**บทนำ**

**ธรรมชาติของฟิสิกส์**

ปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ เมื่อสังเกตจะพบว่าปรากฏการณ์ธรรมชาติทั้งหลายเหล่านั้นล้วนแต่มีปริศนา น่าค้นหาคำตอบ เช่น

-เหตุใดท้องฟ้าจึงเป็นสีฟ้าในเวลากลางวัน และเป็นสีดำในตอนกลางคืน

-เมื่อโยนก้อนหินขึ้นไปในอากาศ ก้อนหินจะตกลงสู่พื้น เหตุใดก้อนหินนั้นจึงไม่ลอยค้างอยู่เช่นนั้น

มนุษย์สมัยโบราณพยายามอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเหล่านั้น โดยเชื่อว่าเป็นผลมาจากการกระทำของเทพเจ้าหรือภูตผีปีศาจ จากอดีตสู่ปัจจุบันได้มีการพัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆ โดยมีการสังเกตการณ์บันทึกข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อสรุปเป็นข้อความรู้และความสัมพันธ์ของสิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกัน การศึกษาอย่างมีลำดับขั้นตอนเหล่านี้ เรียกว่า “กระบวนการทางวิทยาศาสตร์” ฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งของวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ คำว่า ฟิสิกส์(Physics) มาจากคำว่า Physis ในภาษากรีกซึ่งหมายถึง ธรรมชาติ(Nature) ดังนั้นคำว่า ฟิสิกส์ จึงเป็นคำที่ใช้ศึกษาปรากฏการณ์ในธรรมชาติมาตลอด การพยายามหาคำมาอธิบาย ทำนาย หรือลงข้อสรุปถึงสาเหตุของปรากฏการณ์ต่างๆเป็นผลทำให้เกิดทฤษฎีหรือกฎทางฟิสิกส์และแขนงวิชาอื่นๆมากมาย ด้วยเหตุนี้ “ฟิสิกส์” จึงหมายถึง วิทยาศาสตร์ที่ศึกษาองค์ประกอบและปฏิสัมพันธ์ของสสารกับพลังงาน ตลอดจนความสัมพันธ์ของปริมาณต่างๆ ในธรรมชาติ เพื่อทำความเข้าใจ อธิบายและคาดการณ์ปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ ตลอดจนนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาค้นคว้าในศาสตร์สาขาอื่นๆ

**การค้นหาความรู้และขอบเขตของฟิสิกส์**

กลไกของฟิสิกส์ คือ การอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยหรือ ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เราต้องการแสวงหาคำตอบ แล้วอธิบายความสัมพันธ์เหล่านั้น ด้วยหลักทางคณิตศาสตร์ ความรู้ทางฟิสิกส์ส่วนหนึ่งได้มาจากการสังเกตปรากฏการณ์ธรรมชาติ และจากการทดลองในห้องปฏิบัติการแล้วรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์ แปลความหมาย และสรุปผล ข้อสรุปที่ได้นี้อาจนำไปสู่**ทฤษฎี** ถ้าทฤษฎีนั้นสามารถที่จะอธิบายปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องได้ทุกครั้ง ทฤษฎีดังกล่าวก็จะพัฒนาไปเป็น **กฎ** นอกจากนี้ความรู้ทางฟิสิกส์ยังได้มาจากการจินตนาการ เช่น การสร้างแบบจำลองทางความคิดแล้วใช้หลักการของฟิสิกส์มาอธิบายแล้วนำไปสู่การสรุปเป็นทฤษฎี และมีการทดลองเพื่อตรวจสอบทฤษฎีนั้นๆ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาฟิสิกส์ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท

1.ข้อมูลเชิงคุณภาพ(Qualitative data)เป็นข้อมูลที่ได้จากการบรรยายสภาพของสิ่งที่สังเกตได้ตามขอบเขตของการรับรู้ เช่น การระบุลักษณะของรูปทรง ลักษณะพื้นผิว สี กลิ่น รส ซึ่งเป็นข้อมูลที่ยังไม่ได้วัดหรือวัดไม่ได้

2.ข้อมูลเชิงปริมาณ(Quantitative data)เป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณต่างๆ ของระบบที่ศึกษาโดยใช้เครื่องมือวัดและวิธีการวัดที่ถูกต้อง ทำให้ได้ข้อมูลเชิงตัวเลข เช่น ข้อมูลระยะทาง มวล เวลา และอุณหภูมิ

กระบวนการทางวิทยาศาสตร์(Science Process) เป็นเครื่องมือในการค้นหาความรู้ที่มาจากการสังเกต การลงความเห็น การวัด การคำนวณ การทำนาย การแปลความหมาย การจัดจำแนก การหาความสัมพันธ์ระหว่างspace กับ space และ space กับ time ดังนั้นกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จึงประกอบด้วย การตั้งปัญหา การตั้งสมมุติฐาน การออกแบบและทำการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูล และการสรุปข้อมูล

วิชาฟิสิกส์แบ่งออกเป็นหลายสาขา เช่น กลศาสตร์ ความร้อน เสียง แสง แม่เหล็ก-ไฟฟ้า และฟิสิกส์นิวเคลียส หรืออาจจะแบ่งออกเป็นภาคใหญ่ คือ

1.ฟิสิกส์ยุคเก่า (Classical Physics)

2.ฟิสิกส์ยุคใหม่ (Modern Physics)

แต่ในปัจจุบันศาสตร์ของฟิสิกส์นั้นได้ถูกแบ่งออกเป็นศาสตร์หลักๆ ดังนี้

**สาขาของฟิสิกส์**

1.กลศาสตร์(Mechanics) 2.คลื่น(Waves) 3.ไฟฟ้า-แม่เหล็ก(Electricity) 4.สมบัติของสาร(Properties of Matter) 5.ฟิสิกส์แผนใหม่(Modern Physics)

**บทที่ 1**

**การวัดและการบันทึกข้อมูล**

**ธรรมชาติของการวัด**

เครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์ ส่วนใหญ่จะให้ข้อมูลเชิงปริมาณ การวัดปริมาณต่างๆ ประกอบด้วย เครื่องมือ วิธีการวัด และหน่วยที่เป็นมาตรฐาน ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดทุกชนิดทุกแบบ ยังคงมีความคลาดเคลื่อนเสมอ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใดจึงขึ้นอยู่กับ

1. ผู้ที่ทำการวัด กล่าวได้ว่า ผู้ทำการวัดมีความสำคัญมากในการเก็บข้อมูลทางฟิสิกส์ ข้อมูลที่รับจากการวัดจะถูกต้องมากหรือน้อยขึ้นกับความรอบคอบของผู้วัด ตลอดจนความชำนาญในการใช้เครื่องมือวัด

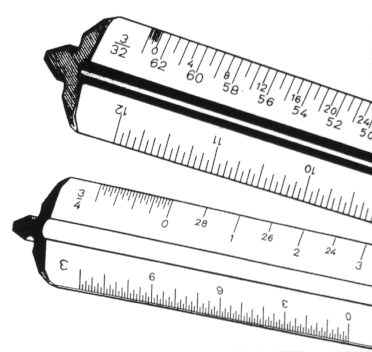
2. สภาพแวดล้อมขณะทำการวัด เมื่อมีการวัดซ้ำๆหลายครั้ง ก็จะได้ค่าที่วัดที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งก็ไม่ได้หมายความว่าผู้ที่ทำการวัดทำอะไรผิด การที่เกิดเหตุการณ์เช่นนั้นเป็นเรื่องของการแปรปรวนในขณะทำการวัด (ตัวอย่างเช่น ขณะที่ผู้วัดทำการวัดความเร็วลมกลางแจ้ง ก็จะพบว่าค่าที่วัดมีความเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา) หรืออาจเกิดจากเครื่องมือวัดที่ไม่มีความสมบูรณ์ตามที่มันควรเป็น ตัวอย่างเช่น หากเราใช้ตลับเทปวัดความยาวมันอาจจะยืดออกขณะที่วัด ทำให้เกิดค่าที่วัดแตกต่างกันได้ ดังนั้นในการวัดซ้ำ และมีค่าที่วัดได้แตกต่างกันขึ้น วิธีที่ดีที่สุด คือการอ่านค่าซ้ำจำนวนมาก แล้วหาค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้คือ ค่าจริง (True value)

3. วิธีการวัด

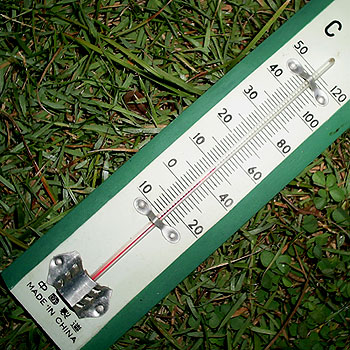
4. เครื่องมือวัด ตลอดจนขีดจำกัดและประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดนั้นๆ เป็นสำคัญ

ซึ่งการแสดงผลของการวัดมี 2 แบบ คือ แบบขีดสเกลและแบบตัวเลข

-การแสดงผลด้วยขีดสเกล เช่น สเกลไม้บรรทัด สเกลของเครื่องชั่ง สเกลบนกระบอกตวง โวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์ เป็นต้น



