บทที่ 2
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึง เอกสารและงานวิจัยทางด้านฟิสิกส์ศึกษาที่เกี่ยวข้องในหัวข้อดังนี้ การสอนฟิสิกส์แบบผู้เรียนมีส่วนร่วม (Active Teaching in Physics) การสอนบรรยายแบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์ (Interactive Lecture Demonstration: ILD) และความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนเกี่ยวกับความร้อน งาน พลังงานภายใน กฎของแก๊สอุดมคติ กฎข้อที่หนึ่งและกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ นอกจากนี้ยังมีหัวข้อเกี่ยวกับวิธีการประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียนโดยใช้คะแนนก่อนและหลังเรียน ซึ่งแต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การสอนฟิสิกส์แบบผู้เรียนมีส่วนร่วม (Active Teaching in Physics)

การสอนฟิสิกส์แบบผู้เรียนมีส่วนร่วม [2] เป็นการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง (Student-Centered) โดยเน้นการให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนการสอน สร้างการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับผู้สอน และระหว่างผู้เรียนด้วยกันเอง โดยให้ผู้เรียนมีการคาดการณ์ผลทางปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบของการสังเกต การทดลอง หรือการร่วมกันแก้โจทย์ปัญหาต่างๆ นอกจากนี้ยังสนับสนุนและกระตุ้นให้ผู้เรียนแสดงความคิดเห็นและอภิปราย เพื่อสร้างบรรยากาศการเรียนรู้ในชั้นเรียน ตาราง 2.1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะของชั้นเรียนแบบดั้งเดิมกับแบบผู้เรียนมีส่วนร่วม โดยเป้าหมายหลักของการเรียนรู้แบบนี้ คือ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดวัฏจักรการเรียนรู้ (Learning Cycle) แบบ PODS [การคาดเดา (Prediction), การสังเกต (Observation), การอภิปราย (Discussion) และ การสังเคราะห์ (Synthesis)] วิธีการสอนฟิสิกส์แบบผู้เรียนมีส่วนร่วมนี้มีอยู่หลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละรูปแบบจะมีลักษณะที่แตกต่างกันดังแสดงในตาราง 2.2 บางรูปแบบอาจจะต้องมีการปรับเปลี่ยนลักษณะเชิงกายภาพของห้องเรียนและมีการใช้อุปกรณ์เสริมจำนวนมาก ดังนั้นการนำไปใช้จะต้องคำนึงถึงความพร้อมและความเหมาะสมด้วย

ตาราง 2.1 เปรียบเทียบลักษณะของชั้นเรียนแบบดั้งเดิมกับแบบผู้เรียนมีส่วนร่วม [2]

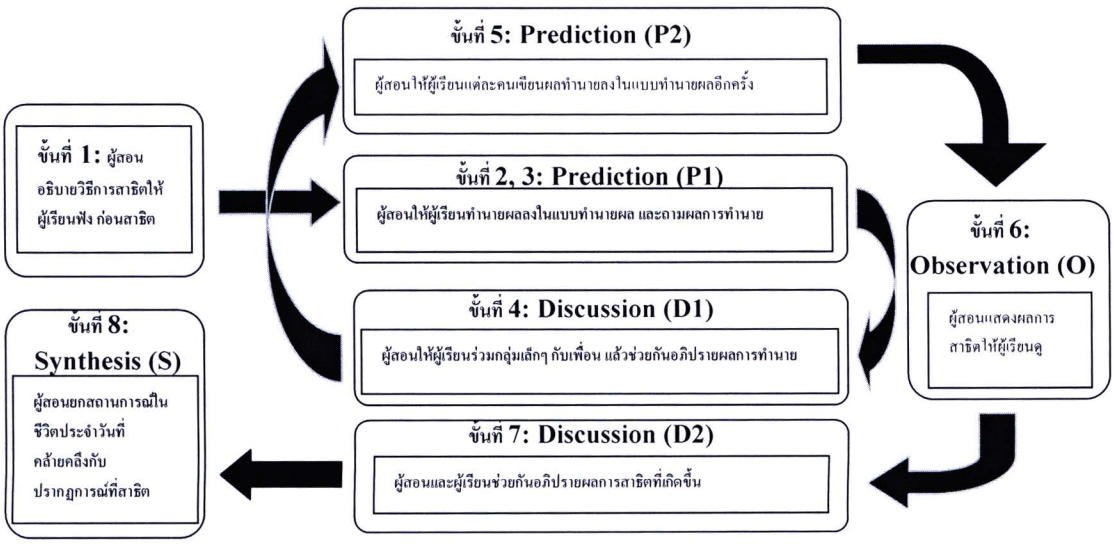
ชั้นเรียนแบบดั้งเดิม	**ชั้นเรียนแบบผู้เรียนมีส่วนร่วม**
ผู้สอนหรือหนังสือ เป็นแหล่งความรู้	ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้จากการสังเกต และประสบการณ์ตรงที่มีต่อปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์
ผู้เรียนได้รับการท้าทายให้ใช้ความคิดค่อนข้างน้อย	ผู้เรียนถูกท้าทายให้ใช้ความคิด และเปรียบเทียบการทำนายผลที่ได้จากการสังเกตปรากฏการณ์ต่างๆ กับผลตามความเชื่อของผู้เรียน
บทบาทของผู้สอนเป็นแบบผู้สั่งการ	บทบาทของผู้สอนเป็นแบบผู้ช่วย หรือผู้เสนอแนะแนวทาง
ไม่สนับสนุนการทำงานร่วมกันในหมู่ผู้เรียน	กระตุ้นให้มีการทำงานร่วมกันในหมู่ผู้เรียน
ผู้สอนบรรยายถึงผลจากการทดลอง หรือผลการวิเคราะห์ในรูปข้อมูลเหตุการณ์ (Fact)	ผลจากการสังเกตหรือวิเคราะห์ จะนำมาอภิปรายเพื่อทำความเข้าในระหว่างการทดลองจริงในชั้น (Real Time Observation)
ปฏิบัติการ (หากมี) จะทำเพื่อยืนยันความถูกต้องของทฤษฎีที่ผู้สอนบรรยายไว้ และมักจะเป็นปฏิบัติการที่บอกขั้นตอนทั้งหมดแบบสูตรสำเร็จ	ผู้เรียนทำปฏิบัติการเพื่อเรียนรู้ เพื่อแสวงหาองค์ความรู้หรือทฤษฎีด้วยตนเอง

ตาราง 2.2 ลักษณะการเรียนรู้แบบผู้เรียนมีส่วนร่วมในรูปแบบต่างๆ

รูปแบบ	ลักษณะการดำเนินการ	ตัวอย่าง
กลุ่มเรียนรู้จากชุดอุปกรณ์ (Studio Model)	ผู้เรียนถูกจัดเป็นกลุ่มย่อยเพื่อค้นคว้าหาหลักการทางฟิสิกส์จากชุดอุปกรณ์ หรือเครื่องมือที่มีการทำงานค่อนข้างง่าย มีการจัดการค้นคว้าเป็นแบบแผนและต่อเนื่อง โดยไม่มีการบรรยายจากผู้สอน แต่ผู้สอนมีหน้าที่ชี้แนะและอภิปรายกับผู้เรียนเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ถูกต้อง	Physics by Inquiry, Workshop Physics, Studio Physics
ห้องปฏิบัติการแห่งการค้นพบ (Discovery Lab)	ผู้เรียนทำการทดลองเพื่อสร้างองค์ความรู้และข้อสรุปภายในห้องปฏิบัติการอย่างมีอิสระ ซึ่งคู่มือ คำแนะนำ ขั้นตอน หรือสูตรทดลองจะถูกจัดเตรียมไว้อย่างคร่าวๆ และผู้สอนเป็นเสมือนผู้ร่วมทดลองที่คอยชักนำผู้เรียนอย่างระมัดระวัง	Real Time Physics
ห้องบรรยายปฏิสัมพันธ์ (Lecture Based Model)	การสอนหลักจะมาจากการบรรยายของผู้สอน แต่เพิ่มและเน้นการถามตอบ และสร้างกิจกรรมกลุ่มในระหว่างการสอน กระตุ้นให้เกิดการอภิปรายและซักถามจากผู้เรียน	Interactive Lecture Demonstration (ILD)
ช่วงทบทวนปฏิสัมพันธ์ (Recitation Based Model)	ใช้เวลานอกเหนือจากการบรรยายในกิจกรรมที่เน้นให้ผู้เรียนต้องคิดและสร้างความเข้าใจในหลักการฟิสิกส์ที่สอนในการบรรยาย โดยส่วนใหญ่ช่วงเวลาดังกล่าวใช้ในการสอนเสริม หรือทำโจทย์ที่ผู้สอนมอบหมาย โจทย์ที่ใช้มักจะต้องอาศัยจินตนาการ หรือขาดข้อมูลที่สำคัญบางอย่าง หรือยากเกินกว่าที่ผู้เรียนคนหนึ่งๆ จะหาคำตอบได้ด้วยตนเอง จึงต้องมีการทำงานกลุ่ม มีการอภิปราย และหาข้อมูลเพิ่มเติม	Cooperative Problem Solving

