

การศึกษาริเริ่มเพื่อประกอบการสอนเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
ในระหว่างชั้น ป.กศ.สูง โดยการใช้บทเรียนโมดูลกับการสอนตามปกติ

1 ก.ค. 2523

สำนักงานคณะกรรมการข้าราชการครูและบุคลากรทางการศึกษา
ศูนย์วิจัย ๑๑ พระโขนง กรุงเทพฯ ๒ โทร. ๖๑๒๑๖๗๕, ๖๑๑๕๐๘๘

ปริณิธาน

ของ

สง่า รุ่งเรือง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประธานมิตร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษาบัณฑิต

๒๐ มิถุนายน ๒๕๒๒

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

80844 h 56107

การศึกษาเปรียบเทียบการสอนเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
ในระดับชั้น ป.กศ.สูง โดยการใช้บทเรียนโมดูลกับการสอนตามปกติ

บทกั๋ยย่อ
ของ
สง่า รุ่งเรือง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

๒๐ มิถุนายน ๒๕๒๒

จุดมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้านี้ เพื่อสร้างบทเรียนโมดูลเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ในระดับชั้น ป.กศ.สูง และเพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ในระดับชั้น ป.กศ.สูง โดยการใช้บทเรียนโมดูลกับการสอนตามปกติ

การทดลองครั้งนี้กระทำกับนักศึกษา ในระดับชั้น ป.กศ.สูง วิชาเอกวิทยาศาสตร์ จำนวน ๒๑ คน ของวิทยาลัยครูบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งเลือกมาโดยการสุ่ม แล้วแบ่งนักเรียนโดยการสุ่มเป็นสองกลุ่มเท่า ๆ กัน คือกลุ่มทดลองจำนวน ๑๐ คน และกลุ่มควบคุมจำนวน ๑๐ คน การสอนแต่ละกลุ่มใช้เวลา ๓ ชั่วโมง เพื่อเรียนจบแล้ว นักศึกษาผ่านการทดสอบควมแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยใช้เวลาทำการสอบ ๒ ชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ของนักศึกษาที่เรียนมาจากการสอนโดยใช้บทเรียนโมดูลกับที่เรียนจากการสอนตามปกติ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

A COMPARATIVE STUDY IN TEACHING NEWTON'S LAWS OF MOTION
AT HIGHER CERTIFICATE IN EDUCATION LEVEL BY
INSTRUCTIONAL MODULE AND CONVENTIONAL INSTRUCTION

ABSTRACT

BY

SANGA RUNGREUNG

Presented in partial fulfillment of the requirements

for the Master of Education Degree

Srinakharinwirot University

June 20, 2522

The purpose of this study was to construct an instructional module of Newton's laws of motion and to compare the academic achievement between students taught with instructional module and conventional teaching.

The experimental subjects comprised sixty students at higher certificate in education level during the academic year 1978 at Buriram Teacher's College, Buriram Province. The sixty students were randomly selected and equally divided into two groups : the experimental group and the controlled group. The students in each group studied the same content for thirteen hours. The achievement tests of Newton's laws of motion constructed by the researcher was given to both groups for two hours at the end of the learning.

The result of this study shows that the difference between the achievement of students who studied Newton's laws of motion using the instructional module and the achievement of those taught by conventional teaching was not significant.

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิตได้พิจารณาปัญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว
เห็นสมควรรับ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต ,
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

.....ประธาน
.....กรรมการ

ประกาศคุณประการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้เพราะได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จาก รองศาสตราจารย์สมศักดิ์ แสนสุข และผู้ช่วยศาสตราจารย์ฉวี ชัยมงคล ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ดร.สุทัศน์ ยกส้าน ได้ให้คำแนะนำในการเขียน และตรวจแก้ไขปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง

ในการรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากนักศึกษาวิชาเอกวิทยาศาสตร์ ชั้น ปกค.สูง ปี ๒๕๒๑ และคณาจารย์ในภาควิชาฟิสิกส์ และวิทยาศาสตร์ทั่วไป วิทยาลัยครูบุรีรัมย์ จึงขอขอบคุณไว้ในโอกาสนี้

ผู้วิจัย ขอขอบคุณ คุณสุदारัตน์ รุ่งเรือง ที่ได้ความช่วยเหลือ ความเข้าใจ และกำลังใจจนปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จเรียบร้อย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ พ่อ และ แม่ ที่เคารพและรักถึงปริญญานิพนธ์เล่มนี้ อุทิศแด่ท่านทั้งสอง

สง่า รุ่งเรือง

สารบัญ

๘
บทที่

๙
หน้า

๑	บทนำ	๑
	คำนำ	๑
	ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า	๕
	สมมุติฐานของการศึกษาค้นคว้า	๕
	ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า	๕
	ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า	๕
	นิยามศัพท์เฉพาะ	๖
๒	เอกสารและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	๗
	-ความหมายของบทเรียนโมดูล	๗
	-การสร้างบทเรียนโมดูล	๑๐
	ประโยชน์ของบทเรียนโมดูล	๑๒
	การวิจัยเกี่ยวกับบทเรียนโมดูลในต่างประเทศ	๑๓
	การวิจัยเกี่ยวกับการสอนบทเรียนโมดูลในประเทศไทย	๑๖
๓	วิธีดำเนินการ	๑๘
	กลุ่มตัวอย่าง	๑๘
	-การสร้างบทเรียนโมดูล	๑๘
	การทดลองบทเรียนโมดูล	๑๙
	การสร้างแบบทดสอบ	๑๙
	การดำเนินการทดลอง	๒๐
	การวิเคราะห์ข้อมูล	๒๑

๔ ผลการศึกษาค้นคว้า	๒๓
การเปรียบเทียบคะแนนการทดสอบ	
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	๒๓
สรุปผลการทดลอง	๒๓
ข้อมูลพื้นฐานวิจัยสังเกตระหว่าง	
ดำเนินการทดลองใช้บทเรียนโมดูล	๒๔
๕ สรุป อภิปรายผล และขอเสนอแนะ	๒๕
ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้าวิจัย	๒๕
สมมุติฐานการศึกษาค้นคว้า	๒๕
วิธีดำเนินการวิจัย	๒๕
ผลการทดลอง	๒๖
อภิปรายผล	๒๖
ขอเสนอแนะ	๒๖
บรรณานุกรม	๒๘
ภาคผนวก	๓๓

บัญชีตาราง

การวาง

หน้า

๑	แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของคะแนน จากการทดสอบนักเรียนในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม	๒๓
๒	แสดงค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของคะแนนทดสอบ ของกลุ่มทดลอง	๓๕
๓	แสดงค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของคะแนนทดสอบ ของกลุ่มควบคุม	๓๖
๔	แสดงค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบ	๓๙
๕	แสดงค่าแปรปรวนของคะแนนทดสอบ	๔๑
๖	ตารางวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ	๔๒

บทนำ

คำนำ

ปัจจุบันนี้เรารู้ว่า วิทยาศาสตร์เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับมนุษย์ เพราะไม่เพียงแต่หมายถึงความรู้ แต่เป็นกระบวนการที่มีระบบที่นำไปสู่ขอบข่ายอันกว้างขวางของการเรียนรู้ของมนุษย์เกี่ยวกับโลกที่เขาอาศัยอยู่ และขยายขอบเขตออกไปในจักรวาลนักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าลักษณะที่แท้จริงของธรรมชาติคือความมีระเบียบ ฉะนั้นการเสาะแสวงหาเหตุผลเบื้องหลังความเป็นระเบียบของธรรมชาติ จึงเป็นสิ่งที่มีความน่าสนใจ (นิกา สะเพียรชัย ๒๕๒๐ : ๖) วิทยาศาสตร์เป็นวิชาที่ก่อให้เกิดประโยชน์แก่มนุษย์มากมาย ทั้งในอดีตและปัจจุบัน ดร. พัทธกัญ วัชรพลเกษ (พัธกัญ วัชรพลเกษ ๒๕๓๓:๑) กล่าวว่า "ในยุควิทยาศาสตร์ปัจจุบันนี้เป็นที่ประจักษ์ชัดว่า ประเทศที่มีความเจริญก้าวหน้าในทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทั้งหลาย เช่น สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส อังกฤษ ญี่ปุ่น และเยอรมัน ตะวันตก ฯลฯ ประเทศเหล่านี้มีฐานะเป็นผู้นำในสังคมแห่งโลก มีฐานะทางเศรษฐกิจที่ประชาชนพลเมืองมีระดับความเป็นอยู่สูง และมีกำลังความสามารถที่จะให้ความช่วยเหลือแก่ประเทศอื่น ๆ ได้" ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ ได้ดำเนินไปอย่างรวดเร็ว จนทำให้ชีวิตความเป็นอยู่ของประชากรเกือบทั่วทุกมุมโลก ต้องเกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ไม่ทางใดก็ทางหนึ่ง ไม่มีใครปฏิเสธได้ว่า เราได้ใช้วิทยาศาสตร์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของชีวิตให้ดียิ่งขึ้นคือสะดวกสบายนานาประการ (นิกา สะเพียรชัย ๒๕๒๐:๓)

วิทยาศาสตร์เป็นวิทยาการแขนงหนึ่งที่มีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และยังมีความสำคัญมากขึ้นเรื่อย ๆ ต่อไปในอนาคตอย่างไม่สิ้นสุด (พัธกัญ วัชรพลเกษ ๒๕๓๔:๓๕) โดยที่ตระหนักถึงบทบาทสำคัญของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประเทศต่าง ๆ โดยเฉพาะประเทศพัฒนาแล้วจึงได้มีการวางแผนในระดับชาติ เพื่อส่งเสริมการวิจัยค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเพื่อนำความรู้ทาง

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาใช้ ในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม เพื่อสร้าง
 สถานภาพสำหรับประเทศของตน ในประเทศมหาอำนาจนั้นถือว่าความก้าวหน้า
 ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีช่วยสร้างเกียรติภูมิของชาติด้วย โลกปัจจุบันจึงเป็น
 โลกของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างประเทศพัฒนาแล้ว
 และประเทศกำลังพัฒนา จึงอยู่ที่ความสามารถในการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์และ
 เทคโนโลยีมาใช้ ในการพัฒนาประเทศให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (อรุณ รัชตะนาวัน ๒๕๒๐ : ๙๔)

ในปัจจุบันจึงเป็นที่อมรับกันแล้วว่า วิทยาศาสตร์ได้สร้างความเจริญก้าวหน้าให้
 แก่การพัฒนาประเทศอย่างมาก ความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีความจำเป็นต่อความเป็นอยู่ของ
 ประชาชนและมีบทบาทในชีวิตประจำวันในด้านต่าง ๆ อาทิในด้านอำนวยความสะดวกในด้าน
 ความบันเทิง เช่น ภาพยนตร์ วิทยุ โทรทัศน์ ฯลฯ ซึ่งอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์
 ทั้งสิ้น ดร. ชารมอส (ชารมอส ๑๙๖๐ : ๒) ได้กล่าวว่า "ถึงแม้ว่าวิทยาศาสตร์
 สมัยใหม่จะมีอายุเพียง ๓ ศตวรรษเท่านั้น แต่วิทยาศาสตร์ก็ได้สร้างความเจริญให้เกิดขึ้น
 เป็นอันมาก กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ในปัจจุบันจึงอาศัยแนวความคิดของวิทยาศาสตร์
 แขนงต่าง ๆ อยู่เสมอ" วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้แทรกซึมเข้าไปทุกหนทุกแห่ง ไม่ว่า
 เราจะหันตัวไปทางใดจะต้องประสบกับสิ่งต่าง ๆ ซึ่งทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสร้าง
 สรรค์ขึ้นมาทั้งนั้น และมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสังคม เศรษฐกิจ และวัฒนธรรม
 อย่างกว้างขวางและรวดเร็ว (ลีปพนธ์ เกตุทัต ๒๕๖๗ : ๑)

ประเทศไทยได้ตระหนักถึงความสำคัญของการพัฒนาการศึกษามานานแล้วโดย
 ได้จัดให้มีการศึกษาในวิชาการสาขาต่าง ๆ หลายสาขา หลายระดับ อันจะมุ่งพัฒนา
 บุคลากรให้มีความสามารถในการนำความรู้ไปช่วยพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ เป็นผลเมืองดี
 ของประเทศและอยู่ในสังคมด้วยความสงบสุข ในบรรดาวิชาการต่าง ๆ เหล่านี้ "วิชา
 วิทยาศาสตร์" นับเป็นวิชาหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการพัฒนามนุษย์เป็นอย่างมาก (พิทักษ์
 ภิรมย์ เกษ ๑๔๑๔ : ๒๗ - ๒๘)

ดร. กอ สวัสดิ์หานิช (กอ สวัสดิ์หานิช ๒๕๐๘ : ๒-๓) ได้กล่าวถึงความ
 สำคัญในการสอนวิทยาศาสตร์แก่ประชาชนว่า "ความรู้ความสามารถทางวิทยาศาสตร์

ของประชาชน เป็นส่วนประกอบสำคัญแทบจะกล่าวได้ว่า "ความเจริญของบ้านเมืองนั้น ต้องอาศัยการสอนวิทยาศาสตร์ เป็นสำคัญ" วิทยาศาสตร์จึงเป็นวิชาหนึ่งที่ทางโรงเรียนจะต้องจัดให้ทุกคนได้เรียนรู้ เพราะการสอนวิทยาศาสตร์เปรียบเสมือนรากฐานของการพัฒนาประเทศและจะยังคงเป็นสิ่งที่มีอิทธิพลต่อชีวิตของเรานานเท่าที่เราสามารถมีชีวิตอยู่ได้ และนั่นจึงมีความจำเป็นที่สุดที่คนควรรู้วิทยาศาสตร์ (Weatherwax, ๑๙๔๔ : ๓)

แม้ว่าเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่บรรจุไว้ในหลักสูตร จะมีประมวลการสอนแนะนำการสอนไว้ด้วยก็ตาม แต่การสอนวิทยาศาสตร์มิใช่เป็นงานที่จะทำให้สำเร็จได้โดยง่าย เนื่องจากการสอนวิทยาศาสตร์จะต้องมีการพิจารณาเป็นพิเศษ ทั้งนี้เพราะวิทยาศาสตร์เป็นวิชาที่จะต้องไว้วางใจและอุปการณการสอนโดยเฉพาะและต้องมีวิธีการเข้าให้ถึงเป็นพิเศษอีกด้วย (ยูเนสโก ๒๐๐๔ : ๑) ดังนั้นจึงปรากฏว่าไม่มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการสอนวิทยาศาสตร์ในแง่ต่าง ๆ ขึ้นมากมาย

ในวงการศึกษายุคปัจจุบันได้พยายามนำเอาเทคโนโลยีทางการศึกษามาใช้ในการศึกษามากขึ้น (วิจิตร ตรีสะอ้าน ๒๕๑๗ : ๑๒๑) ซึ่งความเคลื่อนไหวเกี่ยวกับการนำเอาเทคโนโลยีมาใช้ เป็นผลโดยตรงจากการเปลี่ยนแปลงแนวความคิดพื้นฐานในเรื่องความแตกต่างระหว่างบุคคล (Individual-Difference) ปัญหาที่ผู้วิจัยสนใจอย่างยิ่งขณะนี้ก็คือ จะวิธีสอนใดบ้างที่จะสอนนักเรียนให้ใกล้เคียงทางและสอดคล้องกับความแตกต่างในด้านความสามารถและอัตราการเรียนรู้ของนักเรียนแต่ละคน จะมีวิธีการสอนใดที่จะช่วยให้เด็กเรียนอ่อนหรือเรียนช้า สามารถได้รับความสำเร็จในการเรียนได้ทัดเทียมกับนักเรียนปานกลาง หรือนักเรียนที่เรียนเก่ง แม้จะช้ากว่า ส่วนนักเรียนที่เรียนเก่งหรือปานกลาง ก็ไม่ควรเสียเวลารอคอย นั่นคือช่วยให้นักเรียนทุกคนพัฒนาระดับความสามารถเรียนได้สำเร็จด้วย (เป็รื่อง กุญฑ ๒๕๑๖ : ๑๑๒)

การสอนโดยใช้บทเรียนโมดูล จะช่วยการสอนของครูให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพราะบทเรียนโมดูลเป็นเทคโนโลยีทางการศึกษาอย่างหนึ่งที่ส่งเสริมการเรียนรู้ตามความสามารถของแต่ละบุคคล นักเรียนสามารถศึกษาสิ่งที่เขาต้องการได้จากบทเรียนโมดูลด้วยตนเอง ซึ่งอาจเป็นเรื่องที่เขามีพื้นฐานไม่เพียงพอหรือเรียนในชั้นเรียนตามปกติแล้วไม่เข้าใจ

สำหรับนักเรียนที่เรียนเก่ง อาจจะเลือกศึกษาบทเรียนที่ล้าหน้ากว่า เรื่องที่กำหนดให้เรียนตามหลักสูตรหรือเรื่องอื่น ๆ ที่เขาสนใจเป็นพิเศษ แต่ไม่ได้สอนในชั้นเรียนตามปกติ เวลาที่ศึกษาไปว่าเป็นต้องเป็นเวลาเรียนตามปกติในชั้น อาจจะใช้เวลาตอนที่ว่างตอนใดที่สะดวกและพอใจนอกเวลาเรียนก็ได้ (บุญมี ก้อนทอง ๒๕๑๔ : ๒๑)

วิชาฟิสิกส์ (Physics) เป็นสาขาหนึ่งของวิทยาศาสตร์ซึ่งเดิมชื่อเรียกว่า Natural Philosophy อันเป็นวิชาที่ว่าด้วยเรื่องของสสารและพลังงาน และในปัจจุบันวิชาฟิสิกส์เป็นวิชาที่มีความเกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ๆ อย่างมาก เช่น วิศวกรรมศาสตร์ ชีววิทยา เคมี คณิตศาสตร์ แพทยศาสตร์ อर्थวิทยา และดาราศาสตร์ เป็นต้น ภัยจากการจักรการ เรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ขั้นพื้นฐาน จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง และการที่จะได้หากรรมวิธีต่าง ๆ มาช่วยส่งเสริมและปรับปรุงการเรียนการสอนให้โดยดียิ่งขึ้นอีก โดยมุ่งเน้นถึงความสามารถในด้านการคิดหาเหตุผล การสังเกต ทักษะในการคำนวณและการทดลองของผู้เรียน ตลอดจนการนำความรู้ กฎเกณฑ์ต่าง ๆ ไปไว้ให้เกิดประโยชน์ในวิถีประจำวันให้มากที่สุด

เนื้อหาวิชาฟิสิกส์เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's Laws of Motion) เป็นเนื้อหาเรื่องหนึ่งที่บรรจุอยู่ในวิชาฟิสิกส์ทั่วไป ซึ่งถือว่าเป็นพื้นฐานอันสำคัญต่อการอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในธรรมชาติและในวิถีประจำวัน รวมทั้งใช้เป็นพื้นฐานเบื้องต้นในการศึกษาทฤษฎีสืบสวนหาความรู้ในขั้นสูงต่อไปอีกด้วย เนื่องจากสาเหตุดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจเลือกเนื้อหาเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน นำมาสร้างบทเรียนโมดูลขึ้นทดลองใช้สอนเปรียบเทียบกับ การสอนตามปกติ เพื่อวิจัยว่าบทเรียนโมดูลนี้จะมีผลทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เมื่อเทียบกับการสอนตามปกติ ถ้าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนสูงขึ้นแล้ว บทเรียนโมดูลก็จะมีประโยชน์ต่อการศึกษาวิชาฟิสิกส์ โดยให้เป็นเครื่องมือช่วยสอนได้ต่อไป

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

๑. เพื่อสร้างบทเรียนโมดูล เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน สำหรับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพการศึกษาระดับสูง
๒. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ในการเรียนระหว่างการใบ้บทเรียนโมดูลกับการสอนตามปกติ

สมมุติฐานของการศึกษาค้นคว้า

นักศึกษาที่เรียนโดยใช้บทเรียนโมดูลมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักศึกษาที่เรียนโดยวิธีสอนตามปกติ

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

๑. เพื่อวางแนวทางให้ครูได้ศึกษาและทดลองสร้างบทเรียนโมดูล
๒. เพื่อเผยแพร่การสอนโดยใช้บทเรียนโมดูล
๓. เพื่อเสริมสร้างแนวความคิดในการปรับปรุงการส.น.วิทยาศาสตร์ของครู
๔. เพื่อเป็นเครื่องช่วยสอนของครูในการสอนนักเรียนเป็นรายบุคคล

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

๑. กลุ่มตัวอย่าง เป็นนักศึกษาในกระดานประกาศนียบัตรชั้นสูงวิชาเอกวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ ที่กำลังเรียนวิชาฟิสิกส์ทั่วไป ๑๑๑ จำนวน ๖๐ คน แบ่งเป็น ๒ กลุ่ม กลุ่มละ ๓๐ คน
๒. บทเรียนแบบโมดูลที่ใช้ หมายถึง บทเรียนโมดูลเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของน้ำหนักตามหลักสูตร ป.กศ.สูง วิชาฟิสิกส์ทั่วไป ๑๑๑ ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดลองครั้งนี้เท่านั้น
๓. การทดลอง กระทำในภาคเรียนที่ ๑ ปีการศึกษา ๒๕๒๑
๔. อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ ๑ ท่าน เป็นผู้ควบคุมกลุ่มทดลอง และอาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์อีก ๑ ท่าน เป็นผู้สอนในกลุ่มควบคุม

ถ้อยความพิเศษเฉพาะ

๑. การสอนโดยใบ้บทเรียนโมดูล หมายถึง การสอนที่ให้นักศึกษาใบ้บทเรียนโมดูลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

๒. การสอนตามปกติ หมายถึง การสอนของอาจารย์ประจำวิชาฟิสิกส์ โดยใบ้เนื้อหาอันเกี่ยวข้องกับที่ผู้วิจัยนำมาสร้างบทเรียนโมดูล

๓. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง คะแนนที่ได้จากการสอบแบบทดสอบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ภายหลังจากการเรียนจากบทเรียนโมดูล และจากวิธีสอนตามปกติสิ้นสุดลง

เอกสารและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความหมายของบทเรียนโมดูล

บทเรียนโมดูล คือบทเรียนหน่วยหนึ่งที่มีความสมบูรณ์ในตัวเอง และมีจุดมุ่งหมาย เพื่อให้ผู้เรียนหรือผู้ที่อบรมนำไปใช้เรียนด้วยตัวเอง บทเรียนโมดูลจัดเป็นเครื่องมือช่วยสอน และกระบวนการในการให้ความรู้ ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ มีจุดมุ่งหมาย มีกิจกรรมสำหรับผู้เรียนและมีการวัดผลอยู่ในตัวเองอย่างสมบูรณ์ (The Asian Programme of Educational Innovation for Development. ๑๙๗๕ : ๖)

เมอริ (Murray. ๑๙๗๑ : ๕) กล่าวว่าบทเรียนโมดูลคือบทเรียนที่สำเร็จในตัวของมันเอง แต่ละโมดูลประกอบด้วยวัสดุ (Materials) และคำสอน (Instructions) ที่จำเป็นในการที่จะนำนักเรียนไปสู่จุดมุ่งหมายที่ได้ตั้งไว้ สำหรับโมดูลนั้น

ตามันจู กุญชร ณ อยุธยา (ตามันจู กุญชร ณ อยุธยา ๒๕๑๔ : ๑). - ใ้คำนิยามถึงโมดูลว่า หมายถึงกิจกรรมการเรียนรู้ซึ่งจัดขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ และแสดงประสิทธิภาพในการเป็นครูอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลาย ๆ อย่าง ประสิทธิภาพของบทเรียนโมดูลขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมาย และกิจกรรมการเรียนรู้ไว้ในบทเรียนโมดูลประกอบด้วยองค์ประกอบ ๘ ประการ คือ

๑. หลักการและเหตุผล
๒. จุดมุ่งหมาย
๓. ความรู้พื้นฐาน
๔. การประเมินผลเบื้องต้น
๕. กิจกรรมการเรียนรู้
๖. การประเมินผลหลังการเรียนรู้
๗. การเรียนแบบเสริม

บุญมี ก้อนทอง (บุญมี ก้อนทอง ๒๕๑๔ : ๒๑-๒๓) กล่าวว่าบทเรียนโมดูล (Instructional Module) หมายถึงบทเรียนหรือหน่วยการเรียนรู้หน่วยใดหน่วยหนึ่งที่สำคัญในตัว สร้างขึ้นสำหรับให้นักเรียนศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง โดยนำวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้แน่นอน และบทเรียนจะต้องประกอบด้วยสิ่งสำคัญ ๆ ดังนี้

๑. วัตถุประสงค์ทั่วไป เป็นสิ่งที่จะบอกให้ผู้เรียนทราบว่าบทเรียนหรือเรื่องที่จะเรียนนั้น ๆ มีเนื้อหาสาระอะไรบ้าง เพื่อให้ผู้เรียนทราบว่าสิ่งเหล่านั้นตรงกับความต้องการของเขาหรือไม่

๒. ความรู้และทักษะพื้นฐาน ในการศึกษาบทเรียนดังกล่าว นักเรียนควรจะทราบว่า ตนจะต้องมีความรู้และทักษะพื้นฐานอะไรบ้างเสียก่อน ฉะนั้นในข้อนี้จึงต้องระบุความรู้ และทักษะพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับบทเรียนนี้ไว้ด้วย

๓. วัตถุประสงค์ของการสอน วัตถุประสงค์ในขั้นนี้จะบ่งระบุข้อกำหนดไว้อย่างชัดเจนว่า ผู้เรียนจะต้องได้ความรู้และทักษะอะไรบ้าง หรือจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมอย่างไรบ้าง หลังจากที่ได้ศึกษาค้นคว้าบทเรียนแล้ว ดังนั้นการระบุวัตถุประสงค์ในขั้นนี้ จึงควรเป็นวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

๔. การทดสอบพื้นฐาน การทดสอบขั้นนี้อาจจะไม่จำเป็นสำหรับบทเรียนโมดูลบางหน่วย แต่บางหน่วยก็จำเป็น เพราะนักเรียนจะต้องทราบว่า ตนมีพื้นฐานความรู้พอที่จะศึกษาบทเรียนนี้หรือไม่ ถ้ามีไม่พออาจจะต้องศึกษาบทเรียนอื่น เป็นการสร้างพื้นฐานเสียก่อน สำหรับนักเรียนที่ทำได้แน่นอนก็เกินไปมากในขั้น Pre - Test ก็อาจไม่จำเป็นจะต้องศึกษาบทเรียนนั้น

๕. อุปกรณ์ประกอบบทเรียน บทเรียนบางหน่วยจะต้องมีวัสดุอุปกรณ์บางอย่างประกอบการเรียนด้วย เป็นเช่นว่า แบบเรียน หนังสืออ่านประกอบ หรือเอกสารต่าง ๆ อุปกรณ์การทดลอง และวัสดุที่สนับสนุนอุปกรณ์ที่จำเป็นและที่พอจะหาได้สิ่งเหล่านี้จะต้องให้รายการไว้ให้พร้อม ตลอดจนวิธีจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์นั้น ๆ ด้วย

๖. โปรแกรมการเรียน ขั้นนี้เป็นขั้นที่จัดให้นักเรียนลงมือเรียนตามโปรแกรมที่วางไว้ ซึ่งจะต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่กำหนด โปรแกรมการเรียนนี้

หน่วยหนึ่ง ๆ อาจจะประกอบด้วยวิธีเรียนหลายวิธีก็ได้ ถ้าเป็นหน่วยใหญ่ เนื้อเรื่องค่อนข้างยาว แก่นางหน่วยก็อาจจะใช้วิธีเดียว ข้อสำคัญในการวางแผนการเรียนในแต่ละหน่วย จะต้องให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมเป็นหลักที่สุด

สิ่งที่อาจนำมาใช้ในโปรแกรมการเรียนบทเรียนโมดูล มีดังนี้

- ๑) หนังสือ ตำรา โปสเตอร์สอน ตลอดจนสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ
- ๒) สื่อทัศนอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ภาพเคลื่อนไหว ภาพนิ่ง แถบบันทึกเสียง แผนภูมิ และรูปภาพต่าง ๆ ฯลฯ
- ๓) การทดลองบางอย่างที่ไม่มีอันตราย ทำได้ง่ายและไม่ต้องการทักษะในการปฏิบัติมากนัก

๘ . ประสิทธิภาพที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนโมดูล บางบทเรียนอาจมีการแนะนำให้นักเรียนทำกิจกรรมอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กำหนดไว้แล้ว เช่นอาจมีการแนะนำให้ไปชมพิพิธภัณฑ์ สวนสัตว์ ชมนิทรรศการ หรือกำหนดให้อ่านเพิ่มเติม เป็นต้น

๘ . การทดสอบผลการเรียน การทดสอบขั้นนี้จะทำเมื่อนักเรียนเรียนจบตามโปรแกรมแล้ว ผลการสอบทำให้ทราบว่านักเรียนมีความรู้ ความสามารถ สมกับวัตถุประสงค์ที่วางไว้ หรือไม่เพียงใด

๘ . การประเมินผลการเรียน การประเมินครั้งสุดท้ายนี้เพื่อต้องการทราบว่าบทเรียนโมดูลที่สร้างขึ้นมามีคุณภาพปานใด มีสิ่งใดที่ยังบกพร่องสมควรแก้ไขปรับปรุงบ้าง การที่เราจะทราบว่าตัวบทเรียนมีคุณภาพหรือไม่ ก็จำเป็นจะต้องนำไปให้นักเรียนทดลองใช้ดูก่อน การทดลองกับนักเรียนหลาย ๆ คน หลาย ๆ กลุ่ม แล้วปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้น จึงจะนำมากำกับนักเรียนทั่ว ๆ ไปได้

จอห์น คัมบลิว ทอร์นตัน (John W. Thornton, ๑๙๗๖ : ๔) กล่าวว่า บทเรียนโมดูลเป็นเครื่องช่วยเหลือในการเรียนซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการทำเป็นคู่มือทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยที่นักเรียนสามารถได้เตรียมตัวก่อนจะทำการทดลองได้

ฮุสตัน (Houston, ๑๙๗๖ : ๗๔-๗๕) กล่าวถึงการสอนโดยใช้บทเรียนโมดูลว่าแตกต่างจากการสอนตามปกติ ๔ อย่าง คือ

๑. การสอนด้วยบทเรียนโมดูลจะต้องเน้นตัวผู้เรียนมากกว่าผู้สอน ไม่ถือเอา ความรู้ของครูและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีเป็นเครื่องกำหนดเนื้อหา

๒. การสอนด้วยบทเรียนโมดูลต้องเน้นที่วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมก่อนกิจกรรม การเรียนและจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมต้องระบุไว้อย่างชัดเจนเป็นประการแรก ส่วน กิจกรรมการเรียนเพื่อให้บรรลุผลสำเร็จตามจุดประสงค์นั้น เป็นสิ่งที่ตามมา

๓. การเรียนการสอนโดยวิธีบทเรียนโมดูล เป็นการเรียนแบบรายบุคคลหรือ ด้วยตนเองเป็นส่วนใหญ่ แต่อาจจะใช้ในการเรียนเป็นกลุ่มย่อยได้

๔. บทเรียนโมดูลต้องมีการแก้ไขปรับปรุงให้เหมาะสมอยู่เสมอ

ครีเกอร์ (Creager, ๑๙๗๑ : ๙) อธิบายว่า บทเรียนโมดูลนอกจากจะ ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเรียนด้วยตนเองตามอัตราความสามารถของตนเองแล้ว ยังเป็นเครื่องมือช่วยสอนแทนครูได้ โดยทำหน้าที่เป็นเครื่องช่วยแรงครู และนักเรียนอาจจะนำไปเรียน ด้วยตนเองที่บ้านก็ได้ ทำให้นักเรียนแต่ละคนมีโอกาสจะพัฒนาความรู้สึกรับผิดชอบในการ เรียนด้วยตนเอง

การร่างบทเรียนโมดูล

เมทันธิ์ กุญชร ณ อยุธยา (เมทันธิ์ กุญชร ณ อยุธยา ๒๕๑๔ : ๑-๑๒) อธิบายว่า ในการร่างบทเรียนโมดูล ผู้ร่างจะต้องคำนึงถึงจุดมุ่งหมายทั่วไปของวิชา นั้น ๆ และควรพิจารณาอย่างรอบคอบว่า จุดมุ่งหมายของบทเรียนโมดูลที่สร้างขึ้นสอดคล้อง กับจุดมุ่งหมายทั่วไปของวิชานั้นหรือไม่ หลังจากกำหนดจุดมุ่งหมายแล้ว ถัดไปคือการกำหนด ความรู้พื้นฐานที่จำเป็นสำหรับผู้เรียน ถ้าเป็นไปได้ควรหาความรู้พื้นฐานควรมีน้อยที่สุด เพื่อให้ การเรียนการสอนยืดหยุ่นได้ สำหรับการร่างแบบประเมินผลเบื้องต้น ผู้ร่างควรจะมี เป้าใจว่าเกณฑ์การสร้างขึ้นใช้วัดความรู้ ความสามารถของผู้เรียนที่เกี่ยวข้องกับจุดมุ่งหมายที่พึงไว้ และขอทดสอบควรเชื่อถือได้

การสร้างกิจกรรมการเรียน ผู้ร่างควรพยายามให้มีวิธีการเรียนหลาย ๆ อย่าง เพื่อผู้เรียนจะได้เลือกเรียนในสิ่งที่เขาให้ความสนใจ และทำให้การเรียนการสอนเป็นที่น่าสนใจ กิจกรรมการเรียนควรต่อเนื่องเรียงลำดับตามเนื้อหา เพื่อให้ผู้เรียน

เข้าใจบทเรียนไปตามลำดับ

ฮุสตัน (Houston, ๑๙๗๒ : ๗๖-๗๗) ได้เสนอแนะลำดับขั้นในการสร้าง
บทเรียนโมดูลไว้ คือ

๑. เขียนจุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรม
๒. เขียนเค้าโครงของโมดูล
๓. ตรวจสอบโดยผู้รู้
๔. แก้ไขปรับปรุงเค้าโครงของโมดูล
๕. เขียนบทเรียน และจัดเตรียมอุปกรณ์และสร้างแบบทดสอบ
๖. ทดลองบทเรียน
๗. ประเมินผลการทดลองบทเรียน
๘. ปรับปรุงบทเรียนโมดูล
๙. ตรวจสอบโดยผู้รู้
๑๐. ทดลองบทเรียนกับกลุ่มทดลอง

คณะกรรมการ APEID (The Asian Programme of Educational
Innovation for Development, ๑๙๗๕ : ๕) ได้มีนโยบายการร่างใบความรู้ว่าดังนี้
ในการสร้างบทเรียนโมดูลที่มีประสิทธิภาพ ถ้าจะให้ได้ผลเร็วควรมีการวางแผน
เนื้อหาส่วนย่อย ๆ ของบทเรียนให้สอดคล้องสัมพันธ์กันอย่างแท้จริง หลักง่าย ๆ แล่ที่ว่ามี
ประโยชน์ คือ

๑. เชื่อมโยงหรือเนื้อหาวิชาที่นำมาสร้างเป็นบทเรียนโมดูล
๒. กำหนดจุดมุ่งหมายทั่วไป โดยแยกออกเป็นด้านต่าง ๆ เช่น
 - Cognitive Domain
 - Psychomotor Domain
 - Affective Domain
๓. เขียนจุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรมที่มุ่งหวังจะให้เด็กเรียนแสดงออกได้
หลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว และควรระบุให้ชัดเจน เช่น สังเกตได้อย่างไร ใ้ทำอะไร

เป็นบรรทัดฐาน ในการประเมินผลอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือครบทั้ง ๒ อย่างก็ได้

๘. เขียนข้อคำถาม (Test Items) ขึ้นให้สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรมที่ระบุไว้ เพื่อเป็นแนวในการประเมินผลที่นักเรียนได้เรียนรู้และ เป็นหลักในการสร้างบทเรียนด้วย

๙. เขียนบทเรียนและกำหนดกิจกรรมของนักเรียน โดยให้ข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งที่ผู้เรียนจะต้องเรียนรู้ นอกจากนี้ยังต้องจัดเตรียมอุปกรณ์การทดลอง วิธีการทดลองให้ละเอียดชัดเจน

๑๐. สร้างแบบทดลองให้สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรมที่ระบุไว้
๑๑. ให้ผู้รู้ตรวจสอบก่อนนำไปทดลอง
๑๒. ทดลองบทเรียนโมดูลกับนักเรียนทั้งแบบรายบุคคล ละกลุ่มย่อย
๑๓. ประเมินผลแล้วนำมาแก้ไขปรับปรุงให้เหมาะสม
๑๔. นำไปใช้ทดลองกับกลุ่มทดลอง แล้วประเมินผลการเรียน

ประโยชน์ของบทเรียนโมดูล

ในทางเทคนิควิธีสอน การใช้บทเรียนโมดูลเป็นวิธีที่เร็วคือถือว่า มีประสิทธิภาพมากที่สุด สำหรับการนำไปใช้ เพื่อสอนเนื้อหาและทักษะตามเป้าหมายที่ใ้ช้ไว้ เนื่องจากความพิถีพิถันของสมบูรณ์ในตัวของมันเองดังกล่าวแล้ว บทเรียนโมดูลจึงช่วยให้เกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง ทั้งนี้โดยอาศัยคำแนะนำหรือการดูแลจากผู้สอนน้อยมาก (APEID.

๑๔๙๕ : ๖)

กรีกอร์ และเมธูเรย์ (Greager and Murray. ๑๔๙๑ : ๔) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของบทเรียนโมดูลว่าดังนี้คือ

๑. การนำบทเรียนโมดูลไปใช้ เป็นโอกาสให้สามารถรวบรวมประสบการณ์ และจัดเรียงลำดับประสบการณ์ เพื่อสะท้อนให้เห็นความสนใจของครูและนักเรียน
๒. นักเรียนเรียนด้วยตนเอง ทำให้ครูมีโอกาสได้ช่วยเหลือเด็กที่เรียนไม่ทัน ในเนื้อหาวิชา และทำให้เด็กมีโอกาสพบบทเรียนก่อนที่จะเรียนต่อไป

๓. ช่วยให้นักเรียนได้ทราบความสามารถหรือความก้าวหน้าในการเรียนของตนโดยทันที
๔. ชำลยผลการของครูในการสอนข้อเท็จจริงต่าง ๆ ทำให้ครูมีเวลาว่างเพื่อมอบแก่นักเรียนเป็นรายบุคคลได้
๕. นักเรียนจะเรียนด้วยตนเองหรือปรึกษาหารือกับเพื่อนได้ในตอนที่มีการทดลองและอภิปรายผลการทดลองที่ได้ปฏิบัติไปแล้ว ช่วยให้เกิดความร่วมมือและการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างกลุ่มได้

กรณีศึกษาเกี่ยวกับบทเรียนโมดูลในต่างประเทศ

เมื่อปี ค.ศ. ๑๙๖๓ คณะการศึกษาแห่งมหาวิทยาลัยฟลอริดา ในโครงการ

EPDA 3 - ๒ (The State of Florida Department of Education under Part 3., Subpart ๒, of the Education Professions Development Act) มีโครงการที่จะพัฒนาเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการฝึกหัดครูเป็นรายบุคคล เครื่องมือต่าง ๆ เหล่านี้จะเป็นเครื่องมือช่วยสอนแก่อาจารย์ผู้สอนวิชาการศึกษาได้ การสร้างบทเรียนโมดูลในร่างนั้นเน้นเฉพาะทักษะที่ใช้ในการสอนหรือความรู้เฉพาะพื้นฐานสำหรับการสอนในแต่ละหน่วยของโมดูลจะวิเคราะห์แยกและแนวทางที่จะไปสู่จุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้ บทเรียนโมดูลที่กล่าวถึงข้างต้น จะให้ความสำคัญเฉพาะอย่าง หรือเฉพาะสัปดาห์หนึ่ง ๆ เพื่อเน้นประโยชน์ในการฝึกหัดทักษะต่าง ๆ ของผู้เรียน

ต่อมาในปี ค.ศ. ๑๙๖๔ โครงการ EPDA 3 - ๒ ได้จัดสร้างบทเรียนโมดูลโดยคณะกรรมการ และนำออกเผยแพร่พร้อมทั้งจำหน่าย บทเรียนโมดูลที่สร้างขึ้นนี้เป็นบทเรียนที่ใช้ประกอบฝึกหัดครู หรือใช้ในการสอนทั้งสิ้น (The Florida Department of Education. ๑๙๗๐ : ๑)

หลังจากมีโครงการสร้างและทดลองวิจัยบทเรียนโมดูลเมื่อ ค.ศ. ๑๙๖๗ แล้วนั้น ได้มีนักการศึกษาและนักศึกษามาให้ความสนใจเกี่ยวกับบทเรียนโมดูล ส่วนใหญ่ผลงานที่ปรากฏเป็นวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอกในสหรัฐอเมริกา สาขาการศึกษา เช่น ผลงานของคอกกี

(Caucel. ๑๙๙๑ : ๓๐๐๐ - A) ทดลองศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ระหว่างการสอบ โดยใช้บทเรียนโมดูลกับการสอนแบบบรรยาย - อภิปราย ของนักเรียน จำนวน ๕๐ คน ใช้เวลาทดลอง ๒ สัปดาห์ ผลปรากฏว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่ม ที่ใช้บทเรียนโมดูลและการสอนแบบบรรยาย - อภิปราย ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัย สำคัญทางสถิติ และให้เสนอแนะว่า การเสริมแรง (Reinforcement) ก็ควรจะนำมา ใช้เป็นเครื่องช่วยในการเรียนของนักเรียน เช่น ให้ผู้เรียนทราบผลการเรียนในทันที

เดล (Dale. ๑๙๙๓ : ๔๘๘๑ - A) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ในการเรียนระหว่าง การสอนตามปกติ กับการใช้บทเรียนโมดูลของนักศึกษาในระดับปริญญาตรี ที่มหาวิทยาลัยวิสคอนซิน (The University of Wisconsin) ในวิชา Psychology of Experimental Child พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วยบทเรียนโมดูลดีกว่านักศึกษาที่เรียนด้วย การสอนตามปกติ และทัศนคติของนักศึกษาที่มีต่อการสอนของอาจารย์ โดยใช้การสนทนากัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สจวร์ต (Stewart. ๑๙๙๔ : ๙๙๙๘ - A) ได้ศึกษาเรื่องการร่างและ ประเมินผลบทเรียนโมดูลในเนื้อหาวิชาการนิเทศการสนทนากลุ่มศาสตร์ โดยวัดความสามารถ เจ็บเกณฑ์ของกลุ่มตัวอย่าง ๑๐๐ คน ประกอบด้วยอาจารย์นิเทศการสอน นักศึกษาฝึกสอน และนักการศึกษาไทยให้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด เลือกจุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรม ที่เขียนสั้นไว้ว่า อะไรเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในวิชานี้ แล้วนำผลไปสร้างบทเรียนโมดูลขึ้น จากนั้นจึงนำไปให้ กรรมการ ๑๐ คน ประเมินผลบทเรียนโมดูลว่าจะมีประสิทธิภาพพอเพียงและเหมาะสมที่จะ นำไปใช้สอนได้เพียงใด ผลปรากฏว่า จากคะแนน rating เติบโตกับ ๔ กรรมการ ตกลงกันว่าถ้าได้คะแนน ๒.๕ ขึ้นไปถือว่าใช้ได้ ถ้าต่ำกว่าแสดงว่าคุณภาพยังไม่ดีพอจาก เกณฑ์การให้คะแนนแบบนี้ พบว่าสำหรับคำถาม "โมดูลดังกล่าวเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับการ ฝึกและเป็นคู่มือประกอบการสอนนิเทศการสนทนากลุ่มได้เพียงใด" ได้คะแนน ๓.๔ จากคะแนนเต็ม ๔ และจากคำถาม "โมดูลดังกล่าวเป็นบทเรียนเฉพาะบุคคลที่เหมาะสม ง่ายใด" ได้คะแนน ๓.๑ จากคะแนนเต็ม ๔ สรุปแล้วกรรมการเห็นพ้องกันว่า บทเรียนโมดูลที่สร้างขึ้นมามีคุณภาพเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประกอบการสอนได้

เทรไซส์ (Trezise. ๑๙๗๒ . ๒๐๙๑ - A) ได้ศึกษาถึงทัศนคติของนักศึกษาที่มา
ต่อการเรียนโดยใช้บทเรียนโมดูล ผลปรากฏว่านักศึกษาจำนวนมากเห็นด้วยเกี่ยวกับการเรียน
โดยใช้บทเรียนโมดูลและเหมาะสมสำหรับระดับวิทยาลัยและมหาวิทยาลัย เขาได้ให้ข้อเสนอ
แนะว่า บทเรียนโมดูลควรจะนำเอาการเรียนรู้อื่นๆ อย่างมาใช้ให้สัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม

แฮตเชอร์ (Hatcher. ๑๙๗๓ : ๔๘๑๐ - A) ศึกษาการใช้ Audio
Tutorial Module ในการเตรียมตัวของอาจารย์ช่วยสอน (Graduate Assistant)
ในวิชา Microbiology โดยใช้วิธีกลุ่มมา ๒ กลุ่ม กลุ่มละ ๔ คน กลุ่มหนึ่งให้มีการ
สัมมนาทางกายโดยทางกายโมดูลช่วย ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งใช้วิธีสัมมนาทางกายอย่างเดียว แล้วให้
อาจารย์ทั้ง ๒ กลุ่มนี้ ไปควบคุมนักศึกษาในการทำทดลอง (Laboratory) ตัวทดลอง
ผลปรากฏว่านักศึกษา ๒ กลุ่มได้รับความรู้ เนื้อหาและขั้นตอนการทดลองแตกต่างกันอย่างมี
นัยสำคัญและนักศึกษามีทัศนคติที่ดีต่อการสอนการทดลองจากอาจารย์กลุ่มแรก

ทูโด (Todo. ๑๙๗๓ : ๔๐๗๔ - A) ศึกษาผลการสอนโดยใช้แบบเรียนโมดูล
ในระดับวิทยาลัย ผลปรากฏว่านักศึกษาได้รับการสอนโดยใช้บทเรียนโมดูล มีความสามารถ
ทรงงานถูกต้องตามยี่สิบห้าไว้ ทูลได้เสนอแนะให้ทางการสอนโดยใช้แบบเรียนโมดูลไว้กับ
นักศึกษารุ่นอื่น ๆ

ไรซ์ (Rice. ๑๙๗๗ : ๔๒๔๔ - A) ได้วิจัยผลของบทเรียนโมดูล วิชาการ
สอนอาชีวศึกษาประจำการ โดยเขาได้สร้างโมดูลการสอนอันแล้วนำไปใช้เพื่อช่วยจาก
ทางกายวิจารณ์ข้อบ่งชี้และความสมบูรณ์ของเนื้อหาและการเรียงลำดับเนื้อหา จากนั้นจึงนำ
ผลการวิจารณ์ไปแก้ไขปรับปรุงบทเรียนเสร็จแล้วจึงนำไปทดลองใช้สอนครูประจำการและ
ผู้บริหารโรงเรียนที่ Karns City Area Elementary Schools มีอาจารย์เป็น
กลุ่มตัวอย่าง ๒๐ คน สอนเป็นเวลาทั้งหมด ๑๑ สัปดาห์ ทุกวันเวลาเช้า ผลปรากฏว่าเขา
รับการยอมรับตอบโต้คะแนนสูง เป็นที่น่าพึงพอใจ และกลุ่มตัวอย่างมีความพอใจต่อบทเรียนโมดูล
นี้มากกว่าวิธีการสอนแบบอื่น ๆ ที่เคยได้รับมา

โรเบิร์ตสัน (Robertson. ๑๙๗๖ : ๕๑๑๒ - A) ได้ทดลองเปรียบเทียบผล
สัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้บทเรียนโมดูลในวิชาคณิตศาสตร์ (Mathematics Modules)

กับการสอนโดยใช้ตำราวิชาคณิตศาสตร์ (Textbook for Mathematics) โดยทั้ง
สมมุติฐานว่า วิธีการทั้ง ๒ วิธี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การทดลองในกลุ่มตัวอย่าง
ที่เป็นนักเรียนเกรด ๓, ๔ และ ๕ ของโรงเรียนแกรี่ (The Gary Public School)
กลุ่มทดลองได้รับการสอนโดยใช้บทเรียนโมดูลเป็นรายบุคคล และกลุ่มควบคุมได้รับการสอนโดย
ใช้ตำราเรียนในระยะเวลาในการทดลอง ๔ เดือน จากนั้นเขาได้ทำการทดสอบกับนักเรียน
ทั้ง ๒ กลุ่ม โดยใช้ข้อสอบ ANOVA ซึ่งมีความเชื่อมั่นสูง ผลปรากฏว่าคะแนนทั้ง ๒
กลุ่ม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

พัลทอรัค (Pultorak. ๑๙๗๕ : ๑๕๔๐ -) ก็ได้ศึกษาการสร้างและทดลอง
ใบ้เรียนโมดูลวิชา Vascular Plant Taxonomy เพื่อใช้ในท้องถิ่นปฏิบัติการ เพื่อให้
นักนิเวศวิทยาและพฤกษศาสตร์ศึกษาเอกชีววิทยา นำไปใช้ในการเรียนรู้นักเรียนดังกล่าวประกอบ
ด้วย Pre - Test ซึ่งช่วยให้นักเรียนรู้จุดอ่อนของตนเองแล้วให้แนวทางการศึกษาอย่างไรใน
โมดูล นอกจากนี้ยังได้บอกวิธีการทดลองและคู่มือผู้สอน ผลการวิจัยพบว่าผู้เรียนส่วนใหญ่
ชอบวิธีการแบบใหม่มากกว่าวิธีที่เคยเรียนมา ผู้วิจัยได้แก้ไขและปรับปรุงโมดูลวิชา
Vascular Plant Taxonomy อีกถ่วงนั้นขึ้นเผยแพร่ต่อไปอีกด้วย

การวิจัยเกี่ยวกับการสอนบทเรียนโมดูลในประเทศไทย

ระหว่างวันที่ ๒๔ ตุลาคม - พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๑๘ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้จัดให้มีการสัมมนาปฏิบัติการพิเศษ เกี่ยวกับการร่างบท
เรียนโมดูลเพื่อใช้ในการสอนวิชาชีววิทยา และวิทยาศาสตร์แขนงอื่น ๆ ขึ้น โดยมีอาจารย์
สมศักดิ์ แสนสุข และศาสตราจารย์ ดร.อีคอส์ (E. Kos) เป็นผู้นำในการสัมมนา
(บุญมี ก้อนทอง ๒๕๑๘ : ๒๖) จากการประเมินผลสัมมนาครั้งนี้ ปรากฏว่าสมาชิกที่
เข้าร่วมสัมมนาร้อยละ ๘๗ เห็นด้วยที่บทเรียนโมดูลช่วยให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพ
ยิ่งขึ้น สมาชิกร้อยละ ๘๑ เห็นด้วยที่บทเรียนโมดูลช่วยให้ความรู้ในแต่ละหน่วยเนื้อหาวิชา
ได้ (มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ๒๕๑๘ : ๑ - ๒)

ธีระ จิตต์จนะ (ธีระ จิตต์จนะ ๒๕๑๔ : ๒๑-๒๔) ได้ทดลองเปรียบเทียบผลการสอนวิทยาศาสตร์ในระดับชั้น ม.ศ. ๒ เรื่องไฟฟ้าโดยใช้บทเรียนโมดูลกับการสอนปกติผลปรากฏว่าคะแนนที่ได้จากข้อทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองโดยใช้บทเรียนโมดูลมีค่าเฉลี่ยสูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยวิธีการปกติ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและพบว่านักเรียนมีทัศนคติที่ดีต่อบทเรียนโมดูล