**ภาพที่ 1** สเกลไม้บรรทัด **ภาพที่ 2** สเกลของเครื่องชั่ง  **ภาพที่ 3** สเกลบนกระบอกตวง



**ภาพที่ 4** สเกลของโวลต์มิเตอร์  **ภาพที่ 5** สเกลของเทอร์โมมิเตอร์แบบขีดสเกล

-การแสดงผลด้วยตัวเลข เช่น นาฬิกาข้อมือแบบตัวเลข เครื่องชั่งไฟฟ้า เทอร์โมมิเตอร์แบบตัวเลข



**ภาพที่ 6** นาฬิกาข้อมือที่แสดงเวลาแบบตัวเลข **ภาพที่ 7** เครื่องชั่งดิจิตอล

thermo.jpg

**ภาพที่ 8** เทอร์โมมิเตอร์แบบตัวเลข

**การบันทึกข้อมูล**

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาฟิสิกส์ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท

1.**ข้อมูลเชิงคุณภาพ**(Qualitative data)เป็นข้อมูลที่ได้จากการบรรยายสภาพของสิ่งที่สังเกตได้ตามขอบเขตของการรับรู้ เช่น การระบุลักษณะของรูปทรง ลักษณะพื้นผิว สี กลิ่น รส ซึ่งเป็นข้อมูลที่ยังไม่ได้วัดหรือวัดไม่ได้

2.**ข้อมูลเชิงปริมาณ**(Quantitative data)เป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณต่างๆ ของระบบที่ศึกษาโดยใช้เครื่องมือวัดและวิธีการวัดที่ถูกต้อง ทำให้ได้ข้อมูลเชิงตัวเลข เช่น ข้อมูลระยะทาง มวล เวลา และอุณหภูมิ

ซึ่งการบันทึกข้อมูลจากการทดลองนั้นจะต้องเป็นไปตามขั้นตอนของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์(Science Process) อันเป็นเครื่องมือในการค้นหาความรู้ที่มาจากการสังเกต การลงความเห็น การวัด การคำนวณ การทำนาย การแปลความหมาย การจัดจำแนก การหาความสัมพันธ์ระหว่างspace กับ space และ space กับ time ดังนั้นกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จึงประกอบด้วย การตั้งปัญหา การตั้งสมมุติฐาน การออกแบบและทำการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูล และการสรุปข้อมูล

**หลักเกณฑ์ในการบันทึกตัวเลขและการคำนวณ**

1.การบันทึกตัวเลขที่เหมาะสม ขอบเขตของความละเอียดในการวัดขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้วัด ดังนั้น ตัวเลขที่ได้จากการวัดสามารถบอกความละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้วัดได้ ตัวเลขดังกล่าวมีความสำคัญมากในการวัด จึงเรียกว่า **เลขนัยสำคัญ(significant)** อุปกรณ์ที่ใช้วัดต่างกันก็จะให้จำนวนตัวเลขนัยสำคัญต่างกันด้วย หรือกล่าวอีกอย่างคือ จะให้ความแม่นยำในการวัดต่างกัน เช่น

รูป ก

O C รูป ข

**รูป ก** อุปกรณ์การวัดมีความละเอียดแค่เซนติเมตร วัดความยาว OC ได้ 3.7 cm และตัวสุดท้ายคือ 3 เป็นตัวเลขที่เดาขึ้น ถ้าไม่แน่ใจคิดว่าผิดไปไม่เกิน 0.1 ต้องบันทึกเป็น 3.7 ± 0.1 หมายความว่าอาจเป็น 3.6 หรือ 3.8 ก็ได้ ในกรณีรูป ก นี้ไม่ควรบันทึกเป็น 3.75 ± 0.01 เพราะละเอียดเกินความจริง

**รูป ข** อุปกรณ์การวัดมีความละเอียดถึงมิลลิเมตร วัดความยาว OC ได้ 3.75 cm และตัวสุดท้ายคือ 5 เป็นตัวเลขที่เดาขึ้น ถ้าไม่แน่ใจคิดว่าผิดไปไม่เกิน 0.01 ต้องบันทึกเป็น 3.75 ± 0.01 หมายความว่าอาจเป็น 3.74 หรือ 3.76 ก็ได้

**สรุป การบันทึกตัวเลขจากการวัด**

1.ตัวเลขสุดท้ายเป็นตัวที่เดาขึ้นไม่มีสเกลบอกในอุปกรณ์วัด

2.ตัวเลขตัวอื่นๆ ที่ไม่ใช่ตัวเลขตัวสุดท้ายเป็นตัวที่วัดได้แน่นอน เพราะมีสเกลบอกไว้

3.การบันทึกมีรูปแบบดังนี้

ค่าแน่นอน เดา คาดว่าผิด

**เลขนัยสำคัญ**

เลขนัยสำคัญ คือ เลขที่มีความสำคัญหรือความหมายต่อการวัดหรือการทดลอง เพราะว่าการทดลองในวิทยาศาสตร์ย่อมมีการวัดและต้องอ่านค่าจากเครื่องมือวัดออกมาเป็นตัวเลขที่บอกความหมาย ดังนั้นเลขนัยสำคัญจะเป็นตัวชี้บ่งว่าข้อมูลที่วัดได้ ละเอียดขนาดไหน

**หลักการนับเลขนัยสำคัญ**

หลักในการพิจารณาว่าตัวเลขจากการวัดใดมีเลขนัยสำคัญกี่ตัวพิจารณาดังนี้

1. ตัวเลขทุกตัวที่ไม่ใช่เลขศูนย์(0) เป็นเลขที่มีนัยสำคัญ เช่น 3.2, 2.46, 1.326, 16, 162, 2342 มีเลขนัยสำคัญ 2, 3, 4, 2, 3, 4 ตัว ตามลำดับ

2. เลขศูนย์ (0) ทุกตัวที่อยู่ระหว่างตัวเลขนัยสำคัญ เป็นเลขนัยสำคัญ เช่น

103 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

1002 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

1000.02 มีเลขนัยสำคัญ 6 ตัว

1.001234 มีเลขนัยสำคัญ 7 ตัว

3. เลขศูนย์ (0) เมื่ออยู่ปลายสุดทางด้านขวาโดยอยู่หลังจุดทศนิยมเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น

1.0 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว

1.00 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

1.020 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

ในบางกรณี เลขศูนย์ (0) ที่อยู่ทางขวาของเลขจำนวนเต็มใดๆ อาจบอกเป็นเลขนัยสำคัญได้ไม่ชัดเจนถ้าต้องการย้ำให้เกิดความชัดเจนควรเขียนให้อยู่ในรูปของเลขยกกำลัง เช่น   
 3600 = 3.600 x 103 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว   
 3600 = 3.60 x 103  มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว   
 3600 = 3.6 x 103 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว

การพิจารณาเลขนัยสำคัญในข้อนี้ อาจกล่าวได้ว่า เลขยกกำลังไม่ถือว่าเป็นเลขนัยสำคัญ

4. เลขศูนย์ (0) เมื่ออยู่ปลายซ้ายมือไม่เป็นเลขนัยสำคัญ เช่น

0.10 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว

00.120 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

0.1020 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

0.0002 มีเลขนัยสำคัญ 1 ตัว

0.00238 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

เนื่องจากเลขนัยสำคัญเป็นเลขที่ได้จากการวัด ดังนั้นจึงเขียนให้อยู่ในรูปทศนิยมเสมอ เช่น แม้ว่าใช้ไม้บรรทัดธรรมดาจะวัดของที่ยาว 10 เซนติเมตร พอดีก็จะต้องบันทึกว่ายาว 10.00 เซนติเมตร

**การคำนวณเลขนัยสำคัญ**

**การบวกและการลบเลขนัยสำคัญ** ผลลัพธ์จากการบวกลบเลขนัยสำคัญจะต้องมีจำนวนตัวเลขหลังจากจุดทศนิยมเท่ากับจำนวนตัวเลขหลังจุดทศนิยมที่น้อยที่สุดของกลุ่มตัวเลขที่นำมาบวก หรือลบกัน ตัวอย่างเช่น   
 ตัวอย่างที่ 1 4.20 + 1.632 + 0.015 = 5.8403   
 จากตัวเลขนัยสำคัญ 5.8403 ควรตอบเป็น 5.84   
 ตัวอย่างที่ 2 1.2 + 62.543 + 10.12 = 73.863   
 จากตัวเลขนัยสำคัญ 73.863 ควรตอบเป็น 73.9   
 ตัวอย่างที่ 3 5.6732 + 3.12 - 4.6 - 3.802 = 0.3912   
 จากตัวเลข 0.3910 ควรตอบเป็น 0.4