2.2 การสอนบรรยายแบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์ (Interactive Lecture Demonstrations)

การสอนบรรยายแบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์ หรือเรียกสั้นๆ ว่าการสอนแบบ ILD เป็นวิธีการสอนที่เน้นการเรียนรู้แบบผู้เรียนมีส่วนร่วมรูปแบบหนึ่ง ผู้ที่ริเริ่มพัฒนาวิธีการสอนแบบนี้ขึ้นมาเป็นครั้งแรก คือ David Sokoloff และ Ronald Thornton[8] ซึ่งเป็นการสอนบรรยายที่มีชุดสาธิตและแบบทำนายผลร่วมในการเรียนการสอน เพื่อให้ผู้เรียนทำการคาดการณ์ผลและสังเกตผลจากชุดสาธิต แล้วให้ผู้เรียนเขียนทำนายลงในแบบทำนายผล ในระหว่างการเรียนการสอนนั้นก็จะให้มีการอภิปรายกันระหว่างผู้เรียนกับผู้สอน และผู้เรียนด้วยกันเอง โดยอาจมีคอมพิวเตอร์ช่วยในการแสดงข้อมูลจากการสาธิต เพื่อสร้างบรรยากาศในการเรียนรู้ของผู้เรียน กระบวนการสอนแบบ ILD มีทั้งหมด 8 ขั้นตอน ซึ่งสามารถเขียนเป็นวัฏจักรการเรียนรู้ (Learning Cycle) ในการจัดการเรียนการสอนในรูปแบบนี้ ดังรูป 2.1



รูป 2.1 แสดงแผนภาพวัฏจักรการเรียนรู้ (Learning Cycle) ของการสอนแบบ ILD

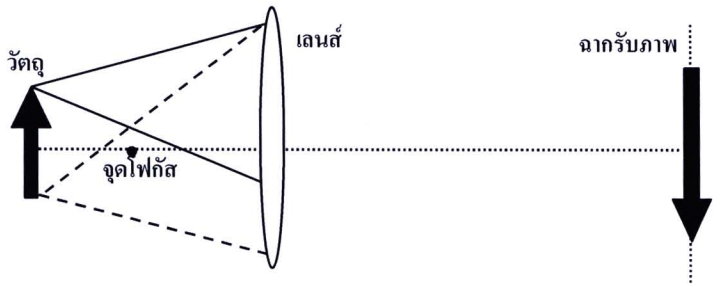
งานวิจัยที่ได้นำรูปแบบการสอนแบบ ILD มาใช้ในการจัดการเรียนการสอน แล้วส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจมากขึ้นกว่าการเรียนการสอนแบบบรรยายเพียงอย่างเดียวหรือการสอนแบบดั้งเดิม มีอยู่ด้วยกันหลายงานวิจัย ดังนี้

Timothy French และ Karen Cummings [13] ได้ศึกษาผลจากการสอนบรรยายแบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์ที่มีการลดขั้นตอนการสอน โดยกลุ่มตัวอย่างการวิจัยเป็นผู้เรียนที่เรียนฟิสิกส์ 1 แบบ Studio Physics จากสถาบัน Rennsselaer Polytechnic Institute (RPI) ซึ่งผู้เรียนเหล่านี้จะถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม ทั้งสองกลุ่มได้รับการสอนแบบ ILD ในเรื่องกฎข้อสามของนิว

ตันเหมือนกัน แต่กลุ่มแรกจะให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมเพียงสามขั้นตอนเท่านั้น คือ ขั้นตอนที่ 1 ผู้สอนอธิบายวิธีการสาธิต ขั้นตอนที่ 2 ผู้เรียนทำการทำนายผล และขั้นตอนที่ 6 ผู้เรียนสังเกตผลการสาธิต ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งจะถูกกระตุ้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนทั้งแปดขั้นตอนของ ILD และทั้งสองกลุ่มจะถูกวัดความรู้ความเข้าใจด้วยแบบทดสอบแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์มาตรฐานในเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (FMCE) ผลการวิจัยพบว่า การสอนบรรยายแบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์ที่มีการลดขั้นตอน มีค่า Normalized gain เท่ากับ 0.76 และการสอนบรรยายแบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์ที่มีครบทุกขั้นตอน มีค่า Normalized gain เท่ากับ 0.67 จึงทำให้ Timothy French และ Karen Cummings ได้ผลสรุปว่าการสอนแบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์ที่มีการลดขั้นตอนไม่มีผลกระทบต่อความรู้ความเข้าใจเรื่องกฎข้อสามของนิวตัน

อำพล ใจรักษ์ และ ขวัญ อารยะธนิตกุล [1] ได้ทำการสอนบรรยายแบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์ (ILD)ในเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ กับผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร โดยใช้ชุดการสาธิตที่พัฒนาขึ้นและคอมพิวเตอร์มาช่วยในการแสดงผลประกอบการสาธิต มีการวัดความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนก่อนและหลังการสอนด้วยแบบทดสอบแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์มาตรฐานในเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (FMCE) ฉบับภาษาไทย แล้วนำข้อมูลไปวิเคราะห์หา Normalized gain ผลการวิจัยพบว่า ผู้เรียนที่ผ่านการเรียนโดยวิธีการสอนบรรยายแบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์มี Normalized gain เท่ากับ 0.26 และกลุ่มผู้เรียนที่ผ่านการเรียนแบบดั้งเดิม (บรรยายเพียงอย่างเดียว) มี Normalized gain เท่ากับ 0.1 อำพล ใจรักษ์ และขวัญ อารยะธนิตกุล จึงสรุปได้ว่าการสอนบรรยายแบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์สามารถช่วยให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น

David Sokoloff [14] ได้นำการสอนบรรยายแบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์ไปใช้กับผู้เรียนที่เรียนรายวิชาฟิสิกส์เบื้องต้น มหาวิทยาลัยโอเรกอน ในเนื้อหาเกี่ยวกับแสงและการมองเห็น โดยใช้ชุดการสาธิตชื่อว่า Optics Magic Tricks และแบบตอบคำถามเป็นเครื่องมือในการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ แบบทดสอบที่ใช้ประเมินความรู้ของผู้เรียน ดังรูป 2.2 จากรูปผู้เรียนจะถูกถามถึงเส้นรังสีของแสงจะเดินทางผ่านเลนส์ได้อย่างไร จึงจะทำให้ได้ภาพดังกล่าว ผลการวิจัยพบว่า ผู้เรียนที่ได้รับการสอนแบบ ILD อย่างต่อเนื่อง มีผลทดสอบหลังเรียนมากกว่าก่อนเรียนถึงร้อยละ 80 ในขณะที่ผู้เรียนที่ได้รับการสอนแบบดั้งเดิม มีผลทดสอบหลังเรียนมากกว่าก่อนเรียนเพียงร้อยละ 20



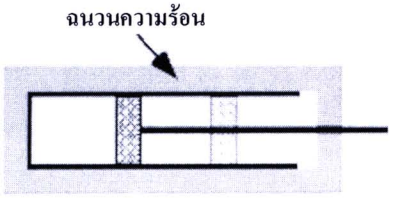
รูป 2.2 แสดงแบบทดสอบวัดความเข้าใจเกี่ยวกับแสงและการมองเห็น [14]