นิยม ทองอุดม (นิยม ทองอุดม ๒๕๒๐ : ๒๘-๓๐) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการสอนวิทยาศาสตร์ชั้น ม.ศ. ๑ เรื่องบรรยากาศ โดยใช้บทเรียนโมดูลกับการสอนตามปกติ ผลปรากฏว่าบทเรียนโมดูลช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดีกว่านักเรียนที่เรียนจากการสอนตามปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ๐.๐๑ และนักเรียนในกลุ่มทดลองมีทัศนคติที่ดีต่อบทเรียนโมดูล และยังพบว่านักเรียนมีความกระตือรือร้นที่จะเรียนอีกด้วย

เบญจมา โสทรโยม (เบญจมา โสทรโยม ๒๕๒๐ : ๓๓ - ๓๘) ได้ทดลองเปรียบเทียบผลการสอนสมการเชิงเส้นหนึ่งตัวแปร โดยใช้บทเรียนโมดูลกับการสอนตามปกติ ในระดับชั้น ม.ศ. ๑ จำนวน ๘๐ คน โดยแบ่งเป็นกลุ่มทดลอง ๔๐ คน พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องสมการเชิงเส้นหนึ่งตัวแปร ของนักเรียนที่เรียนจากการสอนโดยใช้บทเรียนโมดูลกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนกลุ่มที่เรียนจากการสอนปกติ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น ๐.๐๕ ผู้วิจัยได้เสนอแนะว่าบทเรียนโมดูลมีประโยชน์ในการใช้เป็นตัวช่วยสอนแทนครู และควรสนับสนุนให้มีการสร้างบทเรียนโมดูลในวิชาคณิตศาสตร์และวิชาอื่น ๆ ขึ้นอีก

วิธีดำเนินการ

๑. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ ถือนักศึกษาชั้น ป.กศ. สูง วิชาเอก
วิทยาศาสตร์ปีที่ ๑ วิทยาลัยครูบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งเลือกมาอย่างสุ่ม จำนวน
๖๐ คน ผู้วิจัยแบ่งออกเป็น ๒ กลุ่ม เท่า ๆ กัน กลุ่มละ ๓๐ คน ดังนี้ กลุ่มทดลอง
๓๐ คน และกลุ่มควบคุม ๓๐ คน

๒. การวางแผนเรียนโมดูล เริ่มต้นโดยลำดับดังนี้

๒.๑ ผู้วิจัยศึกษาหลักและวิธีการ เขียนบทเรียนโมดูล

๒.๒ ศึกษาหลักสูตรของวิชาฟิสิกส์ทั่วไป ระดับชั้น ป.กศ.สูง และเลือก
เนื้อหาวิชาฟิสิกส์ทั่วไป ๑๑ เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน มาทำเป็นบทเรียนให้
ทดลอง

๒.๓ ศึกษาเนื้อหาเรื่องนี้จากหนังสือฟิสิกส์ทั่วไป และศึกษาคู่มือครูวิชาฟิสิกส์
ของสภามันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

๒.๔ วิเคราะห์ภารกิจ (Task Analysis) โดยตั้งจุดมุ่งหมายเชิง
พฤติกรรมและสร้างข้อคำถาม (Test Items) เพื่อเป็นแนวทางในการสร้าง
บทเรียนโมดูล

๒.๕ เขียนบทเรียนให้สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรม และใช้แนวการ
เรียนของ CUEBS (The Commission on Undergraduate Education
in the Biological Sciences) โดยแต่ละโมดูลประกอบด้วยหัวข้อต่าง ๆ คือ

- วัตถุประสงค์ทั่วไปของโมดูล
- ความรู้ทักษะและพื้นฐาน
- วัตถุประสงค์ของการสอน

- อุปกรณ์ประกอบการ เรียนโมดูล
- โปรแกรมการ เรียนโมดูล
- การทดสอบผลการเรียน

๓. การทดลองการเรียนโมดูล

ผู้วิจัยนำบทเรียนโมดูลไปทดลองใช้กับนักศึกษาชั้น ป.กศ.สูง ที่ไม่เคยเรียน เนื้อหานั้นมาก่อน โดยทดลองตามลำดับขั้นดังนี้

๓.๑ ทดลองแบบหนึ่งต่อหนึ่ง (One - to - One Try Out) โดยให้นักศึกษา ๑ คน เรียนบทเรียนโมดูลนี้ มีผู้วิจัยคอยควบคุมการทดลองและสังเกต บันทึก "กิจกรรมของนักศึกษารวมทั้งซักถามปัญหาที่มีในการเรียนบทเรียนโมดูลนี้ แล้วทำการปรับปรุงแก้ไข

๓.๒ ทดลองแบบกลุ่มเล็ก (Small Group Try Out) นำบทเรียนมา ที่ปรับปรุง แล้วไปทดลองกับนักศึกษา จำนวน ๑๐ คน แล้วสังเกตและบันทึกเวลาที่ใช้ ในการเรียน วิเคราะห์ประสิทธิภาพของบทเรียนที่จะก่อให้เกิดการเรียนรู้เรื่องใด โดยให้นักศึกษาทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ เมื่อเรียนจบบทเรียนแล้ว เมื่อทำมา ปรับปรุงแก้ไข บทเรียนให้ดีขึ้นต่อไป

๓.๓ ทดลองภาคสนาม (Field Try Out) นำบทเรียนที่ปรับปรุงแล้วใน ข้อ ๓.๒ ไปทดลองใช้กับนักศึกษารวม ๓๐ คน เพื่อพิจารณาปรับปรุงประสิทธิภาพ ของบทเรียนอีกครั้งก่อนที่จะนำไปใช้สอนจริงในภาคทดลอง

๔. การสร้างแบบทดสอบ

๔.๑ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ในการเรียนวิชาฟิสิกส์เรื่องนี้ ผู้วิจัยศึกษาวิธี การสร้างแบบทดสอบได้จากหนังสือเทคนิคการวัดผลของ ชวาล แพทย์กุล (ชวาล แพทย์กุล ๒๕๒๖ : ๑๑๐ - ๒๓๓) หนังสือการสร้างและวิเคราะห์ ข้อสอบของ วิเชียร เกตุสิงห์ (วิเชียร เกตุสิงห์ ๒๕๑๖ : ๗๑ - ๘๘) แล้วสร้างแบบทดสอบแบบปรนัย ชนิด ๔ ตัวเลือก จำนวน ๑๒๐ ข้อ และนำไปทดลองทดสอบนักศึกษา ชั้น ป.กศ.สูง ปีที่ ๒

เอกวิเทศาจารย์ วิทยาลัยครูบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์ จำนวน ๗๔ คน แล้ววิเคราะห์
 นอหดยตามหลักการตัดกลุ่ม ๒๗ % เป็นกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำ ใช้ตารางสำเร็จเรื่อง
 จุงท์ เทปาน (Chung-Teh-Pan) เพื่อเปรียบเทียบค่าความยากง่าย P_H
 และ P_L และหาค่าอำนาจจำแนก (x) ของข้อสอบแต่ละข้อโดยถือค่า x ตั้งแต่
 ๐.๒๐ ขึ้นไปและค่า P ระหว่าง ๐.๒๐ ถึง ๐.๔๐ เป็นข้อทดสอบที่ได้

นำแบบทดสอบที่ผู้วิจัยได้คัดเลือกไว้จำนวน ๔๐ ข้อ ไปทดลองใช้กับนักศึกษา
 จำนวน ๖๐ คน แล้วหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบโดยใช้สูตร คูเดอร์-ริชาร์ดสัน
 (Kuder-Richardson- ๒๐)

๕. การดำเนินการทดลอง

ในการดำเนินการทดลอง ผู้วิจัยดำเนินการดังนี้

๕.๑ แบ่งกลุ่มตัวอย่างจำนวน ๖๐ คน ออกเป็น ๒ กลุ่ม คือกลุ่มทดลอง
 ๓๐ คน และกลุ่มควบคุม ๓๐ คน

๕.๒ อาจารย์ประจำภาควิชาสถิติ ๑ ท่าน ควบคุมกลุ่มทดลอง และอาจารย์
 ประจำภาควิชาสถิติอีก ๑ ท่าน ควบคุมกลุ่มควบคุมด้วยวิธีการสุ่มสามปกติ

๕.๓ ทำการทดลองในภาคเรียนที่ ๑ ปีการศึกษา ๒๕๒๑ ใช้เวลาประมาณ
 ๔-๕ ชั่วโมง รวมทั้งเวลาในการทดสอบด้วย

๕.๔ เมื่อนักศึกษาทั้ง ๒ กลุ่ม เรียนจบจบเรียนนี้แล้ว ผู้วิจัยทำการทดสอบ
 ความสัมพันธ์ทางการเรียนด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สร้างขึ้น ใช้เวลา
 สอบ ๒ ชั่วโมง

๖. การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ไดจากการทดลองไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติต่าง ๆ
 ดังนี้

๖.๑ ค่าเฉลี่ย (Mean) ของคะแนน คำนวณจากสูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ $\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ยของคะแนน

$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนน

N แทน จำนวนนักศึกษาในกลุ่ม

๖.๖ ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จำนวนจาก

สูตร

$$S = \sqrt{\frac{N \sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อ S แทน ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนน

$\sum X^2$ แทน ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสอง

N แทน จำนวนนักศึกษาในกลุ่ม

๖.๗ ค่าเฉลี่ย Pooled Standard Deviation

จากสูตร

$$S_P = \sqrt{\frac{(N_1 - 1) S_1^2 + (N_2 - 1) S_2^2}{N_1 + N_2 - 2}}$$

เมื่อ S_P แทนค่า Pooled Standard Deviation

N_1 แทนจำนวนนักเรียนในกลุ่มที่ ๑

N_2 แทนจำนวนนักเรียนในกลุ่มที่ ๒

S_1^2 แทนค่า Variance ของกลุ่มที่ ๑

S_2^2 แทนค่า Variance ของกลุ่มที่ ๒

๖.๘ เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนระหว่างกลุ่ม ๒ กลุ่ม โดยใช้สูตร

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s^2}{N_1} + \frac{s^2}{N_2}}}$$

$$df = N_1 + N_2 - 2$$

$\bar{X}_1$ แทนค่าเฉลี่ยของคะแนนกลุ่มที่ ๑

$\bar{X}_2$ แทนค่าเฉลี่ยของคะแนนกลุ่มที่ ๒

S_P แทนค่า Pooled Standard Deviation

N_1 แทนจำนวนนักเรียนในกลุ่มที่ ๑

N_2 แทนจำนวนนักเรียนในกลุ่มที่ ๒

๖.๕ การหาความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบทดสอบ คำนวณ

จากสูตร ของ Kuder Richardson

$$r_{tt} = \frac{n}{n-1} \left(1 - \frac{\sum P_i^2}{S^2} \right)$$

เมื่อ r_{tt} แทนค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ

S^2 แทนความแปรปรวนของคะแนนจากการทดสอบ

P แทนอัตราคนที่ตอบถูกในแต่ละข้อของแบบทดสอบ

Q แทนอัตราคนที่ตอบผิดในแต่ละข้อของแบบทดสอบ

n แทนจำนวนข้อสอบทั้งหมด

บทที่ ๘
ผลการศึกษาค้นคว้า

การเปรียบเทียบคะแนนการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ซึ่งผู้วิจัยทำการทดสอบเมื่อการเรียนจบของนักเรียนทั้งสัปดาห์สิ้นสุดลง ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม มีปรากฏในตารางที่ ๑ ดังนี้

ตาราง ๑ แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนจากการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

กลุ่มตัวอย่าง	N	$\bar{X}$	S^2	t	P
กลุ่มทดลอง	๓๐	๕๖.๘๖๓	๑๒๑.๘๘๔	๐.๕๗๖	๐.๐๕
กลุ่มควบคุม	๓๐	๕๕.๒๓๓	๑๔๗.๘๔๐		

$$t_{(๕๘, ๐.๐๕)} = ๒.๐๐, df = ๕๘$$

จากตาราง ๑ แสดงให้เห็นว่า กลุ่มทดลองได้ค่าเฉลี่ยของคะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ($\bar{X}$) เท่ากับ ๕๖.๘๖๓ ค่าความแปรปรวน (S^2) เท่ากับ ๑๒๑.๘๘๔ กลุ่มควบคุมได้ค่าเฉลี่ยของคะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ($\bar{X}$) เท่ากับ ๕๕.๒๓๓ ค่าความแปรปรวน (S^2) เท่ากับ ๑๔๗.๘๔๐ และผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มได้ค่า t เท่ากับ ๐.๕๗๖ ซึ่งน้อยกว่าค่า $t_{(๕๘, ๐.๐๕๐)} = \pm ๒.๐๐$

สรุปผลการทดลอง คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่านักเรียน

ที่เรียนจากการสอนโดยใช้บทเรียนโมดูล กับนักเรียนที่เรียนจากการสอนตามปกติ
มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเท่าเทียมกัน

ข้อมูลจากผู้วิจัยสังเกตพบระหว่างดำเนินการทดลองใช้บทเรียนโมดูล คือ

๑. นักเรียนมีความสนใจ ตั้งใจเรียน และร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอนเป็นอย่างดี
๒. นักเรียนเรียนรู้ได้เร็ว ว่าตามความสามารถของตนเองและนักเรียนช่วยเหลือซึ่งกันและกันดี
๓. อาจารย์สอนกลุ่มควบคุม ตั้งใจสอนนักศึกษาอย่างเต็มความสามารถ ส่วนอาจารย์ที่ปรึกษากลุ่มทดลอง เป็นเพียงผู้ควบคุมดูแลอุปกรณ์การทดลองของนักศึกษา และเป็นผู้อำนวยความสะดวกเรียนโดยให้นักศึกษาเรียนตามลำดับก่อนหลัง
๔. บทเรียนโมดูลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นสามารถปรับปรุงแก้ไขให้ดียิ่งขึ้น โดยเพิ่มกิจกรรมทั้งด้านทฤษฎีและการสอนในภาคปฏิบัติ โดยเพิ่มเติมแบบฝึกหัดและแบบทดสอบให้จำนวนมากขึ้นอีก เพื่อจะได้ครอบคลุมเนื้อหาวิชาได้ละเอียดถี่ถ้วนทุกแง่มุม เว้นแต่ขอเสนอความต้องการของนักเรียนที่มีความสามารถสูง เมื่อเขาเหล่านั้นจะเฝ้าทำการศึกษาเรื่องนั้น ๆ ต่อไปได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ความหมายของการศึกษาค้นคว้าวิจัย

๑. เพื่อสร้างบทเรียนโมดูล เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน สำหรับนักศึกษาระดับชั้น ป. กศ. สูง
๒. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ในระดับชั้น ป. กศ. สูง โดยการใ้บทเรียนโมดูลกับการสอนตามปกติ

สมมุติฐานการศึกษาค้นคว้า

นักศึกษาที่เรียนโดยใ้บทเรียนโมดูล มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักศึกษาที่เรียนโดยวิธีสอนตามปกติ

วิธีดำเนินการวิจัย

๑. กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่าง เป็นนักศึกษาระดับชั้น ป. กศ. สูง ปีที่ ๑ ปีการศึกษา ๒๕๖๑ วิชาเอกวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยครูบุรีรัมย์ จ.บุรีรัมย์ จำนวน ๖๐ คน ซึ่งเลือกมาโดยการสุ่ม

๒. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

๒.๑ บทเรียนโมดูล ผู้วิจัย สร้างบทเรียนโมดูล เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน สำหรับนักศึกษาระดับชั้น ป. กศ. สูง ใ้ให้นักเรียนใ้เรียน

๒.๒ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันใ้มีจำนวน ๔๐ ข้อ

๓. การดำเนินการทดลอง

๓.๑ นำบทเรียนโมดูลไปทดลองใ้กับนักศึกษากลุ่มทดลองจำนวน ๓๐ คน เป็นเวลา ๑๓ ช.ม. และใ้กับนักศึกษากลุ่มควบคุมจำนวน ๓๐ คน เรียนจากอาจารย์ผู้สอนประจำวิชาฟิสิกส์ โดยใ้เวลาสอน ๑๓ ช.ม. เท่ากัน

๓.๒ เมื่อนักศึกษาทั้งสองกลุ่มเรียนจบบทเรียนแล้ว มีการสอบด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน โดยใช้เวลาสอบ ๒ ชั่วโมง

ผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยปรากฏว่า กลุ่มทดลองได้ค่าเฉลี่ยของคะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเท่ากับ ๘๖.๕๓๓ ค่าความแปรปรวนเท่ากับ ๑๖๖.๘๘๔ กลุ่มควบคุมได้ค่าเฉลี่ยของคะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเท่ากับ ๘๘.๒๓๓ ค่าความแปรปรวนเท่ากับ ๑๔๙.๘๔๐ และผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มได้ค่า t เท่ากับ $+ ๐.๘๖๖$

สรุปผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยการวัดบทเรียนโมดูล เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน กับการเรียนจากการสอนแบบปกติ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

อภิปรายผล

ผลการทดลองเปรียบเทียบการสอน เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน โดยวัดบทเรียนโมดูลกับการสอนแบบปกติ ปรากฏว่า นักศึกษาที่เรียนจบจากบทเรียนโมดูลวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไม่แตกต่างกันไปจากนักศึกษที่เรียนจากวิธีสอนแบบปกติ ซึ่งไม่สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาในกลุ่มทดลองจะดีกว่านักศึกษที่เรียนโดยบทเรียนโมดูล การเรียนด้วยตนเองเช่นนี้ นักศึกษาจะสนใจความตั้งใจและสนใจ มีความรับผิดชอบ และมีทักษะในการอ่านหนังสือได้ด้วยจากการเรียนของนักศึกษาจึงจะใกล้เคียง

ผู้วิจัยมีความเห็นเกี่ยวกับผลการวิจัยว่าครั้งนี้ คือ การเรียนจากบทเรียนโมดูลและการเรียนจากการสอนแบบปกติทำให้เกิดการเรียนรู้ได้เท่าเทียมกัน ดังนั้นบทเรียนโมดูล จึงมีประโยชน์ต่อการเรียนและการสอนโดยสามารถนำไปสอนแทนครูหรือจะ

นำไปใช้เป็นเครื่องช่วยสอนของครูได้ก็ เพราะว่าบทเรียนโมดูลได้แบ่งหัวข้อในการเรียนรู้ และจัดประสบการณ์ต่าง ๆ ให้นักเรียนได้ศึกษาตามลำดับขั้นตอนอย่างสมบูรณ์ในตัวของมันเอง ด้วยเหตุนี้บทเรียนโมดูลจึงช่วยให้นักเรียนมีความสนใจและตั้งใจเรียนมากขึ้น เพราะนักเรียนที่เรียนจากบทเรียนโมดูลได้ทราบความก้าวหน้าในการเรียนรู้ของตนเองทันที หลังจากเรียนจบบทเรียนนั้น ๆ และเปิดโอกาสให้นักเรียนได้เรียนตามความสามารถของตนเองอย่างเต็มที่

ข้อเสนอแนะ

๑. ข้อเสนอแนะทั่วไป

จากผลการวิจัยนี้ พบว่าบทเรียนโมดูลทำให้เกิดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้ก็เท่ากับการสอนตามปกติ ผู้วิจัย มีความเห็นว่าควรจะได้ส่งเสริมการสร้างบทเรียนโมดูลในหัวข้อเรื่องต่าง ๆ ให้แพร่หลาย เพื่อจะได้เกิดประโยชน์แก่นักเรียนในด้านการเรียนและแก่ครูในด้านการสอน อย่างไรก็ดี การสร้างบทเรียนโมดูลนั้น เราจะต้องมีการวางแผนเค้าโครงเรื่องไว้ล่วงหน้าอย่างดี มีหนังสือค้นคว้า วัสดุอุปกรณ์เหมาะสม รวมทั้งการได้รับความร่วมมือจากครูในสถานต่าง ๆ ด้วย

๒. ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

ผู้วิจัยมีความเห็นว่าควรจะมีการวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้บทเรียนโมดูลกับนักเรียนที่มีระดับสติปัญญาต่าง ๆ กัน ว่าระดับใดที่จะสนองตอบในเชิงผลสัมฤทธิ์ต่อบทเรียนโมดูลมากที่สุด อนึ่ง ผู้วิจัยมีความเห็นอีกว่า ควรสร้างบทเรียนโมดูลขึ้นใช้ในวิชาฟิสิกส์แขนงต่าง ๆ ในหัวข้อต่าง ๆ เช่น อะตอมและพลังงาน, แม่เหล็กไฟฟ้า และไฟฟ้ากระแสสลับ, สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และทฤษฎีสัมพัทธภาพ เป็นต้น เราควรที่จะมีการสนับสนุน และส่งเสริมให้กระทำกันให้แพร่หลายให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- ✓ กอ สวัสดิทานิชย์ "การศึกษากับการพัฒนาประเทศ" วารสารสภาการศึกษาแห่งชาติ
๔ : ๑ - ๑๓ เมษายน ๒๕๑๖
ชวาล แพทย์กุล เทคนิคการวัดผล พิมพ์ครั้งที่ ๕ วัฒนาพานิช ๒๕๑๖, ๔๕๖ หน้า
ธีระ จิตจนะ การศึกษาเปรียบเทียบการสอนวิชาไฟฟ้า ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๒ โดยใจ
บทเรียนโมดูลกับการสอนตามปกติ ปรินิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ ๒๕๑๔, ๓๘ หน้า อักสำเนา
- ✓ นิศา สะเพียรชัย "ปรัชญาและความมุ่งหมายของการสอนวิทยาศาสตร์" ข่าวสารสถาบัน
ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ๔ : ๓ - ๘ กรกฎาคม ๒๕๑๐
นิยม ทองอุ้ม การศึกษาเปรียบเทียบผลการสอนวิทยาศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๑
เรื่องบรรยายภาคใจโดยใจบทเรียนโมดูลกับการสอนตามปกติ ปรินิพนธ์ การศึกษา
มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ๒๕๑๐, ๑๔๐ หน้า อักสำเนา
- บุญมี ก้อนทอง "บทเรียนโมดูล" วิทยสาร ๑ : ๒๑ - ๒๓ มกราคม ๒๕๑๔
เบญจมา โสกรโยธ การทดลองเปรียบเทียบผลการสอนผสมการเชิงเส้นหนึ่งตัวแปรโดยใจ
หน่วยการเรียนรู้การสอนกับการสอนตามปกติ ปรินิพนธ์ การศึกษามหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ๒๕๑๐, ๑๓๖ หน้า อักสำเนา
- ✓ เปื้อง กุญฑ แบบเรียนโมดูลเรื่องการจัดจูงมุงหมายในการสอน พิมพ์ครั้งที่ ๑
นิกรดงาม ๒๕๑๖, ๖๐ หน้า
- ✓ พัทธ์ รัชพลเกษ พฤติกรรมวิทยาศาสตร์กับการพัฒนาประเทศ เรื่องการค้า ๒๕๑๔,
๔๖ หน้า
- โรเบิร์ต คัมเบลล์, อูสตัน การสร้างหน่วยการเรียนรู้การสอน แปลโดย วิศิษฐ์ จุมพฐายี
อักสำเนา ๒๕๑๔, ๔ หน้า
- โรเบิร์ต แอล, อาเรนและคณะ หน่วยการเรียนรู้การสอน แปลโดย จมพันธ์
กุญชร ณ อุบลยา อักสำเนา ๒๕๑๔, ๑๖ หน้า
- ✓ วิจิตร ศรีสะอาด "เทคนิควิทยาทางการศึกษา" ใน ประมวลบทความเกี่ยวกับนวัตกรรมและ
เทคโนโลยีการศึกษา หน้า ๑๒๐ - ๑๓๓ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ ๒๕๑๗

วิเชียร เกตุสิงห์ คู่มือหลักการสร้างและวิเคราะห์ข้อสอบ มงคลการพิมพ์ ๒๕๐๕, ๖๒๕ หน้า
 ศรีบรมหรรวีโรจน์, มหาวิทยาลัย การประเมินผลการสัมมนาปฏิบัติการไร่ไผ่ เอกสาร
 อักสำเนา ๒๕๐๗, ๕ หน้า

สถาบันส่งเสริมการพัฒนาศาสตร์และเทคโนโลยี คู่มือการวิจัยเชิงลึก เล่ม ๑ ตอน ๑
 สำหรับประโยชน์แก่ภาคเอกชน กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ ๒๕๐๘,
 ๑๗๖ หน้า

คู่มือการวิจัยเชิงลึก เล่ม ๒ ตอน ๒ สำหรับประโยชน์แก่ภาคเอกชน กรมวิชาการ
 กระทรวงศึกษาธิการ ๒๕๐๘, ๑๗๖ หน้า

✓ สิบพันท์ เกตุทัต และคณะ การศึกษาค้นคว้าเพื่อชีวิตและสังคม สำนักงานคณะกรรมการการศึกษา
 แห่งชาติ ๒๕๐๘, ๓๖๐ หน้า

✓ รุณ รัชตะนาวิน "นโยบายทางวิทยาศาสตร์ของชาติ" ธรรมศาสตร์ ๗ (๑) : ๓๓ - ๔๔
 กรกฎาคม - กันยายน ๒๕๑๐

APEID. Modules on the Construction of Modules for Teacher Education,
Curriculum for Development. Bangkok, Unesco Regional Office for
 Education in Asia, ๑๕ - ๓๑ May ๑๙๗๕, ๘๘ p.

Crucci, David John. "A Summative Education of A Module Method of
 Instruction", Dissertation Abstract ๓๓ (๖) : ๓๐๐๐ - A,
 December, ๑๙๗๑.

Creyer, Joan G., and others. The Use of Modules in College
Biology Teaching. Commission on Undergraduated Education in
 the Biological Sciences, ๑๙๗๑, ๑๖๔ p.

Dale, Mary Elizabeth W. "A Comparative Study of Achievement
 Between College Student Being Taught in the Traditional Manner
 and Those Taught with Learning Modules", Dissertation Abstract
 ๓๓ (๑๐). ๖๔๘๑ - A, April, ๑๙๗๔.

- Dunbar, Ernest Keith. "Efficiency Modules and Traditional Teaching in Developmental Reading Methodology," Dissertation Abstract 72 (90) : 6034 -A, April, 1972.
- Ed, Chung - Teh. Item Analysis Table, Education Testing Service, New York, 1972, 6L p.
- Halliday, David. Physics for students of science and engineering, by David Halliday and Robert Resnick. Combined edition. New York, Wiley & Sons, 1960. 90L p.
- Stover, Martha Taylor. "Audio - tutorial Modules in the Preparation of College Biology Teachers" Dissertation Abstract 72 (2) : 6990-A, February, 1972.
- Wilcox, Robert William. "Development and Field Testing of a Laboratory Module for Instruction in Vascular Plant Taxonomy," Dissertation Abstract 72(b) . 6040-A, December, 1972.
- Wise, Charles Duane. "Competency - Based Instructional Modules for In - service Education in Reading," Dissertation Abstract, 72 (4) : 6144 - A, January, 1972.
- Robinson, Joseph Devere. "An Experiment Evaluation of the Comparison of Mathematics Modules with an Individualized Guide and Textbook for Mathematics," Dissertation Abstract, 72 (2) : 6992-A, February, 1972.
- Stewart, Hester. "Development and Evaluation of Individualized Competency Based Modules which can be Incorporated into Supervision Courses in Home Economics Education," Dissertation Abstract, 72(25) : 6442 - A, June, 1972.

The Florida Department of Education. The Florida Modules,
University of Florida, 1960, 162 p.

Todo, Peggy Smith. "The Development and Evaluation of a
Module for Individualized Self - Directed Instruction at
the College Level," Dissertation Abstract, no (2) : 6042
- 1, February, 1960.

Tresise, Evelyn Joan. "A Study of Feasibility of Using
Instructional Module in a Children's Literature Class,
Dissertation Abstract, no (2) : 6049 - 1, November
1960.

Weathermax, Paul. A Philosophy of Science Education for
Persons in Thailand. Bangkok, College of Education
- Indiana University Contract. USOM, 1960. 62 p.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
การวิเคราะห์แบบทดสอบและข้อมูล

การหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของคะแนนทดสอบกลุ่มทดลอง

x	f	fx	x^2	fx^2
๒๕	๑	๒๕	๕๗๖	๕๗๖
๓๒	๑	๓๒	๑๐๒๔	๑๐๒๔
๓๘	๑	๓๘	๑๔๔๔	๑๔๔๔
๔๕	๒	๙๐	๒๐๒๕	๔๐๕๐
๕๑	๑	๕๑	๒๖๐๑	๒๖๐๑
๕๔	๒	๑๐๘	๒๙๑๖	๕๘๓๒
๕๖	๑	๕๖	๓๑๓๖	๓๑๓๖
๕๗	๒	๑๑๔	๓๒๔๙	๖๔๙๘
๖๐	๒	๑๒๐	๓๖๐๐	๗๒๐๐
๖๑	๑	๖๑	๓๖๖๑	๓๖๖๑
๖๓	๒	๑๒๖	๓๙๖๙	๗๙๓๘
๖๔	๒	๑๒๘	๔๐๙๖	๘๑๙๒
๖๗	๑	๖๗	๔๔๘๙	๔๔๘๙
๖๘	๒	๑๓๖	๔๖๒๔	๙๒๔๘
๖๙	๑	๖๙	๔๗๖๑	๔๗๖๑
๗๒	๑	๗๒	๕๑๘๔	๕๑๘๔
๗๓	๑	๗๓	๕๓๒๙	๕๓๒๙
<u> </u>	๓๐	๑๗๐๙	<u> </u>	๑๐๐๘๙๑

$$\bar{X} = \frac{\sum fx}{N}$$

$$= \frac{๑๗๐๙}{๓๐}$$

$$= ๕๖.๙๖๓$$

$$S^2 = \frac{N \sum fx^2 - (\sum fx)^2}{N(N-1)}$$

$$= \frac{(๓๐)(๑๐๐๘๙๑) - (๑๗๐๙)^2}{๓๐(๒๙)}$$

$$= \frac{๓๐๒๖๓๓๐ - ๒๙๒๐๖๘๑}{๘๗๐}$$

$$= \frac{๑๐๖๐๖๔๙}{๘๗๐}$$

$$= ๑๒๑.๘๙๕$$

การหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของคะแนนทดสอบกลุ่มควบคุม

x	f	fx	x^2	fx^2
๒๗	๑	๒๗	๗๒๙	๗๒๙
๓๔	๒	๖๘	๑๑๕๖	๒๓๑๒
๓๙	๑	๓๙	๑๕๒๑	๑๕๒๑
๔๓	๒	๘๖	๑๘๔๙	๓๖๙๘
๔๗	๒	๙๔	๒๒๐๙	๔๔๑๘
๔๘	๒	๙๖	๒๓๐๔	๔๖๐๘
๕๔	๓	๑๖๒	๒๙๑๖	๘๗๔๘
๕๖	๑	๕๖	๓๑๓๖	๓๑๓๖
๕๗	๓	๑๗๑	๓๒๔๙	๙๗๔๗
๕๙	๒	๑๑๘	๓๔๘๑	๖๙๖๒
๖๒	๒	๑๒๔	๓๘๔๔	๗๖๘๘
๖๕	๒	๑๓๐	๔๒๒๕	๘๔๕๐
๖๖	๑	๖๖	๔๓๕๖	๔๓๕๖
๖๘	๒	๑๓๖	๔๖๒๔	๙๒๔๘
๖๙	๒	๑๓๘	๔๗๖๑	๙๕๒๒
๗๑	๑	๗๑	๕๐๔๑	๕๐๔๑
๗๕	๑	๗๕	๕๖๒๕	๕๖๒๕
Σ	๓๐	๑๖๕๗	Σ	๙๕๘๐๙

$$\bar{X} = \frac{\sum fx}{N}$$

$$= \frac{๑๖๕๗}{๓๐}$$

$$= ๕๕.๒๓๓$$

$$S^2 = \frac{N \sum fx^2 - (\sum fx)^2}{N(N-๑)}$$

$$= \frac{๓๐(๙๕๘๐๙) - (๑๖๕๗)^2}{๓๐(๒๙)}$$

$$= \frac{๒๘๗๖๒๓๐ - ๒๗๕๕๖๔๙}{๘๗๐}$$

$$= \frac{๑๒๐๖๕๘๑}{๘๗๐}$$

$$= ๑๓๗.๘๔$$

11.11 Pooled Standard Deviation

$$\begin{aligned}
 \text{ସୂଚକ } S_p &= \sqrt{\frac{(N_1 - 1) S_1^2 + (N_2 - 1) S_2^2}{N_1 + N_2 - 2}} \\
 &= \sqrt{\frac{(100 - 1)(123.456) + (100 - 1)(145.678)}{100 + 100 - 2}} \\
 &= \sqrt{\frac{12345.6 + 14567.8}{198}} \\
 &= \sqrt{\frac{26913.4}{198}} \\
 &= \sqrt{135.926} \\
 &= 11.654
 \end{aligned}$$

หาค่านัยสำคัญของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างสองกลุ่ม

$$\begin{aligned}
 \text{สูตร} \quad t &= \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} \\
 &= \frac{56.565 - 55.633}{11.611 \sqrt{\frac{1}{30} + \frac{1}{30}}} \\
 &= \frac{0.932}{11.611 \sqrt{0.066}} \\
 &= \frac{0.932}{2.955} = 0.315
 \end{aligned}$$

ค่า t มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

$$t(58, 0.05) = 0.315$$

$$df = 30 + 30 - 2 = 58$$

ค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบ

ข้อ	P _H	P _L	p	r	ข้อ	P _H	P _L	p	r
๑	.๘๖	.๕๑	.๗๐	.๔๐	๒๔	.๓๗	.๑๖	.๒๖	.๒๖
๒	.๘๓	.๕๖	.๖๘	.๓๕	๒๕	.๗๔	.๑๗	.๔๕	.๕๗
๓	.๘๔	.๒๓	.๕๘	.๖๖	๒๖	.๘๖	.๕๖	.๖๕	.๔๘
๔	.๖๐	.๓๘	.๕๔	.๒๒	๒๗	.๗๔	.๒๘	.๕๑	.๕๖
๕	.๖๔	.๔๖	.๕๘	.๒๔	๒๘	.๓๐	.๑๒	.๒๐	.๒๖
๖	.๕๑	.๓๐	.๔๐	.๒๒	๒๙	.๓๖	.๑๓	.๒๔	.๓๐
๗	.๕๕	.๒๘	.๕๑	.๒๘	๓๐	.๘๗	.๕๑	.๗๐	.๕๖
๘	.๘๑	.๔๕	.๖๔	.๓๐	๓๑	.๖๓	.๓๔	.๔๑	.๒๔
๙	.๕๓	.๑๔	.๓๓	.๔๕	๓๒	.๗๕	.๑๔	.๕๓	.๖๑
๑๐	.๕๐	.๑๘	.๓๓	.๓๖	๓๓	.๘๔	.๔๗	.๗๐	.๔๘
๑๑	.๖๓	.๔๑	.๕๖	.๒๒	๓๔	.๗๓	.๓๔	.๕๖	.๓๕
๑๒	.๗๔	.๕๘	.๖๔	.๒๔	๓๕	.๗๑	.๓๔	.๕๓	.๓๗
๑๓	.๓๔	.๑๖	.๒๗	.๒๘	๓๖	.๖๔	.๓๑	.๔๗	.๓๓
๑๔	.๕๗	.๓๓	.๕๕	.๒๔	๓๗	.๓๘	.๑๒	.๒๘	.๓๕
๑๕	.๕๕	.๒๖	.๔๐	.๒๔	๓๘	.๘๔	.๖๔	.๗๗	.๒๐
๑๖	.๖๑	.๑๕	.๓๗	.๔๔	๓๙	.๖๗	.๑๓	.๓๘	.๕๖
๑๗	.๘๒	.๕๗	.๗๐	.๒๔	๔๐	.๘๐	.๖๑	.๗๑	.๒๓
๑๘	.๕๔	.๓๘	.๕๘	.๒๑	๔๑	.๕๘	.๒๖	.๕๒	.๓๓
๑๙	.๗๔	.๓๕	.๕๗	.๔๕	๔๒	.๖๘	.๒๒	.๕๕	.๕๗
๒๐	.๘๘	.๒๗	.๕๔	.๖๒	๔๓	.๘๘	.๒๗	.๕๗	.๕๗
๒๑	.๓๔	.๑๑	.๒๔	.๓๗	๔๔	.๖๕	.๑๘	.๔๑	.๔๘
๒๒	.๘๒	.๔๑	.๖๒	.๕๓	๔๕	.๗๔	.๕๖	.๖๓	.๓๕
๒๓	.๗๔	.๑๖	.๕๗	.๖๒					

การหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของคะแนนทดสอบ

x	f	fx	x ²	fx ²
๓๒	๑	๓๒	๑๐๒๔	๑๐๒๔
๓๔	๒	๖๘	๑๑๕๕	๒๓๑๐
๔๑	๓	๑๒๓	๑๖๘๑	๕๐๕๓
๔๔	๓	๑๓๒	๑๙๓๖	๕๓๕๖
๔๕	๓	๑๓๕	๒๐๒๕	๖๐๗๕
๔๘	๔	๑๙๒	๒๓๐๔	๗๖๘๐
๕๒	๕	๒๖๐	๒๗๐๔	๑๓๐๐๐
๕๖	๓	๑๖๘	๓๑๓๖	๕๐๘๘
๕๘	๖	๓๔๘	๓๓๘๔	๒๐๘๘๘
๖๓	๔	๒๕๒	๓๙๖๙	๑๐๑๕๖
๖๔	๕	๓๒๐	๔๐๙๖	๑๒๘๐๐
๖๕	๓	๒๐๕	๔๒๒๕	๖๓๖๗
๖๘	๔	๒๗๒	๔๖๒๔	๑๐๘๘๖
๗๑	๒	๑๔๒	๕๐๔๑	๒๘๔๘๒
๗๒	๑	๗๒	๕๑๘๔	๕๑๘๔
๗๕	๒	๑๕๐	๕๖๒๖	๑๐๔๕๒
๗๕	๑	๗๕	๕๖๒๕	๕๖๒๕
Σ	๖๐	๑๓๘๖	Σ	๑๙๕๐๓๔

$$\bar{X} = \frac{\sum fx}{N}$$

$$= \frac{๑๓๘๖}{๖๐}$$

$$= ๒๓.๑๑$$

$$S^2 = \frac{N \sum fx^2 - (\sum fx)^2}{N(N-1)}$$

$$= \frac{๖๐(๑๙๕๐๓๔) - (๑๓๘๖)^2}{๖๐(๕๙)}$$

$$= \frac{๑๑๘๘๑๒๐๐ - ๑๙๑๖๘๔}{๕๙๐}$$

$$= \frac{๑๑๖๘๙๕๖}{๕๙๐}$$

$$= ๑๙๗.๘๗๖$$

ค่าความแปรปรวนของแบบทดสอบ

$$= ๑๙๗.๘๗๖$$

ตารางวิเคราะห์ความเชื่อมโยงของแบบทดสอบ

ข้อ	p	q	pq	ข้อ	p	q	pq
๑	.๗๒	.๖๘	.๖๐๑๖	๒๕	.๓๙	.๖๑	.๖๓๗๙
๒	.๗๙	.๖๑	.๑๖๕๙	๒๖	.๖๔	.๓๖	.๖๓๐๔
๓	.๘๑	.๑๙	.๑๕๓๙	๒๗	.๕๑	.๔๙	.๖๕๙๙
๔	.๕๔	.๕๖	.๖๔๓๖	๒๘	.๑๔	.๘๖	.๑๔๗๖
๕	.๗๐	.๓๐	.๖๑๐๐	๒๙	.๓๖	.๖๔	.๖๑๗๖
๖	.๑๙	.๘๑	.๑๕๓๙	๓๐	.๘๐	.๖๐	.๑๖๐๐
๗	.๖๙	.๓๑	.๖๑๗๙	๓๑	.๖๖	.๓๔	.๖๒๔๔
๘	.๘๖	.๑๔	.๑๔๗๖	๓๒	.๔๑	.๕๙	.๖๕๑๙
๙	.๖๘	.๗๖	.๖๐๑๖	๓๓	.๗๓	.๖๗	.๑๙๗๑
๑๐	.๓๕	.๖๕	.๖๒๗๕	๓๔	.๗๑	.๖๙	.๖๐๕๙
๑๑	.๕๖	.๕๔	.๖๔๓๖	๓๕	.๖๔	.๓๖	.๖๓๐๔
๑๒	.๖๐	.๔๐	.๖๔๐๐	๓๖	.๖๗	.๓๓	.๖๒๑๑
๑๓	.๓๖	.๖๔	.๖๑๗๖	๓๗	.๖๙	.๗๑	.๖๐๕๙
๑๔	.๔๓	.๕๗	.๖๕๓๗	๓๘	.๘๖	.๑๔	.๑๔๗๖
๑๕	.๕๕	.๔๕	.๖๕๗๕	๓๙	.๓๖	.๖๔	.๖๑๗๖
๑๖	.๔๗	.๕๓	.๖๕๓๗	๔๐	.๗๙	.๖๑	.๖๓๗๙
๑๗	.๕๖	.๔๔	.๖๔๖๔	๔๑	.๕๖	.๔๔	.๖๕๖๔
๑๘	.๔๗	.๕๓	.๖๕๓๗	๔๒	.๕๔	.๔๖	.๖๕๓๖
๑๙	.๗๑	.๖๙	.๖๐๕๙	๔๓	.๖๓	.๓๗	.๖๓๓๑
๒๐	.๖๓	.๓๗	.๖๓๓๑	๔๔	.๔๑	.๕๙	.๖๕๑๙
๒๑	.๖๔	.๓๖	.๖๓๐๔	๔๕	.๖๐	.๔๐	.๖๔๐๐
๒๒	.๘๖	.๑๔	.๑๔๗๖	๔๖	.๔๗	.๕๓	.๖๕๓๗
๒๓	.๕๔	.๔๖	.๖๔๓๖	๔๗	.๘๖	.๑๔	.๑๔๗๖
๒๔	.๖๖	.๓๔	.๖๒๔๔	๔๘	.๖๕	.๓๕	.๖๒๗๕

หาความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ

n	pq	S^2
๘๐	๑๖.๖๖๒	๑๑๓.๘๓๖

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร} \quad r_{ti} &= \frac{n}{n-1} \left(1 - \frac{\sum pq}{S^2} \right) \\
 &= \frac{80}{79} \left(1 - \frac{16.662}{113.836} \right) \\
 &= (1.0126) (0.8544) \\
 &= 0.8645
 \end{aligned}$$

$$\text{ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ} = 0.8645$$

ภาคผนวก ข.
การวิเคราะห์ภารกิจ
และ
บทเรียนโมเดล
เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

การวิเคราะห์ภารกิจ (Task Analysis)

จุดมุ่งหมายทั่วไป (General Objectives)

๑. Cognitive Domain เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจกฎเกณฑ์พื้นฐานทางกลศาสตร์เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุ อันจะสมารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและการคำนวณปัญหาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุในบางกรณีได้
๒. Psychomotor Domain เพื่อให้นักเรียนมีทักษะในการอ่าน และคิดหาเหตุผลในการอธิบายปรากฏการณ์เกี่ยวกับการเคลื่อนที่และหยุดนิ่งของวัตถุ และมีทักษะในการใช้เครื่องมือทดลอง ให้อธิบายสังเกต รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูล หาเหตุผลมาสรุปผลการทดลอง ตลอดจนให้นักเรียนมีทักษะในการคำนวณ และแก้ปัญหาได้
๓. Affective Domain เพื่อให้นักเรียนเป็นผู้มีเหตุผล มีสมาธิ มีความรอบคอบอดทน รู้จักยอมรับความจริง และรู้จักรับผิดชอบตนเองเป็นตัวของตัวเอง สามารถทำงานตามลำพังและร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมั่นใจ รวมทั้งมีความคิดริเริ่ม สร้างสรรค์ และมีความกระตือรือร้นที่จะค้นคว้าหาความรู้ให้กว้างขวางอยู่เสมอ

จุดมุ่งหมายเฉพาะ (Specific Objectives)

๑. มุ่งหมายให้นักเรียน มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสิ่งต่อไปนี้คือ
 - ๑.๑ มวล และน้ำหนักของวัตถุ
 - ๑.๒ แรงและกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
 - ๑.๓ แรงเสียดทาน
๒. มุ่งหมายให้นักเรียนได้รับความคิดรวบยอดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้
 - ๒.๑ มวลเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของวัตถุที่พยายามต้านทานการเปลี่ยนแปลงใด ๆ จากสภาพเดิมของวัตถุ
 - ๒.๒ น้ำหนักคือแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อวัตถุ
 - ๒.๓ แรง เป็นสาเหตุที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่หรือหยุดนิ่ง หรือ ทำให้วัตถุเปลี่ยนสถานะการเคลื่อนที่
 - ๒.๔ ความเร่งของวัตถุมีทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเสมอ

๒.๔ ความเร่ง เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (g) ที่ระดับเส้นรุ้งต่าง ๆ กันมีค่าไม่เท่ากัน

๒.๔ แรงเสียดทานมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางที่วัตถุเคลื่อนที่เสมอ

๒.๕ การทดลองเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ เราไม่สามารถวัดค่าแรงเสียดทานได้อย่างสมบูรณ์

๒.๖ แรงเสียดทานเป็นทั้งผลดีและผลเสียต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ

๓. มุ่งหมายให้นักเรียนรู้หลักวิทยาศาสตร์ (Principles) คือ

๓.๑ วัตถุจะดำรงสถานะเดิมหรือหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ถ้าไม่มีแรงลัพธ์จากภายนอกมากระทำกับวัตถุ

๓.๒ แรงลัพธ์จากภายนอกที่กระทำต่อวัตถุจะแปรผันโดยตรงกับมวลและความเร่งของวัตถุนั้น

๓.๓ แรงอันตรกิริยา ระหว่างวัตถุสองก้อนที่กระทำต่อกันและกันจะมีขนาดเท่ากันและทิศทางตรงกันข้ามเสมอ

๓.๔ แรงเสียดทานแปรผันโดยตรงกับแรงที่กดพื้นในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส

๓.๕ น้ำหนักของวัตถุขึ้นอยู่กับค่าความเร่ง เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก และขึ้นอยู่กับมวลของวัตถุนั้นเสมอ

๔. มุ่งหมายให้นักเรียนมีทักษะในกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เช่น

๔.๑ รู้จักวิเคราะห์ปัญหา และตั้งสมมติฐานในการแก้ปัญหาต่าง ๆ

๔.๒ สามารถใช้เครื่องมือในการทดลองได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

๔.๓ สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลรวมทั้งสรุปและอภิปรายผลการทดลองตามสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้

๕. มุ่งหมายให้นักเรียนมีทัศนคติทางวิทยาศาสตร์คือ

๕.๑ เป็นผู้ไม่เชื่อถือโชคลาง แต่เป็นผู้มีเหตุผลและระเบียบวินัย

๕.๒ ยอมรับความจริงทางวิทยาศาสตร์ที่ได้พิสูจน์แล้ว

๕.๓ มีความขยันและอดทน มีสมาธิ และความรอบคอบ

๕.๔ สามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับผู้อื่นในปัญหาต่าง ๆ ได้

๕.๕ มีความจริงใจ ความสนใจและความกระตือรือร้นที่จะค้นคว้าหาความรู้ เพิ่มเติมอยู่เสมอ

จุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)

เมื่อนักเรียนเรียนจบเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันแล้ว

๑. นักเรียนสามารถบอกความหมายของ มวล แรง น้ำหนัก สมดุล โมเมนตัม และความเร่งของวัตถุได้
๒. นักเรียนสามารถบอกหน่วยของ มวล, ความเร่ง, แรงและน้ำหนักได้ถูกต้องทั้ง ๔ ระบบ ตลอดจนสามารถแปลงหน่วยในระบบหนึ่งไปสู่อีกระบบหนึ่งได้ถูกต้อง
๓. นักเรียนสามารถแสดงวิธีการทดลองและอธิบายความหมายของ มวล และน้ำหนักของวัตถุได้ด้วยคำพูดของตนเอง
๔. นักเรียนสามารถอธิบายได้ว่า เหตุใดน้ำหนักของวัตถุที่ตำแหน่งเส้นรุ้งต่าง ๆ บนโลก จึงมีค่าไม่เท่ากัน
๕. เมื่อกำหนดมวลของวัตถุให้ นักเรียนสามารถคำนวณหาน้ำหนักของวัตถุได้
๖. นักเรียนสามารถบอกกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันได้ถูกต้องทั้ง ๓ ข้อ
๗. นักเรียนสามารถเขียนกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ ๒ ของนิวตันเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้อง
๘. เมื่อกำหนดอุปกรณ์การทดลองเรื่องกฎข้อที่สองของนิวตันให้แล้ว นักเรียนสามารถทำการทดลองหาข้อสรุปกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันได้ถูกต้อง
๙. นักเรียนสามารถ แก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยการใช้หลักเกณฑ์จากกฎทั้ง ๓ ข้อของนิวตันได้
๑๐. นักเรียนสามารถอธิบายสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่บางอย่างที่กำหนดให้ โดยอาศัยกฎทั้ง ๓ ข้อของนิวตันได้ถูกต้อง
๑๑. เมื่อกำหนดชุดทดลองเรื่องแรงเสียดทานให้ นักเรียนสามารถทำการทดลองหา ส.ป.ส. ความเสียดทานได้
๑๒. นักเรียนสามารถเขียนสรุปค่าความสัมพันธ์ ระหว่างแรงเสียดทานและแรงที่กดทับ

ในแนวตั้งฉากได้ถูกต้อง

๑๓. นักเรียนสามารถ แก้โจทย์ปัญหาการเคลื่อนที่ของวัตถุเมื่อมีแรงเสียดทานเกี่ยวข้องกับอนุภาคได้

Module : เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

หลักการและเหตุผล

บทเรียนนี้ สร้างขึ้นเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนแต่ละคน ให้นักเรียนได้เรียนตามความสามารถของตนเองเป็นหลัก ผู้วิจัยมีความมุ่งหมายเพื่อที่จะให้เกิดประโยชน์แก่ผู้เรียนดังนี้ คือ

๑. เพื่อฝึกให้นักเรียนมีสมาธิ มีความรอบคอบ ชัยชนะแข็งแกร่ง และอดทนต่อการทำงานที่ได้รับมอบหมาย
๒. เพื่อฝึกให้นักเรียนมีความรับผิดชอบและซื่อสัตย์ต่อตนเอง ในการศึกษาหาความรู้ เพราะการเรียนรู้ด้วยบทเรียนโมดูล เป็นการเรียนด้วยตนเองเป็นส่วนใหญ่
๓. เพื่อฝึกความสามารถในการใช้ความคิดหาเหตุผลอธิบายปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น นักเรียนจึงต้องมีการทดลองประกอบบทเรียน และตอบคำถามต่าง ๆ เพื่อทดสอบความเข้าใจ หลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว
๔. เพื่อนำความรู้ หลักและกฎเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน หรือประโยชน์ต่อการสืบสวน หากความรู้ในชั้นสูงต่อไป

เมื่อนักเรียนเรียนจบบทเรียนเรื่องนี้แล้ว นักเรียนควรจะมีความรู้ ความเข้าใจ ในเนื้อหา เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมต่าง ๆ หรือจุดมุ่งหมายที่ได้ตั้งไว้

การประเมินผลเบื้องต้น

ก่อนเริ่มต้นบทเรียนนักเรียนจะต้องทดสอบ ข้อทดสอบ เพื่อวัดความรู้พื้นฐานในบทเรียนว่า นักเรียนมีความรู้ในเรื่องนี้หรือไม่ ถ้านักเรียนสามารถตอบถูกต้องได้ถึง ๘๐ % ของจำนวนข้อสอบทั้งหมด นักเรียนอาจไม่ต้องเรียนบทเรียนเรื่องนี้ก็ได้

กิจกรรมในการเรียน

สิ่งที่นักเรียนต้องปฏิบัติในการเรียนมีดังนี้

๑. รับการทดสอบความรู้พื้นฐาน
๒. รับบทเรียนที่จะเรียนจากผู้วิจัย ไปเรียนด้วยตนเอง
๓. ศึกษาบทเรียนด้วยตนเอง
๔. จัดชุดอุปกรณ์ ทำการทดลองตามลำพังหรือทดลองเป็นกลุ่มก็ได้ ตามหัวข้อที่มี

การทดลองตามลำดับ

๕. เมื่อนักเรียนเรียนจบบทเรียนแล้ว นักเรียนก็ขอรับแบบทดสอบมาทำ เพื่อประเมินผลความรู้ของนักเรียนในขั้นสุดท้าย

รายละเอียดของกิจกรรมการเรียน

การศึกษบทเรียนเรื่องนี้ นักเรียนจะได้รับบทเรียนเรียงตามลำดับหัวข้อไป นักเรียนอาจศึกษาคนเดียวด้วยตนเอง หรือรวมเป็นกลุ่มกับเพื่อนร่วมชั้นก็ได้ แล้วแต่ใจสมัคร หากมีข้อสงสัยระหว่างการศึกษบทเรียนประการใด ก็สอบถามได้จากผู้วิจัย ซึ่งจะช่วยเหลือแนะนำหรือชี้แจงให้เข้าใจ

ในบทเรียนนี้ มีการทดลองประกอบบทเรียนอยู่ด้วย นักเรียนจะต้องอ่านเนื้อหาวัตถุดิบประสงค์ วิธีทำการทดลอง และเตรียมอุปกรณ์การทดลองตามที่กำหนดไว้ เมื่อนักเรียนได้ข้อมูลจากการทดลองแล้ว จึงนำไปวิเคราะห์และสรุปอภิปรายผลการทดลอง นอกจากนี้ยังมีคำถามสำหรับให้นักเรียนตอบท้ายบท ซึ่งนักเรียนสามารถตรวจคำตอบได้ด้วยตนเองว่าถูกต้องแล้วหรือยัง ถ้าตอบถูกแล้วนักเรียนก็ทำคำถามต่อไป ถ้ายังตอบไม่ถูก นักเรียนควรอ่านบทเรียนอีกครั้ง จึงค่อยไปตอบคำถามอื่น ๆ ต่อไปจนจบ.