**หมายเหตุ** หากพูดให้เป็นภาษาคำพูดก็คือว่า ตอบตามตำแหน่งของจุดทศนิยมที่น้อยที่สุดที่นำเลขมาบวกหรือ ลบกัน

**การคูณและการหารเลขนัยสำคัญ** ผลลัพธ์จากการคูณหรือการหารเลขนัยสำคัญนั้น ควรมีจำนวนตัวเลขนัยสำคัญเท่ากับตัวเลขที่มีเลขนัยสำคัญน้อยที่สุดในกลุ่มที่นำมาคูณหรือหารกันนั้น เช่น

ตัวอย่างที่ 1 3.23 x 1.2 = 3.876 ควรตอบเป็น 3.9

ตัวอย่างที่ 2 0.1342 ÷ 1.52 = 0.0882894736 ควรตอบเป็น 0.0883

**กรณียกเว้น** เมื่อผลลัพธ์ได้เลขศูนย์ (0) เป็นเลขนัยสำคัญก่อนจะปัดเลขอื่นทบขึ้นไปอีก 1 แทนที่เลข 0 ไม่ต้องปัดเลขนั้นขึ้นมาให้คงคำตอบไว้เกินจำนวนตัวเลขนัยสำคัญที่น้อยที่สุดในกลุ่มที่นำมาคูณหรือหารกันได้ เช่น

ตัวอย่างที่ 1 0.92 x 1.13 = 1.0396 ควรตอบ 1.04

ตัวอย่างที่ 2 9.84 ÷ 9.3 = 1.058064516 ควรตอบ 1.06

**การปัดเลข**

เลขต่ำกว่า 5 ตัดทิ้ง เช่น 32.663 ตอบ 32.66

เลขมากกว่า 5 ปัดเป็น 1 เช่น 32.666 ตอบ 32.67

ถ้าเป็นเลข 5 พอดี จะปัดเป็น 1 ถ้าหากหน้าเลข 5 เป็นเลขคี่ เช่น 32.775 ตอบ 32.78 ถ้าหน้าเลข 5 ถ้าเป็นเลขคู่ตัดทิ้ง เช่น 32.765 ตอบ 32.76

**ความผิดพลาดหรือความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ (% Error)**

**เช่น** เส้นรอบโลกขององค์การนาซ่าวัดได้จริงเท่ากับ 40,008 km

ค่าที่วัดได้จากการคำนวณจากการทดลองเท่ากับ 39,887 km

จงหาว่า ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการทดลองเป็นกี่เปอร์เซนต์

**จากสูตร**

**แทนค่า**

**** = 0.3 %

**ตัวอย่างที่ 1** ตามรูปควรบันทึกความยาวของดินสอแท่งนี้ เป็นเท่าใด

**วิธีทำ** พิจารณาดูสเกลการวัดจะเห็นว่าความยาวของดินสอ นั้น มากกว่า 3 และโดยประมาณแล้ว ถ้าเราแบ่งสเกลระหว่าง 3 กับ 4 ออกเป็น 10 ช่อง จะเห็นว่าปลายสุดของดินสอ มีค่าเกิน 5 (โดยประมาณให้ใกล้เคียงที่สุด) ดังนั้น เราควรตอบหรือบันทึกค่าที่ได้เป็น 3.6 ± 0.1

**ตัวอย่างที่ 2** จงหาค่าผลหารของเลขต่อไปนี้

a.

b.

c.

d.

ในข้อนี้ไม่ตอบเป็นจำนวนเต็มลบ (-2.078) เนื่องจากว่า ใช้การประมาณค่า

ดังนั้นจะได้ว่า

**ตัวอย่างที่ 3**

ทดลองวัดความยาวของสิ่งๆ หนึ่งได้ 5.45 เซนติเมตร ถ้าผู้สังเกตเห็นว่าเลขตัวสุดท้ายของปริมาณนี้ควรเป็น 4 หรือ 6 เขาควรบันทึกการวัดอย่างไร

**วิธีทำ**

เมื่อพิจารณาตัวสุดท้ายเป็น 4 จะได้ 5.44 เซนติเมตร (หรือ 5.45 – 0.01 ) และถ้าตัวสุดท้ายเป็น 6 จะได้ 5.46 เซนติเมตร (หรือ 5.45 + 0.01 ) ดังนั้นควรบันทึกเป็น 5.45 ± 0.01

**แบบฝึกหัด**

**ตัวอย่าง**

1.0080 กิโลกรัม มีเลขนัยสำคัญ 5 ตัว คือ 1, 0, 0, 8, 0  
  
1. 454 กรัม                     มีเลขนัยสำคัญ..........ตัว คือ.......... .......... ..........  
2. 2.2 นิวตัน                   มีเลขนัยสำคัญ..........ตัว คือ.......... .......... ..........  
3. 2.205 นิวตัน               มีเลขนัยสำคัญ..........ตัว คือ.......... .......... ..........  
4. 0.3937 เมตร               มีเลขนัยสำคัญ..........ตัว คือ.......... .......... ..........  
5. 1.6725 x 10-18      มีเลขนัยสำคัญ..........ตัว คือ.......... .......... ..........  
6. 0.0353 เมตร               มีเลขนัยสำคัญ..........ตัว คือ.......... .......... ..........  
7. 14.9 มิลลิเมตร             มีเลขนัยสำคัญ..........ตัว คือ.......... .......... ..........  
8. 246500 เขียนเป็นเลขนัยสำคัญ 3 ตัวได้ คือข้อใด   
 ก. 2.46500 x 105   
 ข. 2.4650 x 105   
 ค. 2.465 x 105   
 ง.  2.47 x 105   
9. ข้อใดต่อไปนี้มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว คือข้อใด  
 ก. 0.070   
 ข. 2.0 x 102   
 ค. 0.009   
 ง. 4.50 x 10-2   
10. ผลลบของ 596.35 กับ 32.1 มีค่าเท่าไร   
 ก. 564.25   
 ข. 564.2   
 ค. 564.3   
 ง. 564

**ตัวอย่างที่ 1** จงเปลี่ยนหน่วย 72 km/hr มีค่าเท่าใดในหน่วย m/s

**ตัวอย่างที่ 2** ความยาว 4.9 นาโนเมตร มีค่าเท่าใดในหน่วยกิโลเมตร

**วิธีทำ** ให้ x เป็นค่าในหน่วย km

จะได้

x km = 4.9 nm

x (103)m = 4.9(10-9)m

x = 4.9 x 10-12

ดังนั้น 4.9 nm = 4.9 x 10-12 km

**ตัวอย่างที่ 3** ความเร่งของวัตถุหนึ่งเท่ากับ 2 m/s2 จะมีค่าเท่าใดในหน่วยกิโลเมตรต่อชั่วโมง2

**วิธีทำ** ให้ x เป็นค่าในหน่วย km/h2

จะได้

***ลองทำดู***

*จงเปลี่ยนหน่วยจาก 20 m/s มีค่าเท่าใดในหน่วย km/hr (แสดงวิธีทำประกอบ)*

***บทที่* 2**

***ปริมาณสเกลาร์และปริมาณเวกเตอร์***

**ปริมาณทางฟิสิกส์**

**ปริมาณสเกลาร์ (Scalar Quantity)** เป็นปริมาณที่บอกเพียงขนาดอย่างเดียวก็สามารถที่จะสื่อและเข้าใจความหมายได้อย่างสมบูรณ์ เช่น มวล(mass) ความยาว(length) เวลา(time) ปริมาตร(volume) ความหนาแน่น(density) อัตราเร็ว(speed) เป็นต้น

**ปริมาณเวกเตอร์ (Vector Quantity)** เป็นปริมาณที่ต้องบอกทั้งขนาดและทิศทาง ต้องบอกว่ามีขนาดเท่าใดและเคลื่อนที่ไปทางใด ใช้เครื่องหมาย อยู่เหนืออักษร เช่น ความเร็ว(velocity) แรง(force) ความเร่ง(acceleration) การขจัดหรือการกระจัด(displacement) โมเมนตัม(momentum) เป็นต้น

**เวกเตอร์(vector)**

ปริมาณเวกเตอร์นั้น เราจะแทนได้ด้วยส่วนของเส้นตรงที่ระบุทิศทาง ซึ่งความยาวของส่วนของเส้นตรงจะแทนขนาด และใช้หัวลูกศรเพื่อบอกทิศทาง ดังภาพ

a b

a คือ จุดเริ่มต้น

b คือ จุดสิ้นสุด

ดังนั้น ความยาว ab คือ ขนาดของเวกเตอร์ หรือเขียนแทนด้วย  *หรือ หรือ หรือ*

**เวกเตอร์ที่มีขนาดเท่ากัน(ไม่สนใจทิศทาง)**

**นิยาม** และ มีขนาดเท่ากัน ก็ต่อเมื่อ แทนเวกเตอร์ทั้งสองตัวด้วยส่วนของเส้นตรงที่ระบุทิศทาง แล้วพบว่าความยาวของส่วนของเส้นตรงทั้งสองนั้นเท่ากัน