2.3 ความเข้าใจของผู้เรียนเกี่ยวกับความร้อน งาน พลังงานภายใน กฎของแก๊สอุดมคติ กฎข้อที่หนึ่งและกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์

งานวิจัยทางฟิสิกส์ศึกษาที่ใช้สถานการณ์เกี่ยวกับกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์เพื่อเป็นแบบสำรวจความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนในหัวข้อความร้อน งาน พลังงานภายใน กฎของแก๊สอุดมคติ และกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ มีดังนี้

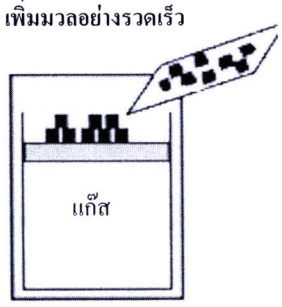
เพื่อสำรวจความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนเกี่ยวกับเทอร์โมไดนามิกส์และการประยุกต์ใช้กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ Michael Loverud และคณะ [15] ได้สัมภาษณ์ผู้เรียนชั้นปีที่หนึ่งที่เรียนวิชาฟิสิกส์และชั้นปีที่สองที่เรียนวิชาเทอร์โมไดนามิกส์ ณ มหาวิทยาลัยวอชิงตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งผู้เรียนทั้งสองกลุ่มได้รับการสอนแบบบรรยายเพียงอย่างเดียว โดยให้ผู้เรียนอธิบายถึงความสัมพันธ์ของงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการแอเดียแบติก (Adiabatic Process) ของแก๊สอุดมคติกับกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ การสัมภาษณ์ใช้ภาพชุดสาธิตประกอบเพื่อให้ผู้เรียนใช้เป็นบริบทในการตอบคำถาม ซึ่งภาพที่ใช้ในการสัมภาษณ์มีดังนี้

1) รูปกระบอกสูบพลาสติกที่บรรจุอากาศอยู่ภายใน มีลูกสูบปิดปลายด้านหนึ่งไว้และมีฉนวนหุ้มกระบอกสูบ ดังรูป 2.3 แล้วให้จินตนาการถึงว่า ถ้าดันลูกสูบเข้าไปในกระบอกสูบอย่างรวดเร็ว และผู้เรียนลองทำนายว่าจะเกิดอะไรขึ้นกับอุณหภูมิของอากาศในกระบอกสูบ แล้วถามต่อว่า ถ้าภายในกระบอกสูบมีตัวตรวจวัดแล้วพบว่าอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อลูกสูบถูกอัดเข้าไปในกระบอกสูบอย่างรวดเร็ว พลังงานภายในของแก๊สจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างไร ซึ่งทั้งสองคำถามให้ผู้เรียนมีการอธิบายประกอบการตอบคำถาม



รูป 2.3 แสดงรูปกระบอกสูบพลาสติกที่ให้ผู้เรียนตอบคำถามเกี่ยวกับอุณหภูมิและพลังงานภายในของอากาศ [15]

2) รูปของอากาศที่บรรจุอยู่ในกระบอกสูบที่หุ้มฉนวนความร้อนไว้ โดยมีคำถามเกี่ยวกับแก๊สอุดมคติที่บรรจุอยู่ในกระบอกสูบหุ้มด้วยฉนวนความร้อน ดังรูป 2.4 ถ้าเพิ่มมวลจำนวนมากลงบนลูกสูบอย่างรวดเร็ว โดยไม่คิดแรงเสียดทานระหว่างลูกสูบกับผนังของกระบอกสูบ จะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความดัน และปริมาตรของแก๊สหรือไม่ พร้อมให้คำอธิบาย



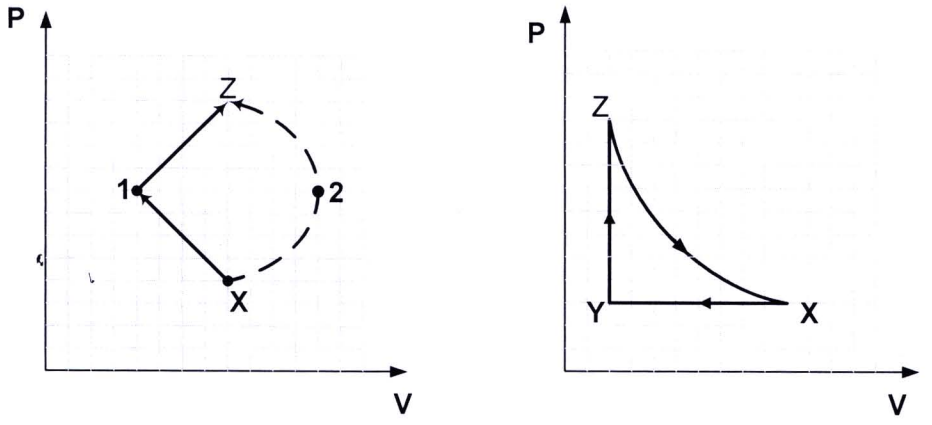
รูป 2.4 แสดงรูปกระบอกสูบหุ้มด้วยฉนวนความร้อนที่ให้ผู้เรียนตอบคำถามเกี่ยวกับอุณหภูมิ ปริมาตรและความดันของอากาศ [15]

3) แผนภาพความดันและปริมาตร (PV diagram) ของแก๊สอุดมคติ ให้ผู้เรียนพิจารณาแผนภาพแล้วตอบคำถามเกี่ยวกับงาน พร้อมทั้งอธิบายเหตุประกอบ โดยถามคำถามผู้เรียนดังนี้

ผู้เรียนคนหนึ่งทำการทดลองเกี่ยวกับแก๊สอุดมคติที่อยู่ในกระบอกสูบ ผลการทดลองแสดงดังแผนภาพ P-V ในรูป 2.5 (ก) โดยเริ่มจากจุด X และสิ้นสุดที่จุด Z งาน (ไม่คิดเครื่องหมาย) ที่ทำในกระบวนการ $X \rightarrow 2 \rightarrow Z$ มากกว่า น้อยกว่าหรือเท่ากับงานที่ทำในกระบวนการ $X \rightarrow 1 \rightarrow Z$ จงอธิบาย

ผู้เรียนคนหนึ่งทำการทดลองเกี่ยวกับแก๊สอุดมคติที่อยู่ในกระบอกสูบ ผลการการทดลองแสดงดังแผนภาพ P-V ในรูป 2.5 (ข) โดยเริ่มจากจุด X ต่อเนื่องไปยังจุด

Y และจุด Z แล้วย้อนกลับไปยังจุด X กระบวนการ Z→ X เป็นกระบวนการแบบอุณหภูมิคงที่ (Isothermal Process) งานสุทธิในวัฏจักรที่ทำต่อแก๊สมีค่ามีเป็นบวก ลบหรือเท่า กับศูนย์ อธิบาย



(ก) (ข)

รูป 2.5 แสดงแผนภาพ P-V ของแก๊สอุดมคติ ให้ผู้เรียนตอบคำถามเกี่ยวกับงาน [15]

David Meltzer [16] สำรวจการให้เหตุผลของผู้เรียนชั้นปีที่หนึ่งที่เรียนฟิสิกส์พื้นฐานและผ่านการเรียนแคลคูลัสพื้นฐาน มหาวิทยาลัยรัฐไอโอวา เกี่ยวกับเรื่องความร้อน งานและกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ โดยใช้แบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นมา ซึ่งมี 3 รูปแบบ ดังนี้

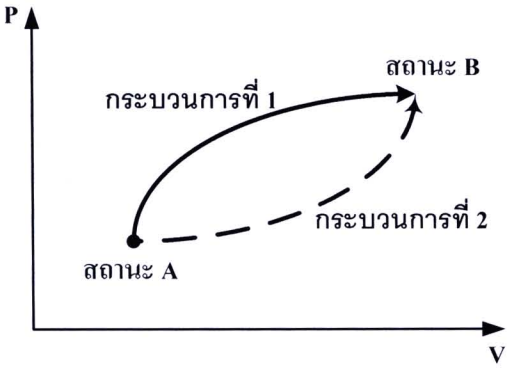
1) แบบทดสอบที่มีคำตอบปลายเปิด ดังรูป 2.6 ให้ผู้เรียนพิจารณาแผนภาพ P-V ของระบบที่ประกอบด้วยแก๊สอุดมคติที่เปลี่ยนแปลงจากสถานะ A ไปสู่สถานะ B ผ่านกระบวนการสองกระบวนการที่แตกต่างกัน และให้ตอบคำถามดังนี้