เรื่องมวลของวัตถุ

วัตถุประสงค์ของบทเรียน : บทเรียนนี้กล่าวถึงความศรัทธาของมวล

ความรู้พื้นฐาน : แรงเป็นสิ่งที่สามารถหรือพยายามเปลี่ยนสถานะการทางจลน์ของวัตถุได้

วัตถุประสงค์ของการเรียน : เมื่อนักเรียนเรียนเรื่องนี้แล้วจะสามารถบอกความหมายของมวลได้

บทเรียน

มวลเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของวัตถุที่ต่อต้านความพยายามที่จะเปลี่ยนแปลงสภาพเดิมของวัตถุ นักเรียนจะเข้าใจสมบัติเช่นนี้ได้จากการทดลองต่อไปนี้

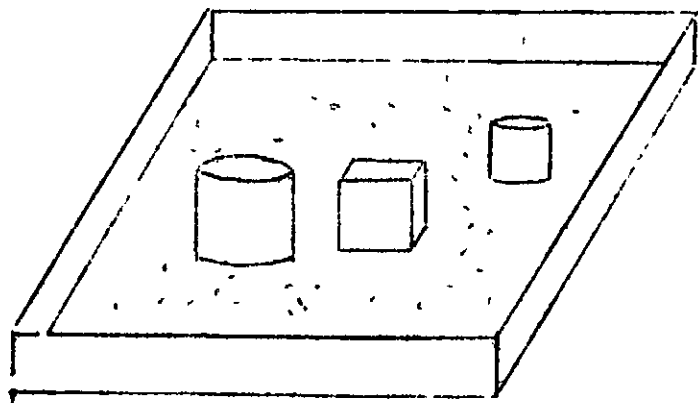
การทดลอง

อุปกรณ์

๑. ถาดไม้สี่เหลี่ยมขนาดใหญ่
๒. เม็ทพลาสติกกลมเล็ก ๆ จำนวนหนึ่ง
๓. วัตถุทรงกระบอกและทรงลูกบาศก์อย่างละ ๒ อัน โดยแต่ละอันมีขนาดไม่เท่ากัน

วิธีทดลอง (ตอนที่ ๑)

นักเรียนจับวัตถุเลื่อนไปมาบนเม็ทพลาสติกที่อยู่ในถาดโดยไม่ต้องยกวัตถุขึ้น และสังเกตว่าแรงที่ใช้ในการเลื่อนวัตถุนี้มากน้อยต่างกันอย่างไร



คำถาม สมบัติของวัตถุที่นักเรียนสังเกตเห็นว่าไม่เหมือนกันนั้น คือน้ำหนักของวัตถุใช่หรือไม่

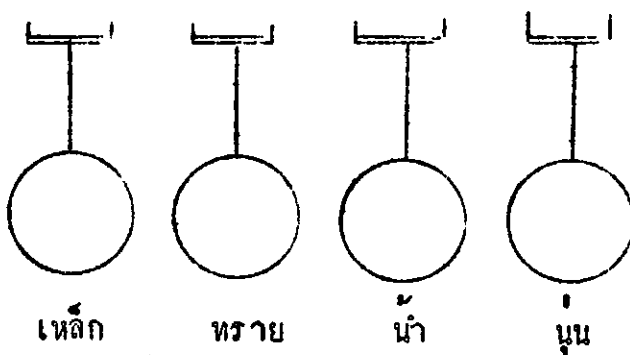
ไม่ใช่ เพราะว่านักเรียนไม่ได้ยกวัตถุขึ้น เราเรียกสมบัติของวัตถุที่รู้สึกได้จากการทดลองเลื่อนวัตถุไปมานี้ว่า มวล

การทดลอง (ตอนที่ ๒)

- อุปกรณ์
๑. ลูกบอลพลาสติก ๔ ลูก แต่ละลูกบรรจุทราย, น้ำ, เหล็ก และนุ่นตามลำดับ
 ๒. เชือก ๔ เส้น

วิธีทดลอง

๑. นักเรียนใช้มือผลักลูกบอลแต่ละลูกไปมาโดยไม่ยกขึ้นเลย สังเกตการไกวแรงผลัก
๒. ใช้มือยกลูกบอลแต่ละลูก และเปรียบเทียบกับผลที่ได้ในข้อ ๑



คำถาม ๑. จากการทดลอง นักเรียนพบว่า มวลของลูกบอลแต่ละลูกเท่ากันหรือไม่

ไม่เท่ากัน จากความรู้สึกในการออกแรงผลักลูกบอลมีแรงต้านมือจากมากไปหาน้อยตามลำดับ คือ

๑. ลูกบอลบรรจุเหล็ก
๒. ลูกบอลบรรจุทราย
๓. ลูกบอลบรรจุน้ำ
๔. ลูกบอลบรรจุขน

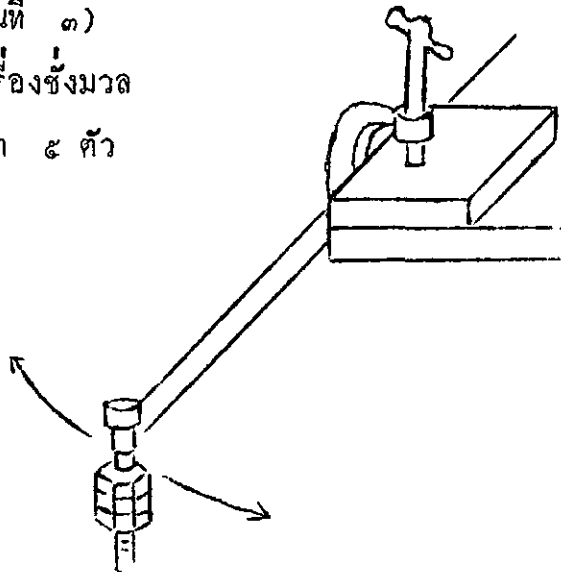
๒. จากการทดลองในครั้งนี้นักเรียนพบว่า มวล และ น้ำหนัก เกี่ยว
ข้องกันหรือไม่

.....

มวลและน้ำหนักมีความเกี่ยวข้องกันคือ ถ้าวัตถุใดมีมวลมาก วัตถุนั้น
จะมีน้ำหนักมากด้วย

การทดลอง (ตอนที่ ๓)

อุปกรณ์ ๑. เครื่องชั่งมวล
๒. นอต ๕ ตัว



วิธีทดลอง

๑. ทำให้สกรูที่ติดอยู่บนปลายเหล็กสปริงแกว่งไปมา
๒. ติดนอตเพิ่มเป็น ๒ ตัว และ ๔ ตัว แล้วแกว่งดู สังเกต เปรียบ
เทียบผลของการแกว่งแต่ละครั้ง
๓. ทำการทดลองโดยใช้ นอตครั้งละ ๒ ตัว, ๓ ตัว, ๔ ตัว, ๕ ตัว
ตามลำดับแล้ว บันทึกเวลาที่ใช้ในการแกว่งครบ ๓๐ รอบในแ
ละครั้ง และหาค่าเฉลี่ยของเวลาแกว่งครบ ๓๐ รอบ
๔. คำนวณหาค่าเวลาของการแกว่งของนอตในแต่ละครั้ง จากข้อมูล
ในข้อ ๓ เพื่อเปรียบเทียบ ค่าเวลาของการแกว่งของนอตใน
แต่ละครั้งว่ามากน้อยต่างกันอย่างไร

คำถาม ๑. เมื่อเครื่องชั่งมวลแกว่งโดยมีจำนวนนอตเพิ่มมากขึ้น การแกว่งจะ
ช้าลงหรือไม่

๒. นักเรียนสามารถสรุปได้หรือไม่ว่าคาบของการแกว่งของวัตถุที่มีมวลน้อยและคาบของการแกว่งของวัตถุที่มีมวลมาก แตกต่างกันอย่างใด
.....
๓. ในการทดลองใช้แรงแกว่งวัตถุที่มีมวลมากและวัตถุที่มีมวลน้อย ปรากฏว่าต้องใช้แรงในทั้งสองกรณีนั้นต่างกันอย่างไร
.....
๔. จากผลการทดลองในข้อ ๓ และ ๔ นักเรียนพบว่าคาบเวลาของการแกว่งจะนานขึ้น เมื่อใช้จำนวนนอตเพิ่มมากขึ้น ใช่หรือไม่.....
๕. จากการทดลองข้างต้น นักเรียนสรุปผลเกี่ยวกับความหมายของมวลได้อย่างไร
.....

ตอบคำถามการทดลองตอนที่ ๓

๑. การแกว่งของ เครื่องซึ่งมวลจะช้าลงเมื่อ จำนวนนอตมีมากขึ้น
๒. วัตถุที่มีมวลน้อยจะแกว่งเร็วกว่าวัตถุที่มีมวลมาก
๓. ต้องใช้แรงมากในการทำให้วัตถุที่มีมวลมากกว่าแกว่งหรือเคลื่อนที่ และต้องใช้แรงน้อยเพื่อให้วัตถุที่มีมวลน้อยแกว่งหรือเคลื่อนที่
๔. คาบเวลาของการแกว่งเพิ่มมากขึ้นเมื่อ นอตมีจำนวนมากขึ้น
๕. สรุปได้ว่า "มวล" เป็นสมบัติอย่างหนึ่งของวัตถุในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงสภาพจากสภาพเดิมของวัตถุ

คำถามทบทวน

๑. มวลมีสมบัติเกี่ยวกับความเฉื่อยอย่างไร
.....
๒. ในการทำให้วัตถุแกว่งไปมา วัตถุก้อนเดียวกันแต่แกว่งเป็นช่วงกว้างไม่เท่ากัน คาบของการแกว่งเปลี่ยนแปลงหรือไม่
.....
๓. มวล คืออะไร
.....

ตอบคำถามทบทวน

๑. มวลเกี่ยวข้องกับความเฉื่อย (Inertia) กล่าวคือมวลเป็นผลของการวัดความเฉื่อยของวัตถุและวัตถุใดที่มีมวลมากจะมีความเฉื่อยมาก และวัตถุใดมีมวลน้อยจะมีความเฉื่อยน้อย
 ๒. ไม่เปลี่ยนแปลง
 ๓. มวลเป็นสมบัติที่ต้านทานการเปลี่ยนสถานะที่เป็นอยู่ของวัตถุเสมอ
-

เรื่องหน่วยของมวลและแรง

วัตถุประสงค์ของบทเรียน บทเรียนนี้กล่าวถึงหน่วยของมวล, น้ำหนัก และแรง ในระบบหน่วยมาตรฐานสากล (S.I. Unit) ระบบอังกฤษ (F.P.S.) , ระบบ Gaussian (C.G.S.) และระบบวิศวกรรม (Engineering Unit)

ความรู้พื้นฐาน น้ำหนักคือแรงดึงดูดของโลกกระทำต่อวัตถุมีค่าเท่ากับ mg

วัตถุประสงค์ของการเรียน

๑. นักเรียนสามารถบอกหน่วยของมวลและแรงได้ถูกต้องทั้ง ๔ ระบบและบอกหน่วยของแรงในหน่วยมาตรฐานสากล (S.I. Unit) ตลอดจนสามารถแปลงหน่วยจากระบบหนึ่งไปสู่อีกระบบหนึ่งได้ถูกต้อง

๒. เมื่อกำหนดมวลของวัตถุให้ นักเรียนสามารถคำนวณหาน้ำหนักของวัตถุและบอกหน่วยของน้ำหนักได้ถูกต้องทั้ง ๔ ระบบ

บทเรียน

หน่วยของมวลในระบบ	M.K.S. (S.I.)	คือ	กิโลกรัม (Kilogram)
ระบบ	C.G.S.	คือ	กรัม (Gram)
ระบบ	F.P.S.	คือ	ปอนด์ (Pound)
ระบบ	Engineering	คือ	สลัก (Slug)

หน่วยของแรงในระบบ S.I. คือ นิวตัน (Newton)

$$F \text{ (Newtons)} = m \text{ (Kilograms)} \times a \text{ (metres/s}^2\text{)}$$

หน่วยของแรงในระบบ C.G.S. คือ ไดน์ (Dyne)

$$F \text{ (Dynes)} = m \text{ (Grams)} \times a \text{ (centimetre/s}^2\text{)}$$

หน่วยของแรงในระบบ F.P.S. คือ เปาดีล (Poundal)

$$F \text{ (Poundals)} = m \text{ (Pounds)} \times a \text{ (feet/s}^2\text{)}$$

หน่วยของแรงในระบบ Engineering คือ ปอนด์ (Pound)

$$F \text{ (Pounds)} = m \text{ (Slugs)} \times a \text{ (feet/s}^2\text{)}$$

คำถาม จงเติมชื่อหน่วยของ แรง, น้ำหนัก, มวล และความเร่ง ลงในตาราง
ให้ถูกต้อง

ตาราง

ระบบของหน่วย	แรง	น้ำหนัก	มวล	ความเร่ง
M.K.S. (S.I. Unit)	-----	---	---	-----
C.G.S.	-----	-----	---	-----
F.P.S.	-----	---	---	---
Engineering Unit	-----	---	---	-----

การ เปลี่ยนหน่วยจากระบบหนึ่ง ไปสู่อีกระบบหนึ่ง

ตัวอย่าง แรง ๑ นิวตัน มีค่าเท่ากับกี่ไคน์

วิธีทำ

จากสูตร

$$F = m a$$

$$\begin{aligned}
 1 \text{ นิวตัน} &= 1 \text{ กก.} \times 1 \text{ เมตร/วินาที}^2 \\
 &= 1000 \text{ กรัม} \times 100 \text{ ซม./วินาที}^2 \\
 &= 100000 \text{ กรัม} \times \text{ซม./วินาที}^2 \\
 &= 10^5 \text{ ไคน์}
 \end{aligned}$$

$$1 \text{ นิวตัน} = 10^5 \text{ ไคน์}$$

ตอบ

ข้อมูลที่ควรจำ

$$\begin{aligned}
 1 \text{ กก.} &= 1000 \text{ กรัม} = 10^3 \text{ กรัม} \\
 1 \text{ สลัก} &= ๑๔.๖ \text{ กก.} \\
 1 \text{ เมตร} &= 100 \text{ ซม.} \\
 1 \text{ ปอนด์} &= ๔.๔๔ \text{ นิวตัน} \\
 1 \text{ ฟุต} &= ๑.๔ เมตร/วินาที^2 = ๓๒ \text{ ฟุต/วินาที}^2
 \end{aligned}$$

- คำถาม
๑. จงเปลี่ยนค่ามวล ๑๐๐ สลักให้อยู่ในระบบ M.K.S.
.....
 ๒. จงเปลี่ยนค่าแรง ๑ นิวตัน ให้อยู่ในระบบ F.P.S.
.....
 ๓. โดยการใช้นำหนัก ความยาว และเวลาเป็นปริมาณพื้นฐาน จงหาหน่วยของมวล
.....
 ๔. ถ้ามวลของนักเรียนเป็น ๕๕ กก. จงหามวลของนักเรียนในหน่วยสลัก และ น้ำหนักของนักเรียนในหน่วยนิวตัน
.....
 ๕. จงหามวลของ ๑ กก. ในหน่วยสลัก
.....
 ๖. จงเปลี่ยนค่าแรง ๑๐๐๐ โคน์ ให้อยู่ในระบบ S.I. และ F.P.S.
.....
 ๗. หน่วยของมวลกับหน่วยของน้ำหนักต่างกันหรือไม่
.....
 ๘. ถ้าวัตถุอันหนึ่งมีมวล ๓๒ สลัก จะมีน้ำหนักเป็นเท่าไร
.....
 ๙. วัตถุอันหนึ่งหนัก ๙๓ กก. น้ำหนัก แสดงว่าวัตถุนี้หนักกี่นิวตัน
.....
 ๑๐. ถ้าวัตถุหนัก ๓๒ ปอนด์ น้ำหนัก แสดงว่าวัตถุนี้หนักกี่เปาต์ล
.....

ตอบคำถาม

๑. ๑๔๖๐ กก.
๒. ๐.๒๒๕ ปอนด์
๓. $\frac{N}{L/S^2}$ หรือ กิโลกรัม

๔. ๓.๘๙ สลัก, ๕๘๐ นิวัตน์
 ๕. ๐.๐๖๔ สลัก
 ๖. ๑๐^{-๒} นิวัตน์, ๐.๐๐๒๒๕ ปอนด์
 ๗. ทางกัน
 ๘. ๑๐๒๔ ปอนด์
 ๙. ๙๓๐ นิวัตน์
 ๑๐. ๑๐๒๔ เปาดีล
-

เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่หนึ่ง

วัตถุประสงค์ของบทเรียน

บทเรียนนี้กล่าวถึง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่หนึ่งและ Inertia
ความรู้พื้นฐาน แรงคือสิ่งที่พยายามเปลี่ยนสภาพหยุดนิ่งและสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ

วัตถุประสงค์ของการเรียน

๑. นักเรียนสามารถอธิบายความหมายและ ทำการทดลองเกี่ยวกับ Inertia ได้
๒. นักเรียนสามารถแสดงกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่หนึ่งและบอกขอบเขตการใช้กฎข้อนี้ได้อย่างถูกต้อง

อุปกรณ์ประกอบบทเรียน

คอน ๑ อัน แท่งไม้ทรงลูกบาศก์ ๔ อัน แก้วน้ำ ๑ ใบ กระดาษแข็ง
 ๑ แผ่น เทปยอบาท ๑ อัน เชือกเส้นเล็ก ๒ เส้น ตุ่มน้ำหนัก รถ ๑ คัน ยางยืด
 และรางไม้

โปรแกรมการเรียน

๑. อ่านบทเรียนและวิธีการทำการทดลองให้เข้าใจ
๒. ทำการทดลองตามลำดับที่กำหนดไว้ และสังเกตผลการทดลองที่เกิดขึ้นอย่างรอบคอบ
๓. ตอบคำถามในช่องว่างที่เว้นไว้ เมื่อตอบแล้ว นักเรียนตรวจคำตอบที่มีอยู่
 ตอนท้ายบทเรียน

บทเรียน

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่หนึ่ง กล่าวว่า "วัตถุทุกชนิดจะรักษาสถานะอยู่นิ่งหรือ
สถานะการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ในแนวเส้นตรงไว้เสมอ นอกจากจะมีแรงลัพธ์ที่มีค่า
ไม่เป็นศูนย์มากระทำบนวัตถุนั้น" หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า ถ้าแรงลัพธ์ที่กระทำบนวัตถุ
 เป็นศูนย์ วัตถุนั้นจะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ตามสถานะเดิมของวัตถุนั้นตลอดไป
 จึงเรียกกฎข้อนี้ได้อีกอย่างหนึ่งว่า กฎแห่งความเฉื่อย (Law of Inertia) หมายความว่า

วัตถุมีความเฉื่อยต่อการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ วัตถุพยายามที่จะดำรงสภาวะเดิมของมันไว้เสมอ กฎข้อนี้เป็นจริงสำหรับผู้สังเกตที่หยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ เท่านั้น

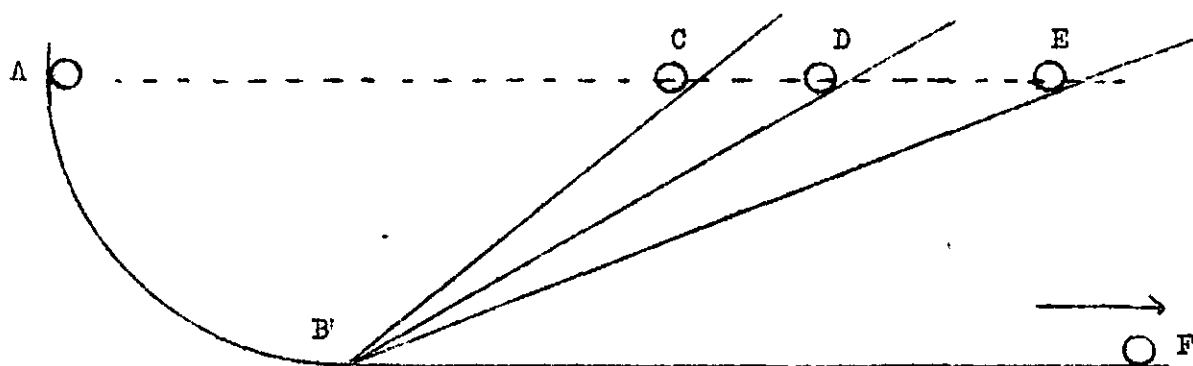
การทดลองเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่หนึ่ง

จุดมุ่งหมาย

๑. เพื่อให้นักเรียนมีทักษะในการใช้เครื่องมือทดลอง
๒. เพื่อตรวจสอบกฎแห่งความเฉื่อยของวัตถุ

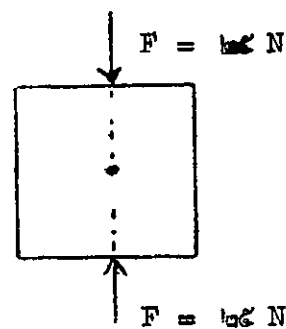
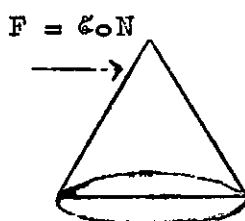
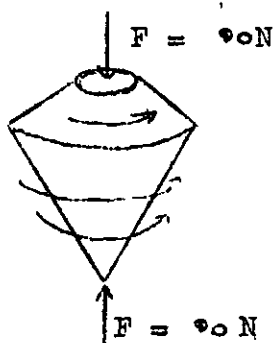
อุปกรณ์ รางปรับความเอียงได้, ลูกกลมเหล็ก

วิธีทดลอง



๑. ปล่อยลูกกลมเหล็กจากจุด A ให้กลิ้งลงมาตามรางผ่านจุด B และเลยขึ้นไปตามรางอีกข้างหนึ่งจนมีความเร็วเป็นศูนย์ที่จุด C บันทึกระยะทาง BC ไว้
๒. ปรับความเอียงของราง BC ให้อยู่ในแนว BD ทำการทดลองเช่นเดิม แล้วบันทึกระยะทาง BD ไว้
๓. ปรับความเอียงของราง BD ให้อยู่ในแนว BE ทำการทดลองเช่นเดิม แล้วบันทึกระยะทาง BE ไว้
๔. ปรับความเอียงของราง BE ให้อยู่ในแนวระดับ BF ทำการทดลองเช่นเดิม แล้วบันทึกระยะทาง BF ไว้
๕. เปรียบเทียบระยะทาง BC, BD, BE และ BF

- คำถาม
๑. จากการทดลอง นักเรียนพบว่า ระยะทาง BC, BD, BE และ BF เป็นอย่างไร
.....
 ๒. เมื่อความเอียงของราง BC ลดลงตามลำดับ ความเร็วและความเร่งของวัตถุจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร
.....
 ๓. เมื่อราง BC อยู่ในแนวระดับ BF และไม่มีแรงเสียดทานระหว่างรางกับลูกกลมเหล็ก ลูกกลมเหล็กจะเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วคงที่ตลอดไป หรือไม่
.....
 ๔. วัตถุที่อยู่นิ่งและวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่นั้นมีแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุหรือไม่
.....
 ๕. วัตถุอยู่ในสภาวะสมดุล ก็ต่อเมื่อแรงที่กระทำต่อวัตถุไม่สามารถทำให้วัตถุเปลี่ยนสภาวะเคลื่อนที่ สภาวะหยุดนิ่งได้ จงเขียนคำว่า "สมดุล" ลงในช่องว่างที่วัตถุมีลักษณะสมดุล (โดยไม่คำนึงถึง แรงดึงดูดของโลกและแรงเสียดทาน)

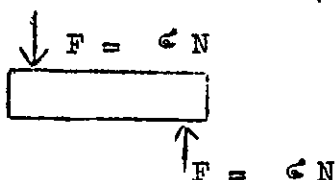


ก.....

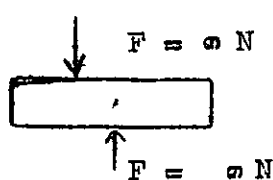
ข.....

ค.....

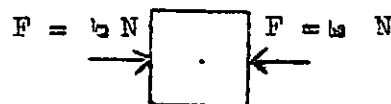
๖. จงเขียนคำว่า "สมดุล" ลงในช่องว่างซึ่งแสดงว่าวัตถุอยู่ในลักษณะสมดุล



ก.....



ข.....



ค.....

๓. วัตถุอยู่ในสภาพสมดุลได้ในขณะที่เคลื่อนที่และ.....
๔. เงื่อนไขที่ทำให้วัตถุสมดุล คือ แรงที่กระทำต่อวัตถุ ไม่เปลี่ยน.....
หรือสภาวะ.....
๕. ข้อใดถูกต้องที่สุด วัตถุไม่อยู่ในสภาพสมดุลถ้าแรงที่กระทำต่อวัตถุ
- ก. มีค่ามากกว่าศูนย์
- ข. เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่และความเร็วของวัตถุ
- ค. ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง
- ง. ถูกทั้งข้อ ก. ข. และ ค.
๑๐. วัตถุมวล m ในรูปข้างล่างอยู่ในสภาพสมดุลหรือไม่.....
เพราะ.....

$$F = 0 \quad N \quad \boxed{m}$$

$$F_{\text{อ}} = 90 \text{ N} \rightarrow \boxed{m} \leftarrow -F_{\text{ล}} = 90 \text{ N}$$

$$F_{\text{อ}} = 120 \text{ N} \rightarrow \boxed{m} \leftarrow F_{\text{ล}} = 20 \text{ N}$$

๑๑. วัตถุที่อยู่ในสภาพสมดุลจะอยู่ในสภาพสมดุลตลอดไปเว้นไว้เสียแต่ว่า.....
๑๒. สิ่งใดต่อไปนี้ไม่มี สมบัติของความเฉื่อย
- ก. อะตอม
- ข. กลอง
- ค. แรงดึงดูดของโลก
- ง. อากาศ
- จ. สนามแม่เหล็ก
๑๓. วัตถุที่มีความเฉื่อย (Inertia) จะมีมวลเสมอไป ใช่หรือไม่.....

๑๔. ความคิดเรื่องความเนื่อยของวัตถุมีอยู่ในกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่หนึ่ง ใดหรือไม่.....
๑๕. จากผลการทดลองในตอนนี้ นักเรียนสามารถสรุปกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ข้อที่หนึ่งได้ว่า.....
-

ตอบคำถาม

๑. นักเรียนจะเห็นว่าระยะทาง BC, BD, BE และ BF ยาวมากขึ้นเรื่อย ๆ และจะเห็นว่าระยะทาง BF ยาวมากที่สุด
๒. เมื่อวาง BC ลดลงตามลำดับ ความเร่งของวัตถุจะเปลี่ยนค่าเข้าสู่ค่าใกล้เคียง ศูนย์ และความเร็วของวัตถุจะมีค่าเกือบเป็นค่าคงที่
๓. ถ้าไม่มีแรงเสียดทานระหว่างรางกับลูกกลมเหล็ก ลูกกลมเหล็กจะเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วคงที่ตลอดไป
๔. วัตถุที่อยู่นิ่ง และวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่นั้นไม่มีแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุ
๕. ก. สมดุล, ค. สมดุล
๖. ค. สมดุล
๗. หยุดนิ่ง
๘. สถานะการเคลื่อนที่ของวัตถุ, หยุดนิ่ง
๙. ขด ง.
๑๐. มวล m อยู่ในสภาพสมดุล เพราะแรงที่กระทำต่อวัตถุไม่สามารถเปลี่ยนสถานะการเคลื่อนที่และหยุดนิ่งของวัตถุ
๑๑. จะมีแรงลัพธ์มากระทำต่อวัตถุทำให้วัตถุเปลี่ยนสถานะเดิมของมันไป
๑๒. ก, ข, และ ง
๑๓. ใช่
๑๔. ใช่
๑๕. สรุปกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่หนึ่งได้ว่า "วัตถุทุกชนิดจะรักษาสถานะอยู่นิ่งหรือสถานะการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ในแนวเส้นตรงไว้เสมอ นอกจากจะมีแรงลัพธ์ที่มีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำบนวัตถุนั้น"

การทดลองเกี่ยวกับการ ประยุกต์กฎการ เคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่หนึ่ง

จุดมุ่งหมาย

๑. เพื่อให้นักเรียนมีทักษะในการใช้เครื่องมือทดลอง
๒. เพื่อตรวจสอบกฎแห่งความเฉื่อยของวัตถุ

อุปกรณ์

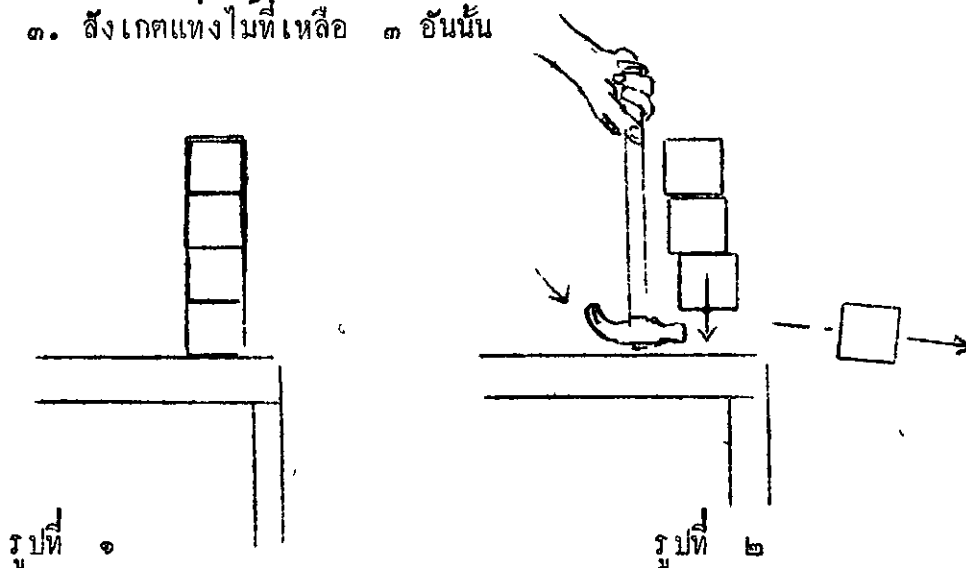
คอน, เชือกเส้นเล็ก ๒ เส้น, ตุ่มน้ำหนัก, รถ ๑ คัน แท่งไม้ทรง
ลูกบาศก์ ๔ อัน , รางไม้, แก้วน้ำ, กระดาษแข็ง, เหรียญสลึงและเหรียญบาท

ความรู้พื้นฐาน

มวลเป็นสมบัติที่ต้านทานการ เปลี่ยนแปลงสภาพการ เคลื่อนที่ของวัตถุ ดังนั้นวัตถุ
ที่มีมวลมากจึงมีความเฉื่อยมาก และวัตถุที่มีมวลน้อยจะมีความเฉื่อยน้อย

วิธีทดลอง (ตอนที่ ๑)

๑. วางแท่งไม้ทรงลูกบาศก์ ๔ อัน ซ้อนกันดังรูปที่ ๑
๒. ใช้ค้อนตีที่แท่งไม้อันล่างสุดดังรูปที่ ๒
๓. สังเกตแท่งไม้ที่เหลือ ๓ อันนั้น



คำถาม

๑. เมื่อก่อนใช้ค้อนตีแท่งไม้ แท่งไม้ทั้ง ๔ อันอยู่ในสภาวะหยุดนิ่งหรือ
เคลื่อนที่

.....

๒. หลังจากใช้ค้อนตีแท่งไม้อันล่างสุดให้หลุดออกไปแล้วแท่งไม้ที่เหลือ ๓ อัน
จะเป็นอย่างไร

.....

๓. ทำไมแท่งไม้ที่เหลื่อ ๓ อัน จะลื่นไถลไปในแนวระดับบ้างเล็กน้อย

.....

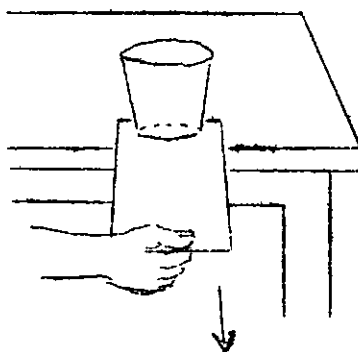
ตอบคำถาม ตอนที่ ๑

๑. เมื่อถอนไขคอนต์แท่งไม้ แท่งไม้ทั้ง ๔ อันอยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง
๒. หลังจากไขคอนต์แท่งไม้อันล่างสุดให้หลุดออกไปแล้ว แท่งไม้ที่เหลื่อ ๓ อัน จะตกลงในแนวตั้งและจะเคลื่อนไปตามแนวระดับบ้างเล็กน้อย
๓. สาเหตุที่แท่งไม้ที่เหลื่อ ๓ อัน เคลื่อนที่ไถลไปในแนวระดับบ้างเล็กน้อย เชนั้น เนื่องจากมีแรงเสียดทานเพียงเล็กน้อยระหว่างผิวของแท่งไม้ แท่งที่ ๔ กับ แท่งที่ ๓

วิธีทดลอง

(ตอนที่ ๒)

๑. วางแก้วที่ม้น้ำประมาณครึ่งแก้ว ลงบนกระดาษที่วางอยู่ใกล้ขอบโต๊ะและทำเครื่องหมายบอกตำแหน่งของแก้วน้ำกับพื้นโต๊ะไว้
๒. ใ้มือกระตุกกระดาษออกอย่างรวดเร็ว (จิ้งรูป)
๓. ให้สังเกตตำแหน่งของแก้วน้ำ เมื่อไม่มีกระดาษวางรองอยู่ข้างใต้ โดยเปรียบเทียบกับตำแหน่งเดิม



คำถาม

๑. เมื่อกระดูกกระต่ายออกไปแล้ว แก้วน้ำอยู่ในสภาวะเช่นไร

.....

๒. เพราะเหตุใด แก้วน้ำจึงอยู่ในสภาวะเช่นนั้น

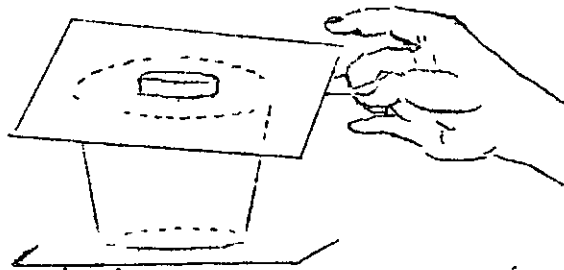
.....

ตอบคำถาม ตอนที่ ๒

๑. เมื่อกระดูกกระต่ายออกไปแล้ว แก้วน้ำจะอยู่ในสภาวะหยุดนิ่งที่ตำแหน่งเดิม
๒. สาเหตุที่แก้วน้ำ อยู่ในสภาวะหยุดนิ่งเช่นเดิมนั้น เพราะตาแรงเสียดทานระหว่างแก้วน้ำกับกระดูกมีน้อยมากจนถือว่าไม่แรงถึงกับกระทำกับแก้วน้ำ ทั้งนี้เป็นไปตามกฎของนิวตันข้อที่หนึ่งที่ว่าถ้าไม่มีแรงลัพธ์มากระทำวัตถุนั้น วัตถุที่หยุดนิ่ง จะยังคงหยุดนิ่งตลอดไป และวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ก็จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ตลอดไป

วิธีทดลอง (ตอนที่ ๓)

๑. วางกระดูกแข็งไว้บนปากแก้วตั้งรูปข้างล่าง
๒. วางเหรียญสลึงลงบน กระ- ต่ายแข็งนั้น
๓. ใช้นิ้วมืออีกกระดูกแผ่นหนึ่งให้เคลื่อนที่ไปในแนวระดับ
๔. สังเกตการเคลื่อนที่ของ เหรียญสลึงอันนั้น

คำถาม

๑. เหรียญสลึง เคลื่อนที่ตามกระดูกแข็งออกไปหรือไม่ เพราะเหตุใด

.....

๒. ถ้าใช้เหรียญบาท จะเกิดผลเช่นเดียวกันหรือไม่

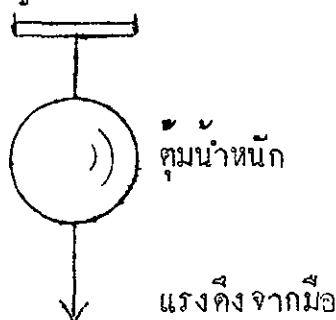
.....

ตอบคำถาม ตอนที่ ๓

๑. เหยี่ยวสปีดตกลงในแก้ว เพราะเหยี่ยวสปีดมีความเฉื่อย และมีแรงดึงดูดของโลกกระทำต่อเหยี่ยวสปีดในแนวดิ่ง เหยี่ยวสปีดจึงไม่เคลื่อนที่ตามกระแสน้ำออกไป
๒. ในกรณีเหยี่ยวมาท ก็จะได้ผลเช่นเดียวกับกรณีเหยี่ยวสปีด

วิธีทดลอง (ตอนที่ ๔)

๑. ใช้เชือกเส้นเล็กผูกติดกับตุ้มน้ำหนักและผูกไว้กับที่ยึดคงรูป
๒. เอามือซ้าย ๑ ค้างปลายเชือกด้านล่าง จนกระทั่งเชือกขาด
๓. สังเกตว่าเชือกเส้นบนหรือเส้นล่างขาด
๔. ผูกเชือกให้อยู่ในลักษณะเดิมอีก เอามือจับปลายเชือกเส้นล่างแล้วกระตุกให้เชือกขาด สังเกตว่าเชือกเส้นใดขาด



คำถาม

๑. เมื่อเพิ่มแรงดึง ปลายเชือกเส้นล่างที่ละเอียด ๆ เชือกเส้นบนหรือเส้นล่างขาดก่อน เพราะเหตุใด
๒. เมื่อใช้มือกระตุกปลายเชือกเส้นล่าง เชือกเส้นบนหรือเส้นล่างขาดก่อน เพราะเหตุใด

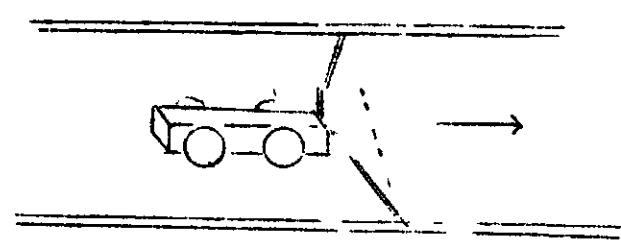
ตอบคำถาม ตอนที่ ๔

๑. เมื่อค่อย ๆ ออกแรงดึงปลายเชือกเส้นล่าง จะเห็นว่าเชือกเส้นบนขาดก่อนเชือกเส้นล่าง เพราะว่าเชือกเส้นบนต้องรับทั้งแรงดึงและแรงเบี่ยงจากน้ำหนักของลูกตุ้ม ส่วนเชือกเส้นล่างรับแรงดึงแต่เพียงอย่างเดียว

๒. เมื่อใช้มือกระตุกปลายเชือกเส้นล่าง จะพบว่าเชือกเส้นล่างขาดก่อน
เชือกเส้นบน เนื่องจากความเฉื่อยของตุ่มน้ำหนักมีมาก จนสามารถป้องกัน
แรงกระตุกที่จะกระทำต่อเชือกเส้นบนได้บ้าง ดังนั้นเชือกเส้นล่าง
จึงขาดก่อนเชือกเส้นบน

วิธีทดลอง (ตอนที่ ๕)

๑. นำรถ ๑ คัน วางบนรางไม้ตรงกึ่งกลางของราง และให้รถอยู่ใกล้กับ
ยางยืดของกล่องตะปู ๒ ตัวที่ตอกไว้กับขอบรางแต่ละข้าง ดังรูปด้านล่าง
๒. ใช้มือดึงยางให้ยืด แล้วปล่อยให้รถเคลื่อนที่
๓. สังเกตทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ ทำการทดลองซ้ำ ๔ ครั้ง
๔. ทำการทดลองเช่นเดิม แต่ขณะรถวิ่งใช้นิ้วมือกระแทกที่ด้านข้างรถ เปรียบ
เทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของรถก่อนและหลังใช้นิ้วมือกระแทกข้างรถ ทำ
การทดลองซ้ำ ๔ ครั้ง



คำถาม

๑. เมื่อวัตถุอยู่นิ่ง และไม่มีแรงมากระทำบนวัตถุแล้ว วัตถุจะมีสภาวะเช่นไร
.....
๒. ทิศทางการเคลื่อนที่ของรถก่อนใช้นิ้วมือกระแทกกับหลังใช้นิ้วมือกระแทก
แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
.....
๓. จากการทดลองนี้ นักเรียนสรุปได้ว่า
.....

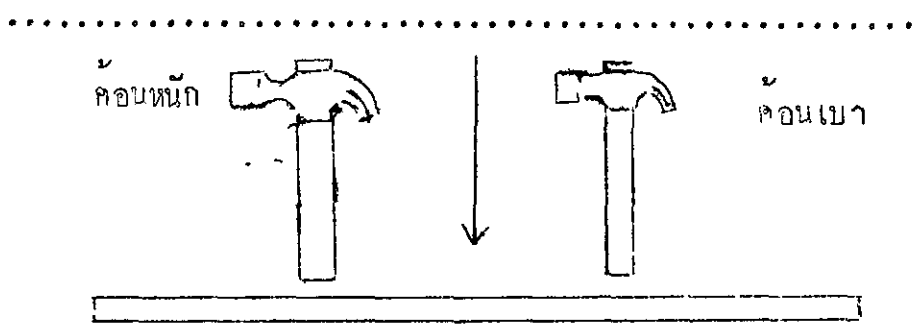
ตอบคำถามตอนที่ ๕

๑. เมื่อวัตถุอยู่นิ่ง และถ้าไม่มีแรงลัพธ์มากระทำบนวัตถุแล้ว วัตถุจะอยู่ในสภาวะอยู่นิ่งเช่นเดิม
๒. ก่อนใช้นิ้วมือกระแทกรถกำลังเคลื่อนที่ไปในแนวเส้นตรง และหลังจากที่ใช้นิ้วมือกระแทกด้านข้างของรถที่กำลังเคลื่อนที่ จะพบว่าทิศทางการเคลื่อนที่ของรถเปลี่ยนไปจากเดิม
๓. จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ในแนวเส้นตรงจะพยายามเคลื่อนที่ในสภาวะเช่นนั้นตลอดไป ถ้าไม่มีแรงภายนอกลัพธ์มากระทำกับวัตถุนั้น แต่ในทางปฏิบัติ เราไม่สามารถกำจัดแรงภายนอก เช่น แรงเสียดทานซึ่งคอยต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุให้หมดอย่างสิ้นเชิงได้

คำถามทบทวน

๑. คนที่นั่งอยู่บนรถโดยสารที่จอดอยู่ พอรถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างรวดเร็ว ทำไมคนจึงไม่ไปข้างหลัง
.....
๒. คนที่นั่งอยู่บนรถโดยสารที่กำลังวิ่ง เมื่อรถถูกเบรคให้หยุดอย่างทันทีทันใด ทำไมคนจึงไม่ไปข้างหน้า
.....
๓. เพราะเหตุใดผู้โดยสารที่กระโดดลงจากรถที่กำลังวิ่งอยู่จึงไม่ไปข้างหน้า
.....
๔. เมื่อนักเรียนหยุดถีบจักรยานที่กำลังวิ่งอยู่บนถนนเรียบระดับ เพราะเหตุใดรถจักรยานจึงไม่หยุดอย่างทันทีทันใด
.....
๕. รถจักรยานที่มีเบรค ๒ อัน อันหนึ่งเป็นเบรคหน้า อีกอันหนึ่งเป็นเบรคหลัง ถ้าเราต้องการจะหยุดรถจักรยานที่กำลังวิ่งอยู่ เราควรจะใช้เบรคอันใดก่อน เพราะเหตุใด.....

๖. ถ้าต้องการใส่คานาคอน โดยวิธีกระแทกปลายคานาหนึ่งของคานาคอนกับพื้นระหว่างคอนหนึ่งกับคอนเบา เราจะใส่คานาแบบนี้ใดได้ง่ายกว่า



๗. รถจักรยานยนต์และรถบรรทุกกำลังวิ่งด้วยอัตราเร็ว ๓๐ กม./ชม. รุ่งเช้าชนกวาง รถมอเตอร์ไซด์จะทำให้กวางเสียหายมากกว่า เพราะเหตุใด

๘. คนในรถจะเป็นอย่างไร เมื่อรถแล่นตามทางโค้งด้วยอัตราเร็วคงที่

๙. จากความรู้ในตอนนี้ นักเรียนสรุปได้ว่า ความเฉื่อยของวัตถุขึ้นอยู่กับอะไร

๑๐. จากการทดลองในตอนนี้ เราสามารถพิสูจน์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่หนึ่งได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

ตอบคำถามทบทวน

๑. คนเราไปช้าลง เพราะคนมีความเฉื่อย พยายามจะดำรงสภาวะหยุดนิ่งของกันไว้
๒. คนเราไปข้างหน้า เพราะคนมีความเฉื่อย พยายามจะดำรงสภาวะการเคลื่อนที่ของคนต่อไป
๓. เพราะผู้โดยสารที่อยู่บนรถที่กำลังเคลื่อนที่มีความเร็วเท่ากับความเร็วของรถ ความเฉื่อยของผู้โดยสารที่มีอยู่พยายามจะดำรงสภาวะการเคลื่อนที่ด้วย

ความเร็วเช่นนั้นต่อไป เขาจึงเข้าไปข้างหน้า

๔. เพราะทั้งนักเรียนและรถจักรยานมีความเชื่อที่พยายามจะดำรงสภาวะการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่อไป
๕. การใช้เบรคอันหลังก่อนอันหน้า จะช่วยให้เราหยุดรถได้ปลอดภัยขึ้น เพราะการใช้เบรคอันหน้าหยุดรถที่กำลังวิ่ง ทำให้เกิดโมเมนต์ที่แกนล้อหน้าของรถ และรถจักรยานมีความเชื่อที่พยายามจะดำรงสภาวะการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ต่อไป เป็นเหตุให้รถจักรยานพลิกคว่ำได้
๖. หัวคอนันท์มักจะใส่ไค้ยากกว่า เพราะคอนันท์ก็มีความเชื่อมากกว่าอันเขา
๗. รถบรรทุกจะทำให้กำแพงเสียหายมากกว่า เพราะรถบรรทุกมีมวลและความเชื่อมากกว่า การหยุดรถจึงทำได้ยาก แรงปะทะกับกำแพงจึงมีมากกว่าของรถจักรยานยนต์
๘. คนในรถพยายามจะเคลื่อนที่ต่อไปด้วยความเร็วคงที่ในแนวเส้นตรง เมื่อรถแล่นไปตามทางโค้ง คนจึงเช้อออกไปทางด้านข้างตามทิศทางนี้จุดศูนย์กลางของทางโค้งนั้น
๙. นักเรียนสรุปได้ว่า ความเชื่อของวัตถุขึ้นอยู่กับมวลของวัตถุ กล่าวคือ วัตถุที่มีมวลมากจะมีความเชื่อมาก วัตถุที่มีมวลน้อยจะมีความเชื่อ้น้อย
๑๐. อาศัยการทดลองในตอนนี้ เราไม่สามารถพิสูจน์ กฎของนิวตันข้อที่หนึ่งได้ เพราะว่ามีแรงเสียดทาน และแรงดึงดูดของโลกที่พยายามต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุอยู่เสมอ ถ้าเราคิดว่าแรงลัพธ์ภายนอกที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ เราสามารถสรุปได้ว่า "วัตถุทุกชนิดจะรักษาสภาวะหยุดนิ่งหรือสภาวะการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ในแนวเส้นตรงไว้เสมอ"

เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สอง

วัตถุประสงค์ของบทเรียน บทเรียนนี้กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงลัพธ์, มวล และ ความเร่งของวัตถุ

ความรู้พื้นฐาน ความเร่งของวัตถุหมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วในหนึ่งหน่วยเวลา

วัตถุประสงค์ของการเรียน

๑. เพื่อฝึกวิธีวัดความเร่งของวัตถุ
๒. เพื่อตรวจสอบกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สอง
๓. เพื่อฝึกทักษะในการใช้เครื่องมือทดลอง
๔. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงลัพธ์ มวล และความเร่งของวัตถุ

อุปกรณ์ประกอบบทเรียน

๑. รถ ๔ คัน
๒. เครื่องเคาะสัญญาณจับเวลา (Ticker Tape Timer)
๓. ตาชั่งสปริง ๒ อัน
๔. ตุ่มน้ำหนักขนาดต่าง ๆ กัน
๕. เชือกเส้นเล็กและเบา

บทเรียน

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สองกล่าวว่า "ความเร่งของวัตถุ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุนั้น และเป็นสัดส่วนกลับกับมวลของวัตถุ โดยมีทิศทางเดียวกับทิศของแรงลัพธ์"

ถ้ากำหนดให้ a เป็นความเร่งของวัตถุ

m เป็นมวลของวัตถุ

F เป็นแรงลัพธ์ที่ไม่เป็นแรงสมดุลมากระทำต่อวัตถุตามกฎของนิวตันเราจะได้

$$a \propto F$$

$$a \propto \frac{1}{m}$$

$$a \propto \frac{F}{m}$$

$$\text{หรือ } F \propto ma$$

$$F = Kma$$

$$\text{เมื่อ } K = \text{ค่าคงที่}$$

ค่าของ K ขึ้นอยู่กับหน่วยของมวล m และแรง F ในระบบ S.I. และได้ค่า

K = ๑

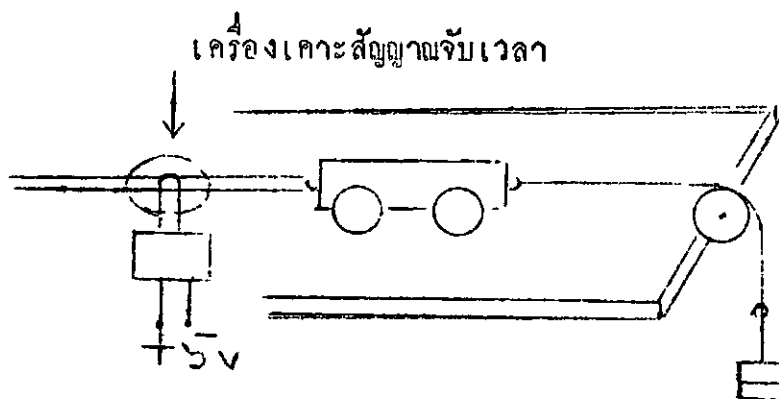
กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สองจึงเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

การทดลองเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สอง

วิธีทดลอง (ตอนที่ ๑)

๑. เอียงรางรถให้พอดีที่จะให้รถแล่นด้วยความเร็วคงที่
๒. นำรถวางบนรางไม้ ผูกด้วยเชือกแล้วผูกเชือกไปบนรอกที่ติดอยู่ที่ปลายราง และที่ปลายเชือกอีกข้างหนึ่งผูกติดกับค้อนน้ำหนัก
๓. ใช้แถบกระดาษติดกับรถและผ่านเครื่องเคาะสัญญาณจับเวลา (ดังรูป)



๔. ใช้ค้อนน้ำหนักมวล ๒๐ กรัมผูกติดกับปลายเชือกที่ติดกับรถแทนแรง F แล้วปล่อยให้รถเคลื่อนที่ ลากแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณจับเวลา
๕. หาความเร่งจากแถบกระดาษ
๖. เพิ่มมวลเป็น ๔๐, ๖๐, ๘๐, และ ๑๐๐ กรัม โดยใช้รถ ๑ คันทำการทดลองเช่นเดิม และหาความเร่งจากแถบกระดาษ
๗. เขียนกราฟระหว่างแรง F กับความเร่ง a โดยให้แรง F อยู่บนแกน y และความเร่งอยู่บนแกน x

- คำถาม
๑. จากกราฟที่ไ้ระหว่างแรง F กับความเร่ง a ได้กราฟมีลักษณะอย่างไร
.....
 ๒. ถ้าไม่ทำการชดเชยความผิดก่อนการทดลอง จะได้กราฟมีลักษณะอย่างไร
.....
 ๓. สรุปผลการทดลองที่ได้ คือ
.....