*a* หน่วย *a* หน่วย

*a หน่วย*

*จากรูป พบว่า หน่วย*

***เวกเตอร์ที่มีทิศทางเดียวกัน(ไม่สนใจขนาด)***

**นิยาม** และ  *มีทิศทางเดียวกัน ก็ต่อเมื่อ แทนเวกเตอร์ทั้งสองด้วยส่วนของเส้นตรงที่ระบุทิศทาง แล้วพบว่าส่วนของเส้นตรองทั้งสองนั้นขนานกัน หรืออยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน และมีหัวลูกศรไปทางเดียวกัน*

θ

θ

*จากรูป*  ,  *และ*  *มีทิศทางเดียวกัน*

***เวกเตอร์ที่มีทิศทางตรงข้ามกัน (ไม่สนขนาด)***

**นิยาม** และ  *มีทิศทางตรงข้ามกัน ก็ต่อเมื่อ แทนเวกเตอร์ทั้งสองด้วยส่วนของเส้นตรงที่ระบุทิศทาง แล้วพบว่า ส่วนของเส้นตรงทั้งสองนั้นขนานกัน หรืออยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน แต่หัวลูกศรไปทางตรงข้ามกัน*

θ

θ

*จากรูป*  และ  *มีทิศทางตรงข้ามกัน*

และ  *มีทิศทางตรงข้ามกัน*

***เวกเตอร์ที่ขนานกัน (ไม่สนขนาด)***

**นิยาม** และ  *ขนานกันก็ต่อเมื่อ เวกเตอร์ทั้งสองมีทิศทางเดียวกันหรือทิศทางตรงข้ามกัน*

θ

θ

θ

*จากรูป*

***การเท่ากันของเวกเตอร์***

**นิยาม** เท่ากับ  *ก็ต่อเมื่อ เวกเตอร์ทั้งสองมีขนาดเท่ากัน และมีทิศทางเดียวกัน แต่ไม่จำเป็นต้องทับกันสนิท (ไม่ว่าจะเคลื่อนย้ายไปไหนได้ตราบที่ขนาดยังเท่าเดิม และทิศทางไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งยังคงเป็นเวกเตอร์เดิมอยู่)*

***นิเสธของเวกเตอร์***

*นิยาม นิเสธของ คือ เวกเตอร์ที่มีขนาดเท่ากับขนาดของ และมีทิศทางตรงข้ามกัน ซึ่งนิเสธของ ถูกเขียนแทนด้วย b*

*a*

*b*

*a*

*จากรูป กับ คือ เวกเตอร์ที่มีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงข้ามกัน*

***เวกเตอร์ศูนย์***

*นิยาม เวกเตอร์ศูนย์ คือ เวกเตอร์ที่มีขนาดเท่ากับศูนย์ หรือ เวกเตอร์ที่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเป็นจุดเดียวกัน เขียนแทนด้วย* (.)

***การกระทำกันของเวกเตอร์*(Operations of Vector)**

***การบวกเวกเตอร์***

*การรวมเวกเตอร์โดยวิธีการเขียนรูป มีขั้นตอนดังนี้*

*1. เขียนลูกศรแทนเวกเตอร์ตัวแรกตามขนาดและทิศทางที่กำหนด*

*2. นำหางลูกศรแทนเวกเตอร์ตัวที่สอง ต่อกับหัวลูกศรเวกเตอร์ตัวแรก โดยมีขนาดและทิศทางตามที่กำหนด*

*3. ถ้ามีเวกเตอร์ย่อยหลายๆ ตัวให้ทำเหมือนข้อ 2 จนครบทุกตัว*

*4. เวกเตอร์ลัพธ์ หาได้จากลากลูกศรจากหางเวกเตอร์แรก ไปยังหัวลูกศรของเวกเตอร์ตัวสุดท้าย*

***ตัวอย่างที่* 1** *กำหนดเวกเตอร์*

*จากรูป* ***, ,***  *,*  ***เป็นเวกเตอร์ลัพธ์*** *ที่เกิดขึ้นจากการกระทำกันโดยการบวก โดยทั่วไปนิยมใช้สัญลักษณ์*

***กรณี การหาเวกเตอร์ลัพธ์จากการต่อเวกเตอร์ให้ได้สี่เหลี่ยมด้านขนาน***

*ถ้ามีเวกเตอร์ 2 เวกเตอร์ใดๆ ในระนาบ อาจหาผลบวกของเวกเตอร์ทั้งสอง โดยการใช้หางของเวกเตอร์ทั้งสองต่อกัน แล้วสร้างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีเวกเตอร์ทั้งสองเป็นด้าน จะได้เวกเตอร์ผลลัพธ์ คือ เส้นทแยงมุมของรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานที่ลากจากจุดหางของเวกเตอร์ทั้งสองต่อกันไปยังมุมตรงข้าม ซึ่งจะแทนเวกเตอร์ผลลัพธ์ทั้งขนาดและทิศทาง ดังรูป*

***สมบัติของการบวกเวกเตอร์***

*กำหนดให้ เป็นเวกเตอร์ใดๆ ในระนาบ*

*1. พบว่า เมื่อนำ ยังคงเป็นเวกเตอร์ในระนาบเดิมอยู่ กล่าวคือ เวกเตอร์มีสมบัติปิดของการบวก*

*2. แสดงว่าเวกเตอร์มีสมบัติการสลับที่ของการบวก*

*3.*

*แสดงว่ามีสมบัติการเปลี่ยนกลุ่ม*

*4. เวกเตอร์มีสมบัติการมีเอกลักษณ์การบวกด้วย คือ*

*เนื่องจาก*

*5. สำหรับทุก ใดๆ ในระนาบ จะมีคู่ของมันเสมอคือ ที่ทำให้*

*นั่นแสดงว่า เวกเตอร์มีสมบัติการมีอินเวอร์สการบวก*

*6. ถ้า แล้ว*

*แสดงว่า มีสมบัติการบวกด้วยเวกเตอร์ที่เท่ากัน*

*7. ถ้า แล้ว*

*แสดงว่า มีสมบัติการตัดออกของการบวก*

***การลบเวกเตอร์*** *นิยาม*

*1.เวกเตอร์ใดๆ สามารถลบกันได้เสมอและยังคงเป็นเวกเตอร์อยู่*

*2.กำหนดให้ และ เป็นเวกเตอร์ใดๆ ในระนาบ ผลลบเวกเตอร์ ด้วย*

*เขียนแทนด้วย และ*

*จาก*

*จะได้ว่า บวกกับนิเสธของ ดังภาพ*

***ข้อสังเกต***

***จากรูป*** *จะเห็นว่า*  *ถึงขนาดจะเท่ากันแต่ทิศทางตรงข้ามกัน*

***สรุป***

*ถ้ามีเวกเตอร์ 2 เวกเตอร์ใดๆ ในระนาบ แล้วสร้างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีเวกเตอร์ทั้งสองเป็นด้านและจะพบว่าผลบวกกับผลลบต่างก็เป็นดังรูป*

***ปริมาณขจัด(การกระจัด)*** *หมายถึง การเปลี่ยนตำแหน่งจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ปริมาณขจัดนี้จะแทนด้วย* ***เส้นตรงที่ลากจากจุดตั้งต้นไปยังจุดสุดท้ายของการเปลี่ยนตำแหน่ง*** *โดยไม่ต้องคำนึงถึงแนวทางเดินของการเปลี่ยนตำแหน่งนั้นเลย*

*B จากภาพ จะเห็นว่า การเปลี่ยนตำแหน่งจากจุด A ไปยังจุด B*

*ตามเส้นทาง 3 เส้น คือ (1), (2) และ (3) ซึ่งการเปลี่ยน*

*(2) (3) ตำแหน่งทั้ง 3 เส้นทางนี้ จะให้ระยะขจัดที่เท่ากัน คือ เท่ากับ*

*เส้นตรงที่ลากจากจุด A ไปยังจุด B*

*(1)*

*A* ***ตัวอย่างที่ 1*** *สนามวงกลมแห่งหนึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เมตร เด็กคนหนึ่งเดินไปตามขอบสนาม เมื่อเดินไปได้ระยะ 1 ใน 4 ของรอบ จะได้ระยะทางเท่าไร และมีระยะขจัดเท่าไร A*

*ระยะทาง คือ ระยะทางตามแนวเส้นโค้ง OA*

*O*

*ระยะขจัด คือ ระยะทางตามแนวเส้นตรง OA*

*= 9.898 เมตร*

***การรวมปริมาณเวกเตอร์***

*1.การสร้างรูปแบบหัวต่อหาง เหมือนหัวข้อการบวก การลบข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้ว*

*2.โดยวิธีการคำนวณ ซึ่งในกรณีที่เวกเตอร์ต่อกันเป็นมุมฉากพอดี การหาเวกเตอร์ลัพธ์ หรือการขจัดลัพธ์ จะใช้ทฤษฎีบทสามเหลี่ยมมุมฉากของปีทาโกรัส แต่สำหรับเวกเตอร์ 2 ปริมาณ*  *และ*  *ที่ทำมุมกันเป็นมุม θ จะได้เวกเตอร์ลัพธ์*  *ตามกฎของโคไซน์*