คำถามที่ 1 งานในกระบวนการที่ 1 มากกว่า น้อยกว่าหรือเท่ากับงานใน กระบวนการที่ 2 พร้อมให้เหตุผล

คำถามที่ 2 ความร้อนที่ถ่ายเทระหว่างในกระบวนการที่ 1 มากกว่า น้อยกว่าหรือเท่ากับความร้อนที่ถ่ายเทระหว่างกระบวนการที่ 2 พร้อมให้เหตุผล

คำถามที่ 3 กระบวนการใดที่มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของระบบมากที่สุด กระบวนการที่ 1 กระบวนการที่ 2 หรือทั้งกระบวนการที่ 1 และ 2 พร้อมทั้งให้เหตุผล

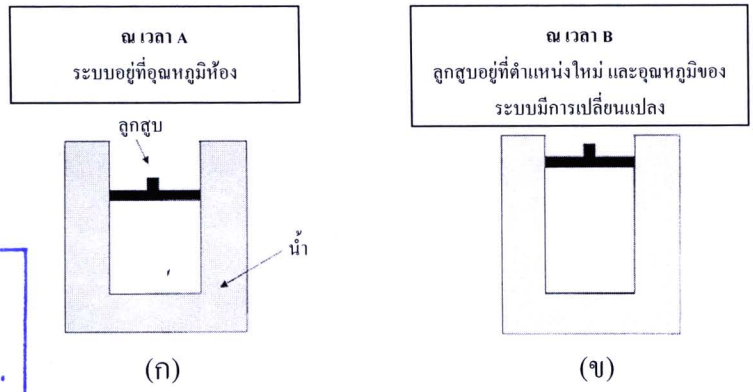
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูป 2.6 แสดงแผนภาพ P-V ของระบบหรือแก๊สอุดมคติ เพื่อตอบคำถามเกี่ยวกับงาน ความร้อน และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลงของระบบ [16]

2) แบบทดสอบที่ใช้ในการสัมภาษณ์ ให้ผู้เรียนพิจารณาแก๊สอุดมคติที่บรรจุในกระบอกสูบ ปิดด้วยลูกสูบที่ไม่มีความฝืด โดยลูกสูบกันไม่ให้แก๊สไหลออกนอกกระบอกสูบ และกระบอกสูบถูกล้อมรอบด้วยน้ำ ดังรูป 2.7 (ก) ณ เวลา A ซึ่งระบบทั้งหมดอยู่ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเริ่มกระบวนการที่ 1 ด้วยขั้นตอนดังนี้ โดยแต่ละขั้นตอนจะมีคำถามที่ให้ผู้เรียนตอบระหว่างการสัมภาษณ์

ขั้นที่ 1 เริ่มกระบวนการที่ 1 โดยน้ำที่บรรจุในช่องว่างระหว่างกระบอกถูกทำให้ร้อนขึ้นอย่างช้าๆ ส่งผลให้ลูกสูบของกระบอกสูบเคลื่อนขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงที่เวลา B หยุดให้ความร้อนแก่น้ำ ทำให้ลูกสูบหยุดเคลื่อนที่ด้วยตำแหน่งใหม่ของลูกสูบ ดังรูป 2.7 (ข)



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 25 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 247921
ลขเรียกหนังสือ

รูป 2.7 แสดงตำแหน่งของลูกสูบ ณ เวลา A และ เวลา B [16]

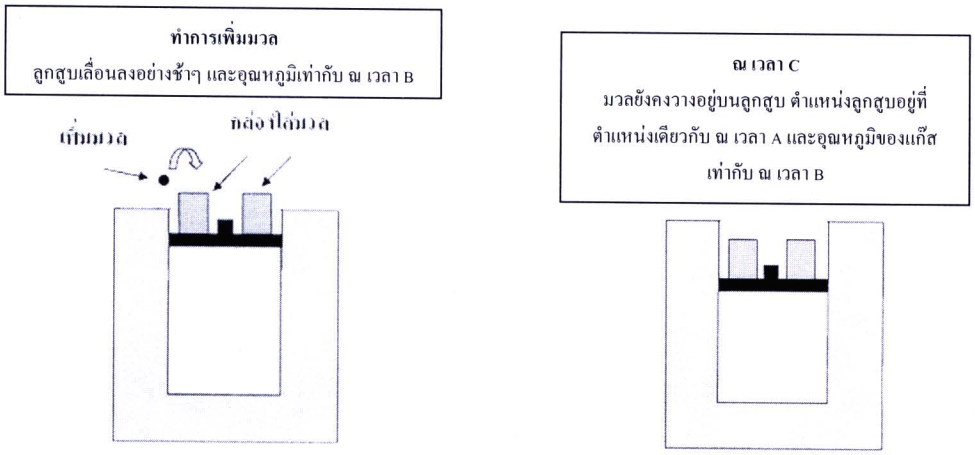
คำถามที่ 1 ในระหว่างกระบวนการที่ลูกสูบเคลื่อนที่จากเวลา A ไปสู่เวลา B ข้อใดที่เป็นจริงเกี่ยวกับงาน 1) งานที่มีค่าเป็นบวก คืองานที่

สิ่งแวดล้อมกระทำต่อแก๊สในระบบ 2) งานที่มีค่าเป็นบวก คืองานที่ระบบแก๊สกระทำต่อสิ่งแวดล้อม 3) ไม่มีงานสุทธิที่ทำโดยแก๊ส หรือกระทำต่อแก๊ส

คำถามที่ 2 ในระหว่างกระบวนการที่ลูกสูบเคลื่อนที่จากเวลา A ไปสู่เวลา B ถ้าแก๊สดูดกลืนพลังงาน x จูล จากน้ำ ข้อใดที่เป็นจริงเกี่ยวกับพลังงานจลน์ทั้งหมดของโมเลกุลของแก๊ส 1) เพิ่มขึ้น มากกว่า x จูล, 2) เพิ่มขึ้นเท่ากับ x จูล, 3) เพิ่มขึ้น น้อยกว่า x จูล, 4) พลังงานจลน์เท่าเดิม, 5) น้อยลง มากกว่า x จูล, 6) น้อยลง เท่ากับ x จูล, 7) น้อยลง น้อยกว่า x จูล

ขั้นที่ 2 วางกล่องเปล่าบนลูกสูบ ดังรูป 2.8 (ก) แล้วค่อยๆ เพิ่มมวลเล็กๆ ทีละชิ้นลงบนกล่องเปล่า แล้วสังเกตการเคลื่อนที่ของลูกสูบที่เคลื่อนที่ลงอย่างช้าๆ ขณะที่เกิดการเคลื่อนที่ลงอย่างช้าๆ ของลูกสูบ น้ำแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและแก๊สมีอุณหภูมิถือได้ว่าคงที่ (มีอุณหภูมิเท่ากับที่เวลา B)

ขั้นที่ 3 ที่เวลา C หยุดการเพิ่มมวลให้กับกล่องเปล่า (มวลที่เพิ่มเข้าไปแล้วยังคงอยู่บนลูกสูบ) ลูกสูบก็จะหยุดเคลื่อนที่ พบว่าลูกสูบในขณะเวลานั้นจะอยู่ตำแหน่งเดียวกับขณะเวลา A ดังรูป 2.8 (ข)



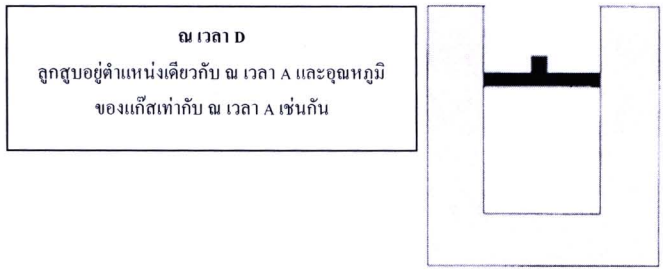
(ก) (ข)

รูป 2.8 แสดงรูปการเพิ่มมวลให้กับกระบอกสูบและตำแหน่งของลูกสูบ ณ เวลา C [16]