ตอบคำถาม ตอนที่ ๑

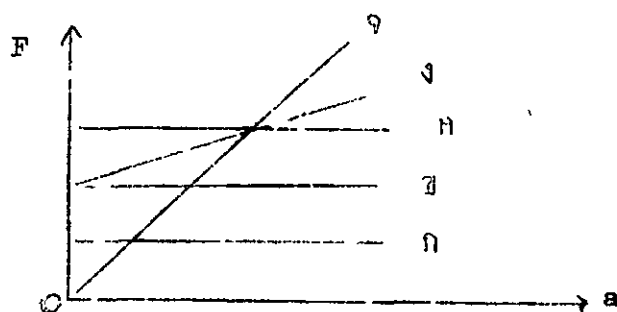
๑. กราฟระหว่างแรง F กับความเร่ง a เป็นกราฟเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด
 ๒. ถ้าไม่คิดการชดเชยความผิด เ็นกราฟที่ไ้ระหว่าง แรง F กับความเร่ง a เป็นกราฟเส้นตรงที่ไม่ผ่านจุดกำเนิด โดยเส้นกราฟจะตัดแกนความเร่ง a ทางด้านลบ
 ๓. จากการทดลอง กราฟที่ไ้ระหว่างแรง F กับความเร่ง a มีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด แสดงว่าความเอียง (Slope) ของเส้นกราฟมีค่าคงที่
- $$\text{ความเอียง (Slope)} = \frac{a}{F} = \text{ค่าคงที่}$$
- $$a = (\text{ค่าคงที่}) \times F$$
- ดังนั้น a แปรผันโดยตรงกับ F
- หรือ $a \propto F$

วิธีทดลอง (ตอนที่ ๒)

๑. จัดเตรียมเครื่องมือเช่นเดียวกับตอนแรก
๒. ให้แรง F (ประมาณ ๖๐ กรัม) คงที่ แต่เพิ่มจำนวนรตจาก ๑ คัน เป็น ๒ คัน, ๓ คัน และ ๔ คัน ตามลำดับ แล้วจงหาความเร่งในแต่ละกรณี
๓. เขียนกราฟระหว่างความเร่ง (a) กับส่วนกลับของมวล ($\frac{1}{m}$) โดยให้ความเร่งอยู่ในแกน Y และส่วนกลับของมวลอยู่ในแกน X

คำถาม

๑. ถ้าใช้ตุ้มน้ำหนักที่มีมวล เท่ากับรถแทนรถแต่ละคันที่เพิ่มขึ้นจะได้หรือป้
.....
๒. จากกราฟที่ไ้ระหว่างส่วนกลับของมวลกับความเร่ง บิ่ลักษณะเป็นไร
.....
๓. จงสรุปผลการทดลองที่ได้
.....
๔. ถ้าใช้แรง F ดึงวัตถุจำนวน ๕ อันอิงวางอยู่บนพื้นระนาบและเรียบ แล้วนำ
แรง F ถึงแต่ละมวลให้มีความเร่ง a เราสามารถเขียนกราฟได้ดังรูป
อยากรวมว่ากราฟเส้นใดแสดงว่าวัตถุมีมวล m มากที่สุด
.....



๕. จากการทดลองทั้ง ๒ ตอนนี นักเรียนสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่าง
แรงลัพธ์ (F) มวล (m) และความเร่ง (a) เป็นสูตรได้ กือ
.....
๖. ถ้าแรงขนาด F กระทำให้มวล m เคลื่อนที่ไปด้วยความเร่ง a
 แรงขนาด $๒F$ กระทำให้มวล m เคลื่อนที่ไปด้วยความเร่ง.....
 แรงขนาด $๓F$ กระทำให้มวล m เคลื่อนที่ไปด้วยความเร่ง.....
 แรงขนาด $\frac{๒}{๓}F$ กระทำให้มวล m เคลื่อนที่ไปด้วยความเร่ง.....
 แรงขนาด $๕.๔F$ กระทำให้มวล m เคลื่อนที่ไปด้วยความเร่ง.....

๗. ถ้าแรงขนาด F กระทำให้มวล m เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็ว a
 แรงขนาด F กระทำให้มวล $2m$ เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็ว.....
 แรงขนาด F กระทำให้มวล $3m$ เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็ว.....
 แรงขนาด F กระทำให้มวล $\frac{3}{2}m$ เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็ว.....
 แรงขนาด F กระทำให้มวล $2.5 m$ เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็ว.....

๘. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สอง มีความสัมพันธ์กับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ ในเทอมของมวลและความเร่งของวัตถุ กฎนี้กล่าวว่า "ความเร่ง(a) จะแปรผันโดยตรงกับแรงลัพธ์ (F) ที่ทำให้ วัตถุเกิดความเร่งและแปรผันเป็นส่วนกลับกับมวล (m) ของวัตถุ" ข้อใดต่อไปนี้ถูกต้องที่สุด

ก. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สองสามารถบอกขนาดความเร่งของวัตถุได้

ข. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สอง สามารถบอกทิศทางของการเคลื่อนที่และความเร่งของวัตถุได้

ก. ถูกทั้งข้อ ก. และ ข.

ง. ผิดทั้งข้อ ก. และ ข.

๙. ถ้า F เป็นแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ และ a แทนความเร่งของวัตถุ ตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สอง ข้อใดต่อไปนี้ถูกต้องที่สุด

ก. a แปรผันโดยตรงกับ F

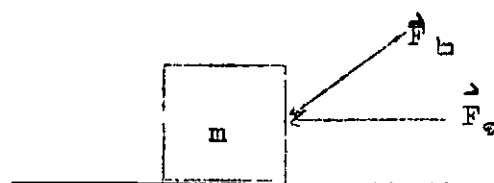
ข. a มีทิศทางเดียวกับ F

ก. ถูกทั้งข้อ ก. และ ข.

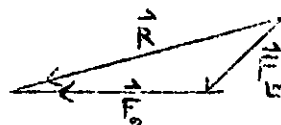
ง. ผิดทั้งข้อ ก. และ ข.

๑๐. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สอง กล่าวว่าความเร่งของวัตถุแปรผันโดยตรงกับ.....และแปรผกผันกับ.....

๑๑. จากรูป



แรงลัพธ์ที่กระทำบนวัตถุ ได้จากการบวกเวกเตอร์ ๒ อัน คือ



ดังนั้น ความเร่ง a ของวัตถุมวล m จะแปรผันโดยตรงกับ.....

ก. F_1

ข. F_2

ค. ทั้งข้อ ก. และ ข.

ง. ไม่ใช่ทั้ง ก. และ ข.

๑๒. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สองสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาโจทย์การเคลื่อนที่ของวัตถุ เพื่อหาแรงลัพธ์ $\vec{F}$, มวลของวัตถุ m และความเร่งของวัตถุ $\vec{a}$ ได้ ดังสมการ $\vec{F} = m\vec{a}$ เมื่อโจทย์กำหนดค่าของตัวแปร ๒ ตัว ในสมการมาให้ นักเรียนสามารถคำนวณหาตัวแปรที่ยังไม่ทราบค่าตัวที่สามได้ เช่น

เมื่อทราบ m, a และเราต้องการคำนวณหา F จะได้ $F = ma$

เมื่อทราบ F, a และเราต้องการคำนวณหา m จะได้ $m = \frac{F}{a}$

ดังนั้น เมื่อต้องการคำนวณหา a จะได้ $a = \dots\dots\dots$

๑๓. ในสูตร $F = ma$ นี้แรง F มีหน่วยเป็นนิวตัน (Newtons) เขียนย่อว่า N เพื่อเป็นเกียรติแก่ Sir Isaac Newton นิวตันกล่าวว่า ขนาดแรงลัพธ์ (F) มีค่าเท่ากับมวล (m) ของวัตถุคูณกับความเร่ง (a) ของวัตถุอันเกิดจากแรงลัพธ์ (F) นั้น ดังนั้น $F = ma$ เช่น

$$(F) = (m) \times (a)$$

$$๑ \text{ นิวตัน} = ๑ \text{ กิโลกรัม} \times ๑ \text{ เมตร/วินาที}^๒$$

จงหาค่า F จากปัญหา

$$F = ๒ \text{ กิโลกรัม} \times ๔ \text{ เมตร/วินาที}^๒$$

$$F = \dots\dots\dots \text{นิวตัน}$$

๑๔. ถ้าแรง F มีหน่วยเป็น นิวตัน

มวลของวัตถุ m มีหน่วยเป็น.....

ความเร่งของวัตถุ a มีหน่วยเป็น.....

๑๕. จงคำนวณหาความเร่ง a ของวัตถุ เพื่อกำหนดให้แรงลัพธ์ ที่กระทำต่อวัตถุ มีค่า ๕๐ นิวตัน และมวลของวัตถุ m มีค่า ๒.๕ กิโลกรัม

$$a = \frac{F}{m} = \dots\dots\dots$$

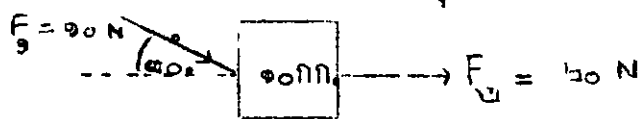
๑๖. พิจารณาแรง F ขนาด ๑๐ นิวตันที่กระทำต่อวัตถุมวล (๓) ๖๐ กิโลกรัม ดังรูป



ทำไมนักเรียนไม่สามารถแทนค่า $F = ๑๐$ นิวตันลงในสูตร $F = ma$ เพื่อจะหาความเร่ง a ของวัตถุในแนวระดับได้ทันที และนักเรียนจะมีวิธีแก้ปัญหาข้อนี้ได้อย่างไร

.....

๑๗. จากรูปจงคำนวณหาความเร่ง a ของวัตถุ



ความเร่งของวัตถุ $a = \dots\dots\dots$

๑๘. โดยอาศัยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สอง ถ้าแรงลัพธ์ที่เกิดจากผลรวมของแรงหลายแรงที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ ค่าความเร่ง a ของวัตถุ มีค่าเท่ากับ

.....

๑๙. นักเรียนจะบอกได้อย่างไรว่า จะมีแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุอันหนึ่ง ๆ หรือไม่

.....

๒๐. ถ้าชายคนหนึ่ง มวล ๕๐ กก. ยืนอยู่บนตาสั่งสปริงภายในลิฟท์ที่กำลังเคลื่อนที่พบว่าเขาวนค่ามวลได้จากตาสั่งสปริงเป็น ๗๐ กก. แสดงว่าลิฟท์กำลังเคลื่อนที่ขึ้นหรือลง.....

๒๑. จงสรุปกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สองด้วยคำพูดของนักเรียนเอง

.....

ตอบคำถามตอนที่ ๒

๑. คำนวณน้ำหนักมีมวลเท่ากับแรงที่ใช้แทนรถแต่ละคันที่เพิ่มขึ้นได้
๒. กราฟที่ไคร่ระหว่างส่วนกลับของมวลกับความเร่งมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด
๓. สรุปผลการทดลองไว้ว่า

$$\text{ความเอียง (Slope)} = \frac{a}{\frac{1}{m}} = \text{ค่าคงที่}$$

$$\therefore a = (\text{ค่าคงที่}) \times \frac{1}{m}$$

ดังนั้น a แปรผกผันโดยตรงกับ $\frac{1}{m}$

$$\text{หรือ } a \propto \frac{1}{m}$$

๔. กราฟเส้น (จ) มีมวลมากที่สุด พิจารณาจากสูตร

$$F = ma$$

$$\frac{F}{a} = m$$

$$m = \frac{F}{a} = \tan \theta$$

ถ้าค่า $\tan \theta$ มากแสดงว่า มวล m มีค่ามากด้วย

๕. จากการทดลองทั้ง ๒ ตอนนี้ นักเรียนสรุปความสัมพันธ์ระหว่างแรงลัพธ์ (F) มวล (m) และความเร่ง (a) เป็นสูตรได้ คือ

$$a \propto F$$

$$a \propto \frac{1}{m}$$

$$a \propto \frac{F}{m}$$

$$\text{หรือ } F \propto ma$$

$$F = kma ; \quad \text{เมื่อ } k = \text{ค่าคงที่}$$

ในระบบ S.I. แรง F มีหน่วยเป็นนิวตัน มวลมีหน่วยเป็นกิโลกรัมและเราให้ค่าจำกัดความของแรง ๑ นิวตันว่าเป็นแรงที่ทำให้มวล ๑ กิโลกรัมเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง ๑ เมตร/วินาที^๒ ทำให้เราได้ค่าคงที่ $k = ๑$ จึงเขียนความสัมพันธ์ระหว่างแรง, มวล และความเร่งได้โดยสมบูรณ์แล้วคือ

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

๖. วัตถุเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็ว 2 a , 3 a , $\frac{a}{2}$ และ 5.4 a ตามลำดับ
 ๗. วัตถุเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็ว $\frac{a}{2}$, 3 a , 5 a และ 0.4 a ตามลำดับ
 ๘. ข้อ ก.
 ๙. ข้อ ก.

๑๐. แรงลัพธ์ (F) ที่กระทำต่อวัตถุ, มวลของวัตถุ (m) จึงเขียนได้ว่า $a \propto \frac{F}{m}$

๑๑. ข้อ ง.

๑๒. $a = \frac{F}{m}$

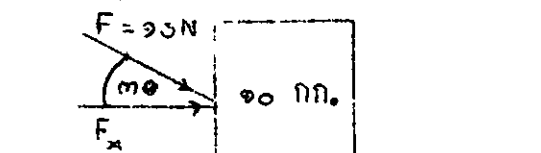
๑๓. $F = 4 \text{ นิวตัน}$

๑๔. m มีหน่วยว่า กิโลกรัม

a มีหน่วยว่า เมตร/วินาที^๒ หรือ เมตร/วินาที/วินาที

๑๕. $a = \frac{F}{m} = \frac{40}{2} = 20 \text{ เมตร/วินาที}^2$

๑๖. เพราะแรง $F = 40 \text{ นิวตัน}$ ที่กระทำต่อวัตถุ ไปอยู่ในทิศทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุซึ่งอยู่ในแนวระดับ นักเรียนจะต้องพิจารณาหาองค์ประกอบของแรง F ในแนวระดับเสียก่อน



เมื่อนักเรียนทราบค่าของ F_x แล้วจึงนำไปแทนลงในสูตร $F = ma$ ได้

๑๗. ความเร่งของวัตถุ $a = \frac{F_x \cos 30^\circ + F_{x2}}{m}$
 $= \frac{40 \sqrt{3} + 20}{20} \text{ เมตร/วินาที}^2$

ความเร่งของวัตถุ $a = 2.466 \text{ เมตร/วินาที}^2$

๑๘. ความเร่งของวัตถุมีค่าเท่ากับศูนย์

๑๙. เราทราบได้โดยพิจารณาว่าวัตถุนั้นมีความเร่งหรือไม่ ถ้าวัตถุมีความเร่งก็แสดงว่ามีแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุ ในทางตรงกันข้าม ถ้าวัตถุไม่มีความเร่งหรือวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ แล้วจะไม่มีแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุ

๒๐. ลิฟท์กำลังเคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้ง ดังจะเห็นได้จากสมการการเคลื่อนที่ คือ

$$R - 50g = 50 a$$

$$50a = 20 g$$

$$a = \frac{2g}{5}$$

ลิฟท์กำลังเคลื่อนที่ขึ้น ค่าซึ่งสปริงอ่านค่าได้มากกว่าน้ำหนักที่แท้จริงของชายคนนั้น

๒๑. ความเร่งที่เกิดจากแรงลัพธ์ภายนอก ประเมินโดยตรงกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุนั้น และแปรผันกับมวลของวัตถุเสมอ เราจึงเขียนแทนได้ด้วย

$$\text{สัญลักษณ์ว่า } a \propto \frac{F}{m}$$

หรือ แรงลัพธ์ประเมินโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของวัตถุ

$$F \propto m \frac{(v - u)}{t}$$

ในเมื่อปริมาณของมวลคูณกับความเร็วของวัตถุ เรียกว่าโมเมนตัมของวัตถุ

เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สาม

วัตถุประสงค์ของบทเรียน บทเรียนนี้กล่าวถึงกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สาม

ความรู้พื้นฐาน น้ำหนัก คือ แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุ น้ำหนักเป็นปริมาณเวกเตอร์ แต่มวลเป็นสมบัติของวัตถุที่ต้านทานความพยายามที่จะเปลี่ยนสภาวะเดิมของวัตถุ มวล เป็นปริมาณสเกลาร์

วัตถุประสงค์ของการเรียน

๑. เพื่อฝึกทักษะในการใช้เครื่องมือทดลอง
๒. เพื่อตรวจสอบกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สาม

อุปกรณ์ประกอบบทเรียน คางังสปริง ๓ อัน

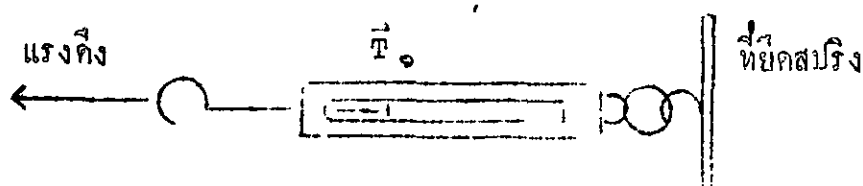
บทเรียน

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สาม กล่าวว่า "ทุกแรงกิริยาย่อมมีแรงปฏิกิริยาซึ่งมีขนาดเท่ากันและทิศตรงกันข้ามกันเสมอ"

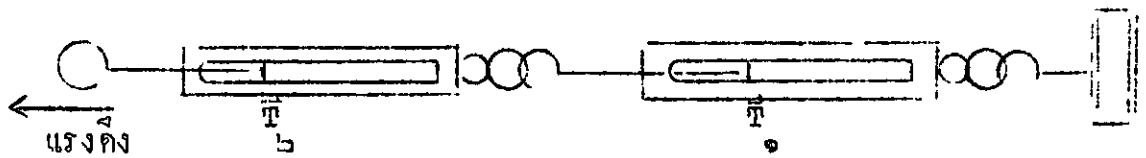
การทดลองเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สาม

วิธีทดลอง

๑. นำเครื่องชั่งสปริงมา ๑ อัน ไขมือคางังที่ปลายคางังข้างหนึ่ง ส่วนอีกข้างหนึ่งคล้องไว้กับที่ยึดหรือไขมือคางังไว้ก็ได้
๒. ออกแรงคางังสปริง และอ่านค่าแรงที่นักเรียนดึงจากเครื่องชั่งสปริงพร้อมทั้งบันทึกผลเอาไว้



๓. นำเครื่องชั่งสปริงมา ๒ อัน แล้วคล้องต่อกันดังรูป



๔. ออกแรงขนาดเท่าเดิมดึงสปริงและบันทึกค่าแรงที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริง

วันที่ ๒

คำตอบ

๑. เปรียบเทียบค่าแรงที่อ่านได้จากเครื่องชั่งอันที่ ๑ และ ๒ ได้ว่า

.....

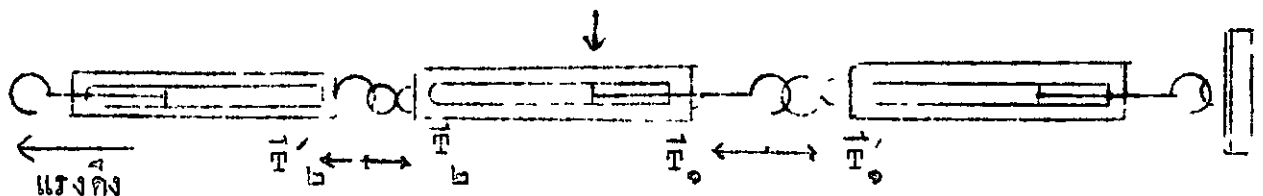
ค่าแรงจากสปริงอันที่ ๑ อ่านได้ค่า T_1 ซึ่งมีค่าเท่ากับค่า T_2 ที่อ่านได้จากสปริงอันที่ ๒

๒. จากผลการทดลองที่ได้คือ ค่าแรง $T_1 = T_2$ นั้นหมายความว่า

.....

ขณะที่ออกแรงขนาด T_2 ดึงสปริงอันที่ ๒ ที่ยึดสปริงทางขวามือจะออกแรงต้านไว้ด้วยแรงขนาด T_2 ซึ่ง $T_2 = T_2$ พอดีและทิศของแรงทั้งสองไปในทางตรงกันข้ามกัน

๓. ใช้เครื่องชั่งสปริง ๓ อัน กล้องต่อกันดังรูป และใช้มือดึงที่ห่วงปลายเครื่องชั่งสปริงอันที่ ๒ จนอ่านค่าแรงได้เท่ากับอันที่ ๑ แล้วค่าแรงบนเครื่องชั่งสปริงอันกลางจะอ่านค่าได้เท่าไร



ค่าแรงบนเครื่องชั่งสปริงอันกลางจะอ่านค่าได้เท่ากับค่าแรงบนเครื่องชั่งสปริงอันที่ ๑ และ ๒

๔. เมื่อใช้เครื่องซึ่งสปริง ๓ อัน แรงดึง $\vec{T}'_1$ และแรงดึง $\vec{T}'_2$ มีขนาดเท่ากันหรือไม่ และทิศทางเป็นอย่างไรกัน

.....
ขนาดของแรง $\vec{T}'_1$ จะเท่ากับขนาดของแรง $\vec{T}'_2$ และมีทิศทางตรงกันข้าม

๕. แรงดึง $\vec{T}_1$ และแรงดึง $\vec{T}_2$ มีขนาดเท่ากันหรือไม่ และมีทิศทางเป็นอย่างไรกัน

.....
ขนาดแรง $\vec{T}_1$ จะเท่ากับขนาดแรง $\vec{T}_2$ แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกัน

๖. เมื่อขนาดของแรง $\vec{T}_1$ เท่ากับขนาดของแรง $\vec{T}_2$ แล้ว ขนาดของแรง $\vec{T}'_1$ และ $\vec{T}'_2$ จะเท่ากันหรือไม่

.....
ขนาดของแรง $\vec{T}'_1$ จะเท่ากับขนาดของแรง $\vec{T}'_2$ ด้วย

๗. แรงลัพธ์ระหว่างแรง $\vec{T}_1$ และ $\vec{T}_2$ มีค่าเท่าใด และแรงลัพธ์ระหว่างแรง $\vec{T}'_1$ และ $\vec{T}'_2$ มีค่าเท่าใด

.....
แรงลัพธ์มีค่าเป็นศูนย์ในทั้งสองกรณี

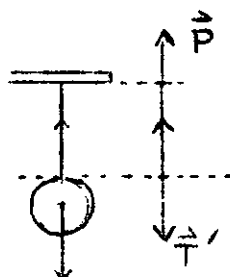
๘. แรงคู่ระหว่าง $\vec{T}_1$ และ $\vec{T}'_1$ หรือ $\vec{T}_2$ และ $\vec{T}'_2$ เรียกว่าแรงกิริยา และแรงปฏิกิริยา นักเรียนสามารถเขียนสมการแทนแรงคู่นี้แบบสมการเวกเตอร์ได้ว่า

.....
สมการที่ได้ คือ

$$\begin{aligned}\vec{T}_1 &= -\vec{T}'_1 \\ \vec{T}_2 &= -\vec{T}'_2\end{aligned}$$

ในที่นี้เรากำหนดทิศของเวกเตอร์ที่ไปทางขวามือเป็นบวก (+) และที่ไปทางซ้ายมือเป็นลบ (-)

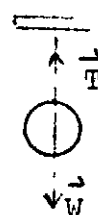
๘. ตามรูปลูกตุ้มผูกติดกับ เชือกแขวนห้อยไว้กับ เพดานอยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง มีแรงใดบ้างที่กระทำต่อลูกตุ้ม



แรงที่กระทำต่อลูกตุ้มมีดังนี้ คือ

- ก. แรงที่โลกดึงดูดมวลของลูกตุ้ม ($\vec{W}$)
ข. แรงดึงในเชือกที่กระทำกับลูกตุ้ม ($\vec{T}$)

และ $\vec{T} = -\vec{W}$



๑๐. เมื่อ $\vec{P}$ เป็นแรงดึงขึ้นที่เพดานกระทำต่อเชือกและ $\vec{T}'$ เป็นแรงดึงของลูกตุ้มที่กระทำต่อเชือก จงบอกแรงปฏิกิริยาของแรง $\vec{P}$

แรงปฏิกิริยาของแรง $\vec{P}$ คือแรงที่ลูกตุ้มกระทำต่อโลก

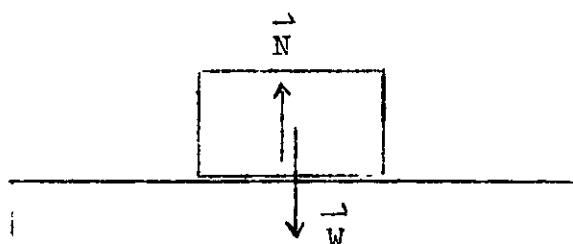
๑๑. แรง $\vec{T}$ และ $\vec{W}$ เป็นแรงกิริยาและปฏิกิริยากันหรือไม่เพราะเหตุใด

แรง $\vec{T}$ และ $\vec{W}$ ไม่ใช่เป็นแรงกิริยาและปฏิกิริยากัน เพราะแรงทั้งสองกระทำต่อวัตถุก้อนเดียวกัน

๑๒. แรง $\vec{T}$ และ $\vec{T}'$ เป็นแรงกิริยาและปฏิกิริยากันหรือไม่

ใช่ แรง $\vec{T}$ และ $\vec{T}'$ เป็นแรงกิริยาและปฏิกิริยากัน

๑๓. แท่งไม้ที่วางอยู่บนโต๊ะ มีแรงใดบ้างที่กระทำต่อแท่งไม้



แรงดึงดูดของโลก ($\vec{W}$) และแรงที่โต๊ะดันแท่งไม้ ($\vec{N}$)

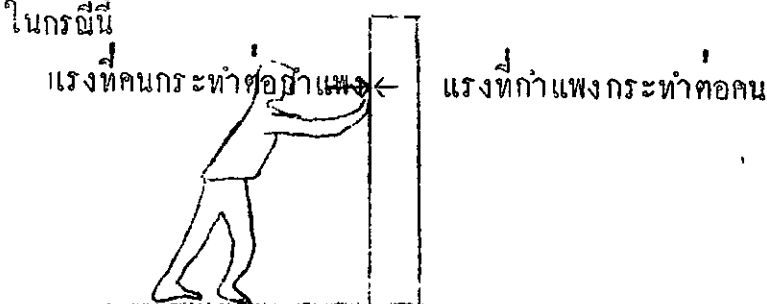
๑๔. นักเรียนจงบอกแรงคู่กันตามกฎของนิวตันข้อที่ ๓ ของแรงต่อไปนี้
แรงปฏิกิริยาของ $\vec{N}$ คือ.....
แรงปฏิกิริยาของ $\vec{W}$ คือ.....

แรงที่แท่งไม้กระทำต่อโต๊ะ, แรงที่แท่งไม้กระทำต่อโลก

๑๕. ในกรณีที่แท่งไม้วางอยู่บนโต๊ะเช่นนี้ $\vec{N} = \vec{W}$ หรือไม่ และ $\vec{N}$ เป็น
แรงปฏิกิริยาของ $\vec{W}$ ใช่หรือไม่

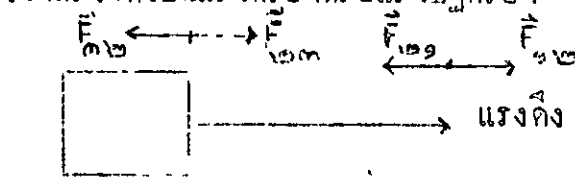
$\vec{N} = \vec{W}$ แต่ $\vec{N}$ ไม่เป็นแรงปฏิกิริยาของ $\vec{W}$

๑๖. จากรูปชายคนหนึ่งออกแรงผลักกำแพง จงอธิบายแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยา
ในกรณีนี้



แรงที่กำแพงกระทำต่อคนมีค่าเท่ากับแรงที่คนผลักกำแพง แต่แรงทั้งสองมีทิศ
ทางตรงกันข้ามกัน นักเรียนจะเห็นว่า แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยากระทำต่อ
วัตถุต่างอันกันเสมอ

๑๗. จากรูป ถ้าวอกแรงดึงเชือกที่ถูกยึดกับแท่งเหล็กที่วางอยู่บนโต๊ะราบ
จงแสดงว่าแรงใดเป็นแรงกิริยาหรือแรงปฏิกิริยา



- ก. แรงที่มือดึงเชือก ($\vec{F}_{12}$) และแรงที่เชือกดึงมือ ($\vec{F}_{21}$) เป็นแรงกิริยาและ
ปฏิกิริยาวิ่งกันและกัน
- ข. แรงที่เชือกดึงแท่งเหล็ก ($\vec{F}_{23}$) และแรงที่แท่งเหล็กดึงเชือก ($\vec{F}_{32}$)
เป็นแรงกิริยาและปฏิกิริยาวิ่งกันและกัน
๑๘. กฎการเคลื่อนที่ ของนิวตันทั้ง ๓ ข้อ มีความสัมพันธ์กันหรือไม่ อย่างไร

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สอง ปรากฏอยู่ในกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สอง คือ เมื่อ
ไม่มีแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุ วัตถุจะไม่มีความเร็ว นั่นหมายความว่า
วัตถุจะต้องหยุดนิ่ง หรือไม่ก็เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ กฎการเคลื่อนที่
ข้อที่สอง และกฎข้อที่สามไม่เกี่ยวข้องกัน

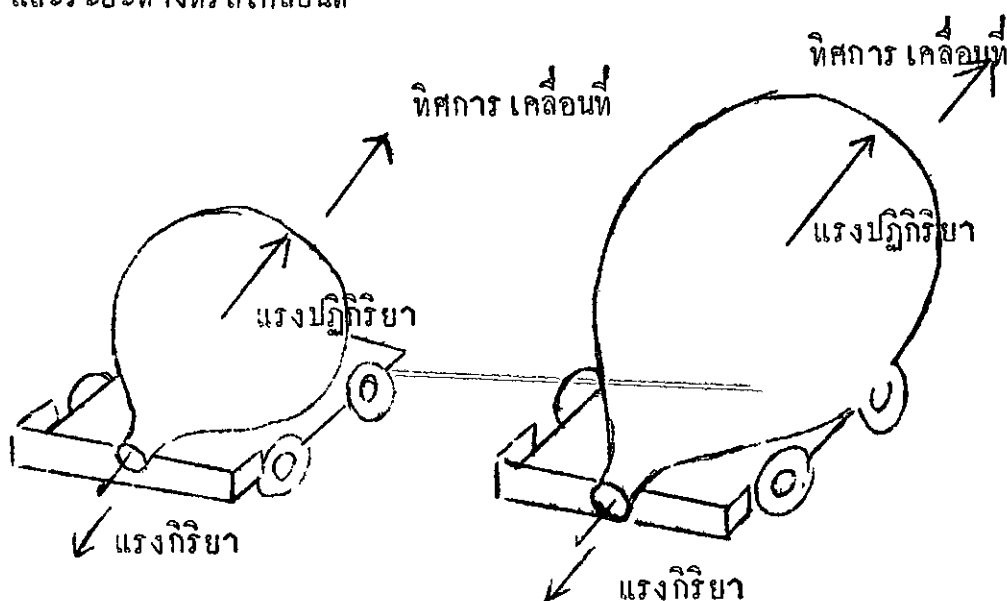
๑๙. ปีแรงอะไรที่ทำให้คนที่กำลังเดินเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

เท้าของคนออกแรงกระทำกับพื้นมีทิศไปข้างหน้าและแรงปฏิกิริยาของพื้น
กระทำต่อเท้าคนมีทิศไปข้างหน้า ทำให้คนเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

การทดลองที่เกี่ยวกับผลของแรงปฏิกิริยาต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ

อุปกรณ์ ลูกโป่ง ๒ ลูก, รถเล็ก ๑ คัน

- วิธีทดลอง
๑. นำลูกโป่งไปวางบนรถเล็กที่อยู่บนพื้นราบเรียบ
 ๒. เป่าลูกโป่งให้โตเต็มที่ แล้วเอามือบีบปากลูกโป่งไว้ไม่ให้ลมออก
 ๓. ปล่อยมือให้ลมออกจากลูกโป่ง แล้วสังเกตทิศทางและระยะทางที่รถเคลื่อนที่
 ๔. ทำการทดลองซ้ำ แต่เป่าลูกโป่งให้ขนาดเล็กกว่าเดิม เปรียบเทียบทิศทางและระยะทางที่รถเคลื่อนที่



คำถาม

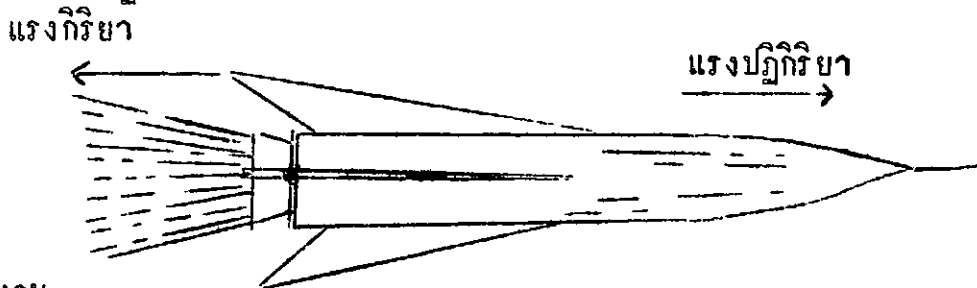
๑. อะไรทำให้รถเคลื่อนที่
.....
๒. ทิศทางที่รถเคลื่อนที่ไป กับทิศทางที่ลม ออกมาต่างกันหรือไม่
.....
๓. ลูกโป่งชนิดเดียวกัน ๒ ใบ บรรจุลมไว้ปริมาณไม่เท่ากัน คือ ใบแรก บรรจุลมไว้มีปริมาณมากเป็น ๒ เท่าของอีกใบหนึ่ง ถ้าปล่อยลมจากลูกโป่งทั้ง ๒ ใบพร้อม ๆ กัน นักเรียนคิดว่าลูกใบไหนจะเคลื่อนที่ไปได้ระยะทางไกลกว่า.....
เพราะเหตุใด.....

๔. จากแนวความคิดเกี่ยวกับแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยานี้เราสามารถนำไปประยุกต์ ในการสร้างจรวด จรวดเคลื่อนที่ไปข้างหน้า โดยพ่นแก๊สออกทางคานท้ายของจรวด ใช่หรือไม่

.....

ตอบคำถาม

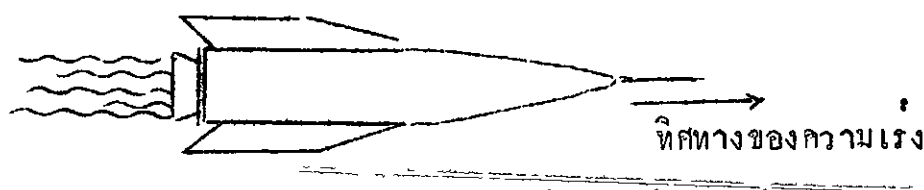
๑. แรงที่กระทำกับผนังลูกโป่ง (แรงปฏิกิริยา) ผลักลูกโป่งที่อยู่ติดกับรถให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า แรงนี้มีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงที่ลมพุ่งออกมาทางปากลูกโป่ง (แรงกิริยา)
๒. ทิศทางที่รถแล่นไป กับทิศทางที่ลมพุ่งออกมาต่างกันกล่าวคือ มีทิศทางตรงกันข้ามกัน
๓. ลูกโป่งใบแรกซึ่งบรรจุลมไว้มากกว่าใบที่สองเป็น ๒ เท่านั้นจะเคลื่อนที่ไปไครยะทางมากกว่า เพราะลูกโป่งใบแรกมีแรงลมพุ่งออกมามากกว่า ทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาในทิศตรงกันข้ามมากกว่า จึงทำให้ลูกโป่งใบแรกเคลื่อนที่ไปได้ไกลกว่าใบที่สอง (น.น. ของรถที่ติดลูกโป่งเท่ากัน)
๔. ใช่ เราใช้หลักแรงกิริยาและปฏิกิริยาในกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สาม จรวดเคลื่อนที่ไปได้ โดยการพ่นแก๊สออกทางคานท้ายของจรวด แรงปฏิกิริยาทำให้จรวดเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้



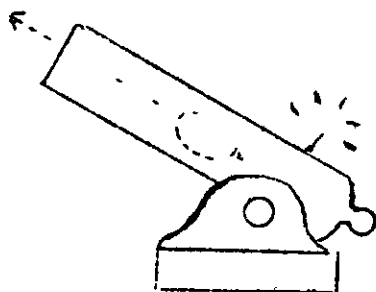
คำถามทบทวน

๑. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สามกล่าวว่า "ทุกแรงกิริยาจะมีแรงปฏิกิริยาขนาดเท่ากันกระทำในทิศตรงกันข้ามเสมอ" ถ้า F_a เป็นแรงกิริยาที่กระทำต่อวัตถุ และ F_b เป็นแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยอาศัยกฎข้อที่สาม ข้อใดต่อไปนี้ถูกต้องที่สุด .

- ก. ขนาดของ F_b เท่ากับขนาดของ F_a
 ข. ขนาดของ F_b น้อยกว่าขนาดของ F_a สำหรับวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่
 ค. ถูกทั้งข้อ ก. และ ข.
 ง. ผิดทั้งข้อ ก. และ ข.
๒. ถ้า F_a เป็นแรงกิริยาและ F_b เป็นแรงปฏิกิริยาของ F_a จะได้ว่าข้อใดต่อไปนี้ถูกต้องที่สุด
 ก. ทิศทางของ F_b อยู่ในแนวเดียวกับทิศทางของ F_a
 ข. ทิศทางของ F_b ตรงกันข้ามกับ F_a
 ค. ถูกทั้งข้อ ก. และ ข.
 ง. ผิดทั้งข้อ ก. และ ข.
๓. จงเขียนภาพแสดงแรงกิริยา และแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อจรวดตามรูป



๔. จงเขียนภาพแสดงแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อบินในใหญ่ตามรูป



๕. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สามกล่าวว่า ทุกแรงกิริยาจะมีแรงปฏิกิริยากระทำด้วยขนาดเท่ากัน ในทิศทางตรงกันข้ามเสมอ ถ้านักเรียนออกแรงผลักกล่องขึ้นไปตามพื้นเอียง กล่องจะผลักดันนักเรียนด้วยแรงขนาดเท่ากัน ในทิศทางตรงกันข้ามด้วยหรือไม่

.....

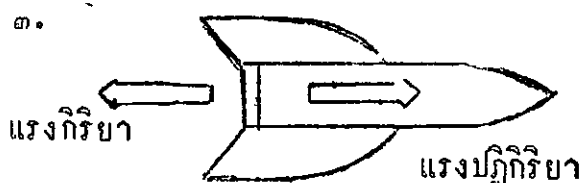
๖. ข้อใดต่อไปนี้เป็นแสดงการประยุกต์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สาม
- การพายเรือในน้ำ
 - เครื่องบินไอพ่น
 - เครื่องรดน้ำหญ้าแบบหมุนได้ (rotary lawn sprinkler)
 - ถูกทุกข้อ
๗. คำกล่าวที่ว่า "ทุกแรงกิริยาจะมีแรงปฏิกิริยากระทำร่วมกัน" เป็นคำกล่าวที่ยังไม่สมบูรณ์ คำที่กล่าวถูกต้อง คือ
-
๘. เมื่อนักเรียนอยู่ในเรือที่ลอยอยู่ในน้ำ และนักเรียนออกแรงกระทำต่อเรือติดทางไปข้างหน้า ทำไม นักเรียนไม่สามารถผลักให้เรือเคลื่อนที่ไปได้
-
๙. นักเรียนนั่งอยู่ในเรือในทะเลสาบน้ำนิ่ง แล้วขว้างก้อนหินไปทางทิศเหนือ เรือลำนั้นจะเคลื่อนที่ไปทางทิศใด ทำไมจึงเป็นเช่นนั้น
-
๑๐. นักเรียนจงสรุปกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สามด้วยคำพูดของตนเอง
-

ตอบคำถามทบทวน

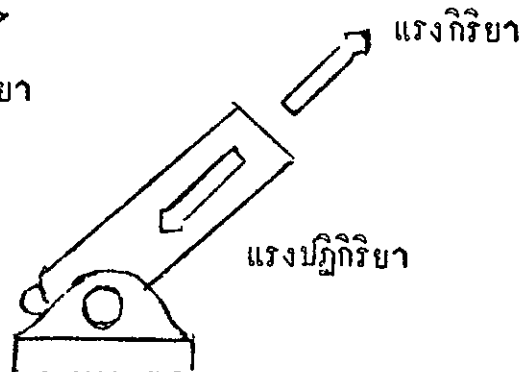
๑. ข้อ ก.

๒. ข้อ ค.

๓.



๔.



๕. ใช้ (แรงกิริยา คือ แรงที่นักเรียน กระทำต่อกล่องและแรงปฏิกิริยา คือ แรงที่กล่องกระทำต่อนักเรียนในทิศตรงกันข้าม)
๖. ขอ ง.
๗. คำกล่าวที่ถูกต้อง คือ ทุกแรงกิริยาจะมีแรงปฏิกิริยา ทิศทางตรงกันข้ามกันเสมอ และแรงทั้งสองกระทำบนวัตถุคนละอันกัน
๘. เพราะเหตุว่าเมื่อนักเรียนออกแรงกระทำต่อเรือในทิศไปข้างหน้า เรือก็จะออกแรงกระทำต่อเราด้วยแรงขนาดเท่ากันในทิศทางตรงกันข้าม จึงไม่มีแรงลัพธ์เกิดขึ้น
๙. เรือจะเคลื่อนที่ไปทางทิศใด เนื่องจากแรงปฏิกิริยาที่เกิดจากการออกแรงขว้างก้อนหินนั้น จึงทำให้เรือเคลื่อนที่ไปได้ ในทิศทางตรงกันข้ามกับก้อนหิน
๑๐. ทุกแรงกิริยาจะมีแรงปฏิกิริยากระทำร่วม ที่มีขนาดเท่ากันในทิศทางตรงกันข้ามกันเสมอ และแรงทั้งสองกระทำบนวัตถุคนละอันกัน
-

เรื่องน้ำหนักของวัตถุ

วัตถุประสงคฺของบทเรียน

บทเรียนนี้กล่าวถึง การคำนวณหาน้ำหนักของวัตถุ หน่วยของน้ำหนัก, ความสัมพันธ์ระหว่าง มวลและน้ำหนักของวัตถุ ความแปรเปลี่ยนของน้ำหนักของวัตถุที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนโลก ความรู้พื้นฐาน ความเร่งคือ ความเร็วของวัตถุที่เปลี่ยนไปในช่วงเวลาหนึ่ง เมื่อวัตถุตกลงสู่พื้นโลกอย่างอิสระจะมีความเร่ง (g) เนื่องจากแรงดึงดูดของโลกเสมอ

วัตถุประสงคฺของการ เรียน

๑. นักเรียนสามารถแสดงวิธีการทดลองเกี่ยวกับน้ำหนักของวัตถุที่มีมวลต่าง ๆ กัน ว่าเท่ากันหรือไม่ ได้

๒. เมื่อกำหนดมวลของวัตถุได้ นักเรียนสามารถคำนวณหาน้ำหนักของวัตถุและบอกหน่วยของน้ำหนักได้ถูกต้องทั้ง ๔ ระบบ

๓. นักเรียนสามารถอธิบายได้ว่า เพราะเหตุใด น้ำหนักของวัตถุที่ระดับเส้นรุ้งต่าง ๆ กันบนโลก--จึงมีค่าไม่เท่ากัน

อุปกรณ์ประกอบบทเรียน ตาชั่งสปริง, ถ่านไฟฉาย ๑๐ ก้อน, ตารางแสดงค่า g

บทเรียน

นักเรียนเคยทราบมาแล้วว่าเมื่อปล่อยวัตถุให้ตกลงสู่พื้นโลกอย่างอิสระ วัตถุจะมีความเร่ง g แสดงว่ามีแรงกระทำต่อวัตถุ แรงอันนี้เป็นแรงโน้มถ่วงที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลกที่เราเรียกว่าน้ำหนักของวัตถุ ดังนั้นน้ำหนักจึงเป็นแรงและเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีทิศทางเข้าหาจุดศูนย์กลางของโลก ถ้า g เป็นความเร่งของวัตถุมวล m ที่ตกลงมาอย่างอิสระแล้วน้ำหนักของวัตถุหรือแรงดึงดูดของโลกต่อวัตถุ ตามกฎของนิวตันข้อที่สองจะได้ว่า น้ำหนักของวัตถุ (W) เท่ากับ mg จึงเขียนเป็นสูตรว่า $F = W = mg$ เช่นถ้ามวล

๑ กก. จะได้ว่าแรงกระทำต่อมวล ๑ กก. คือ $W = ๑ \text{ กก.} \times ๙.๘ \frac{\text{เมตร}}{(\text{วินาที})^2}$
 $= ๙.๘ \text{ นิวตัน}$

การทดลองเกี่ยวกับน้ำหนักของวัตถุ

จุดมุ่งหมาย

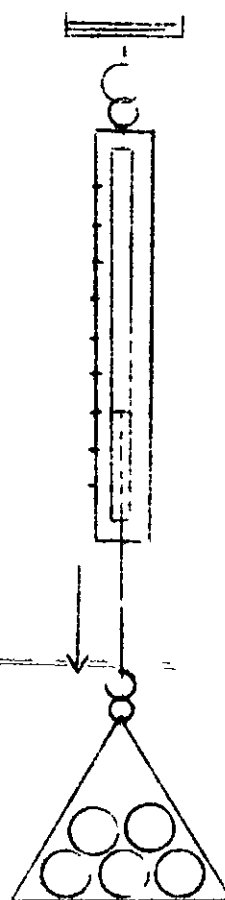
๑. เพื่อให้นักเรียนมีทักษะในการทดลอง
๒. เพื่อให้นักเรียนสามารถแสดงวิธีการทดลองเกี่ยวกับน้ำหนักของวัตถุที่มีมวลต่าง ๆ กันว่าเท่ากันหรือไม่ ได้

อุปกรณ์

ตาชั่งสปริง, ถ่านไฟฉาย ๑๐ ก้อน

วิธีทดลอง

๑. ตั้งเกกและบันทึกตำแหน่ง เข็มชี้ของเครื่องชั่งสปริง
เมื่อยังไม่มีอะไรแขวน
๒. ใ้มือดึงขอแขวนของเครื่องชั่งเพียงเบา ๆ ตั้งเกก
ตำแหน่ง เข็มชี้ว่าอยู่ที่เดิมหรือไม่
๓. ผูกถ่านไฟฉาย ๑ ก้อนเข้ากับเครื่องชั่ง ตั้งเกกและ
บันทึกตำแหน่ง เข็มชี้ว่าอ่านได้ค่าเท่าใด
๔. ทำการทดลองซ้ำแบบเดิมอีก โดยเพิ่มถ่านไฟอีกครั้ง
ละ ๑ ก้อน จนครบ ๕ ก้อน
๕. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนถ่าน
ไฟฉายและค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริง โดย
ให้จำนวนถ่านไฟฉายอยู่บนแกนนอน และตำแหน่ง
เข็มชี้ที่อ่านค่าได้จากเครื่องชั่งสปริงอยู่บนแกนตั้ง



คำถาม

๑. การที่เอาถ่านไฟฉายแขวนเข้ากับ เครื่องชั่งแล้วตำแหน่ง เข็มชี้ไม่อยู่ที่เดิม
เป็นเพราะอะไร
.....
๒. ถ้าใ้มือดึงแทนถ่านไฟฉายที่แขวน ผลจะเป็นอย่างไร เหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
.....
๓. เมื่อเพิ่มจำนวนถ่านไฟฉายให้มากขึ้น เข็มชี้ยังคงชี้อยู่ที่เดิมหรือไม่ เพราะเหตุใด
.....

๔. เส้นกราฟที่ได้จากการทดลองมีลักษณะอย่างไร

.....

๕. ถ้าเอาถ่านไฟฉายอีก ๕ ก้อนแขวนที่ตารั้งสปริง เพิ่มอัตราตึงสปริงอ่านอย่างไร

.....

๖. น้ำหนักของมวล ๒ กก., ๕ กก. เป็นกี่นิวตัน ?

.....

๗. น้ำหนักของวัตถุแปรผันโดยตรงกับมวลของวัตถุหรือไม่ ?

.....

๘. นักเรียนสามารถให้เหตุผลได้หรือไม่ว่า เพราะเหตุใดค่า g จึงมีค่าหลายค่า

ในที่ต่าง ๆ กัน เช่น ที่บริเวณขั้วโลก ค่า $g = ๙.๘๑ \text{ m/s}^2$ และที่

ละติจูด ๔๕° เหนือที่ระดับน้ำทะเล $g = ๙.๘๐๖๖๕ \text{ m/s}^2$, ค่า g

ที่กรุงปารีสเป็น ๙.๘๑ m/s^2 และค่า g ที่กรุงเทพฯ เป็น ๙.๗๘ m/s^2

เป็นต้น

.....

๙. คาบ (period) ของการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาที่แกว่งที่บริเวณขั้วโลก

จะน้อยกว่าบริเวณแถบศูนย์สูตรหรือไม่

.....

๑๐. ในการคำนวณโจทย์ที่กำหนดค่า $g = ๑๐$ แทนที่จะใช้ค่า $g = ๙.๘๐ \text{ m/s}^2$

นั้น มีค่าผิดพลาดประมาณกี่เปอร์เซ็นต์

.....

๑๑. นักเรียนจงแสดงให้เห็นว่า หน่วย " m/s^2 " สามารถแทนได้ด้วยหน่วย N/kg

.....