*และทำมุม α โดย*

θ *α*

***การแยกเวกเตอร์***

*y*

F Fx = Fcosθ

*Fy* Fy = Fsinθ

*กล่าวคือ*

*θ F = Fsinθ + Fcosθ*

*Fx x*

*หาแรงลัพธ์ได้จาก*

*หามุมที่แรงลัพธ์ R กระทำกับแนวแกน x ได้จาก*

***ตัวอย่าง******1*** *แรง 500 นิวตัน กระทำกับวัตถุในทิศทำมุม 37 องศา กับแนวระดับ จงหาขนาดของเวกเตอร์ย่อยในแนวราบและแนวดิ่ง*

***แบบฝึกหัด***

1. กำหนดภาพดังต่อไปนี้ ให้นักเรียนแตกแรงโดยอาศัยวิธีการทางเวกเตอร์ พร้อมทั้งหาผลรวมของแรงในแนวแกน x และแนวแกน y (ให้นักเรียนแสดงวิธีการคำนวณหาแรงลัพธ์ มุมที่แรงลัพธ์นั้นกระทำ)

F**5**  = 300 N **y** F**1** = 200 N

F**4** = 400 N **x**

F**2** = 100 N

F**3**  = 50 N

2. จงหาขนาดของเวกเตอร์ลัพธ์ และทิศทางของเวกเตอร์ลัพธ์ จากภาพต่อไปนี้

*A* = 2 หน่วย *B* = 3 หน่วย *C =* 1 หน่วย

45ο 60ο

3. แรงขนาด 10 และ 20 นิวตัน กระทำร่วมกันที่จุด ๆ หนึ่ง เป็นมุม 53ο ต่อกัน จงหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์

4. อาจารย์ฟิสิกส์หน้าตาดีท่านหนึ่งขับรถไปทางทิศตะวันออก 5 กิโลเมตร จากนั้นลงใต้ 4 กิโลเมตร เลี้ยวและขับต่อไปทางทิศตะวันตกอีก 2 กิโลเมตร จงหาขนาดและทิศทางของระยะกระจัดลัพธ์

5. แรง 2 แรงเมื่อกระทำต่อกันเป็นมุม 60ο จะมีแรงลัพธ์เท่ากับ นิวตัน เมื่อกระทำกันเป็นมุม 120ο จะเกิดแรงลัพธ์เท่ากับ นิวตัน จงหาขนาดของแรงทั้ง 2 นี้ว่ามีค่าเท่าใด

*6.* จากภาพ จงหาแรงย่อยของแรง 300 N มีทิศชี้ลงไปทางขวามือ มี slope = 2/3

[Fx = 249 N, Fy = -166 N]

*y*

*x*

2

3 F = 100 N

***บทที่ 3***

***เวลา***

***เวลา*(Time)**

เวลา ในมุมมองหนึ่งกล่าวว่า เวลาเป็นองค์ประกอบพื้นฐานหนึ่งของ[จักรวาล](http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A5) ให้เหตุการณ์ต่าง ๆ ดำเนินอยู่ในนั้น ซึ่งเป็นแนวคิดของ[ไอแซก นิวตัน](http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%84%E0%B8%AD%E0%B9%81%E0%B8%8B%E0%B8%81_%E0%B8%99%E0%B8%B4%E0%B8%A7%E0%B8%95%E0%B8%B1%E0%B8%99)อีกมุมมองหนึ่งกล่าวว่า เวลาเป็นสิ่งสมมุติเช่นเดียวกับ[พื้นที่](http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%9E%E0%B8%B7%E0%B9%89%E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88) (สเปซ - space) และ[ตัวเลข](http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%95%E0%B8%B1%E0%B8%A7%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B8%82) มีเหตุการณ์ต่าง ๆ เกิดขึ้นเป็นลำดับ แต่ไม่ได้หมายความว่าเวลากับเหตุการณ์เหล่านั้นจะรวมอยู่ด้วยกัน ซึ่งเป็นแนวคิดของ[อิมมานูเอล คานต์](http://th.wikipedia.org/w/index.php?title=%E0%B8%AD%E0%B8%B4%E0%B8%A1%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%B9%E0%B9%80%E0%B8%AD%E0%B8%A5_%E0%B8%84%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B9%8C&action=edit&redlink=1) และ[กอตฟรีด ไลบ์นิซ](http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%81%E0%B8%AD%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B9%8C%E0%B8%9F%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%94_%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%A5%E0%B9%80%E0%B8%AE%E0%B8%A5%E0%B9%8C%E0%B8%A1_%E0%B9%84%E0%B8%A5%E0%B8%9A%E0%B9%8C%E0%B8%99%E0%B8%B4%E0%B8%8B)

ไอน์สไตน์เชื่อว่า เวลามีความสัมพัทธ์กับความเร็วแสง กล่าวคือ หากแสงเดินทางช้าลงก็จะไปดึงเวลาให้เดินเร็วขึ้น เพื่อชดเชยกับความเร็วแสงที่สูญเสียไป ทำให้แสงเดินทางด้วยความเร็วคงที่อยู่ตลอดเวลา โดยปัจจัยที่ทำให้แสงเดินทางช้าลงเช่น แรงโน้มถ่วงคือ ในที่ๆไม่มีแรงโน้มถ่วงเวลาจะเดินเร็วกว่าในที่ที่มีแรงโน้มถ่วง ซึ่งจากทฤษฎีของไอน์สไตน์ทำให้พบว่า การส่งดาวเทียมขึ้นไปนอกโลกเพื่อรายงานผลกลับมายังพื้นโลกนั้น ต้องหักค่าความต่างของเวลาออกไป เพื่อให้ข้อมูลที่ส่งมาเป็นข้อมูลที่เป็นจริงทว่ากอตฟรีด ไลบ์นิซ เชื่อว่า เวลากับพื้นที่เป็นเพียงสิ่งสมมุติเท่านั้น ซึ่งเราใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างเหตุการณ์ต่าง ๆ รอบตัวเรา

ในวิชาจิตวิทยา เชื่อว่า คนหลาย ๆ คนมีมุมมองต่อระยะของเวลาที่แตกต่างกัน เช่น เวลาอันยาวนานอาจดูแสนสั้นเหลือเกินสำหรับบางคน แต่อาจยืดยาวเสียจนทนไม่ได้สำหรับคนบางคน เมื่อคนเราแก่ตัวมากขึ้น อาจมองว่าเวลาช่างผ่านไปเร็วเหลือเกิน แทนที่จะคิดว่าเวลาผ่านมานานแล้ว แอลเบิร์ต ไอน์สไตน์ เคยกล่าวว่า เมื่อเรานั่งใกล้ผู้หญิงที่หน้าตาน่ารักสักชั่วโมง เราก็คิดว่านี่แค่นาทีเดียว ถ้าเราอังมือใกล้เตาร้อน ๆ สักนาที เราก็คิดว่านี่มันผ่านมาหนึ่งชั่วโมงแล้ว

บางที มุมมองทั้งสองเกี่ยวกับเวลาก็ยังน่าสับสนอยู่ จึงมีการนิยามโดยการปฏิบัติ (operational definition) ซึ่งมักใช้การเคลื่อนที่หรือการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นคาบของวัตถุเป็นตัววัดเวลา เช่น [ดิถี](http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%94%E0%B8%B4%E0%B8%96%E0%B8%B5) (ข้างขึ้นข้างแรม) ของ[ดวงจันทร์](http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%94%E0%B8%A7%E0%B8%87%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%A3%E0%B9%8C) การแกว่งของ[ลูกตุ้ม](http://th.wikipedia.org/w/index.php?title=%E0%B8%A5%E0%B8%B9%E0%B8%81%E0%B8%95%E0%B8%B8%E0%B9%89%E0%B8%A1&action=edit&redlink=1) การขึ้นและตกของ[ดวงอาทิตย์](http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%94%E0%B8%A7%E0%B8%87%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%97%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B8%A2%E0%B9%8C)

สำหรับความหมายของเวลาในทางวิทยาศาสตร์ ก็ไม่มีความหมายหรือคำจำกัดความง่าย ๆ เพียงหนึ่งเดียว ที่เข้าใจและใช้ตรงกันในวงการวิทยาศาสตร์โลก

โดยทั่ว ๆ ไป ความหมายหรือคำจำกัดความหนึ่งของเวลา ในทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้กันบ่อย คือ เวลาเป็นหนึ่งในสี่มิติของ Space - Time (ตำแหน่ง - เวลา) ที่จำเป็น เพื่อที่จะสามารถระบุการเกิดหรือการดำรงอยู่ของเหตุการณ์บางอย่างที่เกิดขึ้น ให้เข้าใจได้ตรงกันสำหรับผู้สังเกตทุกคน โดยที่อีกสามมิติของตำแหน่ง คือ กว้าง , ยาว, สูง หรือ x, y, z ส่วนเวลา ก็มักเขียนเป็น tตัวอย่างเช่น ถ้าจะระบุเหตุการณ์เกิดอุบัติเหตุรถยนต์ชนกับรถไฟ ก็ต้องระบุว่า อุบัติเหตุเกิดที่ไหน และ วัน - เวลาอะไร จึงจะเข้าใจได้ตรงกัน