คำถามที่ 3 ในระหว่างกระบวนการที่ลูกสูบเคลื่อนที่จากเวลา B ไปสู่เวลา C พลังงานจลน์รวมของโมเลกุลของแก๊สจะเพิ่มขึ้น ลดลง หรือเท่าเดิม

คำถามที่ 4 ในระหว่างกระบวนการที่ลูกสูบเคลื่อนที่จากเวลา B ไปสู่เวลา C จะมีการถ่ายเทพลังงานจากแก๊สไปสู่น้ำหรือไม่ ถ้าไม่ อธิบายเหตุผล

ขั้นที่ 4 ขณะที่ลูกสูบถูกล็อกไม่ให้เคลื่อนที่เป็นเวลานาน ทำให้ระบบเข้าสู่สมดุลกับอุณหภูมิห้อง เมื่อหยิบมวลที่วางบนลูกสูบออกอย่างช้าๆ ปรากฏว่าลูกสูบไม่มีการเคลื่อนที่ อยู่ที่เวลา D (อยู่ที่เดียวกับ ณ เวลา A) ดังรูป 2.9



รูป 2.9 แสดงรูปตำแหน่งของลูกสูบ ณ เวลา D ที่อยู่ตำแหน่งเดียวกับ ณ เวลา A [16]

คำถามที่ 5 ในระหว่างกระบวนการที่ลูกสูบเคลื่อนที่จากเวลา C ไปสู่เวลา D ถ้าน้ำดูดกลืนพลังงานจากแก๊ส y จูล พลังงานจลน์ทั้งหมดของโมเลกุลของแก๊สจะเป็นไปตามข้อใด 1) เพิ่มขึ้น มากกว่า y จูล, 2) เพิ่มขึ้น เท่ากับ y จูล, 3) เพิ่มขึ้น น้อยกว่า y จูล, 4) พลังงานจลน์เท่าเดิม, 5) ลดลง น้อยกว่า y จูล, 6) ลดลง เท่ากับ y จูล และ 7) ลดลง มากกว่า y จูล

คำถามที่ 6 พิจารณากระบวนการทั้งหมดจากเวลา A จนถึงเวลา D

ก) งานทั้งหมดที่แก๊สกระทำต่อสิ่งแวดล้อมจะมีค่าเท่าไร

1) เท่ากับศูนย์ 2) น้อยกว่าศูนย์ 3) มากกว่าศูนย์

ข) ความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายโอนระหว่างแก๊สกับสิ่งแวดล้อมจะมีค่าเท่าไร

1) เท่ากับศูนย์ 2) น้อยกว่าศูนย์ 3) มากกว่าศูนย์

ขั้นที่ 5 เริ่มกระบวนการที่ 2 โดยทำซ้ำตามกระบวนการที่ 1 (จากตำแหน่งที่เวลา A ถึงตำแหน่งที่เวลา D) แต่ให้ความร้อนแก่น้ำนานกว่าในกระบวนการที่ 1 ส่งผลให้ลูกสูบเคลื่อนที่ได้สูงกว่าที่ตำแหน่งที่เวลา B ในกระบวนการที่ 1 และเวลาที่ตำแหน่งสุดท้ายเมื่อหยิบมวลออกแล้วเป็นเวลา E

คำถามที่ 7 พิจารณาพลังงานจลน์ทั้งหมดของโมเลกุลของแก๊สที่เวลา A, D และ E โดยใช้สัญลักษณ์ E_A, E_D และ E_E ตามลำดับ จงเรียงลำดับขนาดของพลังงานจลน์ทั้งหมดของโมเลกุลของแก๊สที่เวลาเหล่านี้ โดยใช้เครื่องหมาย "$<$" "$>$" หรือ "$=$"

คำถามที่ 8 พิจารณา $|Q_1|$, $|Q_2|$, $|W_1|$, $|W_2|$, เมื่อ Q_1, Q_2 คือ ความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายโอนให้แก๊สในระหว่างกระบวนการที่ 1 และกระบวนการที่ 2 และ W_1, W_2 คืองานสุทธิที่ทำโดยแก๊สในระหว่างกระบวนการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จงเรียงลำดับปริมาณเหล่านี้จากมากไปน้อย โดยใช้เครื่องหมาย "$<$" "$>$" หรือ "$=$"

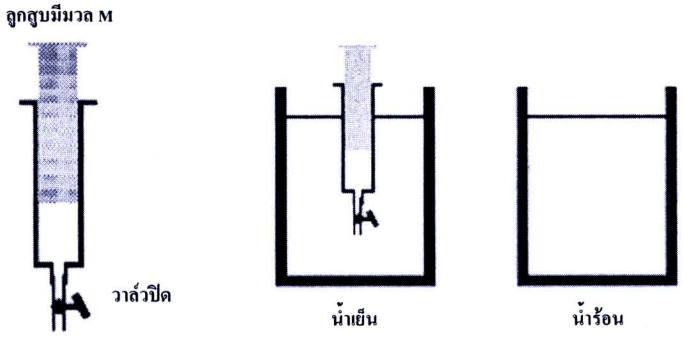
3) แบบทดสอบที่ใช้สอบปลายภาค ให้ผู้เรียนพิจารณาระบบที่ประกอบด้วยปริมาณของแก๊สอุดมคติในสถานะสมดุล A ถูกให้ความร้อนอย่างช้าๆ จนขยายเข้าสู่สถานะสมดุล B และอีกระบบหนึ่งที่เหมือนกันที่สถานะสมดุล A แต่ผ่านกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ต่างกัน เข้าสู่สถานะสมดุล B เช่นเดียวกับสถานการณ์แรก แล้วให้ผู้เรียนตอบคำถามเกี่ยวกับงานสุทธิที่ทำโดยระบบและความร้อนสุทธิที่ถูกดูดกลืนโดยระบบของกระบวนการทั้งสอง ว่าจะเป็นอย่างไร โดยมีตัวเลือกในการตอบคำถามดังนี้
   ก) งานสุทธิที่ทำโดยระบบทั้งสองกระบวนการมีค่าต่างกัน แต่ความร้อนสุทธิที่ถูกดูดกลืนโดยระบบทั้งสองกระบวนการมีค่าเท่ากัน
   ข) งานสุทธิที่ทำโดยระบบทั้งสองกระบวนการมีค่าเท่ากัน แต่ความร้อนสุทธิที่ถูกดูดกลืนโดยระบบทั้งสองกระบวนการมีค่าต่างกัน
   ค) งานสุทธิที่ทำโดยระบบและความร้อนสุทธิที่ถูกดูดกลืนโดยระบบทั้งสองกระบวนการมีค่าต่างกัน
   ง) งานสุทธิที่ทำโดยระบบและความร้อนสุทธิที่ถูกดูดกลืนโดยระบบทั้งสองกระบวนการมีค่าเท่ากัน แต่ไม่เท่ากับศูนย์
   จ) งานสุทธิที่ทำโดยระบบและความร้อนสุทธิที่ถูกดูดกลืนโดยระบบทั้งสองกระบวนการมีค่าเท่ากับศูนย์

Christian Kautz และคณะ [17] ได้สังเกตผู้เรียนที่พวกเขากำลังสอนอยู่ตลอดภาคการศึกษา พบว่าผู้เรียนไม่สามารถประยุกต์ใช้กฎของแก๊สอุดมคติหลังการสอนในรายวิชาฟิสิกส์พื้นฐานและเคมีระดับสูงได้ ด้วยเหตุนี้พวกเขาจึงทำการสำรวจความเข้าใจของผู้เรียนชั้นปีที่หนึ่ง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

จากมหาวิทยาลัยในสหรัฐอเมริกา เกี่ยวกับกฎของแก๊สอุดมคติโดยเน้นในระดับมหภาค (Macroscopic Level) ซึ่งจะพิจารณาในเรื่องของความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิของแก๊สเป็นหลัก ในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับความเข้าใจของผู้เรียนโดยใช้แบบสอบถามที่พัฒนาขึ้นมาควบคู่กับการสัมภาษณ์ แบบสอบถามมีรายละเอียดดังนี้

