนแปลงตามข้อใด

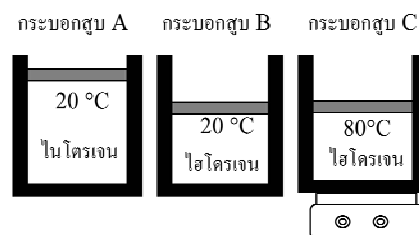
- A. เพิ่มขึ้น B. ลดลง C. ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

51. ปริมาตรของแก๊สจะมีการเปลี่ยนแปลงตามข้อใด

- A. เพิ่มขึ้น B. ลดลง C. ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

จงใช้ข้อมูลต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อที่ 52-53

กระบอกสูบที่เหมือนกันทุกประการปิดด้วยลูกสูบที่ไม่มีมวล M บรรจุแก๊สอุดมคติที่ไม่ทราบปริมาณดังรูป กระบอกสูบ A และ B อยู่ในภาวะสมดุลความร้อนกับอุณหภูมิห้องที่ 20°C และกระบอกสูบ C ถูกทำให้อยู่ที่อุณหภูมิคงที่ 80°C ซึ่งลูกสูบของกระบอกสูบทั้งสามอยู่ในสมดุลกับสิ่งแวดล้อมในขณะนั้น



52. ความดันของแก๊สไนโตรเจนในกระบอกสูบ A มีค่าตามข้อใด เมื่อเปรียบเทียบกับความดันของแก๊สไอโตรเจนในกระบอกสูบ B พร้อมทั้งบอกเหตุผล

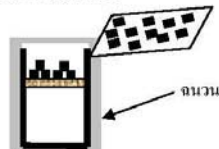
- A. มากกว่า B. น้อยกว่า C. เท่ากัน

53. ความดันของแก๊สไฮโดรเจนในกระบอกสูบ B มีค่าตามข้อใด เมื่อเปรียบเทียบกับความดันของแก๊สไฮโดรเจนในกระบอกสูบ C พร้อมทั้งบอกเหตุผล

- A. มากกว่า B. น้อยกว่า C. เท่ากัน

จงใช้ข้อมูลต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อที่ 54-56

แก๊สอุดมคติบรรจุอยู่ในกระบอกสูบที่มีลูกสูบขนาดพอดีกับกระบอกทำให้แก๊สไม่สามารถไหลออกได้ มีมวลจำนวนหนึ่งวางอยู่บนลูกสูบ (ไม่ต้องพิจารณาแรงเสียดทานระหว่างลูกสูบและผนังของกระบอกสูบ) กระบอกสูบที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน ดังรูป ถ้าเพิ่มมวลจำนวนมากๆ ลงบนลูกสูบอย่างรวดเร็ว จงตอบคำถามต่อไปนี้



54. อุณหภูมิของแก๊สจะมีการเปลี่ยนแปลงตามข้อใด

- A. เพิ่มขึ้น B. ลดลง C. ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

55. ความดันของแก๊สจะมีการเปลี่ยนแปลงตามข้อใด

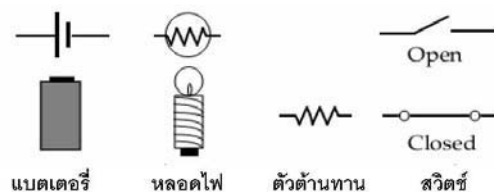
- A. เพิ่มขึ้น B. ลดลง C. ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

56. ปริมาตรของแก๊สจะมีการเปลี่ยนแปลงตามข้อใด

- A. เพิ่มขึ้น B. ลดลง C. ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

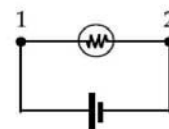
สำหรับข้อ 57-70 ให้ใช้เงื่อนไขดังต่อไปนี้

แบตเตอรี่ที่ใช้ในข้อสอบเป็นแบบอุดมคติ ไม่มีความต้านทานภายใน เส้นลวดที่ใช้ในวงจรไฟฟ้าไม่มีความต้านทานภายใน ข้างล่างนี้เป็นสัญลักษณ์ที่แทนอุปกรณ์ทางไฟฟ้าในข้อสอบ