ทว่า ในทางวิทยาศาสตร์ ก็มีการให้คำจำกัดความของเวลาที่เป็นอย่างอื่น แต่จริง ๆ แล้ว ก็มีความหมายลึก ๆ เหมือนกัน เช่น เวลา เป็นมิติหนึ่งที่จำเป็น เพื่อแยกแยะเหตุการณ์สองเหตุการณ์ ซึ่งเกิด ณ ตำแหน่งเดียวกัน แต่ต่างวาระกัน เช่น การเกิดอุบัติเหตุรถยนต์ชนกับรถไฟในตัวอย่างที่แล้ว ถ้าเกิดสองครั้ง ณ ตำแหน่งเดียวกัน แต่ต่างวันและเวลากัน ก็จำเป็นจะต้องระบุมิติของเวลาว่า อุบัติเหตุนั้น เกิดขึ้นครั้งแรก และครั้งที่สอง วัน - เวลาใด จึงจะแยกสองเหตุการณ์นั้นออก

***บทที่ 4***

***แรงและสภาพสมดุลย์***

*จะกล่าวได้ว่า วัตถุชั้นหนึ่งเมื่อมีแรงมากระทำ อยู่ในภาวะสมดุล ก็ต่อเมื่อมันหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ และไม่หมุน เหตุที่มันหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอนั้น แสดงว่าแรงลัพธ์ที่มากระทำต่อวัตถุนั้นเป็นศูนย์ และที่ไม่หมุนก็เพราะโมเมนต์ลัพธ์ที่เกิดจากแรงที่มากระทำเหล่านั้นเป็นศูนย์ด้วย*

*ดังนั้นเมื่อวัตถุอยู่ในภาวะสมดุล จะได้ว่า*

*1. ΣFx = 0*

*2. ΣFy = 0*

*3. ΣM = 0*

*ΣFx = 0 คือ ผลบวกทางพีชคณิตของแรงในแนวแกน x เป็นศูนย์ โดยให้แรงที่แตกไปทางขวาเป็นบวก(+) ทางซ้ายเป็นลบ(-) ΣFx = 0 อาจสรุปได้ว่า* **แรงทางซ้ายเท่ากับแรงทางขวา**

*ΣFy = 0 คือ ผลบวกทางพีชคณิตของแรงในแนวแกน y เป็นศูนย์ หรือ* **แรงขึ้นเท่ากับแรงลง**

*ΣM = 0 คือ ผลบวกทางพีชคณิตของโมเมนต์รอบจุดใดๆ เป็นศูนย์*

***ข้อสังเกต*** *แกน x และ แกน y ไม่จำเป็นต้องอยู่แนวระดับและแนวดิ่งเสมอไป แต่แกน x และแกน y ต้องตั้งฉากกัน*

***สมดุลของแรงเมื่อแรงเหล่านั้นกระทำที่จุดเดียวกัน***

*เมื่อเราคิดที่จุดที่แรงต่างๆ ผ่าน โมเมนต์ที่เกิดจากแรงแต่ละแรงเป็นศูนย์ เพราะฉะนั้นสมการที่ใช้จะมีสมการของ และ เท่านั้น*

1. *สมดุลของแรง 2 แรง*

*แรงสมดุลสองแรงจะอยู่ในภาวะสมดุลเมื่อมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกัน*

*P Q*

*สมดุลเมื่อ P = Q*

1. *สมดุลของแรงมากกว่า 2 แรง*  [*ΣFx = 0, ΣFy = 0*]

*P ΣFx = Qcosβ – S – Rsinθ*

*S ΣFy = P – Qsinβ – Rcosθ*

*β*

*θ Q*

*R*

***สมดุลของแรงหลายแรงเมื่อไม่ได้กระทำที่จุดเดียวกัน***

*จะเกิดการสมดุล เมื่อแรงเหล่านั้นอยู่ในเงื่อนไขที่สอดคล้องทั้ง 3 สมการ ดังกล่าวข้างต้น กล่าวคือ ΣFx = 0, ΣFy = 0, ΣM = 0*

*ลองพิจารณาวัตถุที่มีแรง P, Q, R, S มากระทำกันดังรูป ถ้าให้ d1 เป็นระยะทางจากแรง P มาที่จุด O d2  เป็นระยะทางจากแรง Q ไปยังจุด O และ d3  เป็นระยะทางจากแรง R ไปยังจุด O d4เป็นระยะจากแรง S ไปยังจุด 0*

*P*

*S*

*β Q*

*R θ*

*{ ΣFx = 0} ΣFx = Psinθ – Rcosβ – S*

*{ ΣFx = 0} ΣFy = P – Qcosθ – Rsinβ*

*{ ΣM0 = 0} ΣM = Pd1 – Qd2 + Rd3 + Sd4*

*สำหรับตัวอักษรที่ห้อยท้ายตัว M เป็นจุดที่บอกให้ทราบว่าเราคิดโมเมนต์ตรงจุดไหน เช่น ΣM0 จะหมายถึง โมเมนต์ลัพธ์ที่เกิดขึ้นรอบจุด A*

*เมื่อวัตถุอยู่ในสภาวะสมดุล การใช้สมการทั้ง 3 คือ ΣFx = 0, ΣFy = 0 และ ΣM = 0 แก้โจทย์ปัญหาต่างๆ นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่เราต้องคิดแรงทุกแรงที่มากระทำต่อวัตถุ การผิดพลาดในการคำนวณจะเกิดขึ้นถ้าลืมแรงใดแรงหนึ่งไป ในการวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อเทหวัตถุ เราต้องอาศัย Free body diagram*

*Free body diagram(FBD)*

*เป็นแผนผังที่แสดงให้ทราบว่า วัตถุชิ้นหนึ่ง* มีแรงภายนอกอะไรมากระทำบ้าง *มีขนาดและทิศทางอย่างไร ในการเขียน FBD ของวัตถุที่มีวัตถุอื่นแตะหรือสัมผัสอยู่ ให้เอาวัตถุเหล่านั้นออก พิจารณาแต่เพียงแรงที่มีวัตถุนั้นกระทำต่อวัตถุเท่านั้น*

***หลักการเขียน*** *Free body diagram(FBD)*

*1. เขียนทิศทางของแรงที่ทราบแล้วให้ถูกต้อง แรงใดถ้าทราบแนวแรง แต่ไม่ทราบทิศทางที่แน่นอน เช่น ทราบว่า แนวของแรงอยู่ในแนวระดับ แต่ไม่ทราบว่าทิศทางไปทางซ้ายหรือทางขวา เราก็สมมุติทิศทางของแรงขึ้นก่อน ในการคำนวณ ถ้าได้ค่าของแรงนั้นเป็นบวก(+) แสดงว่า ทิศทางของแรงที่สมมุติถูกต้อง ถ้าออกมาติดลบ(-) แสดงว่า ทิศทางที่เป็นจริงของแรงนั้นอยู่ตรงข้ามกับทิศทางที่สมมุติ*

*2. กรณีที่ไม่ทราบทิศทางของแรงที่ต้องการหา ให้แตกแรงนั้นออกตามแกน x และแกน y เสียก่อน หลังจากที่คำนวณได้ขนาดของแรงนั้นที่แตกในแนวแกน x และ y แล้ว แรงที่ต้องการแรงนั้นจะเป็นแรงลัพธ์ของแรงย่อยทั้งสอง*

*3. น้ำหนักของเทหวัตถุเป็นแรงที่โลกดึงดูดไว้ ดังนั้นทิศทางของน้ำหนักจะมีทิศทางลงตามแนวดิ่ง*

*4. แรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อผิวทรงกลม เมื่อไม่มีแรงเสียดทานจะมีทิศทางผ่านจุดศูนย์กลางของวงกลม*

*5. แรงตึงของเส้นเชือกของ Free body diagram(FBD) ใดๆ จะมีทิศทางพุ่งออกจาก Free body diagram(FBD) นั้นๆ*

*6. แรงปฏิกิริยาที่พื้นผิวสัมผัสใดๆ จะมีทิศทางพุ่งเข้าหาผิวสัมผัส และแรงปฏิกิริยาระหว่างพื้นคู่สัมผัสใดๆ ย่อมมีขนาดเท่ากัน*

*7. รอกหรือวัตถุที่ทำหน้าที่คล้ายรอก จะมีหน้าที่เปลี่ยนแปลงทิศทางของแรงตึงของเส้นเชือกเท่านั้น ดังนั้นแรงตึงของเส้นเชือกเส้นเดียวกับที่คล้องผ่านรอกจะมีค่าเท่ากันตลอดทั้งเส้น ทั้งนี้รอกต้องไม่มีความฝืด*

***ตัวอย่างการเขียน*** *Free body diagram(FBD)*

***ตัวอย่างที่ 1*** *ทรงกลม B หนัก W วางอยู่บนระนาบผิวเกลี้ยง โดยมีด้านหนึ่งแตะอยู่กับกำแพงผิวเกลี้ยง ที่จุดศูนย์กลางมีเชือก ผูกอยู่โดยปลายข้างหนึ่งผูกติดกับกำแพง จงเขียน Free body diagram(FBD)ของทรงกลม*