1) หลอดฉีดยาแก้วอันหนึ่งที่ปากหลอดถูกปิดโดยใช้วาล์ว ภายในบรรจุแก๊สอุดมคติและลูกสูบมีมวล M เริ่มต้นจุ่มอยู่ในน้ำเย็น ดังรูป 2.10 จากนั้นนำหลอดฉีดยาออกจากน้ำเย็นไปจุ่มลงในน้ำร้อน เมื่อเข้าสู่สมดุลความร้อน ผู้เรียนจะถูกถามถึงความดันและปริมาตรของแก๊สว่าจะเพิ่มขึ้น ลดลงหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลง พร้อมทั้งอธิบายเหตุผล

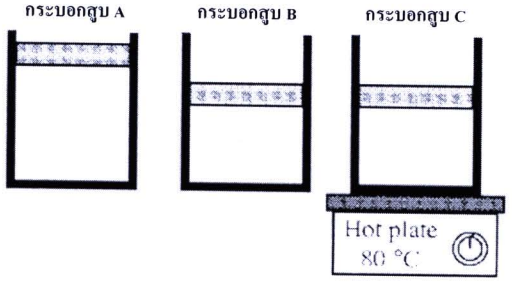


รูป 2.10 แสดงรูปหลอดฉีดยาแก้ว ให้ผู้เรียนตอบคำถามเกี่ยวกับความดันและปริมาตร [17]

2) กระบอกสูบ A , B และ C ที่เหมือนกันทุกประการ บรรจุแก๊สอุดมคติที่ไม่ทราบปริมาณ กระบอกสูบปิดด้วยลูกสูบที่ไม่มีความฝืดมวล M กระบอกสูบ A และ B อยู่ในภาวะสมดุลความร้อนกับอุณหภูมิห้องที่ 20 °C และกระบอกสูบ C ถูกทำให้อยู่ในภาวะสมดุลความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ดังรูป 2.11 ให้ผู้เรียนทำการตอบคำถามดังนี้

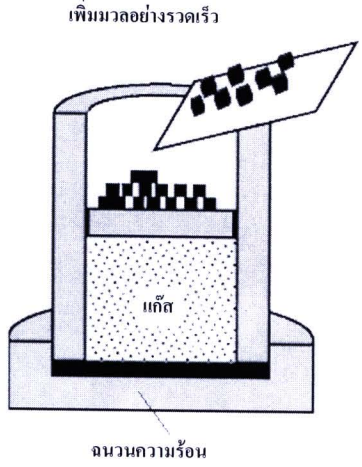
คำถามที่ 1 ความดันของแก๊สไนโตรเจนในกระบอกสูบ A มีค่ามากกว่า น้อยกว่า หรือเท่ากับความดันของแก๊สไฮโดรเจนในกระบอกสูบ B พร้อมทั้งบอกเหตุผล

คำถามที่ 2 ความดันของแก๊สไฮโดรเจนในกระบอกสูบ B มีค่ามากกว่า น้อยกว่า หรือเท่ากับความดันของแก๊สไฮโดรเจนในกระบอกสูบ C พร้อมทั้งบอกเหตุผล



รูป 2.11 แสดงรูปกระบอกสูบ A, B และ C ให้ผู้เรียนตอบคำถามเกี่ยวกับความดัน [17]

3) กระบอกสูบที่หุ้มด้วยฉนวนความร้อนบรรจุแก๊สอุดมคติอยู่ มีลูกสูบขนาดพอดีกับกระบอกทำให้แก๊สไม่สามารถไหลออกได้ ดังรูป 2.12 มีมวลจำนวนหนึ่งวางอยู่บนลูกสูบ (ไม่ต้องพิจารณาแรงเสียดทานระหว่างลูกสูบและผนังของกระบอกสูบ) ถ้าเพิ่มมวลจำนวนมาก ลงบนลูกสูบอย่างรวดเร็ว ให้ผู้เรียนตอบคำถามเกี่ยวกับอุณหภูมิ ปริมาตรและความดันว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร



รูป 2.12 แสดงรูปกระบอกสูบหุ้มฉนวนความร้อน ให้ผู้เรียนตอบคำถามเกี่ยวกับอุณหภูมิ ปริมาตร และความดัน [17]

ผลจากการวิจัยข้างต้น พบว่าผู้เรียนมีความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับความร้อน งาน พลังงานภายใน กฎของแก๊สอุดมคติ และกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ นอกจากนี้ยังพบว่าผู้เรียนไม่สามารถใช้กฎข้อที่หนึ่งในการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณดังกล่าวด้วย ซึ่งจากผลการวิจัยดังกล่าว สามารถสรุปความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนแยกเป็นหัวข้อต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. กฎของแก๊สอุดมคติ

ผลจากการสำรวจความเข้าใจของผู้เรียนเกี่ยวกฎของแก๊สอุดมคติในระดับมหภาค Christian Kautz และคณะ [17] พบว่าผู้เรียนไม่สามารถพิจารณากฎของแก๊สอุดมคติได้ เมื่อใดให้ผู้เรียนพิจารณาความดัน อุณหภูมิ และปริมาตรของแก๊ส ในสถานการณ์เดียวกัน ผู้เรียนก็จะพิจารณาความสัมพันธ์เพียงสองตัวแปรเท่านั้น และจะกำหนดให้ตัวแปรที่สามเป็นค่าคงที่โดยอัตโนมัติ ดังตัวอย่างในการสัมภาษณ์ที่ให้ผู้เรียนพิจารณาอุณหภูมิ ความดัน และปริมาตรของแก๊สในกระบอกสูบหุ้มฉนวน ว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อวางมวลขนาดใหญ่ลงไปบนลูกสูบ ผู้เรียนตอบว่า "*อุณหภูมิของแก๊สจะเท่าเดิม เพราะความดันจะเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากปริมาตรลดลง เมื่อพิจารณาเป็นแก๊สอุดมคติ ซึ่งเป็นไปตามสมการ $PV=nRT$*" ซึ่งผลที่เจอนี้เป็นปัญหาที่ Michael Loverud และคณะ [15] ค้นพบในงานวิจัยของเขาเช่นเดียวกัน นอกจากผู้เรียนไม่สามารถพิจารณาตัวแปรสามหลายตัวในคราวเดียวกันแล้ว ผู้เรียนส่วนใหญ่ยังมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน ว่าปริมาตรและปริมาณหรือจำนวนโมเลกุลของแก๊สเป็นสิ่งเดียวกัน เช่น เมื่อถามคำถามในสถานการณ์หลอดฉีดยาและกระบอกสูบหุ้มฉนวน พบว่า ผู้เรียนไม่สามารถแยกแยะปริมาณกับปริมาตรของอากาศได้ ผู้เรียนร้อยละ 20 จากฟิสิกส์เบื้องต้น และร้อยละ 15 จากเทอร์โมไดนามิกส์ ให้คำตอบว่า ปริมาตรของอากาศจะเท่าเดิมหลังจากนำหลอดฉีดยาออกจากน้ำเย็นไปสู่น้ำร้อน และผู้เรียนร้อยละ 20 จากฟิสิกส์เบื้องต้น ให้คำตอบว่าปริมาตรของอากาศจะเท่าเดิม เมื่อวางมวลจำนวนมากลงบนลูกสูบ โดยพวกเขาให้เหตุผลว่า เนื่องจากไม่มีอากาศไหลออกจากหลอดฉีดยาหรือกระบอกสูบ

2. งานทางอุณหพลศาสตร์

Michael Loverud และคณะ [15] พบว่า การที่ผู้เรียนไม่สามารถประยุกต์ใช้กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ได้ถูกต้องนั้น สาเหตุอย่างหนึ่งมาจากที่ผู้เรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับงานทางอุณหพลศาสตร์ ซึ่งผู้เรียนมีความเข้าใจว่า เครื่องหมายของงานไม่ได้ขึ้นอยู่กับระบบพิกัด และงานที่ระบบกระทำหรือถูกกระทำไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมกัน ในขณะเกิดกระบวนการใดๆ โดยพวกเขาจะคิดว่า งานที่ระบบกระทำต่อสิ่งแวดล้อมจะเกิดขึ้นเฉพาะสถานการณ์ที่มีการขยายปริมาตรของระบบเท่านั้น และงานที่ระบบถูกกระทำจากสิ่งแวดล้อมจะเกิดขึ้นเฉพาะในสถานการณ์ที่ปริมาตรของระบบหดตัวเช่นกัน และยังมีผู้เรียนอีกส่วนหนึ่งที่คิดว่าในขณะที่เกิดกระบวนการใดๆ จะมีงานเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งแบบที่ระบบกระทำและถูกกระทำ แต่งานทั้งสองนี้จะมีค่าไม่เท่ากัน(ไม่พิจารณาเครื่องหมายของงาน) ซึ่งงานที่มีค่ามากกว่าจะแสดงปรากฏการณ์ให้เห็น ส่วนงานที่มีค่าน้อยจะไม่แสดงผลออกมา เนื่องจากแรงที่กระทำมีค่าน้อยกว่า ตัวอย่างในการให้คำอธิบายของผู้เรียนเกี่ยวกับประเด็นนี้ เช่น ขณะที่อัดลูกสูบของกระบอกสูบ เกิดงานทั้งแบบที่