๑๒. วัตถุมวล ๕๐ สลักจะมีน้ำหนักเป็นเท่าไร และวัตถุนี้จะถูกแรงดึงดูดของโลก

กระทำตอมันมีค่าเท่าใด

.....

๑๓. จงอธิบายความแตกต่างระหว่างมวลและน้ำหนักของวัตถุ

.....

๑๔. น้ำหนักของวัตถุจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ระหว่างโลกกับดวงจันทร์ มวลของมันจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่

.....

๑๕. นักเรียนประสบความสำเร็จอย่างไรบ้าง ในการเดินในยานอวกาศ ในการกระโดด และในการขี่

.....

ตอบคำถาม

๑. การที่เอาถ่านไฟฉายมาแขวนเข้ากับเครื่องซึ่งแล้วทำหน้าที่เดิมขึ้นไม่อยู่ที่เดิมนั้น เป็นเพราะมีแรงดึงดูดสปริงให้ยืดยาว

๒. ถ้าใช้มือดึงถ่านไฟฉายที่แขวนจะพบว่าเข็มไม่อยู่ที่เดิมเช่นเดียวกัน เพราะว่ามีออกแรงดึงดูดสปริงให้ยืดยาว

๓. เมื่อเพิ่มถ่านไฟฉายให้มากขึ้น เข็มจะไม่อยู่ที่เดิม เพราะแรงดึงดูดเพิ่มมากขึ้น

๔. เส้นกราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง

๕. ประมาณ ๒ เท่าของค่าที่อ่านได้จากถ่านไฟฉายจำนวน ๔ ก้อนเดิม

๖. น.น. ของมวล ๒ กก. คือ $2 \times ๙.๘ = ๑๙.๖$ นิวตัน

น.น. ของมวล ๕ กก. คือ $5 \times ๙.๘ = ๔๙$ นิวตัน

๗. ใช้ น.น. ของวัตถุแปรผันโดยตรงกับมวลของมัน

๘. โดยอาศัย Newton's Law of Universal Gravitation ที่ว่า

"แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคสองอนุภาคแปรผันโดยตรงกับผลคูณของมวลของอนุภาคทั้งสอง และแปรผันผกผันกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างอนุภาคทั้งสองนั้น"

นั่นคือ $F = \frac{G m M}{r^2}$ เมื่อ $G =$ ค่าคงที่

$= 6.67 \times 10^{-11}$ นิวตัน - (เมตร)^๒

$W = mg = \frac{G m M}{r^2}$; ค่า $g = \frac{G M}{r^2}$ เมตร/วินาที^๒

จะพบว่าเนื่องจากโลกกลมไม่สมบูรณ์ บริเวณขั้วโลกแบนลงทำให้ค่า r น้อยลง ค่า g จึงมีค่ามากกว่าที่บริเวณศูนย์สูตร เพราะค่า r มี r ของโลกที่บริเวณ

ศูนย์สูตรมีค่ามากกว่าที่บริเวณขั้วโลก ในเมื่อ g เป็นค่าคงที่และ m เป็นมวลของโลกซึ่งคงที่

นอกจากนี้ยังเกิดจากสาเหตุที่โลกหมุนรอบตัวเอง (spins) อีกด้วย
 ๔. เนื่องจากค่าความเร่ง (g) เนื่องจากแรงดึงดูดของโลกที่บริเวณขั้วโลกมีค่ามากกว่าที่บริเวณแถบศูนย์สูตร ทำให้ลูกตุ้มนาฬิกาที่บริเวณขั้วโลกตกลงมาเร็ว และทำให้คาบแห่งการแกว่ง (period) สั้นกว่า คาบการแกว่งของลูกตุ้มที่บริเวณแถบศูนย์สูตร

๑๐. ค่าความผิดพลาดโดยประมาณจากการใช้ค่า $g = ๑๐ \text{ m/s}^2$ คือ

$$\frac{๑๐ - ๙.๘๐}{๙.๘๐} \times ๑๐๐ = ๒ \%$$

๑๑. โดยการพิจารณาจาก $F = ma$ เมื่อ F มีหน่วยเป็น Newton

$$\begin{aligned} a &= \frac{F}{m} \\ m &\text{ มีหน่วย kg} \\ a &\text{ มีหน่วย m/s}^2 \\ a(\text{m/s}^2) &= \frac{F(\text{N})}{m(\text{kg})} \end{aligned}$$

๑๒. น้ำหนักของวัตถุ $w = mg = ๕๐ \text{ สลัก} \times ๓๒ \text{ ฟุต/(วินาที)}^2$
 $= ๑๖๐๐ \text{ ปอนด์}$

แรงดึงดูดของโลกกระทำต่อวัตถุเท่ากับ ๑๖๐๐ ปอนด์

๑๓. มวลเป็นคุณสมบัติของวัตถุ ซึ่งคอยต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุและมวลของวัตถุจะมีค่าคงที่เสมอ ไม่ว่าจะอยู่ที่ใด ๆ ก็ตาม แต่น้ำหนักของวัตถุบนโลกหมายถึงแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อมวลของวัตถุ บนพื้นที่ต่าง ๆ บนโลก ค่าน้ำหนักของวัตถุจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่า g ณ บริเวณต่าง ๆ และน้ำหนักของวัตถุบนโลกกับบนดาวเคราะห์อื่น ๆ จึงแตกต่างกันอีกด้วย นอกจากนี้หน่วยของน้ำหนักมีหน่วยเหมือนหน่วยของแรงจึงเป็นปริมาณเวกเตอร์ จึงแตกต่างกับหน่วยของมวล

๑๔. น้ำหนักของวัตถุจะมีค่ามากบริเวณผิวโลกแล้วค่อยลดลงจนมีค่าน้อยที่สุดตำแหน่งหนึ่ง แล้วค่อย ๆ เพิ่มมากขึ้นตามลำดับเมื่อเข้าใกล้ดวงจันทร์ ส่วนมวลของวัตถุไม่เปลี่ยนแปลง

ตารางแสดงค่าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (g) ที่ระดับสูงจากผิวโลกต่าง ๆ

ความสูง (กิโลเมตร)	g (เมตร/วินาที ^๒)
๐	๙.๘
๑๖๐๐	๖.๒๗
๓๒๐๐	๔.๓๕
๔๘๐๐	๓.๒๖
๑๖๐๐๐	๑.๕๗

๑๕. นักเรียนจะพบปัญหาคือ เวลากระโดดขึ้นแล้วจะลอยไม่ตกลงมา เวลาเดินต้องวิ่งกำลังกล้ำเนื้อแขนจับยึดตัวยานอวกาศ เวลาเดินจะมีปัญหาคือ เวลาเทของเหลวแล้วของเหลวจะไม่ไหลออกจากภาชนะ เป็นต้น

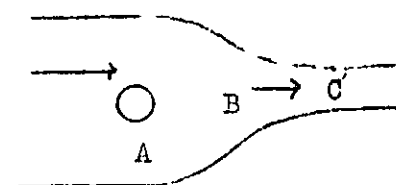
แบบฝึกหัดทบทวนเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

๑. นักเรียนจะบอกได้อย่างไรว่าวัตถุสองก้อน ก้อนใดมีมวลมากกว่ากัน โดยที่นักเรียนไม่ต้องชั่งมวลนั้นด้วยตาชั่ง
๒. เมื่อวัตถุอยู่ที่ตำแหน่งเส้นรุ้งต่าง ๆ กัน น้ำหนักและมวลของวัตถุจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่
๓. ถ้านักเรียนต้องการจะเอาหนังสือนิตยสารเล่มที่อยู่ล่างสุดของกองหนังสือออกมาโดยไม่ต้องยกเล่มบนออก นักเรียนจะมีวิธีที่ดีที่สุดที่จะเอานิตยสารออกมาได้อย่างไร
๔. เพราะเหตุใดเข็มชดนิรภัยจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้โดยสารรถยนต์
๕. ชายคนหนึ่ง มวล ๖๐ กก. ยืนอยู่บนตาชั่งสปริงภายในลิฟต์ ตาชั่งจะอ่านค่าได้เท่าไรถ้า
 - ก. สายลิฟต์ขาด และลิฟต์ตกลงมาอย่างอิสระ
 - ข. ถ้าลิฟต์มีความเร่งขึ้นในแนวตั้งเป็น ๔.๔ เมตร (วินาที)^๒
๖. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันทั้งสามข้อกล่าวไว้ว่าอย่างไร
๗. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน กล่าวว่า แรงกิริยาและปฏิกิริยา มีขนาดเท่ากันและทิศทางตรงกันข้ามเสมอ ถ้ากฎข้อนี้เป็นจริง ทำไมแรงทั้งสองจึงไม่หักล้างกันจนหมดไปโดยที่ไม่มีแรงลัพธ์เหลืออยู่
๘. วัตถุมวล ๑ กก. ๒ ก้อนวางอยู่บนจานของตาชั่งข้างละอันแล้วตาชั่งสมดุล เมื่อตาชั่งนี้อยู่ในลิฟต์ที่กำลังเคลื่อนที่โดยมีความเร่งขึ้นในแนวตั้ง สเกลตาชั่งจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่
๙. วัตถุที่กำลังลากเคลื่อนอยู่นั้นมีแรงอะไรที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและมีแรงอะไรที่ทำให้เคลื่อนที่ไปข้างหลัง
๑๐. แรงขนาดเท่ากันน้ำหนักของวัตถุกระทำต่อวัตถุในแนวระดับ วัตถุอยู่บนพื้นที่ไม่มีความเสียดทานแล้วความเร่งของวัตถุจะมีค่าเท่าไร และความเร่งของวัตถุจะมีค่าเท่าไรถ้าแรงนั้นกระทำต่อวัตถุที่มีผลขึ้นในแนวตั้ง
๑๑. เป็นไปได้หรือไม่ว่า วัตถุบางอันตกลงมาในแนวตั้ง โดยมีความเร่งมากกว่าค่า g ถ้าเป็นไปได้เรามีวิธีทำให้เกิดผลเช่นนั้นได้อย่างไร
๑๒. เชือกแขวนหาคอยอยู่บนรถที่ไม่มี ความเสียดทาน มีลึงตัวหนึ่งโยนปลายเชือกข้างหนึ่ง

และมีกระแสพลังงานหนึ่งที่มีน้ำหนักเท่ากับน้ำหนักของสิ่งแขวนติดกับปลายอีกข้างหนึ่งของเชือกในระดับเดียวกับสิ่ง สิ่งจะสามารถเห็นการมองเห็นภาพตัวของมันเองได้หรือไม่

ในกรณีที่ (ก) สิ่งใดเชือกขึ้นไป (ข) สิ่งใดเชือกลงมา (ค) สิ่งปล่อยเชือกทันที

๑๓. น้ำไหลด้วยอัตราเร็วคงที่ไปตามท่อ A โดยพัดพาเอาลูกบอลเคลื่อนที่ไปด้วยอัตราเร็วเท่ากับกระแสน้ำไหล ดังรูป



ก) จงเปรียบเทียบอัตราเร็วของลูกบอลที่ตำแหน่ง C กับที่ตำแหน่ง A

ข) อะไรจะเกิดขึ้นกับลูกบอลที่ตำแหน่ง B

ค) มีแรงลัพธ์กระทำต่อลูกบอลที่ตำแหน่ง A, B และ C หรือไม่

๑๔. มวล m_1 และ m_2 ถูกยึดอยู่กับปลายของสปริงคานละข้างและวางอยู่บนโต๊ะระดับที่ไม่มีความเสียดทาน ใช้มือชัก มวล m_1 และ m_2 บนสปริงทำให้สปริงหดตัว เมื่อปล่อยมือ มวลทั้งสองจะถูกสปริงคันให้เคลื่อนที่ จงหาอัตราส่วนของความเร่ง a_1 ต่อ a_2

เรื่องแรงเสียดทาน

วัตถุประสงค์ของบทเรียน บทเรียนนี้กล่าวถึงผลของแรงเสียดทานที่มีต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ และการหาค่า ส.ป.ส. ความเสียดทาน

ความรู้พื้นฐาน วัตถุที่มีมวล(m) มากจะมีความเฉื่อยมาก วัตถุที่มีมวลน้อยจะมีความเฉื่อยน้อย น้ำหนักของวัตถุ w มีค่าเท่ากับ mg

วัตถุประสงค์ของการเรียน เมื่อนักเรียนเรียนบทเรียนนี้จบแล้ว นักเรียนควรปฏิบัติสิ่งต่อไปนี้ได้ คือ

๑. อธิบายความคิดรวบยอด (concept) ของแรงเสียดทานได้ถูกต้อง
๒. บอกความหมายของสัมประสิทธิ์ ความเสียดทานและมุมของแรงเสียดทานได้ถูกต้องด้วยคำพูดของตนเอง
๓. สามารถเขียนสูตรความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานและแรงกดทับในแนวตั้งฉากได้ถูกต้อง
๔. สามารถทำการทดลองหาค่าแรงเสียดทานสถิต และแรงเสียดทานจลน์ได้
๕. สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ ความเสียดทานสถิต และความเสียดทานจลน์ได้

อุปกรณ์ประกอบบทเรียน

กระมะไม้, ไม้กลม, เม็ดพลาสติก, ผ้า, แก้วน้ำ

รางไม้ ๑ อัน

ลูกทราย ๕ ลูก

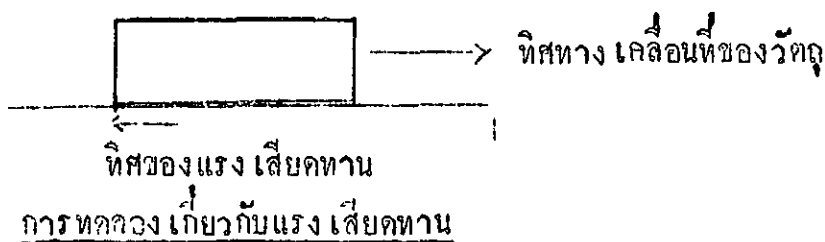
แผ่นไม้ ๑ อัน

ตาชั่งสปริง ๑ อัน

ลวดหนึบกระดาม ๑ อัน

บทเรียน

วัตถุ ๒ ชนิดที่มีเนื้อสัมผัสต่างกัน เมื่อมีการเคลื่อนที่สัมผัสกัน จะมีแรงเสียดทานเกิดขึ้น แรงเสียดทานนี้จะต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ช้าลงดังรูป



วิธีทดลอง

๑. วางไม้กลมลงในกระบะไม้ แล้วผลักไม้กลมให้เคลื่อนที่จากขอบกระบะด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง ให้สังเกตว่า จะต้องออกแรงมากน้อยเพียงใด
๒. นำเม็ดพลาสติกมาโรยลงในกระบะ ผลักไม้กลมให้เคลื่อนที่ไปบนเม็ดพลาสติกให้กระบะทางเท่าเดิม จึงสังเกตทิศทางการเคลื่อนที่ของไม้กลมและ เปรียบเทียบการออกแรงในขณะนี้นั้นมากหรือน้อยกว่าการออกแรงในข้อ ๑.
๓. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนไม้กลมเป็นแท่งไม้รูปสี่เหลี่ยม

คำถาม

๑. การเคลื่อนที่ของไม้กลมบนเม็ดพลาสติกกับบนพื้นกระบะอย่างไหน จะเคลื่อนที่คล่องกว่ากัน

.....

๒. การเคลื่อนที่ของแท่งไม้รูปสี่เหลี่ยมบนพื้นกระบะกับบนเม็ดพลาสติกอย่างไหนจะเคลื่อนที่คล่องกว่ากัน

.....

๓. กรณีผลักไม้กลมให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นกระบอกบนเม็คพลาสติกด้วยแรงที่เท่ากัน ไม้กลมจะเคลื่อนที่ไปไ้ระยะทางแตกต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

.....

๔. การผลักแท่งไม้สี่เหลี่ยมให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นกระบอกบนเม็คพลาสติก กรณีใดที่จำเป็นต้องใช้แรงกระทำต่อแท่งไม้มากกว่ากัน เพื่อให้แท่งไม้เคลื่อนที่ไปไ้ระยะทางเท่ากัน

.....

๕. แรงเสียดทานระหว่างพื้นรองเท่ากับถนนที่แห้งและกับถนนที่เปียก อย่างไหนจะมากกว่ากัน

.....

๖. เหตุใดลูกบอลลูกหนึ่งถึงไปบนสนามจึงค่อย ๆ ช้าลงและหยุด

.....

๗. จากผลการทดลองนี้ นักเรียนสรุปได้ว่า แรงเสียดทานมีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุอย่างไร

.....

ตอบคำถาม

๑. การเคลื่อนที่ของไม้กลมบนเม็คพลาสติกคล่องกว่าบนพื้นกระบอก
๒. การเคลื่อนที่ของแท่งไม้รูปสี่เหลี่ยมบนเม็คพลาสติกคล่องกว่าบนพื้นกระบอกธรรมดา
๓. ท่อนไม้กลมเคลื่อนที่ไ้บนเม็คพลาสติกไ้ระยะทางมากกว่า เพราะพื้นกระบอกมีแรงเสียดทานมากกว่าเม็คพลาสติก
๔. ต้องออกแรงกระทำต่อแท่งไม้สี่เหลี่ยมให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นกระบอกมากกว่าที่จะให้มันเคลื่อนที่ไปบนเม็คพลาสติก เพราะพื้นกระบอก

- มีแรงเสียดทานมากกว่าในการต้านการเคลื่อนที่ของแท่งไม้ไว้
๕. แรงเสียดทานระหว่างพื้นรองเท้ากับถนนแห้งจะมากกว่าระหว่างพื้นรองเท้ากับถนนเปียก
 ๖. ลูกบอลกลิ้งช้าลงและหยุดนิ่งในที่สุด เพราะมีแรงเสียดทาน
- ฉนวน คือ แรงเสียดทานระหว่างผิวลูกบอลกับพื้นสนาม กระทำต่อลูกบอลในทิศตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของลูกบอล
๗. จากผลการทดลองนี้ นักเรียนสรุปได้ว่าแรงเสียดทานมีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ คือ ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ช้าลง

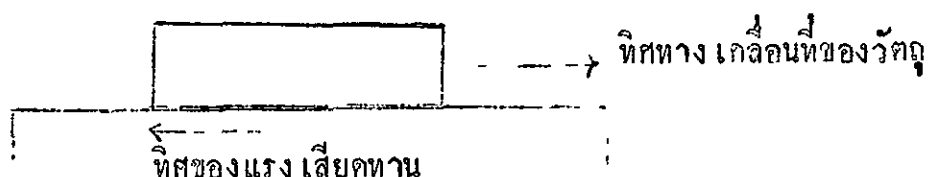
การทดลองหาสัมประสิทธิ์ ความเสียดทานระหว่างผิวไม้

จุดมุ่งหมาย เพื่อให้นักเรียนสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ และความเสียดทานสถิต ได้

- อุปกรณ์
๑. รางไม้ ๑ ชิ้น
 ๒. ลูกตุ้ม ๔ ลูก
 ๓. แผ่นไม้กระดาน ๑ แผ่น
 ๔. คาชั่งสปริง ๑ ชิ้น
 ๕. ลวดหนามกระด้าง ๑ ชิ้น
 ๖. พื้นเอียงผิวเรียบสม่ำเสมอ ๑ ชิ้น

บทเรียน

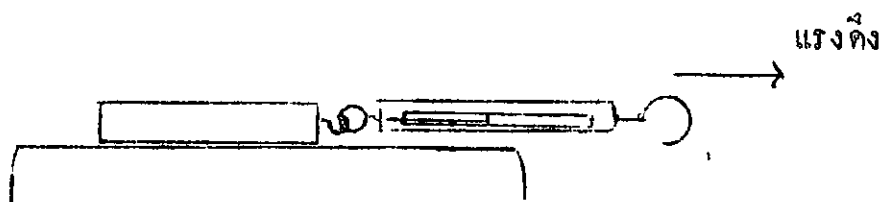
วัตถุ ๒ ชนิด ที่วางสัมผัสกันและมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน จะมีแรงเสียดทานที่ต้านการเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่เสมอ นักเรียนจะสังเกตได้จากการทดลองต่อไปนี้



วิธีทดลอง (ตอนที่ ๑)

๑. วางแผนกระดานไม้ลงบนพื้นโต๊ะราบ
๒. ใช้ตาซึ่งสปริงลากแผ่นไม้ไปบนพื้นโต๊ะ สังเกตดูขนาดของแรงที่อ่านได้จากตาซึ่งสปริง ขณะแผ่นไม้ยังไม่เคลื่อนที่จนเริ่มขยับ เคลื่อนที่และขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่
๓. บันทึกค่าแรงที่อ่านได้จากการทดลองทั้งสามกรณี

คำถามตอนที่ ๑



๑. แผ่นไม้วางอยู่บนโต๊ะ มีแรงอะไรบ้างที่กระทำต่อแผ่นไม้

.....

๒. ขณะที่แผ่นไม้อยู่นิ่งบนโต๊ะ แรงเสียดทานมีค่าเป็นเท่าใด

.....

๓. เมื่อใช้แรงดึงแผ่นไม้ แต่แผ่นไม้ยังไม่เคลื่อนที่ แรงเสียดทานจะมีค่าเป็นศูนย์หรือไม่

.....

๔. เมื่อใช้แรงดึงแผ่นไม้ แต่แผ่นไม้ไม่เคลื่อนที่ แรงเสียดทานแผ่นไม้เป็นเท่าใด

.....

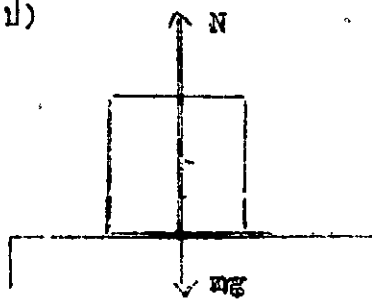
๕. เมื่อแผ่นไม้เคลื่อนที่ แรงเสียดทานจะลดลงหรือไม่

.....

๖. ขณะที่มีความกระทำต่อวัตถุแล้ววัตถุยังไม่เคลื่อนที่นั้น แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเราเรียกว่า แรงเสียดทานสถิต ค่าของมันเปลี่ยนแปลงอย่างไร

ตอบคำถาม ตอนที่ ๑

๑. แรงที่กระทำต่อแท่งไม้ที่วางอยู่บนโต๊ะ คือ แรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อแท่งไม้ ซึ่งเราเรียกว่า น้ำหนัก และแรงปฏิกิริยาของโต๊ะที่กระทำต่อแท่งไม้ (ดังในรูป)

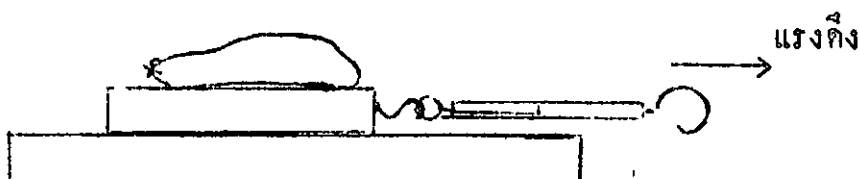


๒. แรงเสียดทานมีค่าเป็นศูนย์
 ๓. แรงเสียดทานมีค่าไม่เป็นศูนย์ เพราะแผ่นไม้มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ได้
 ๔. แรงดัดของแผ่นไม้เป็นศูนย์
 ๕. แรงเสียดทานจะลดลง
 ๖. แรงเสียดทานสถิต มีค่าได้จากศูนย์จนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง

วิธีทดลอง (ตอนที่ ๒)

๑. วางรางไม้ให้อยู่ในแนวระดับ
 ๒. วางตุ้มน้ำหนัก ๑ ลูก ไว้บนแผ่นไม้ที่เคลือบที่มีมวลเท่ากับตุ้มน้ำหนัก ๑ ลูก และวางแผ่นไม้ที่เคลือบบนรางไม้ที่จัดไว้
 ๓. ใช้คลิปหนีบกระดาษเกี่ยวตะขอ แล้วให้เครื่องซึ่งสปริงดึงให้เคลื่อนที่ไปตามแนวระดับ โดยค่อย ๆ เพิ่มแรงให้มากขึ้นตามลำดับ และอ่านค่าแรงจากตาชั่งสปริงตลอดเวลา
 ๔. เมื่อแผ่นไม้เริ่มเคลื่อนที่ บันทึกค่าที่อ่านได้จากตาชั่งสปริง
 ๕. เมื่อแผ่นไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ บันทึกค่าแรงที่ใช้ดึงและบันทึกน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักในหน่วยนิวตัน

๖. ทำการทดลองซ้ำ โดยเพิ่มมวลทรายครั้งละ ๑ กุณ
๗. เขียนกราฟระหว่างแรงดึงในแนวระดับกับน้ำหนักของวัตถุที่กดพื้นตั้งฉาก



คำถามตอนที่ ๒

๑. จากการเปรียบเทียบค่าแรงดึงที่อ่านได้จากตาชั่งสปริงทุกครั้ง เมื่อก่อนแผ่นไม้จะเริ่มเคลื่อนที่ กับเมื่อแผ่นไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่อย่างใด มีค่ามากกว่ากัน
.....
๒. ขณะที่แผ่นไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่นั้น แรงเสียดทานกระทำต่อแผ่นไม้เป็นเท่าใด
.....
๓. ขณะที่แผ่นไม้เคลื่อนที่ มีแรงเสียดทานเกิดขึ้น เราเรียกว่า แรงเสียดทานจลน์ เมื่อแผ่นไม้เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วคงที่นั้น แรงเสียดทานจลน์จะมีค่าเป็นเท่าใด
.....
๔. กราฟระหว่างแรงดึงในแนวระดับขณะที่แผ่นไม้เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วคงที่ กับน้ำหนักที่กดพื้นในแนวตั้งฉาก เราถือว่าเป็นกราฟระหว่างแรงเสียดทานจลน์กับน้ำหนักที่กดพื้นตั้งฉากได้หรือไม่
.....
๕. กราฟระหว่างแรงดึงในแนวระดับกับน้ำหนักที่กดพื้นในแนวตั้งฉากในข้อ ๔. มีลักษณะอย่างไร
.....

๖. จงเปรียบเทียบกราฟของแรงดึงในแนวระคัมกับน้ำหนักที่กดพื้น ก่อนที่แผ่นไม้จะเริ่มเคลื่อนที่กับขณะที่แผ่นไม้กำลังจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ว่ามีลักษณะต่างกันอย่างไรบ้าง

.....

๗. จากการทดลองในตอนนี้ นักเรียนสามารถสรุปผลการทดลองเกี่ยวกับแรงเสียดทานว่ามีความสัมพันธ์กับแรงกดพื้นในแนวตั้งฉากได้อย่างไร

.....

ตอบคำถามตอนที่ ๖

๑. ค่าแรงดึงในกรณีก่อนแผ่นไม้จะเริ่มเคลื่อนที่มีค่ามากกว่าค่าแรงดึง ตอนแผ่นไม้เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วคงที่
๒. แรงเสียดทานเป็นศูนย์
๓. แรงเสียดทานจลน์ มีค่าเท่ากับแรงดึงในตาซึ่งสปริงขณะนั้น
๔. ใต้ เพราะขนาดของแรงเสียดทานจลน์เท่ากับแรงดึงขณะนั้น
๕. กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง มีค่า slope เป็นค่าบวก
๖. กราฟของแรงดึงในแนวระคัมกับน้ำหนักที่กดพื้น ก่อนที่แผ่นไม้จะเริ่มเคลื่อนที่มีลักษณะชันมากกว่ากราฟของแรงดึงในแนวระคัมกับน้ำหนักที่กดพื้น เมื่อแผ่นไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ กราฟทั้งสองเป็น เส้นตรง
๗. สรุปได้ว่า แรงเสียดทานขึ้นอยู่กัแรงกดพื้นในแนวตั้งฉากว่า จะมากหรือน้อย หรือพูดอีกนัยหนึ่งว่า แรงเสียดทานแปรผันโดยตรงกับแรงกดพื้นในแนวตั้งฉาก

สรุป แรงเสียดทานแปรผันโดยตรงกับแรงกดพื้นตั้งฉาก

แรงเสียดทาน $f \propto$ แรงกดพื้นตั้งฉาก

$$f \propto N$$

$$f = \mu N$$

เมื่อ μ เป็นค่าคงที่หรือ ส.ป.ส. ความเสียดทาน เราใช้สัญลักษณ์ μ

แทน ส.ป.ส. ความเสียดทานสถิต จึงเขียนสูตรการหาแรงเสียดทานสถิตได้ว่า

$$f_s \leq \mu_s N$$

เราใช้สัญลักษณ์ μ_k แทน ส.ป.ส. ความเสียดทานจลน์
สูตรการหาแรงเสียดทานจลน์คือ

$$f_k = \mu_k N$$

สรุปได้ว่า $\mu_s > \mu_k$ และ $f_s > f_k$

จากการประหว่างแรงเสียดทานกับแรงกดพื้นในแนวตั้งฉากเราได้ ถ้า
slope ของกราฟเป็น $\tan \theta = \frac{f}{N}$ และเราทราบว่า ส.ป.ส. ความเสียดทาน

$$\mu = \frac{f}{N}$$

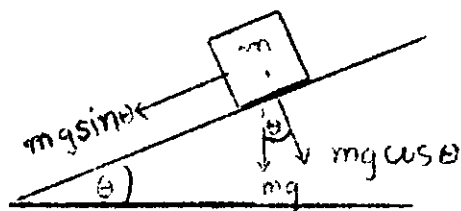
ดังนั้น $\mu = \tan \theta$

มุม θ นี้เราเรียกว่ามุมของแรงเสียดทาน (Angle of friction)

วิธีทดลอง (ตอนที่ ๓)

๑. วางแผ่นไม้ลงบนกระดานสันเอียง
๒. วางตุ้มทราย ๑ ตุ้มบนแผ่นไม้
๓. คอย ๆ ยกวางขึ้นจนกระทั่งแผ่นไม้เริ่มเคลื่อนที่ลง
๔. บันทึกระยะทางที่แผ่นไม้เคลื่อนที่บนรางพื้นเอียงและบันทึกความสูงของรางพื้นเอียงไว้
๕. คำนวณหาค่า $\tan \theta$ ได้จากข้อมูลในข้อ ๔
๖. ทำการทดลองซ้ำจากข้อ ๑-๕ ใหม่ โดยใช้มือกระตุ่นเบา ๆ ให้แผ่นไม้เคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วสม่ำเสมอ แล้วบันทึกค่า $\tan \theta$ ในแต่ละครั้ง

๗. ทำการทดลองซ้ำ โดยเพิ่มมวลทรายครั้งละ ๑ กรัม เพื่อหาค่า $\tan \theta$ หรือ μ_s และ μ_k ในแต่ละครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยของ μ_s และ μ_k



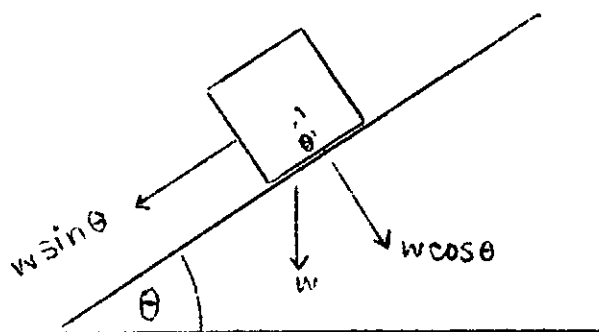
คำถามตอนที่ ๓

๑. เมื่อนักเรียนยกพื้นเอียงขึ้นเป็นมุม θ แล้ววางแผ่นไม้กับกองทรายน้ำหนักรวมกันเท่ากับ W บนพื้นเอียงนั้น แรงกดพื้นในแนวตั้งฉากจะมีค่าเป็นเท่าใด
.....
๒. แรงเบี่ยงจากน้ำหนักของวัตถุที่กระทำต่อแผ่นไม้ในแนวนานกับพื้นเอียงมีขนาดเท่าใด
.....
๓. แรงปฏิกิริยาที่พื้นเอียงกระทำต่อแผ่นไม้กับกองทรายในแนวตั้งฉากมีขนาดเท่าใด
.....
๔. เมื่อมุม θ เพิ่มมากขึ้นจนวัตถุเริ่มขยับจะเคลื่อนที่ขณะนั้น $W \sin \theta$ มีขนาดเท่ากับแรงเสียดทานสถิต f_s สูงสุดใช่หรือไม่
.....
๕. ถ้า $W \sin \theta = f_s$ แล้ว นักเรียนจงแสดงให้เห็นว่า
$$\mu_s = \tan \theta$$

.....
๖. ในกรณีที่แผ่นไม้กับกองทรายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่นั้น เราได้ว่า
$$W \sin \theta = f_k$$
 แล้วนักเรียนจงแสดงให้เห็นว่า $\mu_k = \tan \theta$
.....

๓. ค่ามุม θ ที่ได้ในข้อ ๕ กับข้อ ๖ ค่าใดควรจะมากกว่ากันเพราะเหตุใด
.....
๔. จากการทดลองในตอนนี้ นักเรียนสามารถเปรียบเทียบได้ว่าค่า μ_s และ μ_k ค่าใด มีค่ามากกว่ากันสำหรับผิววัตถุคู่เดียวกัน
.....
๕. ถ้าแรงเสียดทานทำให้วัตถุเคลื่อนที่ช้าลงตามลำดับ แรงเสียดทานนี้ควรเป็นแรงเสียดทานจลน์หรือแรงเสียดทานสถิต
.....
๑๐. จากการทดลองที่ผ่านมา นักเรียนจะพบว่ามีความแปรที่เกี่ยวเนื่องกับแรงเสียดทาน ตัวแปรเหล่านั้นมีอะไรบ้าง
.....
๑๑. ในชีวิตประจำวัน นักเรียนพบว่าแรงเสียดทานมีประโยชน์ต่อเรา เช่น
- แรงเสียดทานระหว่างเท้าหรือรองเท้ากับพื้น ช่วยให้เราทรงตัวในการเดินได้
- แรงเสียดทานระหว่างล้อรถกับพื้นถนนช่วยในการบังคับรถในการเลี้ยวโค้ง, การเร่งความเร็ว หรือเบรครถให้ช้าลงได้ นอกจากนี้ยังมีประโยชน์อื่น ๆ อีกมาก
- ในบางกรณีแรงเสียดทานเป็นสิ่งที่เราไม่ต้องการหรือพึงปรารถนา นักเรียนพอทราบหรือไม่ว่า เรามีวิธีลดแรงเสียดทานเหล่านั้นได้อย่างไร
.....

ตอบคำถามตอนที่ ๑



๑. แรงกดพื้นในแนวตั้งฉากมีค่าเป็น $W \cos \theta$
๒. แรงดึงแผ่นไม้ลงในแนวขนานกับพื้นเอียงเป็น $W \sin \theta$
๓. แรงปฏิกิริยามีขนาด $W \cos \theta$
๔. ให้ $W \sin \theta = f_s$
๕. จาก $W \sin \theta = f_s$

$$W \sin \theta = \mu_s W \cos \theta$$

$$\mu_s = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \tan \theta$$
๖. จาก $W \sin \theta = f_k$

$$W \sin \theta = \mu_k W \cos \theta$$

$$\mu_k = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \tan \theta$$
๗. ค่ามุม θ ในข้อ ๕ มีค่ามากกว่ามุม θ ในข้อ ๖ เพราะกรณีที่เกิดแรงเสียดทานสถิต มุม θ มากกว่ากรณีที่เกิดแรงเสียดทานจลน์
๘. ค่า μ_s มีค่ามากกว่า μ_k สำหรับผิววัตถุคู่หนึ่ง ๆ
๙. เป็นแรงเสียดทานจลน์ เพราะวัตถุกำลังเคลื่อนที่
๑๐. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแรงเสียดทานมีแรงกดพื้นในแนวตั้งฉาก (N) ซึ่งเราทราบจากสูตรแรงเสียดทาน $f = \mu N$ นอกจากนี้ นักเรียนจะสังเกตเห็นว่าธรรมชาติของพื้นผิวที่สัมผัสอยู่ เช่น ลึกและเรียบลื่นหรือผิวหยาบขรุขระ ชนิดของวัตถุและ degree of lubrication มีส่วนสำคัญในการหาค่าแรงเสียดทาน μ ของวัตถุแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน เราจะหา μ ได้ในหนังสือ American Institute of Physics Handbook.
๑๑. แรงเสียดทานทำให้เกิดผลเสีย เช่น ทำให้การเคลื่อนย้ายวัตถุไม่สะดวก ทำให้เกิดการสึกหรอภายในเครื่องยนต์ เช่น ระหว่างล้อและเพลา, ระหว่างลูกสูบและกระบอกสูบของเครื่องยนต์ และยังทำให้เกิดความร้อนภายในเครื่องยนต์อีกด้วย เรามีวิธีลดแรงเสียดทานได้โดยใช้น้ำมันหล่อลื่น ถัดจากเป็นแมริงปดอกและบอลแมริง เป็นต้น

เรื่องการคำนวณโจทย์เกี่ยวกับแรงเสียดทาน

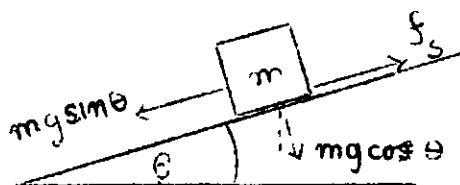
วัตถุประสงค์ บทเรียนนี้กล่าวถึง การนำสูตรมาคำนวณหาแรงเสียดทาน $f = \mu N$ มาประยุกต์ในโจทย์ที่ไม่ซับซ้อนมากนัก

ความรู้พื้นฐาน นักเรียนควรมีความรู้เกี่ยวกับการบวกลบเวกเตอร์ของแรง เพื่อหาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุใด มีความรู้เกี่ยวกับการหาค่าประกอบของแรงที่กระทำต่อวัตถุ และมีความรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวเส้นตรงด้วยความเร่งคงที่ด้วย

บทเรียน

ในการวิเคราะห์ปัญหาโจทย์เกี่ยวกับแรงเสียดทาน นักเรียนควรเขียนแผนภาพช่วยเสมอ

ตัวอย่างที่ 1 วัตถุหนึ่งมวล m วางอยู่บนพื้นเอียงทำมุม θ กับแนวระดับเมื่อมุม θ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ปรากฏว่าวัตถุเริ่มไถลลงเมื่อ $\theta = \theta_g$ โดยที่ N เป็นแรงปฏิกิริยาของพื้นเอียงกระทำต่อวัตถุนั้น จงคำนวณหา ส.ป.ส. ความเสียดทาน



วิธีทำ ให้ f_s เป็นแรงเสียดทานระหว่างพื้นเอียงกับวัตถุ จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน เมื่อวัตถุหยุดนิ่งความเร่ง $a = 0$ สมการการเคลื่อนที่ของวัตถุคือ

$$N - mg \cos \theta = 0 \quad \dots\dots\dots (๑)$$

$$f_s - mg \sin \theta = 0 \quad \dots\dots\dots (๒)$$

จาก (๒) และ (๑) และเมื่อ $\theta = \theta_g$ จะได้ว่า

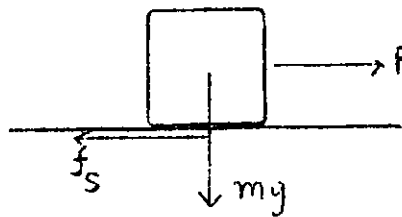
$$f_s = N \tan \theta_g$$

$$\text{จาก } f_s = \mu_s N$$

$\therefore$ ส.ป.ส. ความเสียดทานคือ $\mu_s = \tan \theta_g$ ตอบ

ตัวอย่างที่ ๒ มวล ๐.๕ กิโลกรัม วางอยู่บนพื้นระดับที่มีความฉืด แรง ๕ นิวตัน กระทำตามแนวระดับ วัตถุจึงเริ่มเคลื่อนที่ ถ้า μ_s เป็น ส.ป.ส.ความเสียดทานสถิตระหว่างพื้นกับวัตถุ μ_s มีค่าสูงสุดเป็นเท่าใด และแรง ๑๐ นิวตันกระทำต่อวัตถุนี้ให้เคลื่อนที่ไปตามแนวระดับด้วยความเร่ง ๑๕ เมตร/วินาที^๒ ถ้า ส.ป.ส.ความเสียดทานจลน์ μ_k จะเป็นเท่าไร

วิธีทำ พิจารณาแรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อมวล $m = ๐.๕$ ก.ก. ในช่วงที่เกิดแรงเสียดทานสถิต และให้ $g = ๑๐$ เมตร/วินาที^๒



เมื่อ N เป็นแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อมวล m หักขึ้นในแนวตั้ง $f_{s_{max}}$ เป็นแรงเสียดทานสถิตสูงสุดและ F เป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุ สมการของแรงที่กระทำต่อวัตถุ คือ

$$N - mg = 0$$

$$N = mg$$

$$F - f_{s_{max}} = F - \mu_s N = 0$$

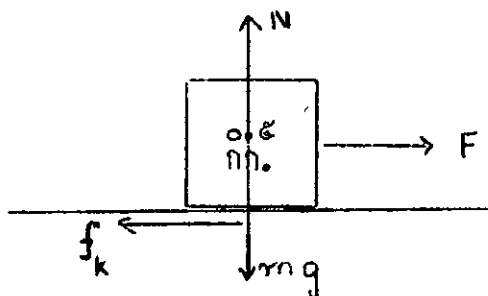
$$F - \mu_s N = F - \mu_s mg = 0$$

$$\mu_s = \frac{F}{mg} = \frac{5}{0.5 \times 10}$$

$$\therefore \text{ส.ป.ส.ความเสียดทานสถิต } \mu_s = 1$$

ตอบ

พิจารณาแรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อมวล $m = 0.5$ ก.ก. ในช่วงที่เกิดแรงเสียดทานจลน์



สมการการเคลื่อนที่ของวัตถุ คือ

$$F - f_k = ma \quad \dots\dots\dots (๑)$$

$$F - \mu_k N = ma \quad \dots\dots\dots (๒)$$

$$N - mg = 0$$

$$N = mg \quad \dots\dots\dots (๓)$$

แทนค่า(๓)ใน(๒)ได้

$$\mu_k = \frac{F}{mg} - \frac{a}{g}$$

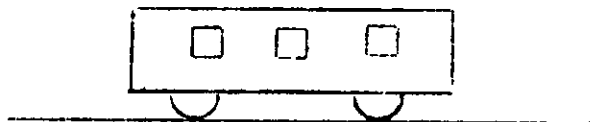
แทนค่า a, F, g จะได้

$$\mu_k = \frac{90}{0.5 \times 90} - \frac{96}{90}$$

∴ ส.ป.ส. ความเสียดทานจลน์ $\mu_k = 0.5$

ตอบ

ตัวอย่างที่ ๓ รถยนต์คันหนึ่งวิ่งไปบนถนนราบและทรงกัยความเร็ว u ส.ป.ส. ความเสียดทานระหว่างพื้นถนนกับยางรถยนต์เป็น μ จงหาระยะทางที่สั้นที่สุดที่รถคันนี้จะเคลื่อนที่ไปไถ่ก่อน หยุดเมื่อรถหนัก w และ f เป็นแรงเสียดทาน



วิธีทำ เมื่อรถหยุดความเร็วสุดท้ายของรถเป็น v มีค่าเท่ากับศูนย์จากสูตรการคำนวณการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวเส้นตรง

$$v^2 = u^2 + 2as$$

แทนค่า $0 = u^2 + 2as$

ปริมาณตัวจักรของรถ $s = \frac{-u^2}{2a} \dots\dots\dots (๑)$

สมการการเคลื่อนที่ของรถ คือ

$$-f = ma \dots\dots\dots (๒)$$

$$-f = \frac{wa}{g}$$

ความเร่งของรถ $a = \frac{-fg}{w} \dots\dots\dots (๓)$

แรงลัพธ์ในแนวดิ่ง $N - W = 0 \dots\dots\dots (๔)$

$$N = W$$

จาก $f = \mu N = \mu W \dots\dots\dots (๕)$

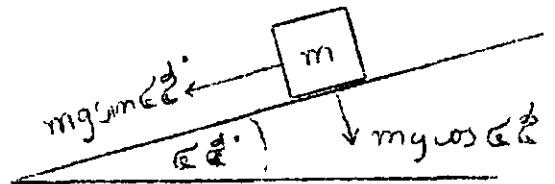
แทน (๕) ใน (๓) จะได้ความเร่ง $a = -\mu g \dots\dots\dots (๖)$

ดังนั้นระยะทางที่สั้นที่สุดที่รถคันนี้จะเคลื่อนที่ไปไถ่ก่อนหยุด

จากการแทน (๖) ใน (๑) จะได้ $s = \frac{u^2}{2\mu g}$

ตอบ

ตัวอย่างที่ ๔ ก้อนน้ำแข็งไถลงตามพื้นเอียงหยาบทำมุม ๔๕ องศา กับแนวระดับใช้เวลาเป็น ๒ เท่าในการเคลื่อนที่ลงมาตามพื้นเอียงเรียบทำมุม ๔๕ องศา กับแนวระดับ
จงหา ส.ป.ส. ความเสียดทานระหว่างก้อนน้ำแข็งกับพื้นเอียงหยาบ



วิธีทำ ให้พื้นเอียงทั้งสองมีความยาว x คำนวณหาเวลาที่ก้อนน้ำแข็งไถลงมาตามพื้นเอียงเรียบ (t) ได้

$$\text{จาก} \quad s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

$$\text{แทนค่า} \quad x = 0 + \frac{1}{2}g \sin 45^\circ t_0^2$$

$$t_0 = \sqrt{\frac{2 \sin 45^\circ x}{g}} \quad \dots\dots\dots (๑)$$

$$\therefore \text{ เวลาที่ก้อนน้ำแข็งไถลงมาบนพื้นที่มี ส.ป.ส. ความเสียดทานเป็น } \mu$$

$$\text{ก็ } t_2 = 2t_0 = 2 \left(\frac{2 \sin 45^\circ x}{g} \right) \quad \dots\dots\dots (๒)$$

สมการการเคลื่อนที่ของน้ำแข็งในกรณีหลังนี้ คือ

$$mg \sin 45^\circ - \mu mg \cos 45^\circ = ma$$

$$\sqrt{\frac{g}{2}} - \frac{\mu}{\sqrt{2}} a = \sqrt{\frac{\mu}{2}} \quad \dots\dots\dots (๓)$$

$$\text{หาความเร่งของน้ำแข็งหาได้จากสูตรทั่วไป } s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

$$\text{แทนค่า } t_2 \text{ จาก (๒) และ } u = 0 \text{ จะได้ } x = \frac{1}{2} a \left(\frac{2 \sqrt{2} x}{g} \right)^2$$

$$\text{ความเร่งของน้ำแข็งในกรณีนี้ } a = \frac{g}{4\sqrt{2}} \quad \dots\dots\dots (๔)$$

$$\text{แทน (๓) ใน (๔) ได้ } \sqrt{\frac{\mu}{2}} = \sqrt{\frac{g}{2}} - \frac{\mu}{4\sqrt{2}}$$

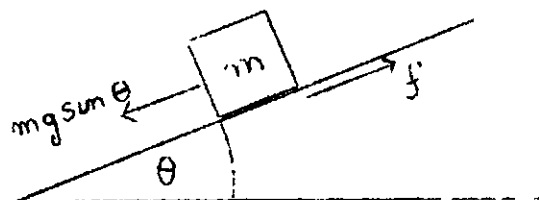
$\therefore$ ส.ป.ส. ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงหยาบกับน้ำแข็งจะเป็น

$$\mu = \frac{3}{4} = ๐.๗๕$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ ๕ วัตถุเคลื่อนที่ลงมาตามพื้นที่เอียงทำมุม θ กับแนวระดับด้วยความเร็วคงที่ v_0 ถ้าวัตถุนั้นถูกยิงย้อนขึ้นด้วยความเร็วต้น u จงหาระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ขึ้นไปได้ไกลสุด แล้ววัตถุจะเคลื่อนที่ลงมาอีกหรือไม่

วิธีทำ ให้ f เป็นแรงเสียดทาน
และ m เป็นมวลของวัตถุ



สมการการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เคลื่อนลงมาด้วยความเร็วคงที่ v_0 แสดงว่าความเร่ง $a = 0$ จะได้ว่า

$$mg \sin \theta - f = 0$$

$$\therefore \text{แรงเสียดทาน } f = mg \sin \theta \quad \dots\dots\dots (๑)$$

สมการการเคลื่อนที่ของวัตถุเมื่อเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็วต้น u คือ

$$- ๒ mg \sin \theta = ma \quad \dots\dots\dots (๒)$$

$$\text{ความเร่งของวัตถุในกรณีหลังนี้ คือ } a = - ๒ g \sin \theta \quad \dots\dots\dots (๓)$$

เมื่อวัตถุขึ้นไปถึงจุดสูงสุดความเร็วสุดท้ายเป็น $v = 0$

$\therefore$ ระยะทางที่วัตถุขึ้นไปได้นั้นหาได้จากสูตร

$$v^2 = u^2 + 2as$$

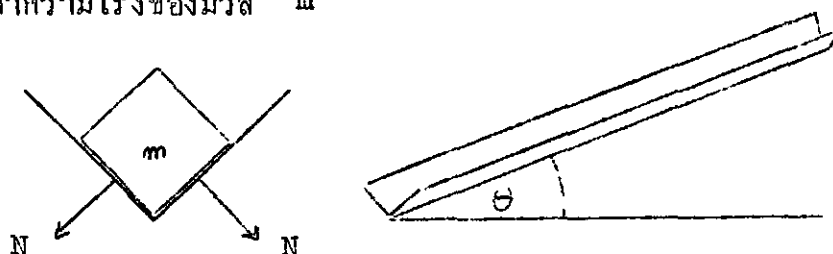
แทนค่า $a, u, v,$ ลงในสูตรจะได้ $0 = u^2 - (๔g \sin \theta)s$

$$\therefore \text{ระยะทางที่วัตถุขึ้นไปได้ก่อนจะหยุด คือ } s = \frac{u^2}{๔ \sin \theta}$$

และวัตถุจะไม่เคลื่อนที่ลงมาอีก เพราะขณะที่วัตถุมีความเร็วเป็นศูนย์นั้น แรงดึงเนื่องจากน้ำหนักมีขนาด $mg \sin \theta$ เท่ากับแรงเสียดทาน f พอดี ตอบ

ตัวอย่างที่ ๖ : กลองมวล m เคลื่อนที่ลงไปตามรางจากเอียงทำมุม θ กับแนวระดับ
ถ้ากำหนดให้ ส.ป.ส. ความเสียดทานจลน์เป็น μ_k

จงหาความเร่งของมวล m



วิธีทำ นักเรียนจะเห็นว่าผิวของมวล m สัมผัสกับราง ๒ ด้านด้วยกันและรางเอียงทำมุม
กับแนวระดับ ก่อนนี้นักเรียนจะต้องหาแรงกดพื้นในแนวตั้งฉากกับผิวเสียก่อน เพราะว่าผิว
ของกลองสัมผัสกับรางจากเอียง ๒ ด้าน และแรงกดพื้นในแนวตั้งฉากแต่ละด้านเป็น
จะได้ว่าแรงกดพื้นตั้งฉากกับผิว คือ $\sqrt{N^2 + N^2} = \sqrt{2} N$
สมการการเคลื่อนที่ของมวล m ก็คือ

$$mg \sin \theta - \mu_k \sqrt{2} N = ma$$

$$mg \sin \theta - \mu_k \sqrt{2} mg \cos \theta = ma$$

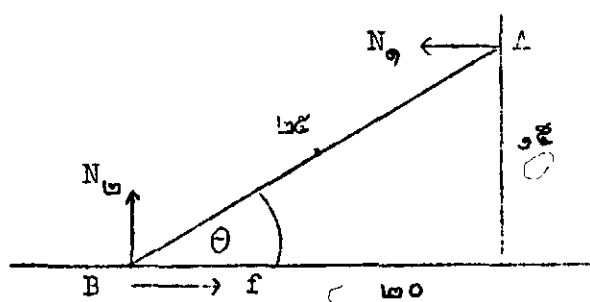
$\therefore$ ความเร่งของมวล m คือ $a = g(\sin \theta - \sqrt{2} \mu_k \cos \theta)$ ตอบ

ตัวอย่างที่ ๗ บันไถขนาดสม่ำเสมอ ยาว ๒๕ เมตร วางพิงไว้กับกำแพงลื่น ปลายล่างของ
บันไดอยู่ห่างจากกำแพงเป็นระยะ ๒๐ เมตร บันไดหนัก ๖๐ นิวตัน ส.ป.ส. ความเสียดทานระหว่าง
พื้นกับบันไดเป็น $\frac{1}{2}$ ชายคนหนึ่งมวล ๕๐ ก.ก. ไต่ขึ้นไปบนบันได

จงหา ก) แรงเสียดทานที่ปลายล่างของบันไดเมื่อชายคนนั้นไต่ขึ้นไปบนบันไดได้ ๔ เมตร

กำหนดให้ $g = ๑๐$ เมตร/วินาที^๒

ข) บันไดจะฉีกหลุดพอดีเมื่อชายคนนั้นไต่ขึ้นไปไต่สูงเท่าใด



วิธีทำ ก) พิจารณาที่ปลายบนของบันได มีแรงปฏิกิริยา N_2 กระทำต่อบันไดในแนวตั้งฉากกับกำแพง และที่ปลายล่างมีแรงเสียดทาน f กระทำต่อบันไดมีทิศเข้าหากำแพงและแรงปฏิกิริยา N_1 ที่พื้นกระทำต่อบันไดทิศตั้งฉากกับพื้น เมื่อชายคนนั้นปีนขึ้นไปสูง ๔ เมตร ตามแนวบันไดจะได้ว่า โมเมนต์ของแรงรอบจุด B คือ

$$N_2 \times ๑๕ = (๕๐ \times ๑๐ \times ๔) + ๖๐ \times ๑๐$$

$$N_2 = ๑๙๓.๓๓ \text{ นิวตัน}$$

ค่าแรง N_2 นี้จะมีขนาดเท่ากับแรงเสียดทาน f ที่ปลายบันไดล่าง

$$\text{แรงเสียดทาน } ๑๙๓.๓๓ \text{ นิวตัน} \quad \text{ตอบ}$$

ข) สมมติให้ชายคนนั้นไต่ขึ้นไปได้สูง ๘ เมตรตามแนวบันได ๆ สิ้นไกลพอดี แรงเสียดทานที่ปลายบันไดล่างจะเป็นแรงเสียดทานสูงสุดขณะนั้น คือ

$$f_{\max} = \mu N_1 = N_1(\mu_{\max})$$

$$f_{\max} = \frac{1}{2} \times ๔๖๐ = ๒๓๐ \text{ นิวตัน}$$

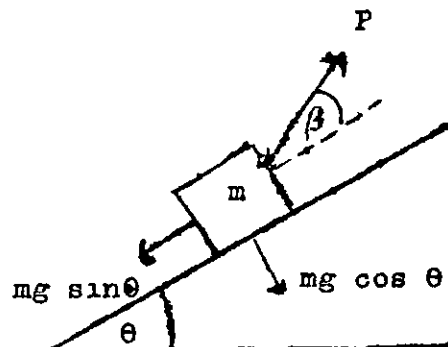
โมเมนต์ของแรงรอบจุด B คือ

$$N_1(\mu_{\max}) \times ๑๕ = (๕๐ \times ๑๐) \sin \theta \cos \theta + (๖๐ \times ๑๐)$$

$$๒๓๐ \times ๑๕ = ๕๐๐ \times \frac{๒๐}{๒๕} \sin \theta + ๔๔๐$$

บันไดจะสิ้นไกลพอดีเมื่อชายคนนี้ได้ไต่ขึ้นไปได้สูงสุด ๔.๓๐ เมตร ตอบ

ตัวอย่างที่ ๔ ถ้ามุมของแรงเสียดทานระหว่างวัตถุมวล m กับพื้นเอียงเป็น θ และขณะที่พื้นเอียงทำมุม θ กับแนวระดับ จงหาแรง P ที่น้อยที่สุดที่จะทำให้วัตถุมวล m เคลื่อนที่ขึ้นไปบนพื้นเอียงได้



วิธีทำ

สมการการเคลื่อนที่ของวัตถุ คือ

$$P \cos \beta = mg \sin \theta + \mu (mg \cos \theta - P \sin \beta) \dots\dots\dots (๑)$$

$$P = mg \frac{(\sin \theta + \mu \cos \theta)}{\cos \beta + \mu \sin \beta}, \dots\dots\dots (๒)$$

เมื่อมุมของแรงเสียดทาน คือ ϕ แสดงว่า $\mu = \tan \phi$
 $\mu = \frac{\sin \phi}{\cos \phi}$

แทนค่า μ ลงใน (๒) จะได้ว่า

$$\therefore P = mg \frac{(\sin \theta \cos \phi + \sin \phi \cos \theta)}{\cos \beta \cos \phi + \sin \beta \sin \phi} \dots\dots\dots (๓)$$

$$P = mg \frac{\sin (\theta + \phi)}{\cos (\beta - \phi)}$$

ค่าแรง P จะน้อยที่สุดเมื่อ $\cos (\beta - \phi) =$

$$(\beta - \phi) = 0$$

$$\beta = \phi$$

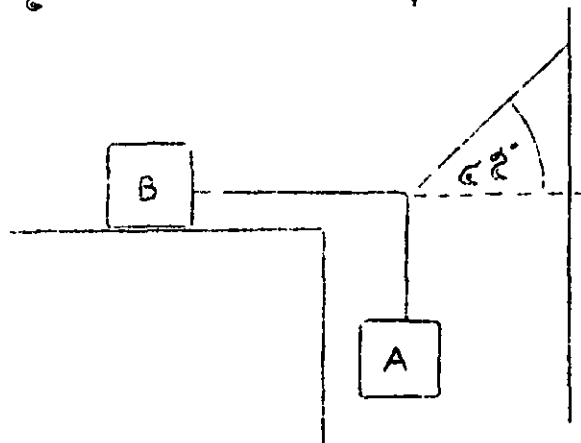
นั่นคือแรง P ที่น้อยที่สุด $= mg \sin (\theta + \phi)$ ตอบ

คำถามทบทวนเรื่องแรงเสียดทาน

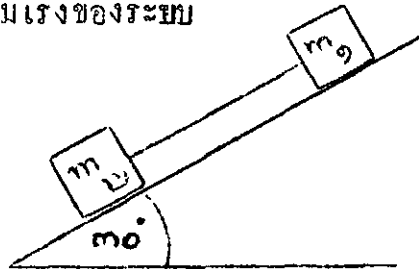
๑. แรงเสียดทาน มีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณพื้นที่ผิวสัมผัสหรือไม่
๒. ไม่ว่าพื้นที่ผิวสัมผัสกันนั้นจะเท่ากันหรือไม่ก็ตามแต่ แรงเสียดทานที่เกิดจากวัตถุที่มีน้ำหนักเท่า ๆ กันจะเท่ากัน หรือไม่
๓. แรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ถ้าน้ำหนักของวัตถุเพิ่มเป็น ๒ เท่าของน้ำหนักเดิม ใช่หรือไม่
๔. จงอธิบายว่า ระยะของแสงไฟส่องทางด้านหน้าของรถ จะกำหนดความปลอดภัยในการขับรถ ได้อย่างไร
๕. ถากรกยนต์ของทวนดินไถลข้ามเส้นกึ่งกลางถนน ซึ่งปกคลุมด้วยน้ำแข็ง และท่านต้องการเลี่ยงการชนกับรถที่สวนมาข้างหน้า ท่านจะบังคับล้อหน้า ให้มีทิศไปทางที่ใดหรือทิศตรงกันข้าม และในกรณีที่ไม่มีการบังคับคันอื่นอยู่ใกล้ แต่ต้องการบังคับรถให้อยู่ในสภาพปกติ ท่านจะบังคับรถอย่างไร
๖. ถ้าท่านต้องการหยุดรถที่กำลังวิ่งอยู่บนถนนที่ลื่นมาก ๆ ในระยะทางที่สั้นที่สุด ท่านจะเหยียบเบรครถแบบใด เช่น เหยียบเบรคเต็มที แต่เบรครถพอสมควร หรือเหยียบแล้วปล่อยสลับกันไป
๗. ทำไมถนนและทางรถไฟที่เป็นทางโค้งจึงสร้างให้มีความเอียงเข้าด้านในของความโค้งนั้นเสมอ
๘. ถ้าแรงเสียดทานไม่ขึ้นกับปริมาณพื้นที่ผิวสัมผัสแล้ว ทำไมเราจึงออกแบบให้แผ่นเบรคของรถมีพื้นที่กว้างและใหญ่
๙. ส.ป.ส. ความเสียดทานขึ้นอยู่กับค่าแรงกดพื้นในแนวตั้งฉากหรือไม่
๑๐. แรงเสียดทานเกี่ยวข้องกับอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุ ๒ ชนิด ที่มีผิวสัมผัสกันหรือไม่อย่างไร

แบบฝึกหัดทบทวนเรื่องแรงเสียดทาน

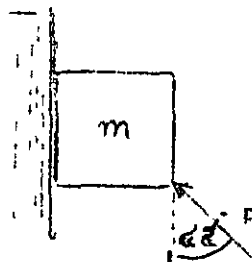
๑. กล่องไม้หนึ่งหนัก P กก. วางอยู่บนพื้นระตไผ่ ซึ่งมี ส.ป.ส. ความเสียดทานสถิตระหว่างพื้นกับกล่องเป็น $\frac{1}{2}$ ถารถไผ่กำลังวิ่งด้วยความเร็ว 60 กิโลเมตร/ชม. จงหาระยะทางที่สั้นที่สุดที่รถไผ่จะหยุดโดยที่กล่องไม่ลื่นไถล
๒. จงคำนวณหา ส.ป.ส. ความเสียดทานสถิตและจลน์ จากข้อมูลในการทดลองของนักเรียนคนหนึ่ง เมื่อเขาวางวัตถุลงบนแผ่นไม้แล้วค่อย ๆ ยกพื้นเอียงขึ้นอย่างช้า ๆ จนพื้นเอียงทำมุม 30° กับแนวระตไผ่วัตถุจึงเริ่มไถลลงมา และเคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่าหนึ่ง ใ้กระยะทาง 4 เมตร ตามแนวความยาวของพื้นเอียงใน 4 วินาที
๓. วัตถุมวล $\frac{1}{2}$ กิโลกรัม ลื่นไถลไปบนพื้นราบระตไผ่ใ้กระยะทาง 50 เมตร จึงจะหยุดโดยมีความเร็วต้นเป็น 20 เมตร/วินาที
 - ก) จงหาแรงเสียดทานระหว่างพื้นกับวัตถุ
 - ข) จงหา ส.ป.ส. ความเสียดทานจลน์
๔. แรงตามแนวระตไผ่ F มีค่า 90 นิวตัน กระทำต่อมวล m ที่หนัก 5 นิวตัน ซึ่งวางสัมผัสกับกำแพง ถ้า ส.ป.ส. ความเสียดทานสถิตระหว่างมวลกับกำแพงเป็น 0.60 วัตถุลื่นไถลลงมาไ้หรือไม่
๕. วัตถุ B ในรูปหนัก 950 นิวตัน ถ้า ส.ป.ส. ความเสียดทานสถิตระหว่างวัตถุกับพื้นเป็น $\frac{1}{2}$ จงหาน้ำหนัก A ที่มากที่สุดที่จะทำให้ระบบอยู่ในสมดุลได้



๖. มวล m_1 และ m_2 หนัก ๑ และ ๓ ก.ก. ตามลำดับ ถูกโยงกันด้วยเชือก มวลทั้งสองนี้อยู่บนพื้นเอียงที่เอียงทำมุม 30° กับแนวระดับ ส.ป.ส. ความเสียดทานระหว่าง m_1 กับพื้นเอียง $\mu = 0.2$ และระหว่าง m_2 กับพื้นเอียง $\mu = 0.1$ เมื่อ m_1 และ m_2 เคลื่อนที่ลงมาโดยเส้นเชือกตึงแล้ว จงหา
- แรงตึงในเส้นเชือก
 - ความเร่งของระบบ



๗. วิชาขนาดของแรง F ที่พอดีกันให้กล่องมวล m ที่อยู่สัมผัสกับกำแพง ถ้า ส.ป.ส. ความเสียดทานระหว่างกล่องกับกำแพงเป็น μ และ F ทำมุม 45° กับแนวตั้ง



๘. เราอาจหา ส.ป.ส. ความเสียดทานระหว่างวัตถุกับไม้กระดานพื้นเอียง โดยวางวัตถุไว้บนไม้กระดาน แล้วค่อย ๆ ยกพื้นเอียงขึ้นจนวัตถุเริ่มเคลื่อนที่ลง มุมที่พื้นเอียงทำกับแนวระดับ ขณะนั้นเรียกว่า มุมของแรงเสียดทาน จงแสดงว่า ส.ป.ส. ความเสียดทานจะมีค่าเท่ากับ $\tan$ ของมุมที่พื้นเอียงทำกับแนวระดับ
๙. วงแหวนมวล ๒ กิโลกรัม ลื่นไถลลงไปตามเส้นลวดที่เอียงทำมุม 30° กับแนวระดับ ด้วยความเร็ว 5 m/s จงหา ค่า ส.ป.ส. ความเสียดทานระหว่างวงแหวนกับลวด
๑๐. วัตถุมวล m ไถลจากผืนหนึ่งลงมาตามพื้นเอียงที่ยาว ๓ เมตร พื้นเอียงทำมุม 30° กับแนวระดับ ถ้า ส.ป.ส. ความเสียดทานระหว่างวัตถุกับพื้นเอียงเป็น 0.2 จงคำนวณหาเวลาที่วัตถุไถลถึงปลายพื้นเอียง

เรื่องการใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (ตอนที่ ๑)

วัตถุประสงค์ของบทเรียน

บทเรียนนี้กล่าวถึงการใช้ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ในการแก้ปัญหาโจทย์ง่าย ๆ ที่ไม่ซับซ้อนมากนัก

ความรู้พื้นฐาน นักเรียนทราบมาแล้วว่า จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ข้อที่สองเราได้สูตรการคำนวณว่า $F = ma$ และ $a = \frac{v - u}{t}$ หรือสามารถเขียนสูตรได้อีกอย่างหนึ่งว่า $F = m(\frac{v - u}{t})$ ในเมื่อ F คือ แรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุ

m คือ มวลของวัตถุ

a คือ ความเร่งของวัตถุ

u คือ ความเร็วเริ่มต้นของวัตถุ

v คือ ความเร็วสุดท้ายของวัตถุ

t คือ ระยะเวลาที่ แรง F กระทำกับวัตถุ

และนักเรียนควรได้เรียนเรื่องแรงเสียดทาน และ ส.ป.ส. ความเสียดทานมาแล้วด้วย

บทเรียน

เมื่อนักเรียนจะแก้ปัญหาโจทย์โดยใช้กฎนิวตัน นักเรียนควรจะเขียนแผนภาพแสดงแรงทุกแรงที่กระทำกับวัตถุชิ้นนั้น และนักเรียนต้องระลึกไว้เสมอว่า

๑. ความเร่งกับแรงลัพธ์ที่ทำต่อวัตถุชิ้นนั้นอยู่ในทิศทางเดียวกัน

๒. ถ้าวัตถุมีความเร่งเป็นศูนย์แสดงว่าวัตถุอยู่ในสภาพสมดุล

ตัวอย่างที่ ๑ ก. ถ้าปริมาณการ ชักของวัตถุแปรผันโดยตรงกับ เวลาที่ใช้ในการ เคลื่อนที่ของวัตถุที่เริ่มจากหยุดนิ่ง จงบรรยายการ เคลื่อนที่ของวัตถุ และแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุนั้น

ข. วัตถุมวล ๐.๔ กก. เริ่มเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ๐.๕ เมตร/วินาที ถูกเร่งจนมีความเร็ว ๑.๕ เมตร/วินาที ในเวลา ๕ วินาที จงหาแรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุ

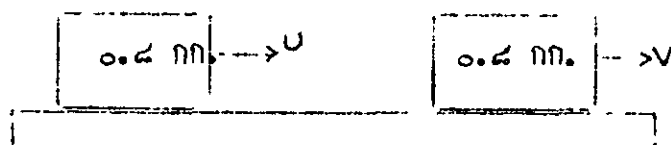
วิธีทำ ก. ถ้าปริมาณการ ชักของวัตถุแปรผันโดยตรงกับ เวลาที่ใช้ในการ เคลื่อนที่ของวัตถุ หรือ $s \propto t$ แล้ว

แสดงว่า $s = ut$ เมื่อ $u =$ ค่าคงที่

ดังนั้น $u = \frac{s}{t}$ หรือ $u = \frac{\text{ปริมาณงาน}}{\text{เวลา}}$

แสดงว่าความเร็วเฉลี่ยของวัตถุมีค่าคงที่ นั่นคือวัตถุเคลื่อนที่ไปด้วยอัตราเร็วคงที่ โดยอาศัยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่หนึ่งจะบอกได้ว่า แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์

ข. ในกรณีที่โจทย์บอกเวลา, ความเร็วต้นของวัตถุและความเร็วปลายของวัตถุมาให้ และต้องการทราบแรงลัพธ์ ดังนั้นเราสามารถหาแรงลัพธ์ F ได้



วิธีทำ โดยอาศัยกฎของนิวตันข้อที่สอง

$$F = ma = m\left(\frac{v - u}{t}\right)$$

เมื่อ $u = 0.25$ เมตร/วินาที

$v = 0.75$ เมตร/วินาที

$m = 0.4$ กก.

$t = 5$ วินาที

แทนค่า $F = 0.4 \left(\frac{0.75 - 0.25}{5} \right)$ นิวตัน

$$F = 0.06 \text{ นิวตัน}$$

แรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุ = ๐.๐๖ นิวตัน

ตอบ

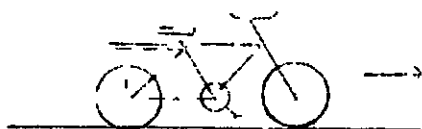
ปัญหา ลูกปืน มวล ๒๐ กรัม ความเร็ว ๒๐ เมตร/วินาที วิ่งเข้าฝังตัวในกระสอบทรายและหยุดนิ่งอยู่ภายในใช้เวลา ๐.๐๕ วินาที

ก. จงหาระยะลึกที่ลูกปืนเข้าไปในกระสอบทราย (๐.๕ เมตร)

ข. แรงต้านเฉลี่ยของทรายที่กระทำต่อลูกปืน (๔ นิวตัน)

ตัวอย่างที่ ๒ รถจักรยานมวล ๑๒ กก. ถูกเบรคให้ลดความเร็วจาก ๑๐ เมตร/วินาที ลงมาเป็น ๕ เมตร/วินาที ภายในเวลา ๒.๕ วินาที จงบอกทิศทางและหาขนาดของ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ

$$u = 10 \text{ เมตร/วินาที} \quad v = 5 \text{ เมตร/วินาที}$$



วิธีทำ จากสูตร $F = m\left(\frac{v-u}{t}\right)$

ในกรณีนี้ $u = 10$ เมตร/วินาที, $m = 12$ กก, $v = 5$ เมตร/วินาทีและเวลา $t = 2.5$ วินาที

$$\text{แทนค่า} \quad F = 12 \left(\frac{5 - 10}{2.5} \right) \text{ นิวตัน}$$

เพราะฉะนั้นแรงลัพธ์ $F = - ๒๔$ นิวตัน

แรงลัพธ์มีขนาด ๒๔ นิวตัน ทิศของแรงลัพธ์ตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของรถจักรยาน ตอบ

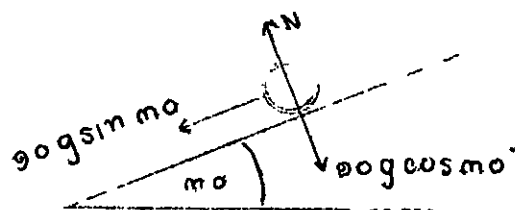
ปัญหา รถยนต์มวล ๑๐๐๐ กก. กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ๓๖ กม./ชม. ถูกเบรคจนหยุดนิ่งในระยะทาง ๒๐ เมตร จงหาความเร่งและแรงลัพธ์ที่กระทำกับรถยนต์

$$\begin{array}{l} a = - ๒.๕ \text{ เมตร/(วินาที)}^2 \\ F = ๒๕๐๐ \text{ นิวตัน} \end{array}$$

ปัญหา ในการทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุมวล m โดยใช้แรงลัพธ์ภายนอก ๐.๕ นิวตัน กระทำต่อวัตถุนั้น เครื่องเกาะสัญญาณจับเวลาบันทึกผลการทดลองได้ ๑๐ จุดใน ๑ วินาที โดยที่ระยะทางระหว่างจุดในทุก ๆ ช่วง $\frac{1}{10}$ วินาทีเป็น ๒.๕ , ๔ , ๕ , ๑๐ และ ๑๒ ซม.ตามลำดับ จงหาความเร่งและมวลของวัตถุนั้น

$$\begin{array}{l} a = ๑.๓๗๕ \text{ เมตร/(วินาที)}^2 \\ m = ๐.๓๖ \text{ กก.} \end{array}$$

ตัวอย่างที่ ๓ วัตถุมวล ๑๐ กก. ลื่นไถลลงตามพื้นเอียงเรียบ ซึ่งทำมุม 30° กับแนวนอน จงหาความเร่งของวัตถุและแรงปฏิกิริยาระหว่างวัตถุกับพื้นเอียง



วิธีทำ จากรูปจะเห็นว่าความเร่ง a ของวัตถุมีทิศทางลงขนานกับพื้นเอียง ดังนั้นแรงลัพธ์ที่ทำให้เกิดความเร่งจะมีทิศทางลงมาในแนวขนานกับพื้นเอียงด้วย

แรงลัพธ์ตามแนวพื้นเอียง

$$F = 10g \sin 30^\circ$$

โดยการใช้

$$F = ma$$

แทนค่า F และ m จะได้ว่า

$$10g \sin 30^\circ = 10a \quad ; \quad a = \frac{g}{2}$$

ความเร่งของวัตถุคือ $\frac{g}{2}$ เมตร/(วินาที)^๒ มีทิศทางลงขนานกับพื้นเอียง

ถ้าเราพิจารณาแรงที่กระทำค้ำฉากกับพื้น จะได้ว่า

$$N - 10g \cos 30^\circ = 0$$

$$N = 5\sqrt{3}$$

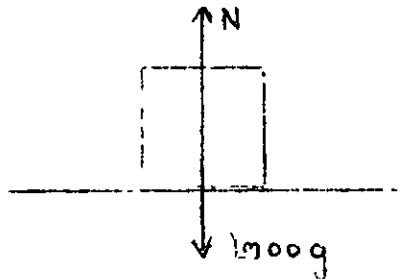
แรงปฏิกิริยาระหว่างวัตถุกับพื้นเอียงเป็น $5\sqrt{3}$ นิวตัน ตอบ

ปัญหา วัตถุมวล ๕๐ กรัมอยู่นิ่งบนพื้นเอียงเรียบซึ่งทำมุม 45° กับแนวนอน จงคำนวณหาความเร่งของวัตถุที่ตกลงมาตามพื้นเอียง และหาระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในเวลา ๐.๒ วินาที

$$a = ๖๔๓ \text{ ซม.}/(\text{วินาที})^๒$$

$$\text{ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้} = ๑๓.๔ \text{ ซม.}$$

ตัวอย่างที่ ๔ วัตถุมวล ๒๐๐ กก. อยู่บนพื้น ลิฟท์ที่กำลังเคลื่อนที่ขึ้นไปในแนวตั้ง ด้วยความเร็ว ๕ เมตร/(วินาที)^๒ จงหาแรงปฏิกิริยาระหว่างวัตถุกับพื้นลิฟท์



วิธีทำ แรงที่กระทำต่อมวล ๒๐๐ กก. ในแนวตั้งมีสองแรงคือแรงปฏิกิริยาและแรงเนื่องจากน้ำหนัก ๒๐๐ g . แรงลัพธ์ในแนวตั้งที่กระทำต่อวัตถุเป็น $N - ๒๐๐g$ โดยการใช

$$F = ma$$

$$N - ๒๐๐g = ๒๐๐ \times ๕$$

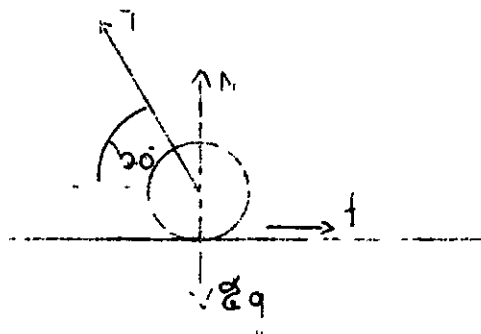
$$N = ๑๐๐๐ + ๒๐๐g$$

$$\text{แรงปฏิกิริยาระหว่างลิฟท์กับวัตถุ} = ๒๔๖๐ \text{ นิวตัน}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ ๕ วัตถุมวล ๕ กก. ถูกลากไปบนพื้นที่มีความเสียดทานโดยให้เชือกที่ดึงทำมุม ๖๐° กับแนวระดับ ถ้าความเร็วของวัตถุเป็น ๕ เมตร/(วินาที)^๒ จงหาแรงดึงในเส้นเชือก เมื่อ ส.ป.ส. ความเสียดทานระหว่างวัตถุกับพื้นมีค่า $\frac{๒}{๓}$

วิธีทำ



ในเมื่อไม่มีองค์ประกอบของความเร่งในแนวตั้ง จึงไม่มีแรงลัพธ์ในแนวตั้ง
พิจารณาแรงในแนวตั้งฉากกับพื้น

$$N + T \sin 60^\circ - ๕g = 0 \dots\dots\dots (๑)$$

$$\text{แรงเสียดทาน} \quad f = \frac{๒}{๓} N \dots\dots\dots (๒)$$

พิจารณาแรงในแนวระดับ

$$T \cos 60^\circ - f = \frac{5g}{3} \dots\dots\dots (๓)$$

แทนค่า f และ N จาก (๑) , (๒)

$$T \cos 60^\circ - \frac{2}{3}(5g - T \sin 60^\circ) = \frac{5g}{3}$$

แรงตึงในเส้นเชือก

$$T = 10g\sqrt{3} (๒ - \sqrt{3}) \text{ นิวตัน } \underline{\text{ตอบ}}$$

ปัญหา รถยนต์มวล ๑๐๐๐ กก. กำลังวิ่งด้วยอัตราเร็ว ๔๐ เมตร/วินาที ถูกเบรกให้หยุดในระยะทาง ๔๐ เมตร ถ้ากำหนดให้แรงเสียดทานในการเคลื่อนที่มีค่าคงที่ ๑๐๐ N ถ้าแรงต้านจากการเบรรมีค่าคงที่ จงหาขนาดของแรงเบรกที่ทำให้รถหยุด (๔๔๐๐ นิวตัน)

ปัญหา จรวดเคลื่อนที่ขึ้นจากผิวโลกในแนวตั้งด้วยแรงขับเคลื่อนที่คงที่ มีสิ่ง ๓ สิ่งที่มีผลต่อความเร่งของจรวด นักเรียนจงบอกถึงสิ่งเหล่านั้น พร้อมทั้งให้เหตุผลว่า สิ่งเหล่านี้ทำให้ความเร่งของจรวดเปลี่ยนแปลงอย่างไร

๑. เชื้อเพลิงในจรวดถูกเผาไหม้และมวลของมันลดน้อยลง จึงช่วยให้ความเร่งของจรวดเพิ่มมากขึ้น

๒. น้ำหนักของจรวดจะลดน้อยลง เมื่อขึ้นสูงไปจากผิวโลก ช่วยทำให้ความเร่งของจรวดเพิ่มมากขึ้น

๓. บรรยากาศที่สูงขึ้นไปจากผิวโลกมาก ๆ นั้นจะเบาบางลงตามลำดับ แรงต้านจากอากาศมีน้อยลง ความเร่งของจรวดจึงเพิ่มมากขึ้น

ปัญหา ถ้าก้อนยิงจรวดมีมวลอันหนึ่งแฉวนที่ปลายสปริงซึ่งอยู่ในจรวด สปริงถูกทำให้ยืดออก ๐.๑๐ เมตร เมื่อจรวดพุ่งขึ้นในแนวตั้ง สปริงถูกทำให้ยืดออก ๐.๓๐ เมตร จงหาความเร่งของจรวด และแรงดันของจรวดนี้ ถ้ากำหนดให้มวลของจรวดเป็น 10^6 กก. และค่าความเร่ง $g = 10$ เมตร/วินาที^๒

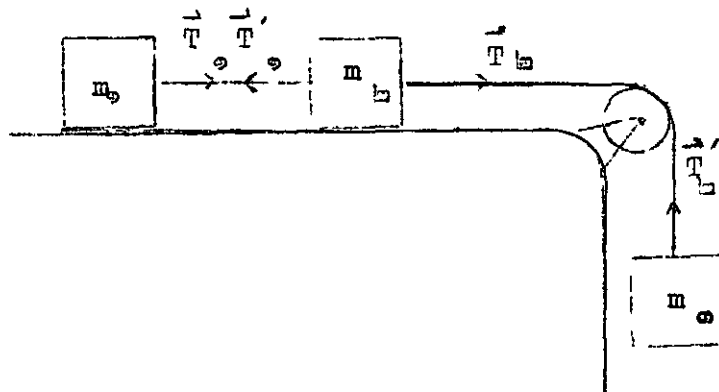
$$\text{ความเร่งของจรวด} = 30 \text{ เมตร/วินาที}^2$$

$$\text{แรงดันของจรวดมีค่า} = 4 \times 10^6 \text{ นิวตัน}$$

ปัญหา วัตถุมวล ๑๐ กก. ถูกแรงดึงไปตามแนวระดับด้วยแรง ๓ นิวตัน วัตถุเคลื่อนที่ไปตามพื้นผิวระดับที่ไม่มีแรงเสียดทาน จงหาความเร่งของวัตถุ และระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในเวลา ๒ วินาที

$$(a = 0.3 \text{ เมตร/วินาที}^2, 0.6 \text{ เมตร})$$

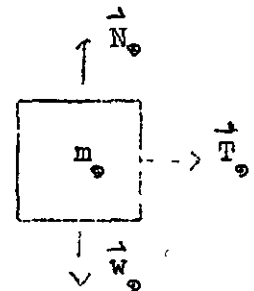
ตัวอย่างที่ ๒ มวล m_1 , m_2 , และ m_3 ถูกโยงติดกันด้วยเชือกเบาและไม่ยืด โดย มวล m_1 และ m_2 วางอยู่บนโต๊ะราบและไม่มีแรงเสียดทาน เชือกคล้องผ่านรอกเบาที่ไม่มีความฝืด ปลายอีกข้างหนึ่งถูกยึดกับมวล m_3 ซึ่งห้อยอยู่ จงหาความเร่งของระบบและหาแรงตึงในเส้นเชือกระหว่างมวล m_1 และ m_2 และแรงตึงในเส้นเชือกระหว่างมวล m_2 และ m_3



วิธีทำ เนื่องจากเชือกที่ใช้ผูกมวลทั้งสาม เบา และไม่ยืด มวลทั้งสามเคลื่อนที่ไปด้วยกัน ด้วยความเร็วและความเร่งเดียวกัน เรากำหนดให้ความเร่งของมวลทั้งสามเป็น พิจารณาแรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อมวลแต่ละอันจะพบว่า

สำหรับมวล m_1 มีแรงกระทำ ๓ แรง คือ

๑. แรงตึงของเชือก $\vec{T}_1$
๒. แรงที่พื้นกระทำกับ m_1 ขึ้นข้างบน $\vec{N}_1$
๓. แรงดึงดูดของโลก $\vec{W}_1$



สมการการเคลื่อนที่ของ m_1 คือ $\vec{N}_1 + \vec{T}_1 + \vec{W}_1 = m_1 \vec{a}$

แต่ $\vec{N}_1 = -\vec{W}_1$

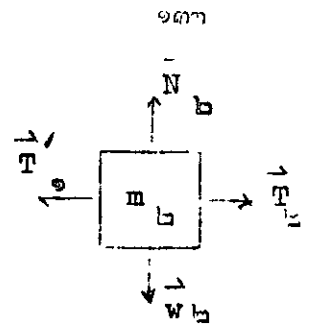
$\vec{T}_1 = m_1 \vec{a} \dots \dots (๑)$

สำหรับมวล m_2 มีแรงกระทำ ๔ แรง คือ

๑. แรงจากเชือก ๒ เส้น คือ T_1' และ T_2'

๒. แรงที่พื้นกระทำกับ m_2 แตะขึ้นข้างบน N_2

๓. แรงดึงดูดของโลก W_2



สมการการเคลื่อนที่ของมวล m_2 คือ

$$\begin{aligned} \vec{T}_1' + \vec{N}_2 + \vec{W}_2 + \vec{T}_2' &= m_2 \vec{a} \\ \vec{T}_2' - \vec{T}_1' &= m_2 \vec{a} \dots\dots\dots (๒) \end{aligned}$$

มวล m_1 มีแรงกระทำ ๒ แรง คือ

๑. แรงดึงในเส้นเชือกที่ติดขึ้น T_2'

๒. แรงดึงดูดของโลก W_1



สมการการเคลื่อนที่ของ m_1 คือ

$$\begin{aligned} \vec{T}_2' + \vec{W}_1 &= m_1 \vec{a} \\ \text{แต่ } \vec{T}_2' &= -\vec{T}_2 \\ \vec{W}_1 - \vec{T}_2 &= m_1 \vec{a} \dots\dots\dots (๓) \end{aligned}$$

จาก (๑) และ (๒) ได้ $T_2 = (m_1 + m_2) a \dots\dots\dots (๔)$

จาก (๒) และ (๔) ได้

$$\frac{T_2 - T_1}{T_2} = \frac{m_2}{(m_1 + m_2)} \dots\dots\dots (๕)$$

และ จาก (๓) จะได้

$$m_1 g - T_2 = m_1 a \dots\dots\dots (๖)$$

$$T_2 = m_1 g - m_1 a \dots\dots\dots (๗)$$

จาก (๔) และ (๖) เราหา ความเร่ง a ได้

$$m_d g - (m_1 + m_2) a = m_d a$$

$$a = \frac{m_d g}{(m_1 + m_2 + m_d)}$$

หาแรงตึง T_1 ได้โดยแทนค่า a ลงใน (๑)

$$T_1 = \frac{m_1 m_d g}{(m_1 + m_2 + m_d)}$$

หาแรงตึง T_2 ได้โดยแทนค่า T_1 ลงใน (๒)

$$T_2 = \frac{(m_1 m_d + m_2 m_d) g}{(m_1 + m_2 + m_d)}$$

วิธีหาค่าความเร่งอีกวิธีหนึ่ง โดยให้ มวลทั้งหมดของระบบเป็น

ซึ่ง $M = m_1 + m_2 + m_d$ และแรงซึ่งทำให้ระบบเกิด

ความเร่ง คือ $m_d g$ เท่านั้น

อาศัยสูตร $F = ma$

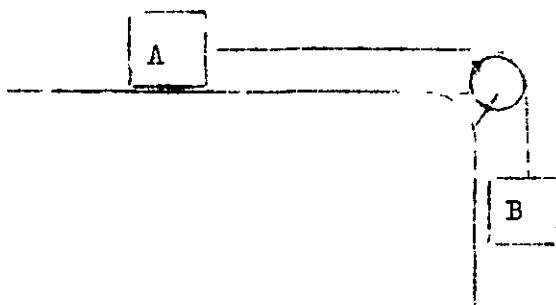
$$m_d g = (m_1 + m_2 + m_d) a$$

ความเร่งของระบบ คือ $a = \frac{m_d g}{(m_1 + m_2 + m_d)}$

แรงตึงเชือกระหว่าง m_1 และ m_2 คือ $T_1 = \frac{m_1 m_d g}{(m_1 + m_2 + m_d)}$

แรงตึงเชือกระหว่าง m_2 และ m_d คือ $T_2 = \frac{(m_1 m_d + m_2 m_d) g}{(m_1 + m_2 + m_d)}$ ตอบ

ปัญหา จงหาความเร่งของกล่อง A และ B ตามรูป



เมื่อกำหนดให้ ก. แรงเสียดทานระหว่างพื้นโต๊ะกับกล่อง A มีค่าเป็นศูนย์

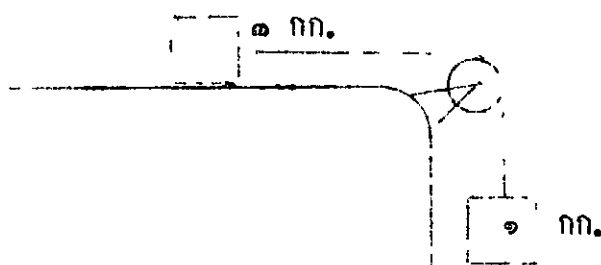
$$(a = 2 \frac{6}{11} \text{ เมตร/วินาที}^2)$$

ข. ถ้า ส.ป.ส. ความเสียดทานระหว่าง A กับโต๊ะมีค่า ๐.๒๐ และ

$$g = 10 \text{ m/s}^2 \text{ โดยถือว่ารอกเบาไม่มีความผิด}$$

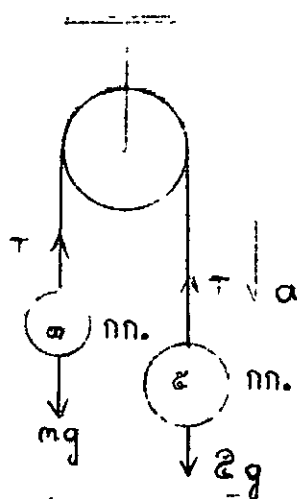
$$(a = 1 \frac{5}{11} \text{ เมตร/วินาที}^2)$$

ปัญหา มวล ๓ กก. วางอยู่บนพื้นราบที่ไม่มีแรงเสียดทานถูกผูกติดกับมวล ๑ กก. ด้วยเชือกแขวนผ่านรอกที่ไม่มีความผิด จงหาแรงตึงในเส้นเชือก และความเร่งของระบบนี้



$$(T = ๙.๕ \text{ นิวตัน}, a = ๒.๒๕ \text{ เมตร/(วินาที)}^2)$$

ตัวอย่างที่ ๙ มวล ๕ กก. และ ๓ กก. ถูกติดด้วยเชือกที่ไม่ยืด ซึ่งวางพาดผ่านรอกเบาที่ไม่มีความผิด จงหาความเร่งของวัตถุทั้งสอง และแรงตึงของเชือก เมื่อระบบเคลื่อนที่อย่างอิสระ



วิธีทำ มวล ๓ กก. มีแรงลัพธ์กระทำ $T - ๓g$ ทิศทางขึ้น

โดยการใช้

$$F = ma$$

จะได้

$$T - ๓g = ๓a \dots\dots\dots (๑)$$

มวล ๕ กก. มีแรงลัพธ์กระทำ $5g - T$ ทิศทางลง

ดังนั้น $5g - T = 5a$ (๒)

แก้สมการโดย (๑) + (๒) จะได้

$$2g = 4a$$

แทน a จาก (๑) ได้ $T = 5g/2$

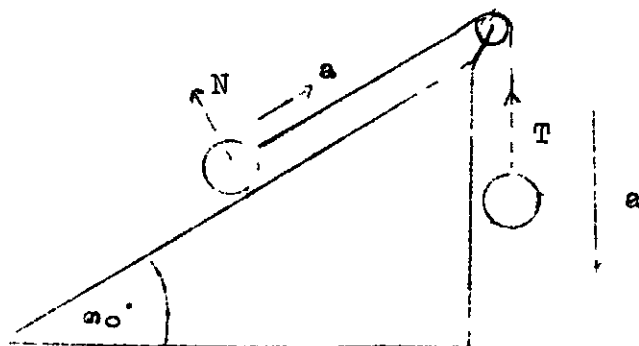
ความเร่ง a ของระบบ $= \frac{g}{2}$ เมตร
(วินาที)^๒

แรงตึงของเชือก $T = ๓ \frac{๓}{๔} g$ นิวตัน ตอบ

ปัญหา มวล ๒ ก้อนผูกติดกันด้วยเชือกซึ่งวางพาดบนรอกที่ไม่มีความฝืด ถ้ามวล m_1 มีค่ามากกว่ามวล m_2 จงหาแรงตึงในเส้นเชือกและความเร่งของระบบ

$$\begin{aligned} T &= \frac{2m_1 m_2 g}{m_1 + m_2} \\ a &= \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right) g \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ ๔ มวล ๒ กก. วางอยู่บนพื้นเอียงที่มีความฝืด พื้นเอียงทำมุม 30° กับแนวระดับ ใช้เชือกเบาและไม่ฝืดผูกติดกับมวล ๒ กก. และพาดผ่านรอกเบาและไม่มีความฝืด ปลายอีกข้างหนึ่งของเชือกผูกติดกับมวล ๓ กก. ซึ่งห้อยอยู่ ถ้า ส.ป.ส. ความเสียดทานระหว่างมวล ๒ กก. กับพื้นเอียงมีค่า $\frac{2}{3}$ จงหาความเร่งของระบบและหาความตึงในเส้นเชือก และจงหาแรงที่กระทำต่อรอก



วิธีทำ องค์ประกอบของความเร่งของมวล ๒ กก. ในแนวตั้งฉากกับพื้นเอียงเป็นศูนย์
ฉะนั้น

$$N - 2g \cos 30^\circ = 0$$

$$N = \sqrt{3}g$$

พิจารณาแรงในแนวนานกับพื้นเอียง

$$T - \frac{2}{3}N - 2g \sin 30^\circ = 2a$$

$$T - \frac{g}{3}(\sqrt{3} + 3) = 2a \dots\dots\dots (๑)$$

สมการเคลื่อนที่ของมวล ๓ กก. คือ

$$3g - T = 3a \dots\dots\dots (๒)$$

จาก (๑) + (๒) จะได้

$$3g - \frac{g}{3}(\sqrt{3} + 3) = 5a$$

ความเร่งของระบบ

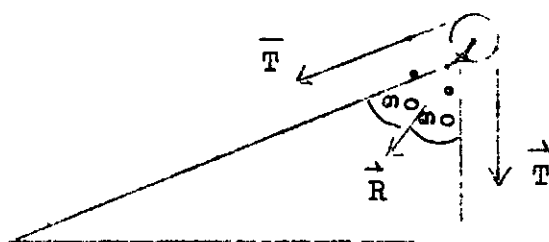
$$a = \frac{(6 - \sqrt{3})g}{5}$$

แรงตึงในเส้นเชือก

$$T = \frac{(8 + \sqrt{3})g}{5}$$

ตอบ

องค์ประกอบของแรงกระทำบนรอกเป็น $\vec{T}$ กระทำตอรรอกมีทิศไปตามแนวนาน
กับพื้นเอียงและแรง $\vec{T}$ กระทำตอรรอกลงในแนวดิ่ง



แรง $\vec{T}$ ทั้งสองมีขนาดเท่ากัน ดังนั้นแรงลัพธ์ $\vec{T}$ จะอยู่ระหว่างแรงทั้งสองและ
ทำมุม 30° กับแนวดิ่ง

$$R = 2T \cos 30^\circ$$

แรงกระทำบนรอก

$$R = \frac{3(3\sqrt{3} + 9)}{5}$$

นิวตัน

ตอบ

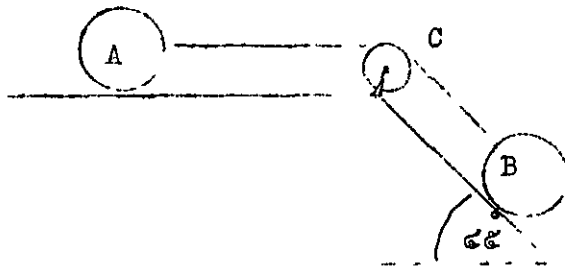
ปัญหา มวล $m_1 = 3$ กก. วางอยู่บนพื้นเอียงที่เรียบไม่มีแรงเสียดทานและพื้นเอียงทำมุม 30° กับแนวระดับ มวล m_2 มีเชือกผูกวางผ่านรอกเบาที่ไม่มีความฝืด และปลายเชือกอีกข้างหนึ่งผูกติดกับมวล $m_2 = 2$ กก. ห้อยอยู่ในแนวดิ่ง จงหาความเร่งของระบบและขนาดของแรงตึงในเส้นเชือก

$$(a = 0.86 \text{ เมตร/วินาที}^2, T = 29.82 \text{ นิวตัน})$$

ปัญหา รูปข้างล่างแสดงให้เห็นวัตถุ A และ B ซึ่งมีมวล ๑๐ กก. และ ๔ กก. ตามลำดับ ผูกติดกันโดยมีเชือกที่ไม่ยืด มวล A อยู่บนพื้นราบ และมวล B อยู่บนพื้นเอียง จงหาความเร่งของระบบและแรงตึงในเส้นเชือก ถ้า

ก. พื้นเรียบ ไม่มีแรงเสียดทาน

ข. พื้นมีความฝืด โดยมี ส.ป.ส. ความเสียดทานระหว่างพื้นกับวัตถุเป็น $\frac{1}{3}$



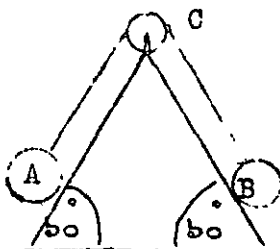
$$\text{ก. } a = \frac{4g}{5\sqrt{2}} \quad \text{เมตร/วินาที}^2$$

$$T = \frac{40g}{5/\sqrt{2}} \quad \text{นิวตัน}$$

$$\text{ข. } a = \frac{g}{3\sqrt{2}} \quad \text{เมตร/วินาที}^2$$

$$T = \frac{g}{3\sqrt{2}} (4 + 3\sqrt{2})g \quad \text{นิวตัน}$$

ปัญหา วัตถุ A และ B มีมวล ๑๐ กก. และ ๔ กก. ตามลำดับผูกโยงไว้ด้วยเชือกเบาและไม่ยืด เชือกวางผ่านรอกที่ไม่มีความฝืด C ตามรูป จงหาความเร่งของระบบและ



แรงตึงในเส้นเชือก เมื่อ

ก. พื้นเรียบ ไม่มีความเสียดทาน

ข. พื้นเอียง มี ส.ป.ส. ความเสียดทานระหว่างพื้นกับวัตถุ เป็น $\frac{1}{3}$

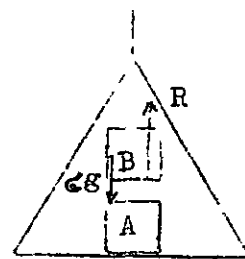
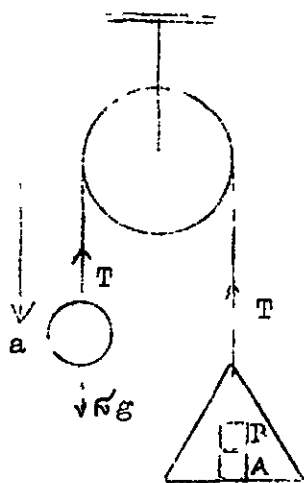
$$ก. \quad a = \frac{g}{2\sqrt{3}} \quad \text{เมตร / (วินาที)}^2$$

$$T = \frac{90g}{\sqrt{3}} \quad \text{นิวตัน}$$

$$ข. \quad \delta = \frac{g}{90} \left(\frac{90\sqrt{3}}{4} - 2 \right) \quad \frac{\text{เมตร}}{(\text{วินาที})^2}$$

$$T = \frac{90g}{\sqrt{3}} \quad \text{นิวตัน}$$

ตัวอย่างที่ ๕ มวล ๔ กก. คอยเชือกห้อยผ่านรอก ปลายอีกข้างหนึ่งของเชือกผูกติดกับ
ตะกร้า ภายในตะกร้ามีมวล ๓ กก. และ ๔ กก. วางซ้อนกัน ถ้าตะกร้าเบา รอก
ไม่มีความฝืด เชือกเบาและไม่ยืด จงหาความเร่งของระบบและแรงปฏิกิริยาระหว่างมวล ๓
และ ๔ กก.



พิจารณาที่ตะกร้า

$$T - 4g = 4a \quad \dots\dots\dots (๑)$$

พิจารณาที่มวล ๔ กก.

$$4g - T = 4a \quad \dots\dots\dots (๒)$$

ความเร่ง $a = \frac{g}{90} \text{ m/s}^2$

พิจารณาแรงที่กระทำต่อ B ซึ่งมีมวล ๔ กก. B มีความเร่งขึ้น $\frac{g}{90} \text{ m/s}^2$

$$R - 4g = \frac{4g}{90}$$

แรงปฏิกิริยาระหว่าง A และ B คือ $R = \frac{64}{9}$ นิวตัน

ปัญหา มวล ๕ กก. และ ๔ กก. ถูกติดด้วยเชือกเบาและไม่ยืด ซึ่งคล้องอยู่กับรอก เมื่อเริ่มต้น มวลทั้งสองอยู่นิ่งที่ตำแหน่งสูงจากพื้น ๓ เมตร เมื่อปล่อยให้มวล ๔ กก. เคลื่อนไถลลงกระทบพื้นแต่ไม่สะท้อนขึ้น จงหาระยะสูงสุดที่มวล ๕ กก. จะขึ้นไปได้จากพื้น กำหนดให้เชือกที่ไต่ยาวมากกว่า ๓ เมตร (ระยะสูงสุดคือ $6\frac{2}{3}$ เมตร)

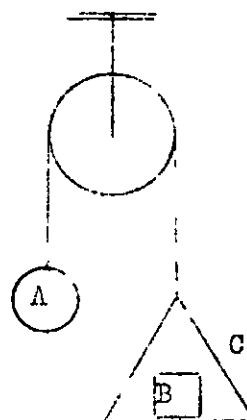
ปัญหา มวล ๕ กก. ถูกถ่วงเชือกเบาและไม่ยืดคล้องผ่านรอกเบาและไม่มีถ่วงผิดปลายเชือกอีกข้างหนึ่งผูกติดกับตะกร้า C ซึ่งมีวัตถุมวล ๔ กก.

จงหาแรงตึงของเส้นเชือกและแรงปฏิกิริยาระหว่างตะกร้า C กับวัตถุ B

แรงตึงของเส้นเชือก $T = \frac{40}{3}$ นิวตัน

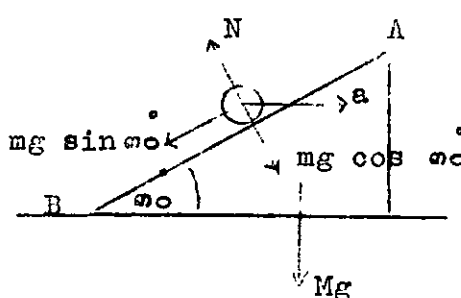
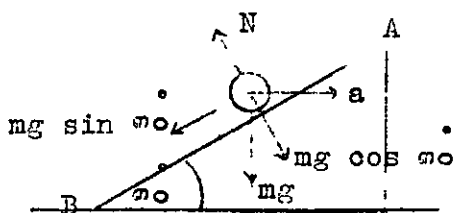
แรงปฏิกิริยาระหว่าง B กับตะกร้า C คือ

$$R = \frac{92}{3} \text{ นิวตัน}$$



ปัญหา มวล ๕ กก. และ ๘ กก. ถูกติดกันด้วยเชือกเบาและไม่ยืด เชือกคล้องผ่านรอก ไม่มีถ่วงผิด เมื่อเริ่มต้นวัตถุหุ่กหนึ่ง ทั้งสองก้อนอยู่สูงจากพื้น ๐.๕ เมตร จงหา ระยะสูงสุดของมวล ๕ กก. ที่ขึ้นไปสูงจากพื้น เมื่อมวล ๘ กก. กระทบพื้นแล้วไม่สะท้อนขึ้น (ระยะสูง $1\frac{1}{5}$ เมตร)

ตัวอย่างที่ ๑๐ มวล m วางอยู่บนพื้นผิวเอียงเรียบของลิ้ม ซึ่งลิ้มนั้นอยู่บนพื้นราบ และเรียบเช่นกัน ถ้ามวลของลิ้มเป็น M และพื้นผิวเอียงของลิ้มทำมุม 30° กับแนวระดับ จงหาความเร่งของลิ้มในเทอมของมวล m และ M



วิธีทำ เมื่อมวล m เคลื่อนที่ลงมาตามพื้นเอียง มวล M จะเคลื่อนที่ไปทางขวา กำหนดให้ลิ้มเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง a

โดยการใช้อนุพัทธ์ $F = ma$

สำหรับอนุภาคมวล m เราพิจารณาการเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับ AB

$$mg \cos 30^\circ - \quad = ma \sin 30^\circ \quad \dots \dots \dots (๑)$$

สำหรับลิ้มมวล M ที่เคลื่อนที่ไปในแนวระดับ

$$N \sin 30^\circ = Ma \quad \dots \dots \dots (๒)$$

แทนค่า N จาก (๑) และ (๒) จะได้ว่า

$$\frac{๑}{๒} \left(\frac{mg\sqrt{๓}}{๒} - \frac{ma}{๒} \right) = Ma$$

$$a = \frac{mg\sqrt{๓}}{(m + ๔M)}$$

ความเร่งของลิ้มแนวระดับ $a = \frac{mg\sqrt{๓}}{(m + ๔M)}$ ตอบ

ปัญหา อนุภาค A และ B มีมวล ๓ กก. และ ๒ กก. ตามลำดับ อนุภาคทั้งสองถูกติดกันไว้ด้วยเชือกเบาไม่ยืดคล้องผ่านรอกเบาไม่มีความฝืด อนุภาคทั้งสองวางอยู่บนผิวเอียงเรียบของลิ้มสองคานคือ CD และ CE ตามลำดับ ลิ้มมีมวล ๑๐ กก. วางอยู่บนผิวเรียบระดับเมื่อปล่อยให้ระบบเคลื่อนที่อย่างอิสระ จงหาความเร่งของลิ้มและความเร่งของอนุภาค B

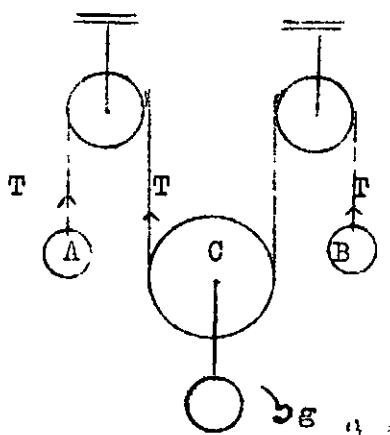
($a_{\text{ลิ้ม}} = ๘/๒๕ \text{ m/s}^2$; $a_B = ๘\sqrt{๑๓}/๒๕ \text{ m/s}^2$)

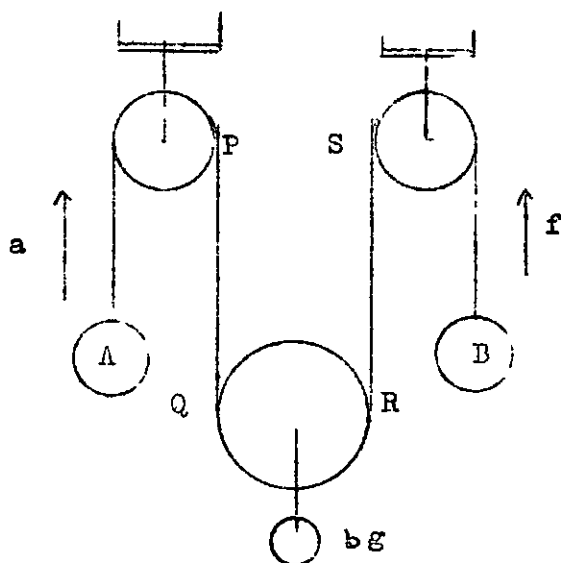
ตัวอย่างที่ ๑๑ อนุภาค A และ B มีมวล ๓ กก. และ ๕ กก. ตามลำดับ ถูกด้วยเชือกเบาไม่ยืด คล้องผ่านรอกเบาไม่มีความฝืด รอกยึดติดอยู่กับที่ เชือกผ่านไทรอก C ซึ่งเบาและหมุนไถ่กลิ้งที่ C มีมวล ๒ กก. แขนของระบบถูกปล่อยจากหยุดนิ่ง จงหา

ก) ความเร่งของอนุภาค A

ข) ความเร่งของรอก C

ค) แรงตึงในเชือก T





วิธีทำ

สมมติให้อนุภาค A เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง a

อนุภาค B เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง f

ส่วนของเชือก PQ เคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง a

ส่วนของเชือก RS เคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง f

รอก C เคลื่อนที่ลงด้วยความเร่งเฉลี่ย $\frac{a+f}{2}$

อาทิยสูตร $F = ma$

สำหรับอนุภาค A จะได้สมการการเคลื่อนที่ว่า

$$T - 3g = 3a \quad \dots\dots\dots (๑)$$

สำหรับอนุภาค B ได้สมการการเคลื่อนที่ว่า

$$T - 5g = 5f \quad \dots\dots\dots (๒)$$

สำหรับอนุภาค C ได้สมการการเคลื่อนที่ว่า

$$bg - 2T = 3(a+f) \quad \dots\dots\dots (๓)$$

(๑) $\times ๕$ + (๒) $\times ๓$ จะได้

$$๘T - ๓๐g = ๑๕(a+f) \quad \dots\dots\dots (๔)$$

จาก (๓) , (๔)

$$-bg = ๒๗(a+f) \quad \dots\dots\dots (๕)$$

$$\text{ความเร่งของรอก คือ } \frac{g}{๔} = \frac{๑}{๒}(a+f) \quad \dots\dots\dots (๖)$$

ดังนั้นความเร่งของรอก C เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง $\frac{g}{3}$ เพราะเราได้เครื่องหมายลบ แสดงว่ารอก C ต้องเคลื่อนที่ขึ้น

จาก (๕) และ (๓) จะได้

$$6g - 2T = -\frac{2}{3}g$$

แรงตึงในเส้นเชือก $T = \frac{10}{3}g$ นิวตัน (๖)

จาก (๖) และ (๑) จะได้

$$\frac{10}{3}g - 3g = 3a$$

ความเร่งของอนุภาค A คือ $a = \frac{g}{3}$

นั่นคือ มวล A เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง $\frac{g}{3}$ เมตร/วินาที^๒

ความเร่งของรอก C หักขึ้นในแนวตั้ง $\frac{g}{3}$ เมตร/วินาที^๒ ตอบ

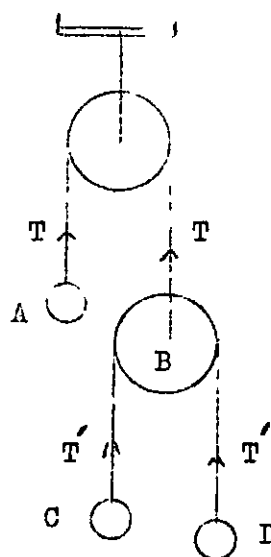
แรงตึงในเส้นเชือก T มีขนาด $\frac{10}{3}g$ นิวตัน

ปัญหา มวล ๖ กก. ถูกติดด้วยเชือกเบาไม่ยืด คล้องผ่านรอกหมุนได้คล่อง และปลายเชือกอีกข้างหนึ่งถูกติดกับรอก B อนุภาค C และ D มีมวล ๒ กก. และ ๑ กก. กำลังอยู่กับรอก B เมื่อระบบเคลื่อนที่อย่างอิสระ จงหาความเร่งของมวล ๑ กก. และแรงตึงในเส้นเชือก T และ T'

$$a = \frac{10g}{33} \text{ เมตร/วินาที}^2$$

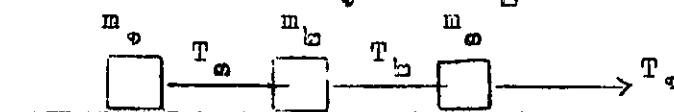
$$T = \frac{44g}{33} \text{ นิวตัน}$$

$$T' = \frac{20g}{33} \text{ นิวตัน}$$



แบบฝึกหัดทบทวนการใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
(ตอนที่ ๑)

๑. จะต้องใช้แรงเท่าใดจึงจะทำให้วัตถุมวล ๑๐๐ กก. มีความเร่งเป็น ๑๐ เมตร/วินาที^๒ และถ้าใช้แรง ๕๐ นิวตันมากระทำต่อวัตถุนี้ วัตถุจะมีความเร่งเท่าไร
๒. แรง ๆ หนึ่ง ทำให้มวล ๖๔ กก. มีความเร่งเป็น a_1 เมตร/วินาที^๒ และแรงเดียวกันนี้ทำให้มวล ๔๐๔ กก. มีความเร่งเป็น a_2 เมตร/วินาที^๒ จงหาอัตราส่วน a_1 ต่อ a_2
๓. แรง ๘ นิวตัน ทำให้มวล ๑๖ กก. เริ่มเคลื่อนที่ไปทางพื้นราบไถ่ระยะทาง ๓ เมตรในเวลา ๖ วินาที จงหาว่า
 - ก. ความเร่งของวัตถุเป็นเท่าใด
 - ข. อัตราส่วนของแรงคานของวัตถุเป็นเท่าใด
 - ค. อธิบายความแตกต่างระหว่างคำตอบข้อ ก. และ ข.
๔. จงคำนวณหาขนาดของแรงฉิ่ง ทำให้มวล ๑๐๐๐ กก. ที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว ๖๐ กม./ชม. หยุดนิ่งในเวลา ๘ วินาที
๕. ก้อน ๓ ใบผูกเชื่อมกันด้วยเชือก วางอยู่บนพื้นระดับที่ไม่มีความเสียดทาน ถูกดึงไปด้วยแรง $T_3 = ๖๐$ นิวตัน ถ้า $m_1 = ๑๐$ กก., $m_2 = ๒๐$ กก. และ $m_3 = ๓๐$ กก. จงหาแรงดึง T_1 และ T_2



๖. จะนำวัตถุหนัก ๑๐๐ นิวตันลงจากที่สูง โดยใช้เชือกซึ่งทนแรงดึงได้สูงสุดเพียง ๔๐ นิวตันได้อย่างไร
๗. ลิฟต์อันหนึ่งมีมวล ๖๐๐๐ กก. ถูกดึงขึ้นโดยสายเคเบิลด้วยความเร่ง ๔ เมตร/วินาที^๒
 - ก. จงหาแรงดึงในสายเคเบิล
 - ข. จงหาแรงดึงในสายเคเบิล ถ้าลิฟต์เคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง ๔ เมตร/วินาที^๒

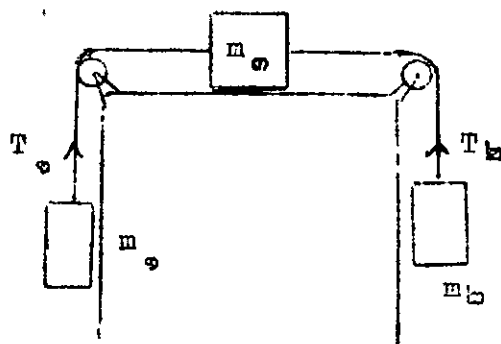
๔. จากรูป

ก. จงคำนวณหาความเร่งของระบบเมื่อ

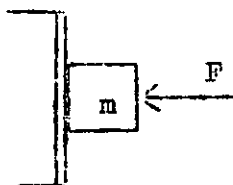
$m_1 > m_2$ และ m_3 วางอยู่บนพื้นที่ไม่มีความเสียดทาน

ข. จงคำนวณหาแรงตึง T_1 และ T_2 ในเชือก

ค. ถ้า ส.ป.ส. ความเสียดทานระหว่างมวล m_3 กับพื้นเป็น μ จงคำนวณหาความเร่งและแรงตึง T_1 และ T_2 ของระบบ



๕. จากรูป จงคำนวณหาค่าแรง F ที่น้อยที่สุด ซึ่งจะป้องกันไม่ให้มวล m ตกลงมาได้ กำหนดให้ ส.ป.ส. ความเสียดทานระหว่างผาผนังกับมวลเป็น μ



๑๐. มวล ๔๐ กก. วางอยู่บนพื้นเอียงที่ทำมุม 30° กับแนวระดับ พื้นเอียงมีค่า ส.ป.ส. ความเสียดทานเป็น ๐.๓๐ จงคำนวณหาแรงที่จะทำให้มวลนี้เคลื่อนที่ขึ้นไปตามพื้นเอียง ด้วยความเร็ว ๓ เมตร/วินาที ๒

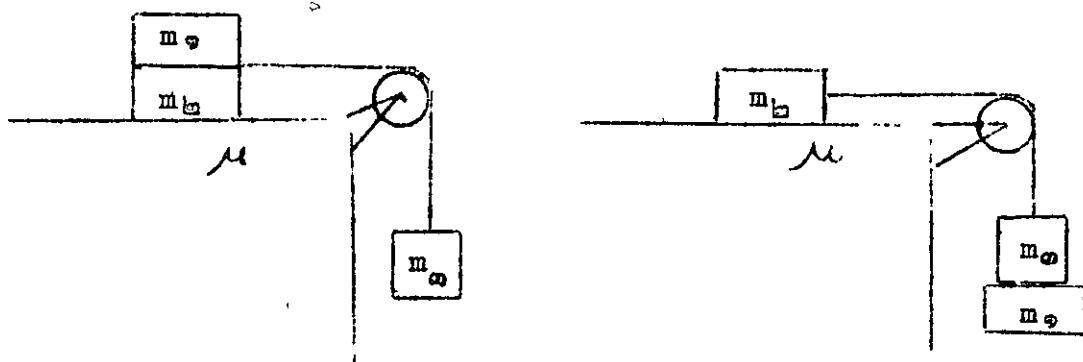
๑๑. ชายคนหนึ่งมวล ๗๐ กก. ยืนอยู่บนเก้าอี้สปริงซึ่งวางอยู่ในลิฟต์ จงหาน้ำหนักปรากฏของชายคนนี้ ในกรณีต่อไปนี้

ก. เมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง ๕ เมตร/วินาที ๒

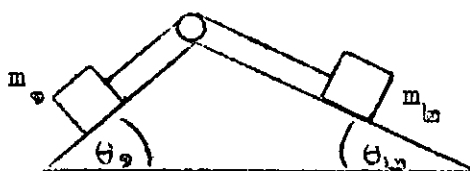
ข. เมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็วสม่ำเสมอ ๕ เมตร/วินาที

ค. เมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง ๕ เมตร/วินาที ๒

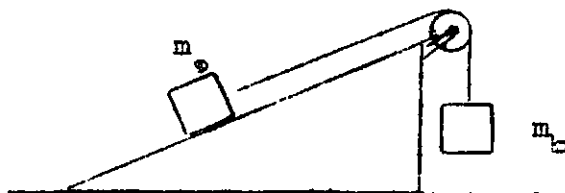
๑๒. จากรูป ถ้าความเร่งของระบบ ก. เป็น a_0 และ ส.ป.ส. ความเสียดทานเป็น μ จงหาความเร่ง a_2 จากรูป ข. ในเทอมของ a_0 , m_1 , m_2 และ μ



๑๓. มวล m_1 และ m_2 วางอยู่บนพื้นเอียง ๒ ด้านซึ่งมีความชัน และมีเชือกผูกโยง กล้องผ่านรอกที่หมุนไถ่กลิ้ง พื้นเอียงทั้งสองมี ส.ป.ส. ความเสียดทาน μ พื้นเอียง ทั้งสองทำมุม θ_1 และ θ_2 กับแนวระดับ จงคำนวณหาแรงตึงในเส้นเชือก



๑๔. มวล m_1 และ m_2 ผูกโยงกันด้วยเชือกยาว ๕ เมตร กล้องผ่านเชือกที่หมุนไถ่กลิ้ง มวล m_1 วางอยู่บนพื้นเอียงชัน มวล m_2 ห้อยอยู่อย่างอิสระ พื้นเอียงยาว ๕ เมตร สูง ๑ เมตร เมื่อเริ่มต้นมวล m_2 ห้อยอยู่ติดกับรอก จงคำนวณหาว่า หลังจากมวล m_2 ตกลงมากกระทบพื้นแล้วอีกนานเท่าใด เชือกจึงจะตึงอีกครั้งหนึ่ง



๑๕. มวล ๑๕ กก. เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ๒ เมตร/วินาที เข้าสู่บริเวณที่มี ส.ป.ส. ความเสียดทาน ๐.๑๕ มวลนี้จะเคลื่อนที่ไปได้ไกลเท่าใด
๑๖. วางมวล m บนสายพานซึ่งกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ๔ เมตร/วินาที ถ้า ส.ป.ส. ความเสียดทานระหว่างมวลและสายพานเป็น $\frac{2}{3}$ จะนานเท่าใด กล้องจะหยุดไถ่กลิ้ง และมีความเร็วเท่ากับความเร็วของสายพานนั้น

เรื่องการใ้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (ตอนที่ ๒)

วัตถุประสงค์ บทเรียนนี้กล่าวถึงการใ้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน แก่ปัญหาโจทย์ที่สลับซับซ้อนยิ่งขึ้น

ความรู้พื้นฐาน จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันเราได้สูตรการคำนวณว่า $\vec{F} = m\vec{a}$ แต่ $\vec{a} = d\vec{v}/dt$ ดังนั้น $\vec{F} = m d\vec{v}/dt$ นักเรียนควรได้ศึกษาวิชา Calculus รู้จักวิธีการ differentiation และ integration มาบ้างแล้ว

บทเรียน กฎของการเคลื่อนที่ของนิวตันกล่าวว่า

๑. วัตถุทุกชนิดจะรักษาสภาวะหยุดนิ่งหรือสภาวะการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ในแนวเส้นตรงไว้เสมอ นอกจากจะมีแรงลัพธ์ที่มีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำต่อวัตถุนั้น
๒. ความเร่งของวัตถุจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงลัพธ์ที่มากระทำต่อวัตถุนั้น โดยมีทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์นั้นและจะเป็นสัดส่วนกลับกับมวลของวัตถุเสมอ หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า แรงลัพธ์ที่มากระทำต่อวัตถุ จะแปรผันโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของวัตถุ เราเขียนได้ว่า

$$\vec{F} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = \frac{d\vec{p}}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$$

ในที่นี้ $\vec{p} = m\vec{v}$ เราเรียกปริมาณนี้ว่า โมเมนตัม ซึ่งมีความเท่ากับมวลของวัตถุ คูณกับความเร็วของวัตถุ โมเมนตัมมีทิศทางเดียวกับทิศของความเร็วของวัตถุนั้น

๓. ทุกแรงกิริยา จะมีแรงปฏิกิริยาขนาดเท่ากันและทิศทางตรงกันข้ามกันเสมอ

หลักความถาวรของโมเมนตัม

“ถ้าไม่มีแรงลัพธ์ภายนอกมากระทำต่อวัตถุ โมเมนตัมของวัตถุจะไม่เปลี่ยนแปลง”
จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สอง ถ้า $\vec{F} = 0$ แสดงว่า $\frac{d}{dt}(m\vec{v}) = 0$ เราสรุปได้ว่า $m\vec{v}$ มีค่าคงที่

ตัวอย่างที่ ๑ อนุภาคมวล m เคลื่อนที่ไปตามทางโค้งวงรีที่มีการเป็น

$$\vec{r} = (4t^2 - t^3)\hat{i} - 5t\hat{j} + (t^2 - 2)\hat{k}$$

จงหาโมเมนตัม และแรงที่กระทำต่อมวล m นี้ เมื่อ $t = 0$

วิธีทำ โมเมนตัม $m\vec{v} = m \frac{d\vec{r}}{dt}$

$$= m [(8t - 3t^2)\hat{i} - 5\hat{j} + 2t\hat{k}]$$

แทนค่า $t = 0$ เราจะได้

$$m\vec{v} = 5m\hat{i} - 5m\hat{j} + 0m\hat{k}$$

ตอบ

แรงที่กระทำต่อมวล $m = \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m \frac{d}{dt} \left[\frac{d\vec{r}}{dt} \right]$

$$\vec{F} = m [(8 - 6t)\hat{i} + 0\hat{j} + 2\hat{k}]$$

เมื่อ $t = 0$

แรงที่กระทำต่อมวล m มีค่า $= 8m\hat{i} + 0\hat{j} + 2m\hat{k}$

ตอบ

ตัวอย่างที่ ๒ แรง F กระทำต่ออนุภาคมวล m ทำให้มวลเคลื่อนที่ด้วยโมเมนตัม

$$\vec{p} = 3e^{-t}\hat{i} - 2\cos t\hat{j} - 3\sin t\hat{k}$$

เมื่อเวลา t ใด ๆ จงคำนวณหาแรง $\vec{F}$ นี้

แรง F ที่กระทำตามมวล $m = \frac{d\vec{p}}{dt} = -3e^{-t}\hat{i} + 2\sin t\hat{j} - 3\cos t\hat{k}$ ตอบ

ตัวอย่างที่ ๓ ก. จงคำนวณหาแรง $\vec{F}$ ที่ทำให้มวล ๔๐ กก. เคลื่อนที่จากความเร็ว $4\hat{i} - 5\hat{j} + 3\hat{k}$ เมตร/วินาที เป็นความเร็ว $4\hat{i} + 3\hat{j} - 5\hat{k}$ เมตร/วินาที ในเวลา ๒๐ วินาที

ข. จงหาขนาดของแรง $\vec{F}$ ในข้อ ก.

วิธีทำ $\vec{F} = m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = m \frac{(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)}{\Delta t}$

เมื่อ $\vec{v}_2 = 4\hat{i} + 3\hat{j} - 5\hat{k}$ เมตร/วินาที

$$\begin{aligned}\vec{v}_0 &= 4\hat{i} - 5\hat{j} + 3\hat{k} \text{ เมตร/วินาที} \\ \Delta t &= 1.0 \text{ วินาที} \\ m &= 4.0 \text{ กก.}\end{aligned}$$

$$\text{แรง } \vec{F} = 4\hat{i} + 96\hat{j} - 96\hat{k} \text{ นิวตัน}$$

ตอบ

$$\begin{aligned}\text{หาขนาดของแรง } \vec{F} &= |\vec{F}| \\ &= \left[(4)^2 + (96)^2 + (-96)^2 \right]^{1/2} \text{ นิวตัน}\end{aligned}$$

$$\text{ขนาดของแรง } \vec{F} = 136 \text{ นิวตัน}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ ๔ อนุภาคมวล ๑ หน่วย เคลื่อนที่ไปด้วยอำนาจของแรง $\vec{F}$ เมื่อเวลา t ใด ๆ

$$\vec{F} = (bt - 4)\hat{i} - 60t^3\hat{j} + (20t^3 + 36t^2)\hat{k}$$

จงตำแหน่งเริ่มต้นของมวลเป็น $\vec{r}_0 = 2\hat{i} - 3\hat{k}$ และความเร็วต้น

$$\vec{v}_0 = 5\hat{i} + 4\hat{j}$$

จงหาว่าเมื่อ $t = 2$ วินาที มวลนี้อยู่ที่ใดและมีความเร็วเป็นเท่าใด

วิธีทำ จาก $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m\frac{d\vec{v}}{dt}$ เมื่อ $m = 1$

$$\begin{aligned}\frac{d\vec{v}}{dt} &= (bt - 4)\hat{i} - 60t^3\hat{j} + (20t^3 + 36t^2)\hat{k} \\ \vec{v} &= \int [(bt - 4)\hat{i} - 60t^3\hat{j} + (20t^3 + 36t^2)\hat{k}] dt \\ \vec{v} &= (3t^2 - 4t)\hat{i} - 15t^4\hat{j} + (5t^4 + 12t^3)\hat{k} + c\end{aligned}$$

เมื่อ $t = 0$, $\vec{v}_0 = \vec{v}$, $c = 5\hat{i} + 4\hat{j}$

$$\vec{v} = (3t^2 - 4t + 5)\hat{i} - (15t^4 - 4)\hat{j} + (5t^4 + 12t^3)\hat{k}$$

เมื่อเมื่อเวลา $t = 2$

$$\text{ความเร็วของมวล ที่ } \vec{v} = \hat{i} - 126\hat{j} + 92\hat{k}$$

ตอบ

$$\begin{aligned}\text{จาก } \vec{v} &= \frac{d\vec{r}}{dt} \\ \vec{r} &= \int [(3t^2 - 4t + 5)\hat{i} - (15t^4 - 4)\hat{j} + (5t^4 + 12t^3)\hat{k}] dt \\ \vec{r} &= (t^3 - 2t^2 + 5t)\hat{i} - (3t^5 - 4t)\hat{j} + (t^5 + 3t^4)\hat{k} + c\end{aligned}$$

เมื่อ $t = 0$, $\vec{r} = \vec{r}_0$, $c = 2\hat{i} - 3\hat{k}$

$$\vec{r} = (t^3 - 4t^2 + 3t + 1)\hat{i} - (2t^3 - 4t)\hat{j} + (t^3 + 3t^2 - 1)\hat{k}$$

เมื่อ $t = 1$ วินาที

ตำแหน่งของมวล คือ $\vec{r} = 4\hat{i} - 4\hat{j} + 3\hat{k}$ ตอบ

ถ้าอย่างนี้ ๕ แรง ๆ หนึ่งแปรตามเวลาตามความสัมพันธ์ $F = 15 - 12t$ นิวตัน
แรงนี้กระทำต่อวัตถุมวล ๒ กก. ซึ่งเดิมอยู่นิ่งหิ้งลื่นไปจนวัตถุหลุดอีกครึ่งหนึ่ง แรงนี้จึงหยุดกระทำ

- ก. จงหาความเร็วของมวลเป็นฟังก์ชันของเวลา
- ข. จงหาเวลาเมื่อความเร็วของวัตถุเป็นศูนย์ ครั้งนี้
- ง. จงหาปริมาณงานที่ทำโดยวัตถุเมื่อวัตถุหลุดจากหิ้งนี้

วิธีทำ จาก $F = \frac{mdv}{dt} = 15 - 12t$

$$6 \frac{dv}{dt} = 15 - 12t$$

$$v = \frac{5}{6} \int (15 - 12t) dt$$

$$v = \frac{5}{6} (15t - 6t^2) + c$$

เมื่อ $t = 0, v = 0, c = 0$

ก. ความเร็วเป็นฟังก์ชันของเวลา $v = \frac{5}{6} (15t - 6t^2)$ ตอบ

ข. เมื่อ $v = 0$ อีกครั้ง เมื่อ $t = 1.5$ วินาที ตอบ

ค. หาปริมาณงาน

จาก $v = \frac{ds}{dt} = \frac{5}{6} (15t - 6t^2)$

ปริมาณงาน $s = \frac{5}{6} \int (15t - 6t^2) dt$

$$s = \frac{5}{6} \left(\frac{15}{2} t^2 - \frac{6}{3} t^3 \right)$$

เมื่อ $t = 0, s = 0, c = 0$

ปริมาณงาน $s = \frac{5}{6} t^2 - \frac{1}{2} t^3$ ตอบ

ง. การเคลื่อนที่สิ้นสุดเมื่อเวลา $t = 1.5$ วินาที

ปริมาณงาน $s = 0.375$ เมตร ตอบ

ตัวอย่างที่ ๖ F เป็นแรง ๆ หนึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณ x ดังสมการ $F = 20 - 5x$ นิวตัน
 x มีหน่วยเป็นเมตร แรงนี้กระทำกับวัตถุมวล ๒๐ กก. ซึ่งเดิมหยุดนิ่งที่ $x = 0$

จงหาความเร็วของวัตถุเป็นฟังก์ชันของปริมาณ x เมื่อแรงที่กระทำเป็นศูนย์

วิธีทำ จาก $F = m \frac{dv}{dt} = m \left(\frac{dv}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} \right)$

$$F = mv \cdot \frac{dv}{dx}$$

แทนค่า F จะได้สมการ

$$mv \frac{dv}{dx} = 20 - 5x$$

$$\int v dv = \frac{1}{20} \int (20 - 5x) dx$$

$$v^2 = \frac{1}{20} (20x - \frac{5}{2} x^2) + c$$

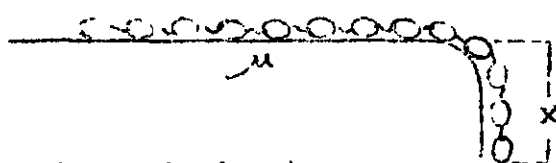
ที่ $x = 0, v = 0, c = 0$ จะได้ว่า

ความเร็วของมวลนี้คือ $v = (2x - 0.5x^2)^{1/2}$

ตอบ

ตัวอย่างที่ ๗ ไม้ขนาดหนาเสมอ ยาว a ฟุต วางอยู่บนโต๊ะราบและเรียบปลายข้างหนึ่งของ
 ไม้ห้อยลงมาจากขอบโต๊ะยาว b ฟุต ถ้าไม้เริ่มเคลื่อนที่จากหยุดนิ่ง จงคำนวณหาเวลาที่ไม้
 จะเคลื่อนที่หลุดพ้นจากโต๊ะ ถ้าโต๊ะมี ส.ป.จ. ความเสียดทานเป็น μ บานเท่าใด ไม้จึง
 เคลื่อนที่หลุดพ้นจากขอบโต๊ะ

กำหนดให้ ρ เป็นมวลของไม้ต่อหนึ่งหน่วยความยาว



วิธีทำ เมื่อปลายข้างหนึ่งของไม้ไถ่ลงนั้นโต๊ะได้ความยาว x ฟุต

สมการการเคลื่อนที่ของไม้ คือ

$$\rho xg = \rho ax$$

$$\ddot{x} = \frac{g}{a} x$$

$$v \frac{dv}{dx} = \frac{g}{a} x$$

โดยการอินทิเกรต เราได้ว่า

$$\frac{v^2}{2} = \frac{gx}{2a} + c$$

เมื่อ $v = 0$, $x = b$, ดังนั้น $c = -\frac{g b^2}{2a}$

$$v = \frac{dx}{dt} = \left(\sqrt{\frac{g}{a}} \right) \sqrt{x^2 - b^2}$$

เราหา x โดยการแทนค่าให้ $x = b \sec \theta$ แทนลงในสมการข้างบน

จะได้ $\ln(\sec \theta + \tan \theta) = \sqrt{\frac{g}{a}} t + c$

เมื่อ $t = 0$, $x = b$, $v = 0$, $c = 0$

$$\ln(\sec \theta + \tan \theta) = \sqrt{\frac{g}{a}} t$$

$$\ln \left(\frac{x}{b} + \sqrt{\frac{x^2}{b^2} - 1} \right) = \sqrt{\frac{g}{a}} t$$

เราจะใช้เวลานาน $t = \sqrt{\frac{a}{g}} \ln \left(\frac{x}{b} + \sqrt{\frac{x^2}{b^2} - 1} \right)$ ซึ่งจะเคลื่อนที่
พ้นขอบโต๊ะ ตอบ

พิจารณากรณีที่มีสปริง มี ส.ป.ส. เล็กแทน μ

สมการการเคลื่อนที่ของมวล คือ

$$\rho g x - \mu(a - x) \rho g = \rho a \ddot{x}$$

$$a v \frac{dv}{dx} = x g (\mu + 1) - \mu a g$$

โดยการอินทิเกรต เราจะได้

$$\frac{v^2}{2} = \frac{g}{2a} (\mu + 1) x^2 - \mu g x + c$$

$v = 0$, เมื่อ $x = b$, $c = \mu g b - \frac{g(\mu + 1)b^2}{2a}$

$$\frac{v^2}{2} = \frac{g}{2a} (\mu + 1) x^2 - \mu g x + \mu g b - \frac{g(\mu + 1)b^2}{2a}$$

กำหนดให้

$$v = \sqrt{\frac{g}{a} (\mu + 1)x^2 - 2\mu g x + k}$$

$$k = 2\mu g b - \frac{g(\mu + 1)b}{a}$$

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{g}{a} (\mu + 1)x^2 - 2\mu g x + k}$$

$$\text{ให้ } m = \frac{g}{a} (\mu + 1), \quad n = 2\mu g$$

$$\frac{dx}{dt} = (\sqrt{m}) \sqrt{x^2 - \frac{n}{m}x + \frac{k}{m}}$$

$$\frac{dx}{dt} = (\sqrt{m}) \sqrt{\left(x - \frac{n}{2m}\right)^2 + \left(\frac{k}{m} - \frac{n^2}{4m^2}\right)}$$

ให้

$$X = x - \frac{n}{2m}$$

$$-P^2 = \left(\frac{k}{m} - \frac{n^2}{4m^2}\right)$$

$$\frac{dX}{dt} = (\sqrt{m}) \sqrt{X^2 - P^2}$$

แทนค่า $X = P \sec \theta$ ในการข้างบนแล้วอินทิเกรต เราจะได้

$$\ln (\sec \theta + \tan \theta) = \sqrt{m} t + c$$

$$\text{เมื่อ } t = 0, \quad x = b, \quad \sec \theta = \frac{b - \frac{n}{2m}}{\sqrt{\frac{n^2}{4m^2} - \frac{k}{m}}}, \quad \theta = 0, \quad c = 0$$

$$\ln (\sec \theta + \tan \theta) = mt$$

แทนค่าต่าง ๆ คือ X, P, m, n, k กลับคืน

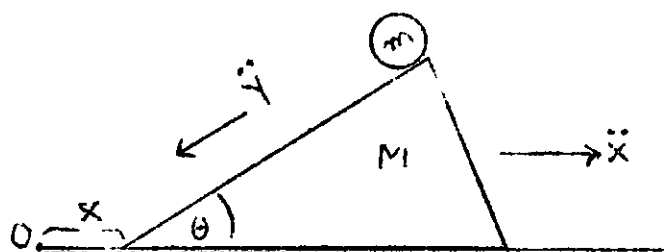
แล้วจัดเทอมใหม่จะได้ว่า

เวลาที่โขนชอบโต๊ะพอดี เมื่อ $x = b$ คือ

$$t = \sqrt{\frac{a}{(\mu + 1)g}} \ln \left[\frac{a + \sqrt{\frac{a^2}{b^2} - \frac{b(\mu + 1) - a\mu}{b(\mu + 1) - a\mu}}}{b(\mu + 1) - a\mu} \right]$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ ๔ ลิ่มมวล M ฐานหนึ่งมีผิวเอียงที่ชันยาว l มุมยอดของลิ่มทำมุม θ กับแนวระดับ ถ้าลิ่มนี้วางอยู่บนโต๊ะราบและลื่น ปล่อยอนุภาคมวล m ให้วางอยู่บนจุดสูงสุดของพื้นเอียง ให้เคลื่อนที่ลงมาตามพื้นเอียง จงหาระยะทางที่ลิ่มจะเคลื่อนที่ไปได้ เมื่ออนุภาคเคลื่อนลงมาถึงฐานพื้นเอียงและเวลาที่ใช้ทั้งหมด



วิธีทำ เมื่อเวลาผ่านไป t วินาที ให้ลิ่มเคลื่อนที่ไปในแนวระดับเป็นระยะทาง x และอนุภาคเคลื่อนที่ลงมาเป็นระยะ y

จากกฎของความถาวรของโมเมนตัม จะได้สมการการเคลื่อนที่เป็น

$$(m + M) \ddot{x} - m \ddot{y} \cos \theta = 0 \quad \text{--- (๑)}$$

$$m (\ddot{y} - \ddot{x} \cos \theta) = mg \sin \theta \quad \text{--- (๒)}$$

จาก (๑) โดยวิธีการอินทิเกรตและเราทราบว่าเมื่อ $x = 0$ นั้น $y = 0$

จะได้ $c = 0$

$$(m + M) \dot{x} = m \dot{y} \cos \theta \quad \text{--- (๓)}$$

เมื่อ $y = l$ จะได้

$$x = \frac{m l \cos \theta}{(m + M)} \quad \text{ตอบ}$$

จาก (๑) วนการ differentiation

$$(m + M) \ddot{x} = m \ddot{y} \cos \theta$$

$$\text{แทนค่า} \quad \ddot{x} = \frac{m \ddot{y} \cos \theta}{m + M} \quad \text{ลงใน (๒)}$$

$$\text{แล้วจัดเทอมใหม่จะได้} \quad \ddot{y} = \frac{(m + M) g \sin \theta}{M + m \sin^2 \theta} \quad (๔)$$

จาก (๔) โดยการ Integration ที่มีขอบเขตเริ่มต้นว่า

เมื่อ $t = 0$, $\dot{y} = 0$, $\ddot{y} = 0$ เราจะได้อากงที่จากการอินทิเกรตเป็นศูนย์ ทั้งนี้

$$\dot{y} = \left[\frac{(m + M) g \sin \theta}{M + m \sin^2 \theta} \right] t \quad \text{-----} \quad (๕)$$

Integrate สมการ (๕) อีกครั้งให้ initial condition เมื่อ $t = 0$, $y = 0$

$c = 0$

$$y = \left[\frac{(m + M) g \sin \theta}{M + m \sin^2 \theta} \right] t^2$$

เมื่อก้อนภาวเคลื่อนลงมาถึงปลายพื้นเอียง $y = l$ เวลาที่ใช้ทั้งหมด

$$t = \left[\frac{2l (M + m \sin^2 \theta)}{(m + M) g \sin \theta} \right]^{1/2}$$

แบบฝึกหัดทบทวน (ตอนที่ ๑.)

๑. อนุภาคมวล ๕ หน่วย เคลื่อนที่ไปตามทางโค้ง ซึ่งเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคเป็นฟังก์ชันของเวลา t ดังนี้

$$\vec{r} = (3t^3 + t) \hat{i} + (2t^4 - t^2 + 5) \hat{j} - 4t^2 \hat{k}$$

จงคำนวณหาโมเมนตัม, ความเร่ง และแรงที่กระทำต่ออนุภาค เมื่อเวลา t ใด ๆ

๒. อนุภาคมวล m เคลื่อนที่อยู่ในระนาบ xy โดยมีเวกเตอร์ตำแหน่งเป็น

$$\vec{r} = A \cos \omega t \hat{i} + B \sin \omega t \hat{j} \quad \text{เมื่อเวลา } t \text{ ใด ๆ แสดงว่า}$$

ถ้า A, B และ ω เป็นค่าคงที่แล้ว แรงลัพธ์ที่กระทำต่ออนุภาคคือ $\vec{F} = -m\omega^2 \vec{r}$

๓. อนุภาคมวล ๑ หน่วย เคลื่อนที่ ด้วยอำนาจของแรง $\vec{F} = (3t^2 - 4t) \hat{i} + (6t - 5) \hat{j} + (6t - 4t^2) \hat{k}$ จงหาความเร่งของอนุภาคเมื่อเวลา $t = 2$

๔. กระสุนปืนมวล ๐.๑ กก. เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ๑๐๐๐ เมตร/วินาที ชนกับเป้าซึ่งหนา ๐.๐๔ เมตร กระสุนปืนทะลุเข้าออกห่างจากผนังด้วยความเร็ว ๓๐๐ เมตร/วินาที โมเมนตัมของกระสุนปืนเปลี่ยนไปเท่าไร

๕. ไม้ขนาดสม่ำเสมอยาว ๑ วางนิ่งอยู่บนพื้นโต๊ะเรียบและไม่มีแรงเสียดทาน เมื่อเริ่มคันปลายข้างหนึ่งห้อยลงมาจากขอบโต๊ะยาว ๖ ถ้าปล่อยให้เคลื่อนที่ลงมาอย่างอิสระ จงหาผลการเคลื่อนที่ของไม้

๖. ไม้หนัคนานาสม่ำเสมอยาว ๑๐ ฟุต แขนงาคไว้บนตะปูเรียบ เมื่อเริ่มคันปลายไม้ข้างหนึ่ง มีความยาวกว่าอีกข้างหนึ่งอยู่ ๑ ฟุต ถ้าปล่อยไว้ นานเท่าใดไม้จึงจะหลุดจากตะปู

๗. ลิ้นพื้นเอียงมวล ๑๐ กก. มีมุมที่ฐานเอียงเท่ากันทั้งสองข้างเป็น 45° มีอนุภาคมวล ๔ กก. วางอยู่บนยอดของพื้นเอียง เมื่อปล่อยให้อนุภาคเคลื่อนที่ลงหาความเร่งของอนุภาค ๔ กก. โดยคิดว่าลิ้น วางอยู่บนพื้นโต๊ะเรียบระดับและไม่มีแรงเสียดทาน

๘. ลิ้นพื้นเอียงเรียบมวล M เอียงทำมุม กับแนวระดับวางอยู่บนโต๊ะเรียบ ยิงอนุภาคมวล m ขึ้นด้วยความเร็ว u จงหาว่าลิ้นจะเคลื่อนที่ไปได้ไกลเท่าไร เมื่ออนุภาคกลับมาถึงตำแหน่งเริ่มต้น

เรื่องการใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (ตอนที่ ๓)

วัตถุประสงค์ บทเรียนนี้ กล่าวถึงการใช กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น

ความรู้พื้นฐาน นักเรียนควรมีความรู้เกี่ยวกับการ Differentiation และการ Integration ในวิชา Calculus มาบ้างแล้ว

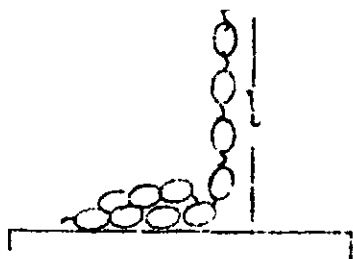
บทเรียน

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สอง กล่าวว่า "แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัม" เราจะนำกฎนี้มาใช้กับระบบซึ่งมวลของระบบเปลี่ยนแปลงไม่คงที่

$$F = \frac{d}{dt}(mv) = m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt} = ma$$

ตัวอย่างที่ ๑ โข่ขนาดสม่ำเสมอยาว 1 และมีมวล m โข่แขวนอยู่ในแนวตั้งเหนือโต๊ะเรียบ โดยที่ปลายล่างของโข่สัมผัสโต๊ะราบพอดี ถ้าปล่อยโข่ให้ตกลงมาอย่างอิสระ จงพิสูจน์ว่า แรงกระทำบนโต๊ะ เมื่อเวลา t ใด ๆ จะที่โข่ตกลงมามีค่าเป็น $\frac{1}{2} g t^2$ เท่าของน้ำหนักโข่ส่วนที่อยู่บนโต๊ะ

วิธีทำ



แรงที่กระทำบนโต๊ะเมื่อเวลา t ใด ๆ ประกอบด้วย

๑. แรงเนื่องจาก น.น. ของโข่ส่วนที่วางกองอยู่บนโต๊ะแล้ว

๒. แรงเนื่องจากโมเมนตัมที่กำลังสูญเสียไปเนื่องจากโข่ส่วนที่กำลังตกกระทบโต๊ะ

เมื่อ โข่ยาว x ตกลงบนโต๊ะ เมื่อเวลา t นาที ใด ๆ

ความเร็วของโข่ $v = \sqrt{2gx}$

ในช่วงเวลา dt มวล $dm = \left(\frac{m}{l} \sqrt{2gx} \right) dt$ ตกลงมา

โมเมนตัมที่สูญเสียไปในเวลา $dt = \frac{m}{l} (\ln gx) dt$

อัตราการสูญเสียโมเมนตัมในช่วงเวลา dt คือ $= \frac{m}{l} (\ln gx)$

และเมื่อ ระยะยาว x ตกลงมาแล้วจะมีแรงกระทำบนโต๊ะ $= \frac{m}{l} gx$

แรงกระทำบนโต๊ะเมื่อเวลา t ใด ๆ ทั้งหมดคือ $\frac{m}{l} (\ln gx) + \frac{m}{l} gx$
 $= 3 \frac{m}{l} gx$

$= 3$ เท่าของ น.น. โยที่กองอยู่บนโต๊ะ

ตอบ

ตัวอย่างที่ ๒ โยขนาดสม่ำเสมอ วางกองอยู่บนโต๊ะราบเรียบ ถ้ายกปลายหนึ่งของโยขึ้น ด้วยความเร็วคงที่ u จงพิสูจน์ว่าเมื่อปลายนั้นถูกยกขึ้นมาได้ระยะสูง y จากโต๊ะ แรงที่กระทำบนโต๊ะจะมีค่าเท่ากับน้ำหนักของเชือกยาว $(y + \frac{u^2}{g})$

วิธีทำ ให้ ρ เป็นมวลของโยต่อหนึ่งหน่วยความยาว

อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมในช่วงเวลา dt คือ

$$\frac{\rho(y + dy)u - \rho y u}{dt} = \rho u^2$$

แรง ρu^2 คิดเทียบเป็น น.น. ของเชือกจะยาว $= \frac{u^2}{g}$

แรงบนมือทั้งหมด คือ $\rho y g + \rho u^2$ ซึ่งเทียบกับเชือกยาว $y + \frac{u^2}{g}$ ตอบ

ตัวอย่างที่ ๓ รถเปิดหังคาหนัก w แล่นไปตามทางเรียบและราบผ่านกลางหิมะที่ตกลงมาทาง ๆ

ถ้า v เป็นความเร็วเดิมของรถ จงพิสูจน์ว่ารถเดินทางได้ระยะทาง

$(wv/a) \ln (w + at/w)$ ในเวลา t วินาที ในที่นี้ a เป็น น.น. ของหิมะที่ตกลงมาในรถในหนึ่งหน่วยเวลา

วิธีทำ ให้ความเร็วของรถเมื่อเวลา t ใด ๆ เป็น u

ขณะนั้น โมเมนตัม $= (w + at) \frac{u}{g}$

และเมื่อเวลา $t + dt$ โมเมนตัม $= \frac{g}{g} (w + at + a dt)(u + du)$

อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม $= \frac{g}{g} (w + at) \frac{du}{dt} + \frac{au}{g}$

เพราะไม่มีแรงภายนอกกระทำ กับระบบเลย

สมการการเคลื่อนที่ ของระบบ คือ

$$\frac{1}{g} (W + at) \frac{du}{dt} + \frac{ax}{g} = 0$$

$$\int \frac{du}{u} = \int \frac{-adt}{W + at}$$

โดยการอินทิเกรต เราพบว่า

เมื่อ $t = 0, u = v$ และได้ $c = \ln W$

$$\ln u = - \ln (W + at) + \ln W$$

$$u = \frac{dx}{dt} = \frac{W}{W + at}$$

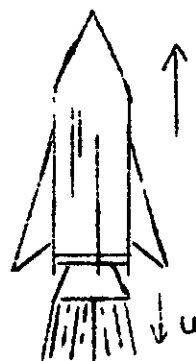
$$x = \frac{W}{a} \ln (W + at) + C$$

เมื่อ $t = 0, x = 0, C = - \frac{W}{a} \ln W$

รอดเคลื่อนได้ระยะทาง $x = \left(\frac{W}{a} \right) \ln \left(1 + \frac{at}{W} \right)$ เมื่อเวลาผ่านไป t ตอบ

ตัวอย่างที่ ๔ ยิงจรวดขึ้นไปในแนวดิ่ง ถ้าวรคมีมวล m ถ้าเชื้อเพลิงถูกขับออกมาในอัตรา

a ถ้าวินาทีด้วยความเร็ว u สัมพันธ์กับจรวด ถ้าไม่คิดแรงเสียดทานของอากาศ จงหาความเร็วของจรวด ถ้าไม่คิดแรงเสียดทานของอากาศ จงหาความเร็วของจรวด เมื่อเวลา t ใด ๆ



ทิศทางเคลื่อนที่ของจรวด

วิธีทำ เมื่อเวลา t ใด ๆ ให้จรวดมีความเร็ว v และมีโมเมนตัมเป็น $(m_0 - at)v$

เมื่อเวลา $t + dt$ จรวดมีโมเมนตัม

$$(m_0 - at - adt)(v + dv) + adt(v - u)$$

อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม คือ

$$(m_0 - at) \frac{dv}{dt} = au$$

สมการการเคลื่อนที่ของจรวด คือ

$$(m_0 - at) \frac{dv}{dt} - ua = -g(m_0 - at)$$

แต่ $m_0 - at = m$ เป็นมวลของจรวดเมื่อเวลา t ใด ๆ เราได้ว่า

$$m \frac{dv}{dt} - ua = -mg$$

$$\frac{dv}{dt} = -g + \frac{au}{(m_0 - at)}$$

โดยการอินทิเกรต เราจะได้

$$v = -gt - u \ln(m_0 - at) + C$$

เมื่อเวลา $t = 0, v = 0 \quad C = u \ln m_0$

ความเร็วเมื่อเวลา t คือ $v = -gt + u \ln \left[\frac{m_0}{m_0 - at} \right]$

ตอบ

ตัวอย่างที่ ๕ เม็ดฝนกลมรัศมี a เริ่มตกลงมาจากที่สูง H ถ้าความเร็วต้นเป็นศูนย์ และเวลาที่ตกลงมา มีอะตอมน้ำกลั่นตัวจับเป็นเม็ดฝนด้วยอัตรา b กรัม/ม.^๒/วินาที และถ้ากระพ๋ในแนวข้าง มีแต่เพียงแรงดึงดูดของโลก จง แสดงให้เห็นว่าเมื่อเม็ดฝนตกลงมาถึงพื้น มันจะมีรัศมีเป็น

$$b \left(\frac{2H}{g} \right)^{3/2} \left[1 + \left(1 + \frac{ga}{b} \right)^{3/2} \right]$$

วิธีทำ เมื่อเวลา t ใด ๆ เม็ดฝนมีมวล $m = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho$

$$\frac{dm}{dt} = \frac{4}{3} \pi r^3 \frac{dr}{dt} = \frac{4}{3} \pi b r^2$$

โดยกำหนดให้ $\frac{dr}{dt} = b$

โดยการอินทิเกรต $r = bt + a$ เป็นรัศมีของเม็ดฝนเมื่อเวลา t

อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของเม็ดฝน

$$m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt} = mg$$

$$\frac{d}{dt} r^n + \frac{a}{b} r^{n-1} = g r^n$$

จัดเทอมใหม่จะได้ว่า

$$\frac{dv}{dt} + \frac{a}{a+bt} v = g$$

เราแก้สมการนี้โดยใช้ Integrating factor $(a+bt)^n$

$$\int d [v(a+bt)^n] = \int g(a+bt)^n dt$$

$$v = \frac{g(a+bt)}{ab} + \frac{c}{(a+bt)^n}$$

เมื่อ $t = 0, v = 0, c = \frac{-ga}{ab}$

แต่ $v = \frac{dx}{dt} = \frac{g(a+bt)}{ab} - \frac{ga}{ab(a+bt)^n}$

อินทิเกรตซ้ำอีก เราจะได้

$$x = \frac{g}{ab^2} (a+bt)^2 + \frac{ga}{ab^2(a+bt)^2} + c_0$$

เมื่อ $x = 0, t = 0, c_0 = -\frac{ga}{b^2}$

$$x = \frac{gr^2}{ab^2} + \frac{ga}{ab^2r^2} - \frac{ga}{ab^2}$$

เมื่อ $x = H$ ทวรัศมี r

$$r^4 - \left(2a^2 + \frac{2b^2H}{g}\right) r^2 + a^4 = 0$$

$$r^2 = \left(a^2 + \frac{b^2H}{g}\right) \pm \sqrt{\left(a^2 + \frac{b^2H}{g}\right)^2 - a^4}$$

จัดเทอมใหม่จะได้รัศมีของเมื่อดน คือ

$$r = b \left(\frac{H}{g} \right)^{1/2} \left[1 + \left(1 + \frac{ga^2}{b^2 H} \right)^{1/2} \right]$$

แบบฝึกหัดทบทวนการใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (ตอนที่ ๓)

๑. โขชนาคสม่ำเสมอ ยาว L มวล M เมื่อเริ่มต้นโขนอยู่บนแนวตั้งเหนือโต๊ะเรียบ โดยที่ปลายล่างของโขนสัมผัสพื้นโต๊ะพอดี เมื่อปล่อยโขนให้ตกลงมาอย่างอิสระจนหมด จงหาแรงกระทำบนโต๊ะตอนหมด
๒. เวนส์บอนด์ ต้องการเพิ่มความเร่งของรถโดยปล่อยให้เครื่องพ่นน้ำมันซึ่งมีความหนาแน่น ρ กรัม/ซม.^๓ ออกจากท่อด้านหลังรถขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง d มม. ถ้าความเร็วของน้ำมันที่ถูกพ่นออกสัมผัสกับรถของเขาคือ v เมตร/วินาที และรถของเขามีมวล 2500 กก. จงหาแรงดันอันเกิดจากน้ำมันที่ถูกพ่นออกมา และหาความเร่งของรถขณะที่ลิ้นพ่นน้ำมันเปิดพอดี
๓. เม็ดฝนตกลงมาจากที่สูง H เมื่อเริ่มต้นรัศมีของเม็ดฝนเป็นศูนย์ ขณะที่ตกได้ระยะของน้ำไว้กับตัวด้วยอัตรา a กรัม/ซม.^๓/วินาที จงหาความเร่งของเม็ดฝนเมื่อเวลา t ใด ๆ

คำถามเกี่ยวกับการประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

ข้อความต่อไปนี้ ข้อใดถูกหรือผิด

- ๑. แรงดันของแก๊ส ที่พุ่งออกมาจากจรวดจะผลักดันให้จรวดเคลื่อนที่ไปข้างหน้า
- ๒. ลูกบอลออกแรงกระทำต่อโลก ด้วยแรงขนาดเดียวกับที่โลกออกแรงกระทำต่อลูกบอล
- ๓. ถ้ากำหนดแรงทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุให้ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันจะสามารถใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุได้อย่างสมบูรณ์
- ๔. วัตถุวางนิ่งอยู่บนโต๊ะ แรงที่โต๊ะกระทำต่อวัตถุจะมีทิศทางตั้งฉากกับผิวที่สัมผัสเสมอ
- ๕. กลองวางอยู่บนพื้นโต๊ะ ตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สาม แสดงว่าแรงกิริยา คือ แรงที่โต๊ะกระทำต่อกลองทิศทางขึ้นข้างบน ในแนวดิ่ง และแรงปฏิกิริยา คือ แรงเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกกระทำต่อกลองทิศทางลงข้างล่าง
- ๖. ถ้าไม่มีแรงเสียดทานแล้ว ความเร่งของมวลที่ไถลลงมาตามพื้นเอียงจะมีค่าเท่ากับ g
- ๗. ชายคนหนึ่งมวล m ยืนอยู่ในลิฟท์ ซึ่งกำลังเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่ง ด้วยความเร่ง a น้ำหนักปรากฏของเขาคือ ma

คำตอบ

๑. ถูก
๒. ถูก
๓. ถูก
๔. ถูก
๕. ผิด เพราะ แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยา คือ แรงที่โต้กระทำต่อกัน มีขนาดเท่ากับแรงที่กดลงกระทำต่อโต๊ะทิศทางตรงข้ามกัน
๖. ผิด ที่ถูก คือ ความเร่งจะเป็น $g \sin \theta$ เมื่อ θ เป็นมุมที่พื้นเอียง ทำกับแนวระดับ
๗. ผิด

คำถามพหุคูณ จะเติมคำตอบลงในช่องว่างให้ได้ความสมบูรณ์

๑. มวล m_1 และ m_2 ถูกโยงติดกันด้วยเชือก แล้วมีแรงลัพธ์ F กระทำให้เคลื่อนที่ไป ความเร่งของระบบคือ $\frac{m_1 + m_2}{F}$ ความเร่งนี้จะเป็นจริงได้ ก็ต่อเมื่อมีเงื่อนไขอะไรบ้าง

.....

- ตอบ มวลทั้งสองจะมีความเร่งค่าเดียวกันกัน จะต้องคิดว่าเชือกที่ผูกเชื่อมกันนั้นไม่ยืด, แรงดึงของเชือกเท่ากันตลอดเส้นและจะต้องถือว่าเชือกไม่มีมวลกาย

.....

๒. รั้งมวลของวัตถุ ด้วยตาซึ่งสปริงในลิฟท์ที่กำลัง เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง a ผลของการรั้งจะเป็นอย่างไร

.....

- ตอบ ภาชนะสปริงจะวัดน้ำหนักปรากฏ โดยสปริงจะยืดและน้ำหนักของวัตถุที่อ่านได้จากการรั้งจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อลิฟท์ เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง

.....

๓. ทำไมจึงสร้างถนนหรือรางรถไฟให้เอียงไว้ให้มีลักษณะเอียง

ตอบ ความเอียงของถนน จะทำให้มีแรงกระทำต่อรถทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางตามแนวรัศมี ผลก็คือ จะช่วยป้องกันการลื่นไถลของรถออกไปนอกถนน

๔. มวล ๑ กิโลกรัมและ ๔ กิโลกรัม ถูกโยนกันด้วยเชือกยาว ๑๐ เมตร คลองผ่าน รอกเบาหมุนได้คล่อง เมื่อเริ่มถนมวลทั้งสองอยู่สูงจากพื้น ๑.๒ เมตร แล้วปล่อยให้มันเคลื่อนที่อย่างอิสระ มวล ๑ กิโลกรัม จะขึ้นไปได้สูงจากพื้นเป็นระยะทางเท่าไร

ตอบ ถ้าถือว่าเชือกไม่มีมวล, รอกไม่มีความฝืดแล้ว ความเร่งของระบบ

$$\text{คือ } a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} g = \frac{4 - 1}{4 + 1} g$$

$$a = 5.88 \text{ เมตร/วินาที}^2$$

เมื่อมวล ๔ ก.ก. ตกถึงพื้นจากความสูง ๑.๒ เมตร ด้วยความเร่ง

$$a = 5.88 \text{ เมตร/วินาที}^2 \text{ ความเร็วของมวล ๔ ก.ก. ขณะ}$$

$$\text{กระทบกับพื้น คือ } v = 2aH = 2 \times 5.88 \times 1.2$$

$$v = 14.11 \text{ เมตร/วินาที} \text{ ทั้งขณะเดียวกันนั้น}$$

มวล ๑ ก.ก. จะเคลื่อนที่ขึ้นด้วยอัตราเร็วเท่ากับ ๑๔.๑๑ เมตร/วินาที

$$\text{ด้วย โดยอาศัยสูตร } v^2 = u^2 - 2gH \text{ จะได้ว่าระยะสูง}$$

$$\text{ที่มวล ๑ ก.ก. เคลื่อนที่ขึ้นไปได้อีกเป็น } H = \frac{(14.11)^2}{2(9.8)}$$

$$= 10.12 \text{ เมตร}$$

∴ ระยะสูงทั้งหมดที่มวล ๑ ก.ก. เคลื่อนที่ขึ้นไปได้ คือ

$$1.2 + 10.12 = 11.32 \text{ เมตรจากพื้น.}$$

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ในการเรียนเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

คำชี้แจงในการทำแบบทดสอบ

๑. แบบทดสอบฉบับนี้ใช้เวลาสอบ ๒ ช ม.
๒. แบบทดสอบฉบับนี้ เป็นข้อสอบแบบเลือกตอบชนิดที่มีตัวเลือก ๔ ตัว
คือ ก. ข. ค. และ ง. ให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงคำตอบ
เดียว โดยทำเครื่องหมาย ☐ ลงในช่องให้ตรงกับตัวเลือกที่นักเรียนตอบ
ลงในกระดาษคำตอบ

ตัวอย่าง (๐) ข้อใดต่อไปนี้ ถูกต้อง

- ก. $๒ \times ๔ = ๖$
- ข. $๓ \times ๕ = ๑๕$
- ค. $๔ \times ๓ = ๒๓$
- ง. $๕ \times ๔ = ๔๕$

คำตอบที่ถูกต้องคือ ข้อ ข นักเรียนต้องทำเครื่องหมาย ☐ ในกระดาษคำตอบ
ดังนี้

- (๐) ก ข ค ง
- ☐ ☒ ☐ ☐

๑. คุณสมบัติของความเฉื่อยที่มีอยู่ในวัตถุทุกอันคือ

- ก. แรงเสียดทาน
- ข. น้ำหนักของวัตถุ
- ค. โมเมนตัมของวัตถุ
- ง. มวลของวัตถุ

๒. ความเฉื่อย (Inertia) มีความเกี่ยวข้องกับข้อต่อไปนี้ ยกเว้นข้อใด

- ก. การไหลของลึกระเหยจากน้ำ
- ข. การออกและหยุดรถน้ำหนักมาก
- ค. แรงอัดของสปริงในเครื่องชั่งน้ำหนัก
- ง. ผู้โดยสารถูกเหวี่ยงออกไปทางด้านข้างขณะรถวิ่งเลี้ยวโค้ง

๓. ข้อใดต่อไปนี้ไม่ถูกต้อง

- ก. มวลและน้ำหนักของวัตถุมีความเกี่ยวข้องกัน
- ข. มวลมีสมบัติต้านทานการเปลี่ยนแปลงจากสภาพเดิมของวัตถุ
- ค. เหล็กมีความเฉื่อยมากกว่าไม้เมื่อมีปริมาตรเท่ากัน
- ง. มวลของวัตถุอันหนึ่งคือน้ำหนักของวัตถุนั้นเอง

๔. ข้อใดต่อไปนี้ เป็นหน่วยของมวลในระบบอังกฤษ

- ก. กรัม
- ข. กิโลกรัม
- ค. ปอนด์
- ง. สลัก

๕. หน่วยของมวลในระบบ S.I. คือข้อใด

- ก. ปอนด์
- ข. กรัม
- ค. กิโลกรัม
- ง. สลัก

๖. มวลของวัตถุในข้อใดมีค่ามากที่สุด
- ๑ กิโลกรัม
 - ๒ กรัม
 - ๑ สลัก
 - ๑ ปอนด์
๗. เมื่อนุญชั้วอากาศเดินทางไปถึงผิวของดวงจันทร์ มวลของเขจะมีค่าเท่าใด
- เท่ากับมวลของเขตอนอยู่บนผิวโลก
 - มากกว่ามวลของเขตอนอยู่บนผิวโลก
 - น้อยกว่ามวลของเขตอนอยู่บนผิวโลก
 - เท่ากับศูนย์
๘. หน่วยของแรงในระบบ S.I. คือข้อใด
- นิวตัน
 - ปอนด์
 - เปาต์ล
 - ไคน์
๙. แรงขนาด ๑ ไคน์ มีค่าเท่ากับแรงในข้อใด
- ๑×๑๐^{-๕} นิวตัน
 - ๑×๑๐^{-๒} นิวตัน
 - ๑×๑๐^{-๑} นิวตัน
 - ๑×๑๐^{-๓} นิวตัน
๑๐. หน่วยของมวลที่ได้จากแรง และระยะทาง/(เวลา)^๒ คือข้อใด
- $N/L \times T^๒$
 - $NT^๒ / L$
 - $MLT^{-๒}$
 - $NL/T^๒$

๑๑. แท่งไม้แขวนทั้งสองข้างยาวไม่เท่ากัน นำมาใช้ห้อยหาคำมวลที่ไม่ทราบค่า m โดยครั้งแรกใส่มวลลงในจานข้างหนึ่งหนักเท่ากับ m_1 แท่งจึงอยู่ในสภาพสมดุล ครั้งที่สองเปลี่ยนเอามวล m ใส่ไว้ในจานอีกข้างหนึ่งและทองใสมวล m_2 ลงในจานตรงกันข้าม แท่งจึงจะอยู่ในสมดุล ถ้ามวล m_1 มากกว่ามวล m_2 ดังนั้น คำมวล m ที่ถูกห้อยคือข้อใด

ก. $(m_1 + m_2)/2$

ข. $(m_1 - m_2)/2$

ค. $m_1 m_2 / 2$

ง. $(m_1 m_2)^{1/2}$

๑๒. วัตถุชิ้นหนึ่งหนัก ๔๕ กิโลกรัม น้ำหนักวัตถุนี้หนักกี่นิวตัน เมื่อให้ $g = ๑๐$ เมตร/วินาที^๒

ก. ๔.๕ นิวตัน

ข. ๔๕๐ นิวตัน

ค. ๔.๕×๑๐^{-๒} นิวตัน

ง. ๔๕๐×๑๐^๑ นิวตัน

๑๓. แรง ๑ กิโลกรัม น้ำหนัก มีขนาดเป็นกี่เท่าของแรง ๒ นิวตัน

ก. $g/2$ เท่า

ข. g เท่า

ค. $2g$ เท่า

ง. $๓g$ เท่า

๑๔. วัตถุที่หยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ในแนวเส้นตรง หมายความว่า

ก. แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์

ข. ความเร่งของวัตถุมีค่าคงที่และมากกว่าศูนย์

ค. แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าไม่เป็นศูนย์

ง. แรงเสียดทานมีค่ามากกว่าแรงลัพธ์

๑๕. วัตถุกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ในแนวเส้นตรง เมื่อมีแรงลัพธ์มากระทำต่อวัตถุ ในทิศเดียวกันกับความเร็วของวัตถุ ข้อความใดต่อไปนี้ถูกต้อง

- ก. วัตถุจะเกิดความเร่ง
- ข. วัตถุจะเคลื่อนที่ช้าลง
- ค. โมเมนตัมของวัตถุยังมีค่าเท่าเดิม
- ง. วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ต่อไป

๑๖. ข้อความต่อไปนี้ข้อใดที่ไม่มีความเกี่ยวข้องกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่หนึ่ง

- ก. เมื่อผู้โดยสารกระโดดลงรถที่กำลังเคลื่อนที่ ผู้โดยสารจะเซไปข้างหน้า
- ข. การใช้เข็มขัดนิรภัยในรถยนต์ ช่วยให้ผู้ใช้โดยสารปลอดภัยขึ้น
- ค. เราสามารถใส่ตามเสียมโดยวิธีการกระแทกปลายข้างหนึ่งของตามเสียมลงกับพื้น
- ง. เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง มวลของวัตถุจะเพิ่มมากขึ้น

๑๗. เราสามารถระบุทุกกระดากบาง ซึ่งมีแก้วนํ้าว่างทับไว้ โดยที่แก้วไม่ล้มหรือเคลื่อนที่ นี่คือการทดลองแสดงสมบัติของ

- ก. มวลของวัตถุ
- ข. ความเฉื่อย
- ค. ความเร่ง
- ง. น้ำหนักของวัตถุ

๑๘. ข้อใดต่อไปนี้มีความเฉื่อยมากที่สุด

- ก. ๑๐×๑๐^๓ กรัม
- ข. ๑๐×๑๐^๓ ปอนด์
- ค. ๑๐×๑๐^๓ สลัก
- ง. ๑๐×๑๐^๓ กิโลกรัม

๑๕. ข้อความต่อไปนี้ แสดงการประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน ยกเว้นข้อใด

- ก. การสะบัดผ้าหรือเสื้อเพื่อให้ฝุ่นละอองหลุดออก
- ข. กระตุกนิตยสารเล่มล่างสุดออกจากกองโดยไม่ตองยกเล่มบนออก
- ค. ใส่คานาคอนคววิธีกระแทกปลายอีกข้างหนึ่งกับพื้น
- ง. ไขควงเฮลิคอปเตอร์หมุน เพื่อยกตัวเฮลิคอปเตอร์ขึ้น

๒๐. วัตถุกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ข้อความต่อไปนี้ถูกต้อง ยกเว้นข้อใด

- ก. แรงที่กระทำต่อวัตถุอยู่ในสภาพสมดุล
- ข. วัตถุมีความเร่งเป็นศูนย์
- ค. มีแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุในทิศเกี่ยวกับความเร็ว
- ง. วัตถุเคลื่อนที่ไปในแนวเส้นตรง

๒๑. เวลา t (๓) ๒ ๓ ๔ ๕

ระยะทาง (cm) ๒๐ ๔๕ ๘๐ ๑๒๕

ข้อมูลนี้ได้จากการทดลอง เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวเส้นตรง
ข้อความใดต่อไปนี้ถูกต้อง

- ก. วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่
- ข. วัตถุเริ่มเคลื่อนที่จากหยุดนิ่งด้วยความเร่งคงที่
- ค. วัตถุเริ่มเคลื่อนที่จากหยุดนิ่งด้วยความเร่งไม่คงที่
- ง. วัตถุมีความเร็วค่าหนึ่งเมื่อเวลา $t = 0$ และมีความเร่งคงที่

๒๒. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สองแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

- ก. มวล ความเร็ว เวลา
- ข. มวล ความเร็ว โมเมนตัม
- ค. แรง โมเมนตัม เวลา
- ง. แรง กำลัง มวล

๒๓. ข้อใดต่อไปนี้ เป็นหน่วยของแรง

- ก. กรัม - วินาที^๒/ช.ม.
- ข. กิโลกรัม - เมตร/วินาที^๒
- ค. ปุ่ต - ปอนต์/วินาที
- ง. สลัก - ฟุต/วินาที

๒๔. ในการทดลองเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ เมื่อวัดระยะทางระหว่างจุดที่แสดงไวบนแถบกระดาษในช่วงเวลา ๑ วินาที ได้ระยะทาง ๐.๕, ๑.๕, ๒.๕, และ ๓.๕ ช.ม. ความเร่งของวัตถุมีค่าเท่าใด

- ก. ศูนย์
- ข. ๐.๕ ช.ม./วินาที^๒
- ค. ๑ ช.ม./วินาที^๒
- ง. ๔ ช.ม./วินาที^๒

๒๕. มวล ๑๐ กิโลกรัม เคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้งด้วยอัตราเร็ว ๕ เมตร/วินาที แรงลัพธ์ที่กระทำต่อมวลนี้ มีค่าเท่าใด

- ก. ศูนย์
- ข. ๐.๕ นิวตัน
- ค. ๑๕ นิวตัน
- ง. ๕๐ นิวตัน

๒๖. ข้อใด ที่มวล ๒ มีค่าความเร่งมากที่สุด

- ก. $10\text{ N} \rightarrow \boxed{m} \leftarrow 4\text{ N}$
- ข. $12\text{ N} \rightarrow \boxed{m} \leftarrow 10\text{ N}$
- ค. $7\text{ N} \rightarrow \boxed{m} \leftarrow 11\text{ N}$
- ง. $4\text{ N} \rightarrow \boxed{m} \leftarrow 12\text{ N}$

๒๗. แรง ๐.๕ นิวตัน ทำให้รถทดลองมวล ๑ กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร่งของรถคันนี้เป็นเท่าใด

- ก. ๐.๒ เมตร/วินาที^๒
- ข. ๐.๕ เมตร/วินาที^๒
- ค. ๒ เมตร/วินาที^๒
- ง. ๑๐ เมตร/วินาที^๒

๒๘. มวล ๒ กิโลกรัม วางอยู่บนพื้น ราบที่ลื่นมีความเสียดทาน แรง ๖ นิวตัน กระทำต่อมวลนี้เป็นเวลา ๓ วินาที เมื่อเวลาผ่านไป ๖ วินาที อัตราเร็วของมวลที่เคลื่อนที่ไป

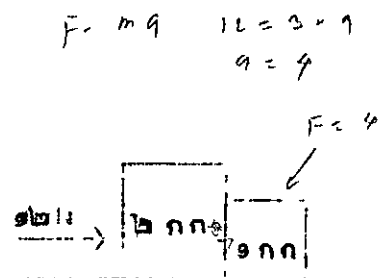
- ก. ๑ เมตร/วินาที
- ข. ๓ เมตร/วินาที
- ค. ๖ เมตร/วินาที
- ง. ๑๖ เมตร/วินาที

$$F = ma$$

$$a = \frac{v - u}{t}$$

๒๙. แรง ๑๖ นิวตัน กระทำต่อมวล ๒ กิโลกรัมและมวล ๑ กิโลกรัม ที่วางสัมผัสกันอยู่บนพื้นราบที่ลื่นมีความเสียดทานดังรูป แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาระหว่างมวลทั้งสองเป็นเท่าใด

- ก. ศูนย์
- ข. ๔ นิวตัน
- ค. ๘ นิวตัน
- ง. ๑๖ นิวตัน



๓๐. แรงขนาด ๑ ไคน์ คือแรงที่ทำให้

- ก. มวล ๑ กิโลกรัม มีอัตราเร่ง ๑ เมตร/วินาที^๒
- ข. มวล ๑ กรัม มีอัตราเร่ง ๑ ม.ม./วินาที^๒
- ค. มวล ๑ กิโลกรัม มีอัตราเร่ง ๑ เมตร/วินาที^๒
- ง. มวล ๑ กรัม มีอัตราเร่ง ๔๔๐ ซม./วินาที^๒

๓๑.

แขวนมวล ๒ กิโลกรัม ไว้กับตาชั่งสปริงที่กำลังเคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้งด้วยความเร็ว ๑ เมตร/วินาที^๒ น้ำหนักที่อ่านได้จากตาชั่งสปริงเป็นเท่าใด

- ก. ๑๐ นิวตัน
- ข. ๑๘ นิวตัน
- ค. ๒๐ นิวตัน
- ง. ๒๒ นิวตัน

๓๒.

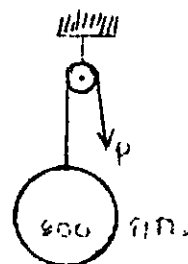
มนุษย์อวกาศอยู่ในดาวเทียมที่โคจรรอบโลก เขาพยายามชั่งน้ำหนักของ กลองอาหาร ซึ่งหนัก ๑๕ นิวตัน บนโลกโดยการใส่สปริงกับไม้บรรทัด เขาจะพบว่า

- ก. น้ำหนักของวัตถุจะเท่ากับน้ำหนักที่ชั่งได้บนพื้นโลก
- ข. สปริงไม่ยืดออกเลย
- ค. สปริงจะยืดออกเป็นไปตามกฎของฮุก
- ง. น้ำหนักของวัตถุมีความมากกว่าน้ำหนักที่ชั่งได้บนพื้นโลก

๓๓.

รูปข้างล่างแสดงให้เห็นการใช้รอกยกมวล ๑๐๐ กิโลกรัม แรง P มีขนาดเท่าใด จึงจะยกมวลขึ้นได้ ในที่นี้ขอให้คิดว่ารอกไม่มีความฝืดและ $g = ๑๐$ เมตร/วินาที^๒

- ก. ศูนย์ นิวตัน
- ข. ๑๐ นิวตัน
- ค. ๑๐๐ นิวตัน
- ง. ๑๐๐๐ นิวตัน



๓๔.

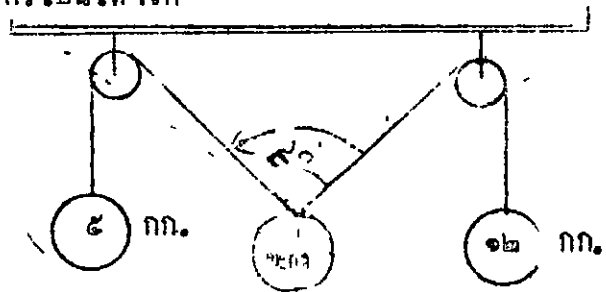
อนุภาคเคลื่อนที่ไปในแนวระดับด้วยความเร็วคงที่ ข้อความต่อไปนี้ถูกต้องหมด ยกเว้นข้อใด

- ก. ผลรวมขององค์ประกอบของแรงที่กระทำต่ออนุภาคในแนวระดับมีค่าไม่เป็นศูนย์
- ข. ผลรวมของแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อวัตถุมีค่าไม่เป็นศูนย์
- ค. แรงที่กระทำต่ออนุภาคไม่สมดุล
- ง. แรงกระทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปในแนวระดับด้วยความเร็วไม่คงที่

๓๕. แรง ๑ นิวตัน กระทำต่อมวล ๑ กิโลกรัม ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ ความเร่งของมวล เป็นเท่าใด
- ๑ เมตร/วินาที^๒
 - ๙.๘ เมตร/วินาที^๒
 - ๙๘๐ เมตร/วินาที^๒
 - ศูนย์
๓๖. รถยนต์มวล ๔๘๐๐ กิโลกรัม ถูกเร่งจากความเร็ว ๒๐ เมตร/วินาที จนมีความเร็วเป็น ๕๐ เมตร/วินาทีในเวลา ๖ วินาที แรงที่กระทำต่อรถยนต์มีค่าเท่าใด
- ๙๕๐ นิวตัน
 - ๙๖๐ นิวตัน
 - ๔๕๐๐ นิวตัน
 - ๒๔๐๐ นิวตัน
๓๗. ลูกบอลมวล ๐.๑ กิโลกรัม ตกจากที่สูงด้วยอัตราเร็ว ๑๐๐ เมตร/วินาที แรงที่กระทำให้ลูกบอลหยุดได้ในเวลา ๕ วินาที มีขนาดเท่าใด
- ๐.๕ นิวตัน
 - ๒ นิวตัน
 - ๑๐ นิวตัน
 - ๒๐ นิวตัน
๓๘. มวล ๕ กิโลกรัม ถูกดึงให้เคลื่อนที่ไปตามพื้นระดับราบ เรียบด้วยความเร่ง ๑๐ เมตร/วินาที^๒ แรงดึงในเส้นเชือกเป็นเท่าใด
- ๒ นิวตัน
 - ๕๐ นิวตัน
 - ๕ นิวตัน
 - ๑๕ นิวตัน

๓๘. รูปข้างล่างแสดงระบบรอกและมวลในสภาวะสมดุล ถ้าค่าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก $g = ๑๐$ เมตร/วินาที^๒ และระบบอยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง มุมระหว่างเส้นเชือกเป็นมุมฉาก มวลของตะกั่วเป็นเท่าใด

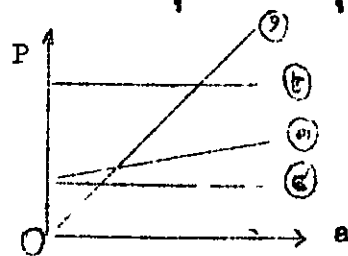
- ก. ๘ กิโลกรัม
ข. ๑๓ กิโลกรัม
ค. ๑๗ กิโลกรัม
ง. ๕๔ กิโลกรัม



๔๐. จากข้อมูลในข้อ ๓๘ ถ้าเรานำระบบนี้ไปทำการทดลองที่ดวงจันทร์ ซึ่งมีค่าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดเป็น $\frac{g}{6}$ เท่าของโลก ตะกั่วจะอยู่ในสภาวะเช่นไร

- ก. เคลื่อนที่ลงมาในแนวที่ทำมุมน้อยกว่า ๑๕° กับแนวดิ่ง
ข. เคลื่อนที่ขึ้นในแนวที่ทำมุมมากกว่า ๙๐° กับแนวระดับ
ค. หยุดนิ่งอยู่กับที่ เหมือนกับตอนอยู่บนพื้นโลก
ง. ตกลงมาด้วยความเร่งน้อยกว่า $\frac{g}{6}$

๔๑. ใช้แรง P ดึงวัตถุต่าง ๆ กัน n ชิ้น ซึ่งอยู่บนพื้นราบระดับที่ไม่มีแรงเสียดทาน กราฟเส้นใด แสดงว่าวัตถุมีมวลมากที่สุด



$$F = m a$$

$$\frac{F}{m} = a$$

- ก. กราฟเส้นหมายเลข (๔)
ข. กราฟเส้นหมายเลข (๓)
ค. กราฟเส้นหมายเลข (๒)
ง. กราฟเส้นหมายเลข (๑)

๔๒. ข้อต่อไปนี้เป็นการประยุกต์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สาม ยกเว้นข้อใด

- ก. เมื่อมีคานาตีเป๊ยกนำไหนดำหลุดออกจากผา
- ข. เมื่อยิงปืนแล้วปืนถอยหลัง
- ค. เมื่อดวยแกวตกลองบนพน ดวยแกวแตก
- ง. หนังสือวางนึ่งอยู่บนพนโต๊ะ

๔๓. แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาที่กล่าวถึงในกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สาม มีความหมายว่าอย่างไร

- ก. แรงทั้งสองกระทำบนวัตถุอันเดียวกันและเกิดคู่กันเสมอ
- ข. แรงทั้งสองกระทำบนวัตถุคนละอันกันและมีขนาดเท่ากัน
- ค. แรงทั้งสองมีขนาดไม่เท่ากันและทิศทางตรงกันข้ามกัน
- ง. แรงทั้งสองมีขนาดเท่ากัน แต่แนวของแรงไม่อยู่ในแนวเส้นตรง

๔๔. กรณีสองไม้วางนึ่งอยู่บนโต๊ะ แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาข้อใด

- ก. แรงที่โต๊ะดันแท่งไม้และแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อแท่งไม้
- ข. น้ำหนักของแท่งไม้ที่กระทำต่อโต๊ะ และแรงที่โต๊ะกระทำต่อแท่งไม้
- ค. แรงที่โต๊ะกระทำต่อแท่งไม้และแรงที่แท่งไม้กระทำต่อโลก
- ง. แรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อโต๊ะ และแรงที่โต๊ะกระทำต่อแท่งไม้

๔๕. เมื่อวัวตัวหนึ่งลากเกวียนไปได้ แรงที่ทำให้วัวเคลื่อนที่ไปข้างหน้าคือข้อใด

- ก. แรงที่วัวดึง เกวียน
- ข. แรงที่เกวียนดึงวัวไว้
- ค. แรงที่เท้าของวัวกระทำต่อพื้นดิน
- ง. แรงปฏิกิริยาที่พื้นดินกระทำต่อเท้าวัว

๔๖. เมื่อมนุษย์อวกาศเดินทางไปถึงดวงจันทร์ น้ำหนักของเขาจะมีค่าเท่าใด

- ก. เท่ากับน้ำหนักของเขาเมื่ออยู่บนโลก
- ข. มากกว่าน้ำหนักของเขาเมื่ออยู่บนโลก
- ค. น้อยกว่าน้ำหนักของเขาเมื่ออยู่บนโลก
- ง. ศูนย์

๔๓. น้ำหนักของมวล ๑๐ กิโลกรัมเป็นเท่าใด

- ก. ๑๐ นิวตัน
- ข. ๙๘ นิวตัน
- ค. ๑๐ ปอนด์
- ง. ๓๒๐ ปอนด์

๔๔. น้ำหนักของวัตถุที่ทวีเร็วของโลก มีค่ามากกว่าที่ทวีเร็วของแถบเส้นศูนย์สูตร เพราะว่า

- ก. ที่ทวีเร็วของโลกมีน้ำแข็งมากทำให้มีแรงดึงดูดมาก
- ข. ที่ทวีเร็วของเส้นศูนย์สูตรมีกระแสลมพัดขึ้นตรงในแนวตั้ง
- ค. ลักษณะของโลกมีโคกลมอย่างสมบูรณ์แบบทรงกลม
- ง. แกนของโลกเอียงทำมุมกับระนาบการโคจร

๔๕. บนดาวเคราะห์ดวงหนึ่ง ค่าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของดาวเคราะห์ดวงนั้น เป็น $g = ๑๐$ เมตร/วินาที^๒ ชายคนนั้นหนัก ๕๐๐ นิวตัน ยืนอยู่ในลิฟต์ ถ้าลิฟต์นั้นเคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง g น้ำหนักของชายคนนั้นจะเป็นเท่าใด

- ก. ๑๐๐ นิวตัน
- ข. ๔๐๐ นิวตัน
- ค. ๕๐๐ นิวตัน
- ง. ๖๐๐ นิวตัน

๕๐. มนุษย์อวกาศอยู่ในยานอวกาศที่กำลังโคจรรอบโลก ข้อความข้อใดถูกต้อง

- ก. ถ้าเขายืนบนเครื่องชั่งสปริง เข็มจะชี้อ่านที่เลขศูนย์พอดี
- ข. ไม่มีแรงดึงดูดของโลกกระทำต่อมนุษย์อวกาศ
- ค. ทั้งมนุษย์อวกาศและยานอวกาศกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก
- ง. มนุษย์อวกาศเพิ่มความเร็วตลอดเวลา

๕๑. ค่าของแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุที่เป็นของแข็งขึ้นอยู่กับ
- อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุ
 - ทิศทางของการเคลื่อนที่ของวัตถุ
 - พื้นที่ผิวสัมผัสของวัตถุ
 - น้ำหนักของวัตถุ
๕๒. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์มีค่าถูกต้องตามข้อใด
- ค่าน้อยกว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต
 - ค่าเท่ากับแรงเสียดทานสถิต
 - ค่ามากกว่าแรงเสียดทานสถิต
 - ค่าของมันขึ้นอยู่กับภาวการณ์นำมันหล่อลื่น
๕๓. ถ้าแรงกดพื้นในแนวตั้งจากวัตถุกระทำต่อพื้นเป็น N และ ส.ป.ส. ความเสียดทานสถิตเป็น μ_s ดังนั้นแรงเสียดทานที่กระทำต่อวัตถุขณะหยุดนิ่งมีค่าเป็นเท่าใด
- ศูนย์
 - มีค่าเท่ากับ $\mu_s N$
 - มีค่ามากกว่าศูนย์และเท่ากับ $\mu_s N$
 - มีค่าระหว่างศูนย์และ $\mu_s N$
๕๔. วัตถุมวล ๑๐ กิโลกรัม วางนิ่งอยู่บนพื้นเอียงที่ทำมุม 30° กับแนวระดับ ถ้า F เป็นแรงเสียดทาน ings ทำให้มวลนี้หยุดนิ่งอยู่ได้ แรงเสียดทาน F มีค่าเท่าใด
- ๑๐๐ นิวตัน
 - $50\sqrt{3}$ นิวตัน
 - $100/\sqrt{3}$ นิวตัน
 - ๕๐ นิวตัน
๕๕. มวล ๑๐ ปอนด์ วางบนพื้นเอียงที่เอียงทำมุม 30° กับแนวระดับค่า μ_s ระหว่างพื้นเอียงกับมวลมีค่ามากที่สุดเท่าใด

- ก. $\sqrt{๓}$
 ข. $\tan \sqrt{๓}$
 ค. $\frac{๑}{\sqrt{๓}}$
 ง. $\frac{๑}{\sqrt{๒}}$

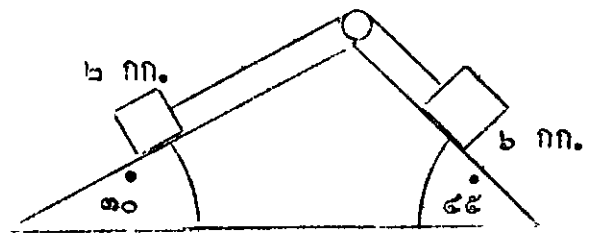
๔๖. จากรูป ถาอนุภาคทั้งสองคือ $m = ๒$ กก. และ $m = ๒$ กก. พอดี เคลื่อน
 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานเป็นเท่าใด

ก. $\frac{\sqrt{๒} - ๒}{\sqrt{๒} - ๒}$

ข. $\frac{๒ - \sqrt{๒}}{\sqrt{๒} + ๒}$

ค. $\frac{๓ + \sqrt{๒}}{๒(\sqrt{๒} - ๑)}$

ง. $\frac{๓ - \sqrt{๒}}{\sqrt{๒}(๒ - ๑)}$



๔๗. ลูกบอลหนัก $\frac{๑}{๕}$ นิวตัน ลื่นไถลไปบนน้ำแข็งในแนวระดับเป็นระยะทาง ๕๐ เมตร จึงหยุด
 ถ้าความเร็วต้นของลูกบอลเป็น ๒๐ เมตร/วินาที แรงเสียดทานของน้ำแข็งมีค่าเท่าใด

ก. ๐.๑ นิวตัน

ข. ๐.๒ นิวตัน

ค. ๐.๓ นิวตัน

ง. ๐.๔ นิวตัน

๔๘. ก้อนน้ำแข็งไถดลงตามพื้นเอียงหยาบที่เอียงทำมุม ๔๕° กับแนวระดับใช้เวลาเป็น ๒ เท่า
 ในการเคลื่อนที่ลงไปตามพื้นเอียงเรียบที่เอียงทำมุม ๔๕° กับแนวระดับ ส.ป.ส. ความ
 เสียดทานจนมีค่าเท่าใด

ก. ๐.๗๕

ข. ๐.๕๖

ค. ๐.๔๔

ง. ๐.๕๕

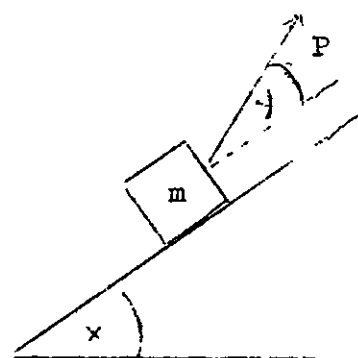
๕๘. จากรูป แรง P มีขนาดเท่าใด ถ้ามวล m พอดีไถลขึ้นและ μ คือ ส.ป.ส.
ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงกับมวล m นั้น

ก. $P = \frac{mg(\sin x - \mu \cos y)}{\cos y + \mu \sin y}$

ข. $P = \frac{mg(\sin x + \mu \cos x)}{\cos y + \mu \sin y}$

ค. $P = \frac{mg(\sin y + \mu \cos y)}{\cos x - \mu \sin x}$

ง. $P = \frac{mg(\sin x - \mu \cos x)}{\cos y + \mu \sin y}$



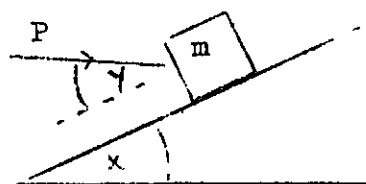
๖๐. จากรูป แรง P ที่น้อยที่สุดที่ทำให้มวล m เคลื่อนที่ขึ้นไปบนพื้นเอียงได้มีค่าเท่าใด
ถ้ากำหนดให้มุมของแรงเสียดทานเป็น θ

ก. $P = mg \sin (y + \theta)$

ข. $P = mg \sin (x + \theta)$

ค. $P = mg \sin (x - \theta)$

ง. $P = mg \sin (y - \theta)$



๖๖. มวล $m = ๑$ กิโลกรัม ลื่นไถลลงตามพื้นเอียงที่เอียงทำมุม $\sin^{-1}(\frac{2}{3})$ กับ
แนวระดับ ความเร่งของอนุภาคเป็นเท่าใด

ก. $\frac{g}{3}$ เมตร/วินาที^๒

ข. g เมตร/วินาที^๒

ค. $3g$ เมตร/วินาที^๒

ง. $\sqrt{2}g$ เมตร/วินาที^๒

๖๖. อนุภาค A และ B มีมวล ๓ และ ๔ กิโลกรัมตามลำดับ ถูกโยนกันด้วยเชือก
เบาที่ไม่ยืด เชือกเส้นนี้คล้องผ่านรอกที่หมุนได้คล่อง ข้อความต่อไปนี้ถูกต้องหมด ยกเว้นข้อใด

ก. แรงตึงในเส้นเชือกมีค่าเท่ากับ $\frac{๒๕g}{๓}$ นิวตัน

ข. ความเร่งของ A เป็น $\frac{g}{๓}$ เมตร/วินาที^๒

ค. ความเร่งของ B เป็น $-\frac{g}{๓}$ เมตร/วินาที^๒

ง. แรงตึงในเส้นเชือกมีค่าเท่ากับ $\frac{๒๔g}{๓}$ นิวตัน

๖๓. แท่งสปริงแขวนไว้ที่เพดานลิฟท์ ซึ่งกำลังเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง ๑ เมตร/วินาที^๒ มวล ๑ ก. ก. แขนงอยู่ที่ปลายแท่งสปริง แท่งสปริงจะอ่านเท่าใด

- ก. ศูนย์
- ข. ๘ นิวตัน
- ค. ๑๐ นิวตัน
- ง. ๑๑ นิวตัน

๖๔. มวล m อยู่บนแท่ง ซึ่งอยู่ในลิฟท์ เมื่อลิฟท์เคลื่อนที่ลงด้วยอัตราเร็วคงที่ สมการการเคลื่อนที่ของมวลคือข้อใด

- ก. $mg - F = -m \frac{dv}{dt}$
- ข. $F - mg = -m \frac{dv}{dt}$
- ค. $F - m \frac{dv}{dt} = mg$
- ง. $F = mg$

๖๕. มวล ๑๐ ๐. ก. อยู่บนพื้นลิฟท์ ซึ่งกำลังเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง ๔ เมตร/วินาที^๒ แรงปฏิกิริยาที่พื้นลิฟท์กระทำต่อมวลมีค่าเท่าใด

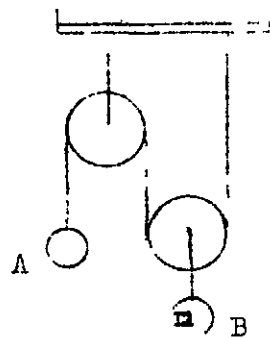
- ก. ๓๐ นิวตัน
- ข. ๖๐ นิวตัน
- ค. ๘๖ นิวตัน
- ง. ๑๔๐ นิวตัน

๖๖. มวล A และ B มีค่า ๕ ๐. ก. และ ๕ ๐. ก. ตามลำดับ ผูกโยงกันด้วยเชือกคล้องผ่านรอก โดย A วางอยู่บนพื้นโต๊ะเรียบและมวล B ห้อยลงในแนวตั้ง แรงดึงในเส้นเชือกมีค่าเท่าใด

- ก. ๕ นิวตัน
- ข. ๑๐ นิวตัน
- ค. ๒๐ นิวตัน
- ง. ๒๕ นิวตัน

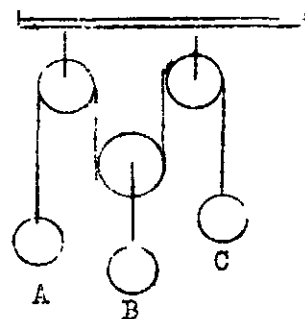
๖๓. จากรูป รอกเบา ๒ อัน หมุนได้คล่อง ถ้าความเร่งของอนุภาค B เป็น a มีทิศลงในแนวดิ่ง อนุภาค B มีมวล เท่ากับอนุภาค A ความเร่งของอนุภาค A มีค่าเท่าใด

- ก. a ทิศขึ้นในแนวดิ่ง
 ข. $2a$ ทิศขึ้นในแนวดิ่ง
 ค. a ทิศลงในแนวดิ่ง
 ง. $2a$ ทิศลงในแนวดิ่ง



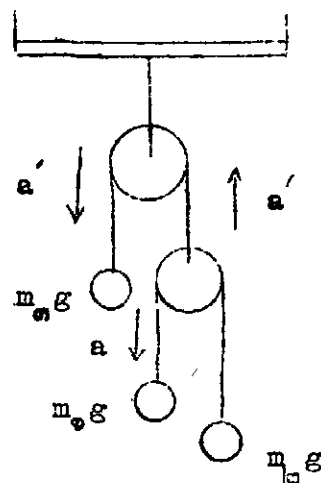
๖๔. จากรูป รอกเบา ๓ อัน หมุนได้คล่อง อนุภาค A, B และ C มีมวลเท่ากัน อนุภาค A มีความเร่ง a ทิศขึ้นในแนวดิ่ง อนุภาค C มีความเร่ง b ทิศลงในแนวดิ่ง ความเร่งของอนุภาค B มีค่าเท่าใด

- ก. $\frac{a}{2}$ ($a - b$) ขึ้นในแนวดิ่ง
 ข. $\frac{a}{2}$ ($a + b$) ขึ้นในแนวดิ่ง
 ค. $\frac{a}{2}$ ($a + b$) ลงในแนวดิ่ง
 ง. $\frac{a}{2}$ ($b - a$) ขึ้นในแนวดิ่ง



๖๕. จากรูป รอกทั้งสองเบา ถ้ามวล m_1 มีความเร็ว a' และมวล m_2 มีความเร่ง a เราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง a กับ a' คือข้อใด

- ก. $a = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right) a'$
 ข. $a = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right) (a' - g)$
 ค. $a = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right) (g + a')$
 ง. $a = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right) (g - a')$



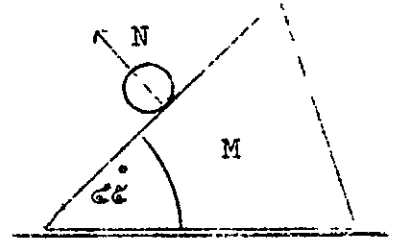
๗๐. อนุภาคมวล m วางอยู่บนพื้นเอียงเรียบของลิ้ม ซึ่งวางอยู่บนพื้นราบและเรียบ มวลของลิ้มเป็น M พื้นเอียงของลิ้มทำมุม 45° กับแนวระดับมวล M เคลื่อนที่ไปด้วยความเร่ง a สมการการเคลื่อนที่ของมวล M ในแนวระดับ คือ

ก. $N \sin 45^\circ = aM$

ข. $N \cos 45^\circ = Ma$

ค. $N \sin 45^\circ - Mg = aM$

ง. $N \cos 45^\circ + Mg = Ma$



๗๑. จากข้อมูลในข้อ ๗๐ ความเร่งของลิ้มในเทอมของ m และ M มีค่าเท่าใด

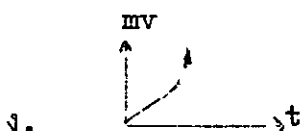
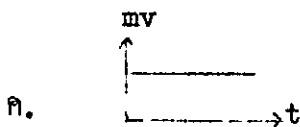
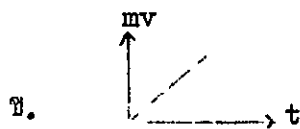
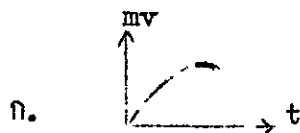
ก. $\frac{mg \sqrt{2}}{m + 4M}$

ข. $mg (m + 2M)$

ค. $\frac{mg \sqrt{2}}{m + M}$

ง. $\frac{mg}{m + 2M}$

๗๒. ถ้าใช้แรง P กระทำต่ออนุภาคมวล m ทำให้มวลที่หยุดนิ่งเคลื่อนที่ไปในแนวระดับ กราฟข้อใดแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมของมวล m กับเวลา t



๓๓. ยิงกระต่ายที่อยู่นิ่งควยกระสุนปืนมวล ๕๐ กรัม ถ้าความเร็วของลูกกระสุนเป็น ๑๐๐๐ เมตร/วินาที กระต่ายวิ่งมีมวล ๓ ก.ก. จะกระเด็นไปควยความเร็วเท่าไร สมมติว่าลูกกระสุนฝังในตัวกระต่าย

ก. $3000/105$ เมตร/วินาที

ข. $4000/105$ เมตร/วินาที

ค. $5000/105$ เมตร/วินาที

ง. $6000/105$ เมตร/วินาที

๓๔. อนุภาคมวล m ถูกแรง $\vec{F}$ กระทำให้เคลื่อนที่ ถ้าโมเมนตัมของมวลเมื่อเวลา t มีค่า $\vec{p} = 4e^t \hat{i} + 3\sin t \hat{j} - 5\cos t \hat{k}$ แรง $\vec{F}$ ที่กระทำต่ออนุภาคมีค่าเท่าใด

ก. $\vec{F} = 4e^t \hat{i} + 3\cos t \hat{j} - 5\sin t \hat{k}$

ข. $\vec{F} = 4e^t \hat{i} + 3\cos t \hat{j} + 5\sin t \hat{k}$

ค. $\vec{F} = 4e^t \hat{i} + 3\cos t \hat{j} - 5\sin t \hat{k}$

ง. $\vec{F} = 4 \hat{i} + 3\cos t \hat{j} + 5\sin t \hat{k}$

๓๕. อนุภาคมวล ๑ ก.ก. เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็ว $v = 4 - 5t$ เมตร/วินาที เมื่อ t เป็นเวลาใด ๆ แรงลัพธ์ที่กระทำอนุภาคมีขนาดเท่าใด

ก. ๑ นิวตัน

ข. ๒ นิวตัน

ค. ๓ นิวตัน

ง. ๔ นิวตัน

๓๖. แรง $\vec{F}$ หนึ่งขึ้นอยู่กับเวลาตามความสัมพันธ์ $\vec{F} = 20 - 4t$ นิวตัน แรง $\vec{F}$ นี้ กระทำต่อมวล ๕ ก.ก. ซึ่งเดิมอยู่นิ่ง ความเร่งของมวล ๕ ก.ก. เมื่อเวลา t ใด ๆ มีค่าเท่าใด

ก. $-4t$ เมตร/วินาที^๒

ข. ๑ เมตร/วินาที^๒

ค. ๑๒ เมตร/วินาที^๒

ง. $\frac{9}{5}(20 - 4t)$ เมตร/วินาที^๒

๗๗. ความเร็วของวัตถุมวล ๒๐ ก. ก. ขึ้นอยู่กับปริมาณการขจัด ดังสมการ

$$v = (2x - \frac{5}{6}x^2)^{3/2} \quad \text{ที่ } x = 0$$

วัตถุนั้นหยุดนิ่ง แรง F กับการขจัด x มีความสัมพันธ์กันตามสมการ

ก. $F = 20 - 5x$

ข. $F = 30 - 5x^2$

ค. $F = 2 - \frac{5}{6}x$

ง. $F = 0.2 - 2.5x^2$

๗๘. ไม้สว่านเสมยาว x เมตร วางนิ่งอยู่บนพื้นโต๊ะ เรียงปลายข้างที่ห้อยผ่านพื้นขอบโต๊ะ มีความยาว a เมตร ถ้าโซ่เริ่มเคลื่อนที่จากหยุดนิ่งและพื้นโต๊ะมี ส.ป.ส. ความเสียดทานเป็น μ กำหนดให้ p เป็นมวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวและ y เป็นความยาวของโซ่ที่ผ่านพื้นขอบโต๊ะ เมื่อเวลา t ใด ๆ สมการการเคลื่อนที่ของโซ่ คือ

ก. $pyg + \mu(x+y)pg = px\ddot{y}$

ข. $pgy - \mu(x-y)pg = p\ddot{y}$

ค. $pgy - \mu(x-y)pg = px\ddot{y}$

ง. $pgy - pg\mu(y-x) = py\ddot{x}$

๗๙. จรวดเคลื่อนที่ในแนวระดับ ถ้า v_0 เป็นมวลของจรวดเปล่า m_0 เป็นมวลของเชื้อเพลิงตอนเริ่มต้น m เป็นมวลเชื้อเพลิง เมื่อเวลา t ใด ๆ และ M เป็นมวลทั้งหมดของจรวดเมื่อเวลา t ใด ๆ จรวดพ่นแก๊สออกมาด้วยความเร็วคงที่ u สัมพัทธ์กับจรวด และจรวดมีความเร็ว v ความเร็วสูงสุดของจรวด v_m มีค่าเท่าใด

ก. $v_m = u \ln \left(\frac{M_0 - m}{M_0} \right)$

ข. $v_m = u \ln \left(\frac{M_0 + m}{M} \right)$

ค. $v_m = u \ln \left(\frac{M}{M_0 + m} \right)$

ง. $v_m = u \ln \left(\frac{M}{M_0 - m} \right)$

๔๐. หยคน้ำฝนรูปทรงกลม เริ่มตกลงมาจากหยุนึงจากระยะสูง y ขณะที่ตกลงมาได้ สะสมละอองน้ำควอเตอร์ c กรัม/ซม.^๒/วินาที ถ้าแรงที่กระทำในแนวดิ่งมี แตะแรงดึงดูดของโลกเท่านั้น สมการการเคลื่อนที่ของเม็ดฝน คือข้อใด กำหนดให้ รัศมีของหยคน้ำฝนตอนเริ่มตกเป็น x และ v เป็นความเร็วของหยคน้ำฝน เมื่อเวลา t ใด ๆ

ก. $\frac{dv}{dt} + \frac{mcv}{x+ct} = g$

ข. $\frac{dv}{dt} - \frac{mcv}{y+ct} = g$

ค. $\frac{dv}{dt} + \frac{mcv}{y+ct} = g$

ง. $\frac{dv}{dt} - \frac{mcv}{x+ct} = g$