*A T*

*RC*

*C*

*D w*

***ตัวอย่างที่ 2*** *จากภาพลิงตัวหนึ่งหนัก* w*1 ยืนอยู่บนกระเช้าหนัก* w*2 ซึ่งมีเชือกผูกคล้องผ่านรอกดังแสดงในภาพ จงเขียน Free body diagram(FBD) ของ*

*1. ลิงและกระเช้าเป็น Free body*

*2. ของลิง*

*3. ของกระเช้า T1 T2*

อยากตาย.gif

*1. ลิงและกระเช้า*

*2. ของลิง T1*

w1 w2

***อยากตาย.gif***

*3. ของกระเช้า T2*

R

N w1

w2

***ทฤษฎีช่วยคำนวณสมดุล 3 แรง***

***ก. ทฤษฎีของลามี หรือ กฎของไซน์***

“เมื่อมีแรง 3 แรง กระทำต่อวัตถุโดยแนวแรงทั้งสามตัดกัน วัตถุอยู่ในสภาพสมดุล แล้วอัตราส่วนระหว่างแรงกับค่า *sin* ของมุมที่อยู่ตรงข้ามกับแรงย่อมเท่ากันทั้ง 3 คู่”

F1

*θ* F2

*β* *α*

F3

**บทแทรกของทฤษฎีบทของลามี**

“เมื่อมีแรง 3 แรงมากระทำร่วมกันที่วัตถุหนึ่งโดยแนวแรงทั้งสามผ่านจุดเดียวกัน และเกิดสภาพสมดุลแล้ว รูปสามเหลี่ยมใดก็ตามที่มีด้านทั้งสามตั้งฉากกับแนวทิศของแรงทั้งสามนั้นตามลำดับ แล้วอัตราส่วนของแรงต่อด้านของสามเหลี่ยมที่ตั้งฉากกับแรงนั้นมีค่าเท่ากัน”

Q B

C P

S A

***ข. ทฤษฎีสามเหลี่ยมแทนแรง***

“เมื่อมีแรง 3 แรง กระทำต่อวัตถุ โดยแนวแรงผ่านจุดเดียว แล้ววัตถุอยู่ในสภาพสมดุล ขนาดและทิศทางของแรงทั้งสามแทนได้ด้วยด้านทั้งสามของสามเหลี่ยมที่มีด้านทั้งสามขนานกับแนวแรงทั้งสามตามลำดับ”

Q C

P

A

S B

***บทที่ 5***

***การเคลื่อนที่แนวตรง***

***การเคลื่อนที่***

*การเคลื่อนที่(motion) หมายถึง การที่วัตถุเปลี่ยนลักษณะการวางตัว หรือมีการเปลี่ยนตำแหน่ง สามารถแบ่งประเภทของการเคลื่อนที่ได้ดังนี้*

*การเลื่อนตำแหน่ง เช่น การเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงหรือเป็นแนวโค้ง*

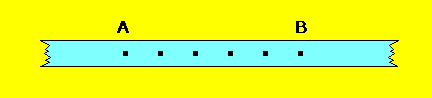
*การหมุน เช่น การหมุนรอบตัวของโลก การหมุนของลูกข่าง*

*การสั่น เช่น การสั่นของไม้บรรทัดเมื่อถูกดีด การแกว่งไปมาของลูกตุ้มนาฬิกา*

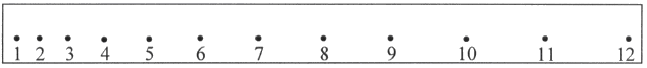
***อัตราเร็วและความเร็ว***

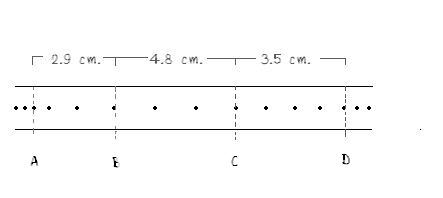
เครื่องเคาะสัญญาณเวลาเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาอัตราเร็วของแถบกระดาษ โดยการทำงานของเครื่องอาศัยความถี่ของกระแสไฟฟ้าขนาด 50 รอบต่อวินาที จะทำให้ตะปูเข็มซึ่งเป็นตัวเคาะทำให้เกิดจุดบนแถบกระดาษเคาะ 50 ครั้ง ในเวลา 1 วินาที ซึ่งช่วงเวลาการเคาะแต่ละครั้งจะห่างกัน 1/50 วินาที

ดังนั้น ระยะเวลา 1 ช่วงจุด เท่ากับ 1/50 วินาที



รูปที่ 2a ตัวอย่างของช่วงจุด



รูปที่ 2b ระยะเวลาของ 1 ช่วงจุดซึ่งจะห่างกัน 1 ใน 50 วินาที

S**1** S**2**  S**3**

รูปที่ 2c ตัวอย่างแถบกระดาษที่ถูกดึงผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

รูปบนแสดงลักษณะของเครื่องเคาะสัญญาณเวลา และตัวอย่างแถบกระดาษที่ถูกดึงผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา จะเห็นว่าในแต่ละช่วงคือ AB หรือ BC จะใช้เวลาช่วงละ 3 ช่วงจุด มีเพียงช่วง CD จะใช้เวลาช่วงละ 4 ช่วงจุด

ดังนั้น tAB = tBC = 3(1/50) วินาที และ tCD = 4(1/50) วินาที

จาก Vav = s/t

ดังนั้น อัตราเร็วเฉลี่ยช่วง AB คือ

*อัตราเร็วเฉลี่ยช่วง* BC *คือ*

อัตราเร็วเฉลี่ยช่วง CD คือ

*สำหรับการคำนวณหา****ความเร่ง****จากการเคลื่อนที่ก็คืออัตราเร็วที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลาของแต่ละช่วงของการเคลื่อนที่ของวัตถุมีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที2  ซึ่งหาได้จากสูตร*

*aav = v/t (m/s2)*

***การเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงที่มีความเร่งคงที่***

*ถ้ามีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต้น ความเร่ง เมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา จะมีความเร็ว และเคลื่อนที่ได้ระยะทาง โดยที่ปริมาณต่างๆ มีความสัมพันธ์กันดังนี้*

สมการการเคลื่อนที่แนวเส้นตรงด้วยความเร่งคงที่

*เมื่อ u คือ ความเร็วต้น (t = 0)*

*v คือ ความเร็วปลาย (ที่เวลา t ใดๆ)*

*a คือ ความเร่ง (เป็นความเร่งขณะใดๆ)*

*t คือ เวลาในการเคลื่อนที่*

*s คือ การกระจัด (ระยะทาง)*

***ข้อสังเกต*** *:*

*1. ให้ทิศทางของความเร็วต้น (u) เป็นบวก ปริมาณใดมีทิศทางตรงข้ามแทนเป็นลบ ยกเว้นเวลา (t) เป็นปริมาณสเกลาร์ใช้ค่าเป็นบวกเสมอ*

*2. ใช้กับการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง และมีความเร่ง a คงที่เท่านั้น ถ้าความเร่งไม่คงที่ให้แบ่งเป็นช่วงๆ โดยความเร็วปลายช่วงที่หนึ่งเท่ากับความเร็วต้นในช่วงถัดไป*

*3 .การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก โดยไม่คิดแรงต้านของอากาศ วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเท่ากับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก*

***ข้อสังเกตเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งภายใต้ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก***

*1. จุดที่สูงสุดของความเร็วของวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ (v = 0)*

*2. ที่ระดับเดียวกันในการเคลื่อนที่ขาขึ้นและขาลง*

*2.1 ความเร็วเท่ากัน แต่ทิศทางตรงกันข้าม*

*2.2 เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ขาขึ้นและขาลงเท่ากัน*

*2.3 การกระจัดมีค่าเป็นศูนย์ แต่ระยะทางไม่เท่ากับศูนย์*

*3.* **กรณีปล่อยวัตถุจากบอลลูน** *ความเร็วต้นของวัตถุเท่ากับความเร็วของบอลลูนขณะปล่อยวัตถุนั้น*

**กราฟการเคลื่อนที่แนวตรง**

1. กราฟระหว่างการกระจัด (s) กับเวลา (t) เช่น กรณีรถเริ่มวิ่งซึ่งระยะทางแปรผันกับเวลา

s

t

0 1 s 2 s 3 s

10 m

20 m

30 m

เช่น กรณีรถเริ่มวิ่งซึ่งระยะทางแปรผันกับเวลา แสดงว่าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ (ความเร็ว หาได้จากความชันของกราฟ) s

s

t t

กราฟนี้แสดงว่าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว กราฟนี้แสดงว่าวัตถุเคลื่อนที่โดยความเร็วกำลังเพิ่มขึ้น