ระบบกระทำและถูกกระทำ แต่แรงที่สิ่งแวดล้อม(มือ) กระทำต่อระบบมีค่ามากกว่าแรงที่ระบบกระทำต่อสิ่งแวดล้อม จึงทำให้ระบบเกิดการหดตัว เป็นต้น นอกจากนี้เขายังพบอีกว่า ผู้เรียนคิดว่างานทางอุณหพลศาสตร์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับเส้นทางการเปลี่ยนแปลงเหมือนกับงานในทางกลศาสตร์ หรือคิดว่างานทางอุณหพลศาสตร์เป็นตัวแปรสถานะนั้นเอง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ David Meltzer [16] ที่พบว่า ผู้เรียนมีความเข้าใจว่างานในทางอุณหพลศาสตร์เป็นตัวแปรที่ไม่ขึ้นอยู่กับเส้นทางการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ ซึ่งผู้เรียนจะพิจารณาเฉพาะจุดเริ่มต้นและสุดท้ายเท่านั้น ดังนั้นเมื่อให้ผู้เรียนพิจารณางานจากกระบวนการที่เกิดเป็นวัฏจักร ผู้เรียนส่วนใหญ่ตอบว่างานจะมีค่าเป็นศูนย์ในสถานการณ์ดังกล่าว เช่น จากการตอบคำถามของผู้เรียนเกี่ยวกับงานและความร้อน สุทธิที่เกิดขึ้นในกระบวนการที่มีลักษณะเป็นวัฏจักร ว่าค่าทั้งสองจะมีค่าเป็นบวก ลบหรือเท่ากับศูนย์ ผู้เรียนร้อยละ 63 ตอบว่างานสุทธิที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้มีค่าเท่ากับศูนย์ โดยผู้ได้ให้เหตุผลว่า สถานะเริ่มต้นและสุดท้ายของกระบวนการอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน

3. ความร้อน

ความเข้าใจของผู้เรียน เกี่ยวกับความร้อนที่ถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม เมื่อระบบคือแก๊สอุดมคติ David Meltzer [16] พบว่า ผู้เรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเรื่องนี้ เช่นเดียวกับงานทางอุณหพลศาสตร์ คือ ผู้เรียนคิดว่าความร้อนที่ถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมเป็นตัวแปรที่ไม่ขึ้นอยู่กับเส้นทาง แต่จะขึ้นอยู่กับสถานะเริ่มต้นและสถานะสุดท้าย เหมือนกับตัวแปรการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน ดังนั้นเมื่อพิจารณาความร้อนที่ถ่ายเทในสถานการณ์ที่เกิดกระบวนการสองกระบวนการที่ต่างกัน แต่มีสถานะเริ่มต้นและสถานะสุดท้ายอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน จึงทำให้ผู้เรียนส่วนใหญ่จึงตอบคำถามได้ไม่ถูกต้อง ซึ่งมีผลตรงกับที่ Michael Loverud [15] พบในงานวิจัยของเขาว่า ผู้เรียนมีความสับสนเกี่ยวกับความร้อนของระบบคือพลังงานภายในหรืออุณหภูมิของระบบนั่นเอง และเมื่อใดที่มีงานเกิดขึ้นในระบบจะต้องมีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นเสมอ

4. พลังงานภายใน

David Meltzer [15] พบว่า ผู้เรียนมีความเข้าใจว่าพลังงานภายในของแก๊สเป็นตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับเส้นทางของกระบวนการ ตัวอย่างเช่น จากคำถามที่ถามผู้เรียนเพื่อทดสอบความเข้าใจเกี่ยวกับตัวแปรสถานะและตัวแปรการถ่ายเทว่า "*ระบบเริ่มจากสถานะ A เกิดการเปลี่ยนแปลงตามกระบวนการที่ 1 ทำให้ระบบอยู่ในสถานะ B จากนั้นเกิดกระบวนการที่ 2 ทำให้ระบบกลับมาสู่สถานะ A โดยที่สองกระบวนการนี้มีเส้นทางไม่เหมือนกัน การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของ*

ระบบมีการเพิ่มขึ้น ลดลงหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลง" มีผู้เรียนจำนวนมากสามารถตอบคำถามได้ถูกต้อง (พลังงานภายในของระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง) โดยพวกเขาได้ให้เหตุผลที่สามารถยอมรับได้และแสดงให้เห็นว่าผู้เรียนเข้าใจว่าการที่มีการเปลี่ยนแปลงจากสถานะหนึ่งไปสู่อีกสถานะหนึ่งนั้น เส้นทางของกระบวนการไม่ได้ส่งผลถึงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายใน แต่พลังงานภายในจะขึ้นอยู่กับสภาวะเริ่มต้นและสภาวะสุดท้าย แต่ยังมีผู้เรียนอีกจำนวนหนึ่งที่มีความเข้าใจว่าพลังงานภายในเป็นตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับเส้นทางของกระบวนการ

5. กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์

จากงานวิจัยทั้งของ Michael Loverud [15] และ David Meltzer [16] พบปัญหาเดียวกันเกี่ยวกับการนำกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ของผู้เรียนไปใช้พิจารณาตัวแปรต่างๆ หรืออธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นในกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Michael Loverud และคณะ [15] พบว่า มีผู้เรียนเพียงร้อยละ 10 เท่านั้น ที่สามารถอธิบายงานในการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกระบวนการอัดแบบความร้อนคงตัวของแก๊สอุดมคติ ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นการใช้กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์พิจารณาตัวแปรต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ส่วนงานวิจัยของ David Meltzer [16] พบว่า ผู้เรียนที่สามารถใช้กฎข้อที่หนึ่งพิจารณาคำถามสถานการณ์ต่างๆ เช่น คำถามเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมในกระบวนการอุณหภูมิคงที่ ว่าจะมีการถ่ายเทความร้อนหรือไม่ มีผู้เรียนเพียงไม่กี่คนที่อธิบายว่าความร้อนที่ถ่ายเทจากระบบไปสู่สิ่งแวดล้อมนั้นถูกเปลี่ยนไปในรูปของงาน จึงทำให้อุณหภูมิของระบบกับสิ่งแวดล้อมไม่มีการเปลี่ยนแปลง และคำถามหนึ่งที่จะต้องใช้กฎข้อที่หนึ่งช่วยในการตอบคือ ถ้าแก๊สได้รับพลังงานที่ถ่ายโอนจากน้ำในระหว่างกระบวนการที่ให้ความร้อน x จูล ทำให้เกิดกระบวนการความดันคงที่พลังงานภายในทั้งหมดของโมเลกุลของแก๊สมีค่าเพิ่มขึ้น ลดลง หรือเท่าเดิม และจะมีค่าเท่าไร ผู้เรียนร้อยละ 47 ตอบว่าพลังงานภายในจะเพิ่มขึ้นและมีค่าเท่ากับ x จูล ซึ่งถ้าผู้เรียนเหล่านี้ใช้กฎข้อที่หนึ่งพิจารณา จะพบว่า ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับระบบ ทำให้พลังงานภายในเพิ่มขึ้น แต่จะมีค่าเพิ่มไม่เท่ากับ x จูล เนื่องจากพลังงานภายในบางส่วนถูกเปลี่ยนไปในรูปของงานที่ใช้ในการขยายปริมาตร เป็นต้น

6. กระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์

กระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์มีทั้งหมดสี่กระบวนการ คือ กระบวนการความดันคงที่ (Isobaric Process) กระบวนการปริมาตรคงที่ (Isochoric Process) กระบวนการอุณหภูมิคงที่ (Isothermal Process) และกระบวนการที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน (Adiabatic Process) ซึ่งจาก

งานวิจัยทางฟิสิกส์ศึกษาพบว่ากระบวนการที่ผู้เรียนมักมีปัญหาเกี่ยวกับความเข้าใจคือ กระบวนการอุณหภูมิคงที่ และกระบวนการที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ดังเช่นงานวิจัยของ Michael Loverud และคณะ [15] พบว่าผู้เรียนมีความเข้าใจว่าอุณหภูมิจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน (Adiabatic Process) ซึ่งคำถามจะถามว่าอุณหภูมิของอากาศที่อยู่ในกระบอกสูบหุ้มฉนวนจะเป็นอย่างไร เมื่อวางมวลจำนวนมากๆ บนลูกสูบ ผู้เรียนร้อยละ 35 ตอบว่าฉนวนที่หุ้มไว้จะรักษาให้อุณหภูมิคงที่ โดยปราศจากการถ่ายเทความร้อน ตัวอย่างที่ผู้เรียนได้อธิบายเหตุผลไว้ เช่น "*ระบบมีฉนวนกั้นอย่างดี จึงทำให้อุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลง*" และ "*อุณหภูมิจะเท่าเดิม เนื่องจากฉนวนที่หุ้มไว้รักษาความร้อนไม่ให้ไหลเข้าหรือออก*" ส่วนงานวิจัยของ David Meltzer [16] พบว่าผู้เรียนของเขามีความเข้าใจสับสนระหว่างกระบวนการอุณหภูมิคงที่กับแหล่งความร้อนภายนอก จากการถามคำถามเพื่อทดสอบความเข้าใจของผู้เรียนเกี่ยวกับกระบวนการแบบอุณหภูมิคงที่ว่าจะมีการถ่ายเทความร้อนระหว่างแก๊ส (ระบบ) กับน้ำ (สิ่งแวดล้อม) หรือไม่ อธิบายเหตุผลประกอบ มีผู้เรียนร้อยละ 59 ให้คำตอบว่าจะไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม โดยพวกเขาได้เขียนอธิบายให้เหตุผลว่า "*จะมีการถ่ายเทความร้อนระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมได้อย่างไร ในเมื่อทั้งระบบและสิ่งแวดล้อมไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ*" ซึ่งจากการให้เหตุผลของผู้เรียนทั้งสองงานวิจัยจะเห็นได้ว่ามีผู้เรียนจำนวนมากมีความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องต่อกระบวนการอุณหภูมิคงที่และกระบวนการที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน

นอกจากปัญหาในหัวข้อต่างๆ ข้างต้นที่งานวิจัยทางฟิสิกส์ศึกษาดังกล่าวพบเจอแล้ว ปัญหาอีกอย่างหนึ่งที่พบก็คือผู้เรียนไม่สามารถพิจารณาปริมาณต่างๆ จากแผนภาพ P-V ได้ ในการใช้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรมีส่วนช่วยพิจารณาสถานการณ์หรือปัญหาทางเทอร์โมไดนามิกส์ทำให้สามารถหาคำตอบของปัญหาได้ง่ายขึ้นและประหยัดเวลาในการพิจารณากระบวนการของระบบ เช่น แผนภาพ P-V ของกระบวนการสองกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงต่างกัน นั่นหมายความว่างานที่เกิดจากสองกระบวนการนี้ก็จะไม่เท่ากันด้วย เพราะพื้นที่ใต้กราฟของสองกระบวนการไม่เท่ากัน เป็นต้น

2.4 วิธีการประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียนโดยใช้คะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน

ในปี ค.ศ. 1998 Richard Hake [18] แห่งมหาวิทยาลัยอินเดียนา ได้ทำการสำรวจผลการเรียนรู้ของผู้เรียนที่ได้รับวิธีการเรียนการสอนแตกต่างกัน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้สำรวจเป็นผู้เรียนที่เรียนวิชาฟิสิกส์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายและระดับอุดมศึกษา ซึ่งห้องเรียนฟิสิกส์ทั้งหมดที่ทำการสำรวจมีจำนวน 62 ชั้นเรียน แบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มที่หนึ่งได้รับวิธีการเรียนการสอนแบบ

Interactive Engagement และกลุ่มที่สองได้รับวิธีการเรียนการสอนแบบดั้งเดิม (Traditional Teaching) โดยใช้ข้อสอบมาตรฐานประเมินความเข้าใจเรื่องแรง (Force Concept Inventory: FCI) ทดสอบความเข้าใจของผู้เรียนก่อนเรียนและหลังเรียน แล้วใช้คะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนประเมินผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นของผู้เรียน ซึ่งวิธีการประเมินผลการเรียนรู้ที่ Richard Hake ใช้เรียกว่า Normalized gain วิธีการนี้สามารถหาได้จากอัตราส่วนของการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริงต่อผลการเรียนรู้ที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้สูงสุด สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\langle g \rangle = \frac{\langle \%post \rangle - \langle \%pre \rangle}{100 - \langle \%pre \rangle} \qquad (2.1)$$

โดยที่ $\langle g \rangle$ คือ ค่า Normalized gain

$\langle \%pre \rangle$ คือ ค่าเฉลี่ยของร้อยละของคะแนนสอบก่อนเรียน

$\langle \%post \rangle$ คือ ค่าเฉลี่ยของร้อยละของคะแนนสอบหลังเรียน

Richard Hake ทำการแบ่งระดับของ gain ออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1. High gain เมื่อ $< g >$ มีค่ามากกว่า 0.7
2. Medium gain เมื่อ $< g >$ มีค่าตั้งแต่ 0.3 ถึง 0.7
3. Low gain เมื่อ $< g >$ มีค่าตั้แต่ 0 ถึง 0.3

การใช้วิธี Normalized gain ประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียนจะมีประสิทธิภาพที่ดีสำหรับในกรณีที่ผู้เรียนมีคะแนนสอบหลังเรียนมากกว่าคะแนนสอบก่อนเรียน แต่ถ้าผู้เรียนมีคะแนนสอบหลังเรียนน้อยกว่าคะแนนสอบก่อนเรียน วิธีการประเมินนี้จะทำให้ผลการประเมินมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง เนื่องจาก $<g>$ มีค่าไม่สมมาตร(มีค่าระหว่าง $-\infty$ ถึง 1) ทำให้การแปลความหมายของค่า $<g>$ ผิดพลาดไป และวิธีนี้ไม่สามารถใช้ประเมินผลเรียนรู้ได้ในกรณีที่ผู้เรียนสามารถทำคะแนนก่อนเรียนได้เต็มอย่างสมบูรณ์ จึงทำให้ Jeffrey Marx และ Karen Cummings [19] นำเสนอวิธีการประเมินผลการเรียนรู้โดยใช้คะแนนสอบก่อนและหลังเรียนแบบใหม่ขึ้น เรียกว่า Normalized change วิธีนี้จะแตกต่างกับวิธี Normalized gain ตรงที่ว่าสามารถประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียนในกรณีที่คะแนนสอบหลังเรียนน้อยกว่าคะแนนสอบก่อนเรียน สามารถเขียนสมการการคำนวณได้ดังนี้

$$<c> = \begin{cases} \dfrac{\langle \%post \rangle - \langle \%pre \rangle}{100 - \langle \%pre \rangle}, post \geq pre \\ \dfrac{\langle \%post \rangle - \langle \%pre \rangle}{\langle \%pre \rangle}, post < pre \end{cases} \quad (2.2)$$

โดยที่ <c> คือ ค่า Normalized change

$\langle \%pre \rangle$ คือ ค่าเฉลี่ยของร้อยละของคะแนนสอบก่อนเรียน

$\langle \%post \rangle$ คือ ค่าเฉลี่ยของร้อยละของคะแนนสอบหลังเรียน

วิธีการประเมินผลทั้งแบบ Normalized gain และ Normalized change สามารถใช้ศึกษาเกี่ยวกับการเรียนรู้ของผู้เรียนว่ามีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างไร ทั้งในระดับรายบุคคล ระดับห้องเรียน แม้กระทั่งในแต่ละหัวข้อ และแต่ละข้อของข้อสอบ