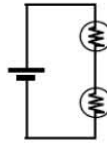
57. เมื่อเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้า ณ จุดที่ 1 กับ กระแสไฟฟ้า ณ จุดที่ 2 ที่จุดใดมีค่ากระแสไฟฟ้ามากที่สุด

- A. จุดที่ 1
B. จุดที่ 2
C. จุดที่ 1 และ 2 มีกระแสไฟฟ้าเท่ากัน เนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียวรอบวงจร
D. จุดที่ 1 และ 2 มีกระแสไฟฟ้าเท่ากัน เนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลในสองทิศทางรอบวงจร

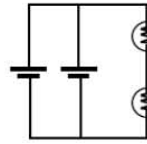


58. วงจรไฟฟ้าหรือวงจรไฟฟ้าใดได้รับกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ามากที่สุด

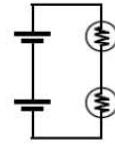
- A. วงจรที่ 1
- B. วงจรที่ 2
- C. วงจรที่ 3
- D. วงจรที่ 1 = วงจรที่ 2
- E. วงจรที่ 2 = วงจรที่ 3



วงจรที่ 1



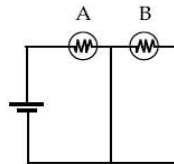
วงจรที่ 2



วงจรที่ 3

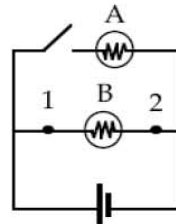
59. เมื่อเปรียบเทียบความสว่างของหลอดไฟฟ้า A, B และ C ในวงจรข้างล่างนี้ หลอดไฟฟ้าหรือหลอดไฟฟ้าใดที่สว่างมากที่สุด

- A. A
- B. B
- C. C
- D. A = B
- E. A = C



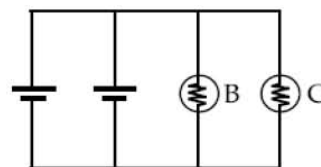
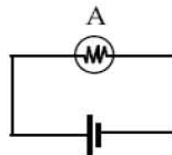
60. ความต่างศักย์ระหว่างจุด 1 และ 2 มีค่าเป็นเท่าใด เมื่อสับสวิตช์ลง

- A. เพิ่มขึ้น 4 เท่า
- B. เพิ่มขึ้น 2 เท่า
- C. มีค่าเท่าเดิม
- D. ลดลงครึ่งหนึ่งของ
- E. ลดลงหนึ่งในสี่



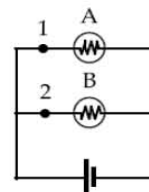
61. เมื่อเปรียบเทียบความสว่างของหลอดไฟฟ้า A กับหลอดไฟฟ้า B หลอดไฟฟ้า A จะสว่าง _____ หลอดไฟฟ้า B

- A. เป็นสี่เท่าของ
- B. เป็นสองเท่าของ
- C. เท่ากันกับ
- D. เป็นครึ่งหนึ่งของ
- E. เป็นหนึ่งในสี่ของ



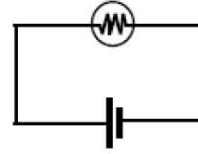
62. ความสว่างของหลอดไฟฟ้า A และ B จะเป็นอย่างไร เมื่อนำสายไฟมาเชื่อมต่อระหว่างจุด 1 และ 2

- A. หลอดไฟฟ้าทั้งสองสว่างเพิ่มขึ้น
- B. หลอดไฟฟ้าทั้งสองสว่างลดลง
- C. หลอดไฟฟ้าทั้งสองยังสว่างเท่าเดิม
- D. หลอดไฟฟ้า A สว่างมากกว่าหลอดไฟฟ้า B
- E. หลอดไฟฟ้าทั้งสองดับ



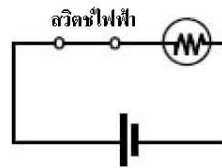
63. สนามไฟฟ้าภายในไล้ของหลอดไฟฟ้าแบบไล้มีค่าเป็นศูนย์หรือไม่เป็นศูนย์

- A. เป็นศูนย์ เพราะ ไล้หลอดเป็นต้วนำไฟฟ้า
- B. เป็นศูนย์ เพราะ มีกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไล้หลอด
- C. เป็นศูนย์ เพราะมีประจุไฟฟ้าบนผิวของไล้หลอด
- D. ไม่เป็นศูนย์ เพราะกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไล้หลอดสร้างสนามไฟฟ้า
- E. ไม่เป็นศูนย์ เพราะมีประจุไฟฟ้าบนผิวของไล้หลอดที่คอยสร้างสนามไฟฟ้า

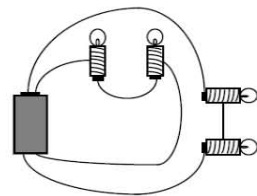
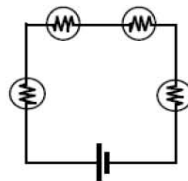


64. ความต้านทานของหลอดไฟฟ้ามีค่าเป็นอย่างไร หลังจากสับสวิตซ์ไฟฟ้าลงทันที

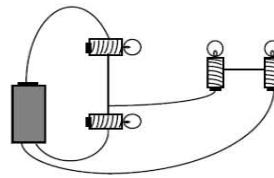
- A. ความต้านทานจะมีค่าเป็นอนันต์
- B. ความต้านทานเพิ่มขึ้น
- C. ความต้านทานลดลง
- D. ความต้านทานมีค่าคงเดิม
- E. ความต้านทานจะลดลงจนเป็นศูนย์



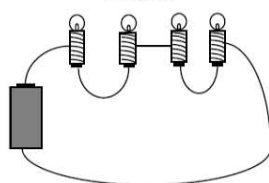
65. การต่อวงจรไฟฟ้ารูปใดแสดงการต่อหลอดไฟได้จิงรูปข้างล่างนี้



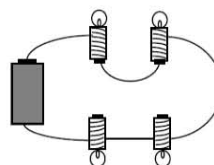
วงจรที่ 1



วงจรที่ 2



วงจรที่ 3



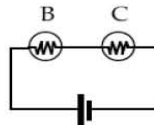
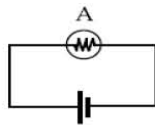
วงจรที่ 4

- A. วงจรที่ 2
- B. วงจรที่ 3
- C. วงจรที่ 4
- D. วงจรที่ 1 และ 2
- E. วงจรที่ 3 และ 4

66. ถ้าเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแบตเตอรี่เป็น 2 เท่า ความต่างศักย์ที่คร่อมแบตเตอรี่จะเป็น 2 เท่าใช่หรือไม่

- A. ใช่ เพราะเป็นไปตามกฎของโอห์ม คือ $V = IR$
- B. ใช่ เพราะ ความต้านทานที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความต่างศักย์จะเพิ่มขึ้น
- C. ไม่ใช่ เพราะ กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ทำให้ความต่างศักย์จะลดลงเป็นครึ่งหนึ่ง
- D. ไม่ใช่ เพราะ ความต่างศักย์เป็นสมบัติเฉพาะตัวของแบตเตอรี่
- E. ไม่ใช่ เพราะ ความต่างศักย์เป็นสมบัติเฉพาะตัวของอุปกรณ์ทุกตัวในวงจร

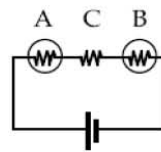
67. จงเปรียบเทียบความสว่างของหลอดไฟ A กับหลอดไฟ B หลอดไฟ A จะสว่าง _____ หลอดไฟ B



- A. เป็นสี่เท่าของ
- B. เป็นสองเท่าของ
- C. เท่ากันกับ
- D. เป็นครึ่งหนึ่งของ
- E. เป็นหนึ่งในสี่ของ

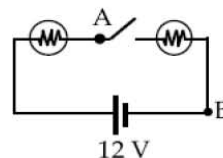
68. ความสว่างของหลอดไฟ A และ หลอดไฟ B จะเป็นอย่างไร เมื่อเพิ่มค่าความต้านทานของตัวต้านทาน C ในวงจรไฟฟ้าดังรูปข้างล่างนี้

- A. A สว่างเท่าเดิม แต่ B สว่างลดลง
- B. A สว่างลดลง แต่ B สว่างเท่าเดิม
- C. A และ B สว่างเพิ่มขึ้น
- D. A และ B สว่างลดลง
- E. A และ B สว่างเท่าเดิม



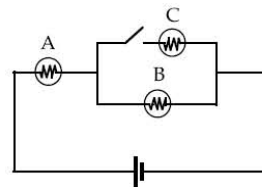
69. ความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B มีค่าเท่าใด

- A. 0 โวลต์
- B. 3 โวลต์
- C. 6 โวลต์
- D. 12 โวลต์
- E. ไม่มีข้อใดถูก



70. ความสว่างของหลอดไฟ A และ B จะเป็นอย่างไร เมื่อสับสวิตช์ลง

- A. A สว่างเท่าเดิม แต่ B สว่างลดลง
- B. A สว่างเพิ่มขึ้น แต่ B สว่างลดลง
- C. A และ B สว่างเพิ่มขึ้น
- D. A และ B สว่างลดลง
- E. A และ B สว่างเท่าเดิม



**แบบทดสอบความเข้าใจฟิสิกส์ในหัวข้อ
กลศาสตร์ เทอร์โมไดนามิกส์ และไฟฟ้ากระแสตรง**

วัตถุประสงค์: เพื่อวัดความเข้าใจฟิสิกส์ของนักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายและอุดมศึกษาชั้นปีที่ 1 โดยเน้นหัวข้อกลศาสตร์ เทอร์โมไดนามิกส์ และไฟฟ้ากระแสตรง ที่นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน

คำชี้แจง:

1. แบบทดสอบความเข้าใจนี้เป็นส่วนหนึ่งในการทำวิจัย เพื่อเก็บข้อมูลความเข้าใจฟิสิกส์พื้นฐานของหน่วยวิจัยฟิสิกส์ศึกษา (Physics Education Research Unit) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2. ขอความกรุณานักเรียนตอบคำถามทุกข้อ ตามความเข้าใจของนักเรียน
3. ข้อมูลที่ได้จากการตอบแบบทดสอบความเข้าใจของนักเรียน จะถูกนำเสนอในเชิงสถิติ โดยผลสอบของนักเรียนแต่ละคนจะถูกเก็บเป็นความลับ และไม่มีผลต่อคะแนนเรียนของผู้ตอบแบบสอบถาม
4. แบบทดสอบความเข้าใจมีทั้งหมด 70 ข้อ ใช้เวลาในการตอบ 120 นาที
5. ให้ทำแบบทดสอบลงในกระดาษคำตอบที่เตรียมไว้ให้

ข้าพเจ้ายินดีให้ความร่วมมือในการตอบแบบทดสอบความเข้าใจฟิสิกส์

นักเรียนสามารถขอรับผลสอบได้ทางไปรษณีย์หรือทาง e-mail เป็นรายบุคคล โดยขอความกรุณารอกข้อมูล

ชื่อ (นาย, นางสาว)นามสกุล.....

โรงเรียน.....ชั้น.....

กรุณาเลือกช่องทางในการรับผลสอบ

ที่อยู่

.....

e-mail.....

แบบทดสอบมีทั้งหมด 70 ข้อ ใช้เวลาในการทำ 120 นาที

กระดาษคำตอบสำหรับแบบทดสอบความเข้าใจฟิสิกส์ในหัวข้อ
กลศาสตร์ เทอร์โมไดนามิกส์ และไฟฟ้ากระแสตรง

ข้อ	คำตอบ		ข้อ	คำตอบ		ข้อ	คำตอบ
1.			26.			51.	
2.			27.			52.	
3.			28.			53.	
4.			29.			54.	
5.			30.			55.	
6.			31.			56.	
7.			32.			57.	
8.			33.			58.	
9.			34.			59.	
10.			35.			60.	
11.			36.			61.	
12.			37.			62.	
13.			38.			63.	
14.			39.			64.	
15.			40.			65.	
16.			41.			66.	
17.			42.			67.	
18.			43.			68.	
19.			44.			69.	
20.			45.			70.	
21.			46.				
22.			47.				
23.			48.				
24.			49.				
25.			50.				