(วัตถุหยุดนิ่ง ความเร็วเป็นศูนย์) (มีความเร่ง)

s

t

กราฟนี้แสดงว่าวัตถุเคลื่อนที่โดยความเร็วกำลังลดลง (มีความหน่วง)

1. กราฟระหว่างความเร็ว (v) กับเวลา (t)

v v

t t

วัตถุมีความเร็วคงตัว 5 m/s วัตถุมีความเร็วเพิ่มขึ้น

t=0 1 s 2 s 3 s t=0 1 s 2 s 3 s

**v=5 m/s 5 m/s 5 m/s 5 m/s v=0 3 m/s 6 m/s 9 m/s**

(*a* = 0) วัตถุมีความเร่งคงที่ (ความเร่ง หาจากความชันของกราฟ)

v v

t t

วัตถุเคลื่อนที่มีความเร็วลดลง วัตถุเคลื่อนที่มีความเร็วเพิ่มแบบไม่คงที่

โดยมีความหน่วงคงที่ (-a) โดยความเร่งกำลังเพิ่มขึ้น

v

วัตถุเคลื่อนที่มีความเร็วเพิ่มแบบไม่คงที่

t โดยความเร่งกำลังลดลง

1. กราฟระหว่างความเร่ง (a) กับเวลา (t)

a

t1v1 t2v2 t

**ตัวอย่างที่ 1** วัตถุมวล 2 กิโลกรัม เคลื่อนที่ในแนวตรงจากหยุดนิ่งด้วยความเร่งคงที่ 3 เมตรต่อวินาที2 เมื่อผ่านจุดสังเกตมีอัตราเร็ว 12 m/s ขณะที่วัตถุมีอัตราเร็ว 24 เมตรต่อวินาที วัตถุอยู่ห่างจุดสังเกตกี่เมตร

**วิธีทำ** **จากสูตร**

***ตัวอย่างที่ 2*** *บั้งไฟลำหนึ่งทะยานขึ้นจากพื้นโลกในแนวดิ่ง ด้วยความเร่ง 15 เมตรต่อวินาที2 เมื่อเวลาผ่านไป 60 วินาที บั้งไฟลำนี้จะอยู่สูงจากพื้นโลกกี่เมตร*

***วิธีทำ******จากสูตร***

***ตัวอย่างที่ 3*** *รถยนต์คันหนึ่งวิ่งด้วยความเร็วคงที่ 10 m/s ขณะที่อยู่ห่างสิ่งกีดขวางเป็นระยะทาง 35 เมตร คนขับตัดสินใจห้ามล้อรถโดยเสียเวลา 1 วินาที ก่อนที่ห้ามล้อจะทำงาน เมื่อห้ามล้อทำงานแล้วรถจะต้องลดความเร็วในอัตราเร่งเท่าใด จึงจะทำให้รถหยุดพอดีเมื่อถึงสิ่งกีดขวางนั้น*

***วิธีทำ*** *จากโจทย์ ที่บอกว่าคนขับตัดสินในห้ามล้อรถโดยเสียเวลา 1 วินาที ก่อนที่ห้ามล้อจะทำงาน นั่นแสดงว่า จะต้องหาระยะทางที่รถยนต์คันนี้วิ่งไปได้ ตั้งแต่เขาขับไปจนกระทั่งห้ามล้อให้รถหยุด*

***จากสูตร***

*(ความเร็วคงที่ แสดงว่า a = 0)*

***แสดงว่า*** *ถ้าห้ามล้อทำงาน แล้วรถจะต้องหยุดในระยะทาง 35 – 10 = 25 m*

*หาความหน่วงเมื่อห้ามล้อทำงานแล้ว*

***จากสูตร***

***การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรีในแนวดิ่ง เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก***

*การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรีในแนวดิ่ง เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก หมายถึง การที่วัตถุเคลื่อนที่ในแนวดิ่งภายใต้แรงดึงดูดของโลกเพียงแรงเดียว*

*การคำนวณ ให้คิดเหมือนกับวัตถุเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงด้วยความเร่งคงตัว โดยเปลี่ยนสัญลักษณ์ จาก a เป็น g ดังนี้*

***ข้อสังเกตเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งภายใต้ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก***

*1. จุดที่สูงสุดของความเร็วของวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ (v = 0) นั่นหมายความว่า จุดที่วัตถุขึ้นไปได้สูงสุด จะมีความเร็วเป็นศูนย์ (จุดวกกลับวัตถุจะหยุดนิ่ง)*

*2. ที่ความสูงระดับเดียวกันในการเคลื่อนที่ขาขึ้นและขาลง*

*2.1 พบว่า อัตราเร็วขาขึ้น เท่ากับ อัตราเร็วขาลง*

*2.2 พบว่า เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ขาขึ้น เท่ากับ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ขาลง*

*2.3 การกระจัดมีค่าเป็นศูนย์ แต่ระยะทางไม่เท่ากับศูนย์*

*3.* **กรณีปล่อยวัตถุจากบอลลูน** *ความเร็วต้นของวัตถุต้องเท่ากับความเร็วของบอลลูนขณะปล่อยวัตถุนั้น*

***ตัวอย่างที่* 1** ลิงตัวหนึ่งนั่งเหม่ออยู่ขอบหน้าผาแล้วโยนแอ๊ปเปิ้ลขึ้นไปในแนวดิ่งด้วยอัตราเร็ว 20 เมตรต่อวินาที ขนาดของการกระจัดเมื่อสิ้นวินาทีที่ 5 มีค่ากี่เมตร

**วิธีทำ** จากโจทย์ กำหนดแอ๊ปเปิ้ลที่โยนขึ้นมีทิศเป็นบวก (ตามความเร็วของ u)

จะได้ว่า u = 20 m/s, a = -g = -9.8 m/s2 , t = 5

จากสูตร

***ตัวอย่างที่ 2*** ถ้าความเร็วต้นของน้ำที่ฉีดขึ้นในแนวดิ่งมีค่าเท่ากับ 8 m/s จงหาความสูงของน้ำที่พุ่งขึ้นไปในอากาศ

***วิธีทำ*** (วาดไดอแกรม)

***จากสูตร***

***เทคนิคการใช้สูตรการเคลื่อนที่แนวดิ่งอย่างอิสระ****(ให้ทิศของ* u *เป็นบวก)*

1. **วัตถุดิ่งลง** ให้ใช้สูตรทั้ง 4 คำนวณ ทุกค่าเป็นบวกหมด(เพราะเราให้ทิศลงเป็นบวก)

u

1. **วัตถุดิ่งขึ้น(พุ่งขึ้น)** ใช้สูตรทั้ง 4 คำนวณ ทุกค่าเป็นบวกหมด(ตามการเคลื่อนที่ของ u ) ยกเว้นค่า g

u

1. **วัตถุดิ่งขึ้นและลง** ใช้สูตรทั้ง 4 คำนวณ v = 0

พิจาณา

**ความเร็ว** ทิศขึ้นเป็นบวก u

ทิศลงเป็นลบ แกนอ้างอิง

**การกระจัด** เหนือแกนอ้างอิงเป็นบวก ค่า g เป็นลบ เสมอ

ใต้แกนอ้างอิงเป็นลบ

อยู่ที่ระดับอ้างอิงเป็นศูนย์

**เฉลยแบบฝึกหัดข้อที่ 5**

5. แรง 2 แรงเมื่อกระทำต่อกันเป็นมุม 60ο จะมีแรงลัพธ์เท่ากับ นิวตัน เมื่อกระทำกันเป็นมุม 120ο จะเกิดแรงลัพธ์เท่ากับ นิวตัน จงหาขนาดของแรงทั้ง 2 นี้ว่ามีค่าเท่าใด

วิธีทำ 1. วาดรูปตามโจทย์บอก 2. เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ ได้ว่า

จาก

*จากโจทย์ จะได้ว่า ………………..(1)*

*……………….(2)*

*เราพบว่า* ***Cos60˚ = 1/2*** *และ* ***Cos120˚******= -1/2*** *จะได้ว่า*

*ดังนั้น ………………..(1)*

*……………….(2)*

*นำสมการที่ (1) - (2) จะได้*

*……………….(3)*

*นำสมการที่ (1) + (3) จะได้*

หรือ *……………….(4)*

นำสมการที่ (2) – (3) จะได้

*หรือ*  *……………….(5)*

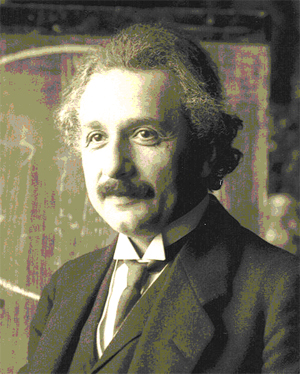
*นำสมการที่ (4) + (5) จะได้*

*#*

*หา Q โดยแทนค่า P = 4 ในสมการที่ (5) จะได้*

*#*

***ธรรมชาติของฟิสิกส์และการวัด***

**

***โดย***

***อาจารย์ปิยะพงษ์ ทวีพงษ์***

***กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์***

***โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา***