



ฟิสิกส์

ม.๔ เล่ม ๒



แนะนำ

ฟิสิกส์ ม.๔ เล่ม ๒

จัดทำโดย : อ.ดร.สุภาวดี สุภาพ
โดยมีบริษัท เทคโนโลยีฯ TKTek
โดยมี QR Code ดังต่อไปนี้



SHOPEE



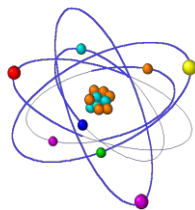
Lazada

ราคา

199

บาท

เรียบเรียงโดย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุภาวดี สุภาพ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



ฟิสิกส์ เล่ม ๑

ชั้น ม.๔

ผศ.สุชาติ สุภาพ

พิมพ์และจัดจำหน่ายโดย

สุชาติ สุภาพ

133/471 หมู่ ๑ ต. พิมลราช อําเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี 11110

E - mail suchart11111@hotmail.com

พิมพ์ที่ หจก.ส.ส 1999 ม.เพชรอนันต์ เขตคันนายาว กรุงเทพฯ 10230

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

สุชาติ สุภาพ.

ฟิสิกส์ เล่ม ๑ ชั้น ม.๔ -- กรุงเทพฯ : หจก.ส.ส 1999 , 25๖2.

375 หน้า.

1. ฟิสิกส์--การศึกษาและการสอน (มัธยมศึกษา). 1. ชื่อเรื่อง.

530.07

ISBN 978-616-497-307-7

คำนำ

หนังสือเล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อเสริมสร้างความรู้และความเข้าใจในเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ ระดับชั้น ม. 4 โดยมีเนื้อหา ๓ บท ได้แก่ สมดุลกล, งานและพลังงาน, และ โมเมนตัมและการชน ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการเรียนรู้ฟิสิกส์ในระดับที่สูงขึ้น รวมถึงการประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันและในศาสตร์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เนื้อหาในเล่มถูกเรียบเรียงอย่างเป็นระบบ พร้อมตัวอย่างประกอบที่เข้าใจง่าย และแบบฝึกหัดเพื่อฝึกทักษะการคิดวิเคราะห์และการประยุกต์ใช้ความรู้ เหมาะสำหรับนักเรียน ครูผู้สอน รวมถึงผู้สนใจทั่วไป ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านในการเสริมสร้างความรู้ พัฒนาทักษะ และจุดประกายความสนใจในวิชาฟิสิกส์ อันจะนำไปสู่การเรียนรู้อย่างยั่งยืน ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความสนใจ และขออภัยหากมีข้อผิดพลาดประการใด

ถ้าท่านสนใจหนังสือนี้ในรูปแบบ E-BOOK ก็มีจำหน่ายที่เว็บไซต์ ร้านนายอินทร์ , MEB , อุกฤษ, ซีเอ็ด , hystexts , ศูนย์หนังสือจุฬาฯ และ DDebook

สำหรับท่านที่สนใจหนังสือของกระผมแต่หาซื้อตามร้านหนังสือทั่วไปไม่ได้ สามารถซื้อออนไลน์ที่แอปต่าง ๆ โดยสแกน QR โค้ดข้างล่างนี้
(ที่ช้อปปี้มีหนังสือมากที่สุด)



สุชาติ สุภาพ

มือถือ 083-920-3825

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 4 สมดุลกล	5
4.1 จุดศูนย์กลางมวล และจุดศูนย์กลางถ่วง	7
4.2 แผนภาพวัตถุอิสระ	36
4.3 สมดุลต่อการเลื่อนที่	55
4.4 สมดุลต่อการหมุน	71
4.4.1 โมเมนต์ของแรง	71
4.4.2 โมเมนต์ของแรงคู่ควบ	91
4.5 เสถียรภาพของวัตถุ	101
บทที่ 5 งานและพลังงาน	108
5.1 งานเนื่องจากแรงคงตัว	109
5.2 งานเนื่องจากแรงไม่คงตัว	146
5.3 กำลัง	152
5.4 พลังงานกล	161
5.4.1 พลังงานจลน์	161
5.4.2 พลังงานศักย์	162
5.5 การอนุรักษ์พลังงานกล	183
5.5.1 งานเนื่องจากแรงอนุรักษ์	186
5.5.2 กฎการอนุรักษ์พลังงานกล	187
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างงานกับพลังงาน	212
บทที่ 6 โมเมนตัมและการชน	230
6.1 โมเมนตัม	230
6.2 แรงและการเปลี่ยนโมเมนตัม	233
6.3 การดลและโมเมนตัม	240
6.4 กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม	254

สารบัญ

	หน้า
๖.๕ การชน	๒๗๐
๖.๕.๑ การชนใน ๑ มิติ	๒๗๐
๖.๕.๒ การดีดตัวแยกออกจากกัน	๒๘๓
บทที่ ๗ การเคลื่อนที่แนวโค้ง	๒๙๕
๗.๑ การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์	๒๙๕
๗.๒ การนำความรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์มาใช้ให้เกิดประโยชน์	๓๑๒
๗.๓ การเคลื่อนที่แบบวงกลม	๓๔๔
๗.๔ แรงดึงดูดระหว่างมวลกับการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของดาวเทียม	๓๖๘
๗.๕ การนำความรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบวงกลมมาใช้ให้เกิดประโยชน์	๓๗๓

%%%%%%%%%

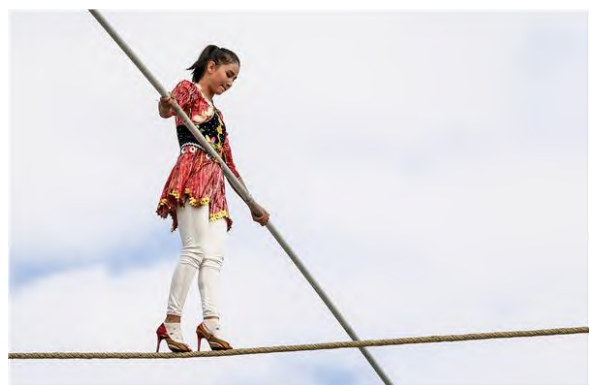
บทที่ 4

สมดุลกล

ในชีวิตประจำวัน เรามักพบเห็นวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ในสภาวะสมดุล เช่น โต๊ะที่วางนิ่งอยู่กับพื้น หรือแม่แต่ว่าคนที่พยายามทรงตัวขณะเดินบนเชือก สิ่งเหล่านี้ล้วนเกี่ยวข้องกับหลักการทางฟิสิกส์ที่เรียกว่า สมดุลกล ซึ่งเป็นสถานะที่แรงและโมเมนต์(แรงบิด)ลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเท่ากับศูนย์ การทำความเข้าใจสมดุลกลเป็นสิ่งสำคัญ เพราะเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์โครงสร้างต่าง ๆ เช่น อาคาร สะพาน เครื่องจักร และกลไกในวิศวกรรมศาสตร์ นอกจากนี้ แนวคิดเรื่องสมดุลยังมีบทบาทในการอธิบายพฤติกรรมของวัตถุในสภาวะไร้น้ำหนักหรือในระบบที่ซับซ้อนอย่างการเคลื่อนที่ของดาวเทียม ในบทเรียนนี้ เราจะศึกษาประเภทของสมดุล แรงและโมเมนต์ที่เกี่ยวข้องกับสมดุล เงื่อนไขของสมดุล

สมดุล หมายถึงการที่วัตถุรักษาสภาพการเคลื่อนที่ให้คงเดิม ในชีวิตประจำวันของทุกคนเกี่ยวข้องกับสมดุลเกือบตลอดเวลา เนื่องจากทุกคนจะต้องมีการรักษาและปรับสมดุลของร่างกายตนเองตลอดเวลา เช่น เมื่อต้องเดินบนสะพานแคบ ๆ ทุกคนจะต้องมีการปรับและรักษาสมดุลด้วยการเดินางแน่น เพื่อให้ปรับสมดุลได้ง่ายขึ้น

การเดินบนเส้นลวด หรือเดินบนเหล็กปลายแหลมของนักแสดงกรรม มักจะมีการถือไม้ยาว ๆ เพื่อช่วยให้รักษาและปรับสมดุลของร่างกายทำได้ง่ายขึ้น



สมดุล คือการที่วัตถุคงสภาพการเคลื่อนที่เดิมอยู่ได้ กล่าวคือถ้าวัตถุอยู่นิ่งก็ยังคงสภาพนิ่งต่อไป หรือถ้าเคลื่อนที่ก็จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเดิมต่อไป สมดุลแบ่งได้เป็น ๒ ประเภท คือ

1) สมดุลสถิต

ในการดำรงอยู่ของวัตถุต่าง ๆ รอบตัวเรา ไม่ว่าจะเป็นเก้าอี้ โต๊ะ อาคาร หรือสะพาน ล้วนต้องออกแบบให้มั่นคงแข็งแรง และไม่ล้มง่าย ซึ่งความมั่นคงเหล่านี้เกี่ยวข้องกับโดยตรงกับหลักการทางฟิสิกส์ที่เรียกว่า “สมดุลสถิต” สมดุลสถิตเป็นสภาวะที่วัตถุหยุดนิ่ง โดยไม่มีการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือหมุนรอบตัวเอง นั่นหมายความว่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ และโมเมนต์ลัพธ์รอบจุดหมุนใด ๆ ก็เป็นศูนย์เช่นกัน การทำความเข้าใจสมดุลสถิตมีความสำคัญอย่างมากต่อการเรียนรู้ฟิสิกส์และวิศวกรรมศาสตร์ เพราะช่วยให้นักเรียนสามารถวิเคราะห์ปัญหาเกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อวัตถุได้อย่างถูกต้อง และยังนำไปประยุกต์ใช้กับงานในชีวิตจริง เช่น การออกแบบโครงสร้าง การสร้างเครื่องจักร และแม้กระทั่งการออกแบบหุ่นยนต์ให้สามารถยืนทรงตัวได้ ในหัวข้อนี้ เราจะได้เรียนรู้เงื่อนไขของการเกิดสมดุลสถิต ประเภทของสมดุล

และการวิเคราะห์แรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อวัตถุ เพื่อให้สามารถเข้าใจและประยุกต์ใช้ความรู้ด้านสมดุลสถิตได้อย่างถูกต้องและมั่นใจ

สมดุลสถิต คือสมดุลของวัตถุที่หยุดนิ่ง เช่น วัตถุสิ่งของต่าง ๆ ที่หยุดนิ่ง

$$\text{เงื่อนไขของสมดุลนี้คือ } \sum F = 0 \text{ และ } \sum M = 0$$

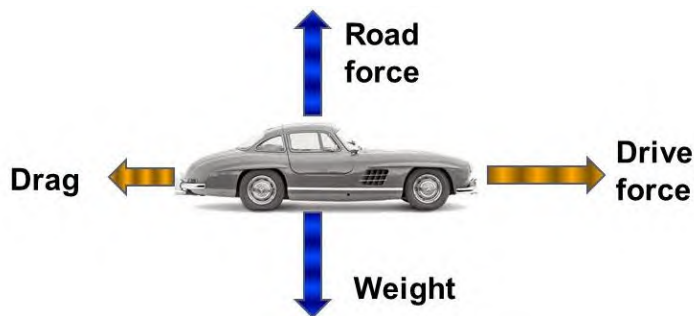


รูป 4.3 สมดุลสถิต

2) สมดุลจลน์

เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ไม่ว่าจะเป็นรถยนต์ที่แล่นตรงด้วยความเร็วสม่ำเสมอ หรือนักปั่นจักรยานที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างต่อเนื่อง วัตถุเหล่านี้ไม่ได้อยู่กับที่ แต่ก็ไม่ได้เปลี่ยนแปลงความเร็วหรือทิศทางในการเคลื่อนที่ ซึ่งสถานะเช่นนี้เรียกว่า “สมดุลจลน์” สมดุลจลน์เป็นสถานะที่แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ ทำให้วัตถุสามารถเคลื่อนที่ต่อไปด้วยความเร็วคงที่ โดยไม่เร่งหรือชะลอ ซึ่งแตกต่างจากสมดุลสถิตที่วัตถุอยู่นิ่ง ในขณะที่สมดุลจลน์ วัตถุยังคงมีการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ความเข้าใจในสมดุลจลน์มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุในชีวิตประจำวัน และการออกแบบระบบต่าง ๆ เช่น การควบคุมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ หรือการออกแบบเครื่องจักรให้ทำงานได้อย่างราบรื่น ในหัวข้อนี้เราจะได้ศึกษาเงื่อนไขของสมดุลจลน์ การประยุกต์ใช้กฎของนิวตัน และตัวอย่างของการเคลื่อนที่ในสถานะสมดุลจลน์

สมดุลจลน์ คือสมดุลของวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เช่น รถยนต์หรือยานพาหนะต่าง ๆ ที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เป็นต้น



รูป 4.4 สมดุลจลน์

สมดุลจลน์แบ่งออกเป็น ๒ ลักษณะ คือ

1) สมดุลต่อการเลื่อนที่ คือสมดุลของวัตถุที่เลื่อนด้วยความเร็วคงตัว เรือนไของสมดุลนี้คือ

$$\sum F = 0$$

2) สมดุลต่อการหมุน คือสมดุลที่วัตถุหมุนด้วยความเร็วคงตัว เรือนไของสมดุลนี้คือ

$$\sum M = 0$$

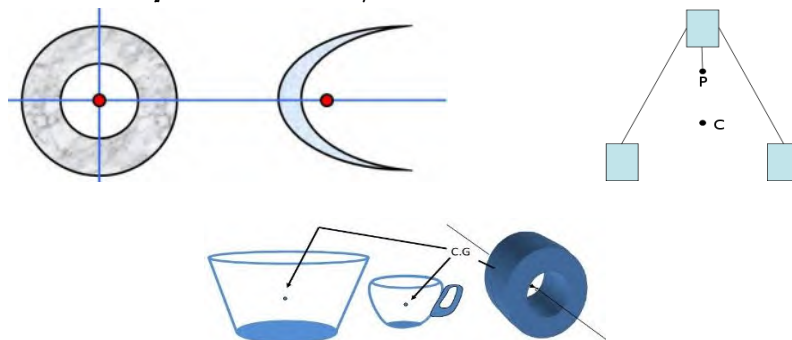
ในการศึกษาเรื่องสมดุล ทอร์ก หรือโมเมนต์จำเป็นจะต้องทราบตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล เพราะว่าถ้าแรงไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลก็จะทำให้เกิดแรงบิด จุดทั้งสองนี้คนทั่วไปจะคิดว่ามีความหมายเหมือนกัน แต่ในความจริงแล้วจุดทั้งสองนี้มีความหมายแตกต่างกัน ดังนี้

4.1 จุดศูนย์กลางมวล และจุดศูนย์ถ่วง

เมื่อเรานำวัตถุขึ้นไปตั้งไว้บนปลายของดินสอ หรือแขวนวัตถุจากจุดใดจุดหนึ่งแล้วพบว่าวัตถุนั้นสามารถทรงตัวได้โดยไม่เอียงหรือพลิกตก นั่นคือการทดลองที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับแนวคิดเรื่อง จุดศูนย์กลางมวล และ จุดศูนย์ถ่วง ซึ่งเป็นแนวคิดพื้นฐานในกลศาสตร์ที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรมของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วง **จุดศูนย์กลางมวลคือจุดสมดุลของมวลทั้งหมดของวัตถุ ซึ่งพิจารณาโดยไม่คำนึงถึงแรงภายนอก เช่น แรงโน้มถ่วง ในขณะที่ จุดศูนย์ถ่วง คือจุดที่แรงโน้มถ่วงของโลกเหมือนจะกระทำต่อวัตถุทั้งหมด จุดนี้เป็นจุดที่ใช้พิจารณาการทรงตัวของวัตถุในโลกแห่งความเป็นจริง** ความเข้าใจเกี่ยวกับสองจุดนี้ช่วยให้เราสามารถวิเคราะห์การเคลื่อนที่ การทรงตัว และการออกแบบโครงสร้างต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ ตัวอย่างเช่น การออกแบบหุ่นยนต์ให้ไม่ล้มง่าย การจัดสมดุลของรถยนต์ หรือแม้กระทั่งการออกแบบเครื่องบินและจรวด ในหัวข้อนี้ เราจะศึกษาแนวคิดพื้นฐานของจุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วง วิธีการคำนวณ และการประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ ทั้งในชีวิตประจำวันและในทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม

จุดศูนย์กลางมวล

ศูนย์กลางมวล คือจุดที่เปรียบเสมือนเป็นจุดรวมของมวลวัตถุทั้งก้อน ซึ่งไม่เปลี่ยนแปลงตำแหน่งและไม่ขึ้นกับสถานที่ที่วัตถุนั้นอยู่ จุดศูนย์กลางมวลอาจอยู่ในหรือนอกเนื้อวัตถุก็ได้



รูป 4.5 จุดศูนย์กลางมวลอยู่นอกวัตถุ

๒) วิธีการคำนวณหาจุดศูนย์กลางมวล

ในทางฟิสิกส์ จุดศูนย์กลางมวล คือจุดที่แสดงตำแหน่งเฉลี่ยของมวลทั้งหมดในระบบหนึ่ง ๆ ไม่ว่าวัตถุนั้นจะเป็นของแข็งชิ้นเดียว หรือเป็นระบบที่ประกอบด้วยอนุภาคหลาย ๆ ตัว จุดศูนย์กลางมวลมีความสำคัญอย่างยิ่งในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุและระบบ โดยเฉพาะเมื่อต้องศึกษาการเคลื่อนที่แบบกลุ่ม เช่น การเคลื่อนที่ของฝูงดาว อนุภาคในแก๊ส หรือกลุ่มวัตถุที่กำลังหมุนหรือกระจายออกในกรณีของระบบอนุภาค การหาจุดศูนย์กลางมวลนั้นต้องอาศัยการพิจารณาดำแหน่งและมวลของอนุภาคแต่ละตัวอย่างละเอียด จุดศูนย์กลางมวลของระบบจะอยู่ที่ตำแหน่งที่ถ่วงน้ำหนักด้วยมวลของอนุภาคแต่ละตัว ซึ่งสามารถคำนวณได้ด้วยสูตรทางคณิตศาสตร์ที่สะท้อนถึงการเฉลี่ยของตำแหน่งโดยมีมวลเป็นตัวคูณ ในหัวข้อนี้นี้ เราจะได้เรียนรู้หลักการและขั้นตอนการคำนวณหาจุดศูนย์กลางมวลของระบบอนุภาค โดยเริ่มจากกรณีง่าย ๆ เช่น ระบบ ๒ อนุภาค และต่อขยายไปยังกรณีที่มีอนุภาคมากขึ้น ทั้งในมิติเดียว สองมิติ และสามมิติ เพื่อให้เข้าใจการวิเคราะห์และการประยุกต์ใช้แนวคิดนี้ในสถานการณ์ต่าง ๆ อย่างถูกต้อง.

ให้พิจารณาว่าวัตถุทุกชิ้นประกอบด้วยอนุภาคจำนวนมาก และให้แต่ละอนุภาคมีมวล $m_1, m_2, \dots, m_n$ ตามลำดับ และมวลดังกล่าวอยู่ที่ตำแหน่ง $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ ตามลำดับ ดังรูป

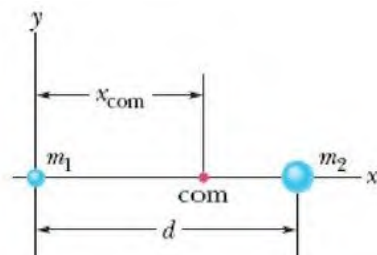


รูป 4.6 วัตถุทุกชิ้นประกอบด้วยอนุภาคเล็ก ๆ จำนวนมากมาย

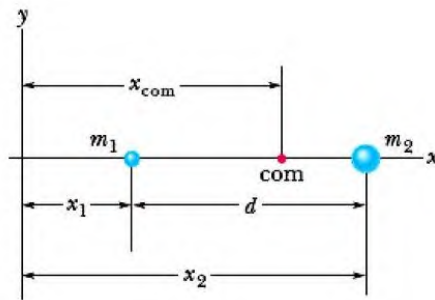
ถ้าให้ (x_{CM}, y_{CM}) เป็นจุดศูนย์กลางมวล เราสามารถคำนวณหาจุดศูนย์กลางมวล ได้จากสมการ ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} x_{CM} &= \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots + m_n x_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \\ y_{CM} &= \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + \dots + m_n y_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \end{aligned} \right\} \quad (4-1)$$

สมการ (4-1) เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุ



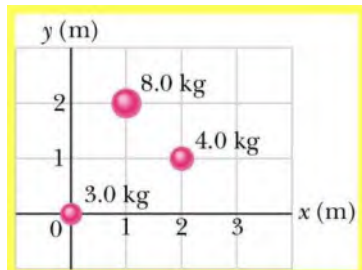
รูป 4.7 จุดศูนย์กลางมวลอยู่ที่ตำแหน่ง $x_{CM} = \frac{m_2 x_2}{m_1 + m_2}$



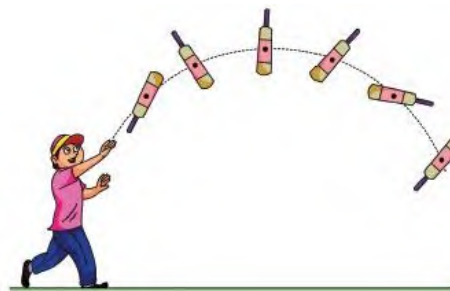
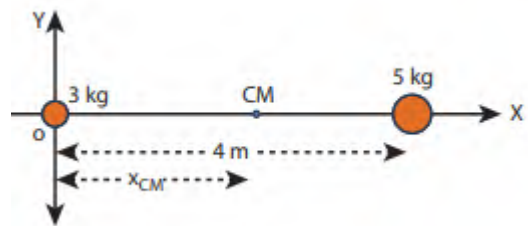
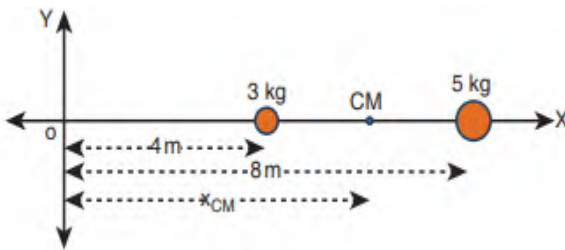
รูป 4.8 จุดศูนย์กลางมวลอยู่ที่ตำแหน่ง $x_{CM} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{m_1 + m_2}$

แบบทดสอบระหว่างเรียน

1) จากรูป จงหาจุดศูนย์กลางมวลของระบบอนุภาค (1.1, 1.33)



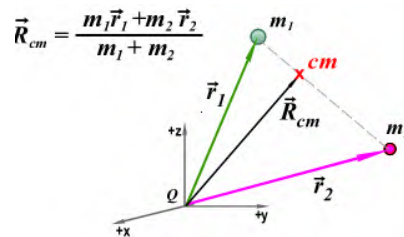
2) จากรูป จงหาจุดศูนย์กลางมวลของระบบอนุภาค (๐.5, ๒.5)



รูป 4.9 เมื่อโยนวัตถุให้เคลื่อนที่วิถีโค้ง จุดศูนย์กลางมวลจะเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งพาราโบลา

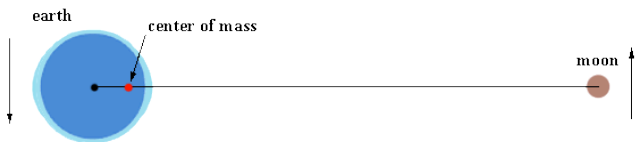
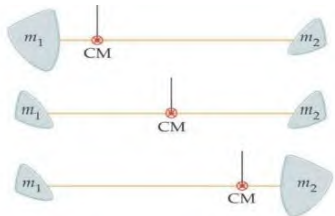
ข้อสังเกต

1. จุดศูนย์กลางมวล (CM.) ไม่ได้เป็นสิ่งจำเป็นเฉพาะการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุอย่างเดียว แต่จุดศูนย์กลางมวลยังเป็นสิ่งจำเป็นเฉพาะการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของระบบอนุภาคอีกด้วย เช่น ดาวเคราะห์ต่างๆ ต่างก็เคลื่อนที่รอบจุดศูนย์กลางมวลของระบบสุริยะเป็นต้น ดังนั้นการหาจุดศูนย์กลางมวลของระบบอนุภาคก็เป็นสิ่งที่จำเป็น



รูป 4.10 จุดศูนย์กลางมวลของระบบอนุภาค

2. ระบบอนุภาคที่มีวัตถุ ๒ ก้อน จุดศูนย์กลางมวลจะอยู่ระหว่างวัตถุเหล่านั้น โดยจะค่อนไปก้นที่มีมวลมากกว่า



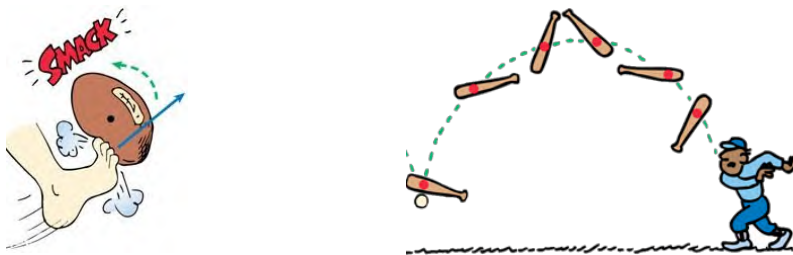
รูป 4.11 จุดศูนย์กลางมวลของโลกและดวงจันทร์

๓. ถ้าแรงที่กระทำต่อวัตถุมีแนวแรงผ่านจุดศูนย์กลางมวล วัตถุจะเคลื่อนที่แบบเส้นตรงตำแหน่งเพียงอย่างเดียวโดยไม่หมุน



รูป 4.12 แรงที่กระทำผ่านจุดศูนย์กลางมวล วัตถุจะเคลื่อนที่แบบเส้นตรงตำแหน่ง

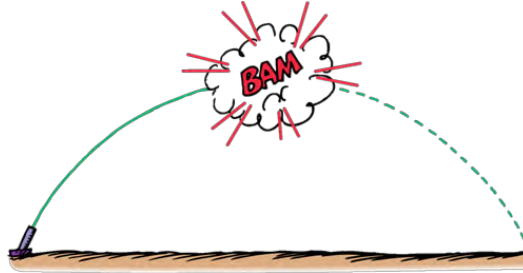
4. ถ้าแรงที่กระทำต่อวัตถุมีแนวแรงไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวล วัตถุจะเคลื่อนที่แบบเส้นตรงตำแหน่ง และเคลื่อนที่แบบหมุนด้วยพร้อม ๆ กัน



รูป 4.13 แรงที่ไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวล วัตถุจะเคลื่อนที่แบบเส้นตรงตำแหน่ง และหมุนพร้อม ๆ กัน

๕. เนื่องจากในธรรมชาติมีแรงเสียดทานหรือแรงต้าน ดังนั้นเมื่อขว้างออกไปในอากาศโดยแรงที่ทำต่อวัตถุมีแนวแรงผ่านจุดศูนย์กลางมวล แล้ววัตถุจะเคลื่อนที่แบบเส้นที่และแบบหมุนด้วย เนื่องจากมีแรงต้านที่แนวแรงไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลอยู่ด้วย

๖. ในการยิงลูกระเบิดด้วยเครื่องยิงลูกระเบิด ถ้าระเบิดกลางอากาศ จุดศูนย์กลางมวลของสะเก็ดระเบิดทั้งหมดยังคงเป็นเส้นโค้งพาราโบลาเหมือนเดิม



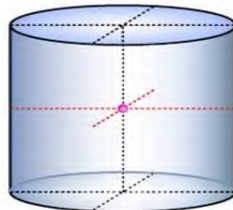
รูป 4.14 จุดศูนย์กลางมวลเคลื่อนที่เหมือนกับไม่มีการระเบิด

จุดศูนย์กลางของมวลของวัตถุรูปต่าง ๆ

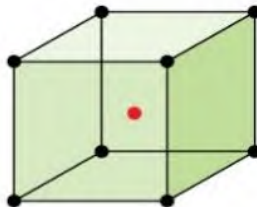
1. จุดศูนย์กลางมวลของคานตรงสม่ำเสมอ อยู่ที่จุดกึ่งกลางคาน



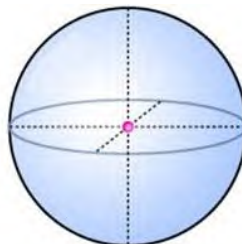
2. จุดศูนย์กลางมวลของทรงกระบอก อยู่ที่จุดกึ่งกลางของเส้นแกนกลางของทรงกระบอก



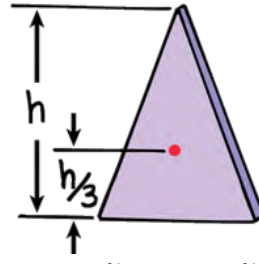
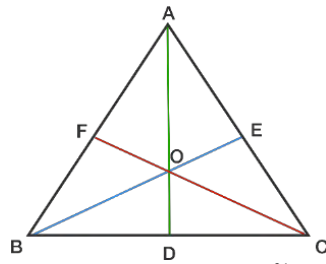
๓. จุดศูนย์กลางมวลของรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ อยู่ที่จุดกึ่งกลางของสี่เหลี่ยมลูกบาศก์



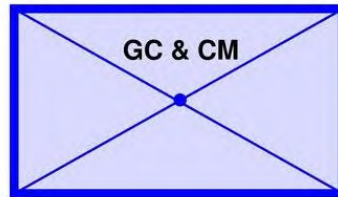
4. จุดศูนย์กลางมวลของทรงกลม อยู่ที่จุดกึ่งกลางของทรงกลม



5. จุดศูนย์กลางมวลของแผ่นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก อยู่ที่จุดตัดของเส้นมัธยฐานทั้งสาม



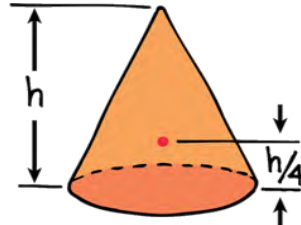
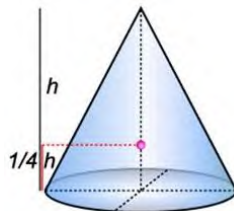
6. จุดศูนย์กลางมวลของแผ่นรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานมุมฉาก อยู่ที่จุดตัดของเส้นทแยงมุมทั้งสอง



7. จุดศูนย์กลางมวลของแผ่นกลมมุมฉาก อยู่ที่จุดศูนย์กลางของแผ่นกลม

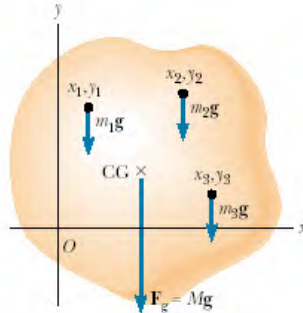


9. จุดศูนย์กลางมวลของวัตถุรูปกรวยกลมตัน อยู่ในแนวเส้นแกนของกรวยเป็นระยะ $\frac{1}{4}$ ของความสูงจากฐาน



จุดศูนย์กลางมวล

จุดศูนย์กลางมวล คือจุดที่แรงลัพธ์ของแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุที่จุดนั้น เป็นจุดที่เสมือนเป็นศูนย์กลางมวลของน้ำหนักทั้งหมดของวัตถุ จุดศูนย์กลางมวลอาจอยู่ในหรือนอกเนื้อวัตถุก็ได้ จุดศูนย์กลางมวลสามารถเปลี่ยนตำแหน่งได้ขึ้นกับแรงโน้มถ่วงในบริเวณนั้น และจุดศูนย์กลางมวลจะไม่เมื่อวัตถุอยู่ในที่ที่ไม่มีแรงโน้มถ่วง



รูป 4.15 ทุุกอนุภาคได้รับแรงโน้มถ่วง(g) ที่มีขนาดเท่ากัน

ถ้าให้(x_{CG}, y_{CG}) เป็นจุดศูนย์กลางมวล เราสามารถคำนวณหาจุดศูนย์กลางมวล ได้จากสมการดังนี้

$$\left. \begin{aligned} x_{CG} &= \frac{m_1 g_1 x_1 + m_2 g_2 x_2 + \dots + m_n g_n x_n}{m_1 g_1 + m_2 g_2 + \dots + m_n g_n} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i g_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i g_i} \\ y_{CG} &= \frac{m_1 g_1 y_1 + m_2 g_2 y_2 + \dots + m_n g_n y_n}{m_1 g_1 + m_2 g_2 + \dots + m_n g_n} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i g_i y_i}{\sum_{i=1}^n m_i g_i} \end{aligned} \right\} \quad (4-2)$$

สมการ (4-2) เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุ

จากสมการ (4-1) และ (4-2) จะเห็นว่าสมการที่ใช้ในการคำนวณหาจุดศูนย์กลางมวล (CM) และจุดศูนย์กลางมวล (CG) นั้นแตกต่างกัน แต่เนื่องจากความเร่งโน้มถ่วง (g) ของโลกที่กระทำต่ออนุภาคต่าง ๆ โดยทั่วไปจะมีค่าเท่ากันคือ $g_1 = g_2 = \dots = g_N$ ดังนั้นสมการ(๔-๒) จะเขียนใหม่ได้เป็น

$$\left. \begin{aligned} x_{CG} &= \frac{m_1 g x_1 + m_2 g x_2 + \dots + m_n g x_n}{m_1 g + m_2 g + \dots + m_n g} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i g x_i}{\sum_{i=1}^n m_i g} \\ y_{CG} &= \frac{m_1 g y_1 + m_2 g y_2 + \dots + m_n g y_n}{m_1 g + m_2 g + \dots + m_n g} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i g y_i}{\sum_{i=1}^n m_i g} \end{aligned} \right\} \quad (4-2)'$$

หรือ

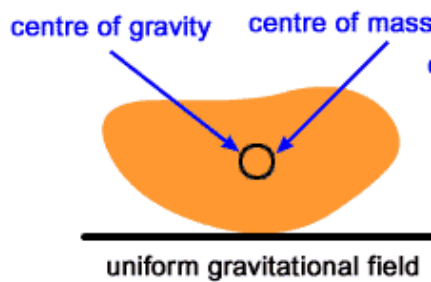
$$\left. \begin{aligned} x_{CG} &= \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + \dots + m_nx_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \\ y_{CG} &= \frac{m_1y_1 + m_2y_2 + \dots + m_ny_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \end{aligned} \right\} \quad (4-3)$$

สมการ (4-3) เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาจุดศูนย์กลางถ่วงของวัตถุ

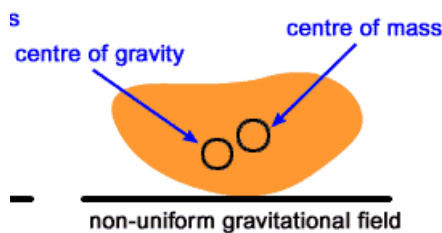
เมื่อเปรียบเทียบกับสมการ(4-1) กับสมการ(4-3) แล้วจะพบว่าสมการทั้ง ๒ เหมือนกัน ดังนั้นจุดศูนย์กลางถ่วง(CG) กับจุดศูนย์กลางมวล(CM) ของวัตถุทั่วไปจึงอยู่ที่จุดเดียวกัน
ข้อสังเกต ถ้าส่งก้อนวัตถุที่รูปร่างต่างๆ กันค่า g ที่ปลายด้านหนึ่งกับค่า g ที่ปลายอีกด้านหนึ่งมีค่าไม่เท่ากัน จุดศูนย์กลางถ่วงกับจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่คนละที่กัน



รูป 4.17 อาคารสูงต่าง ๆ จุดศูนย์กลางถ่วงกับจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่คนละตำแหน่งกัน



รูป 4.18 วัตถุที่อยู่ในสนามโน้มถ่วงสม่ำเสมอ จุด CG กับจุด CM จะอยู่ตำแหน่งเดียวกัน

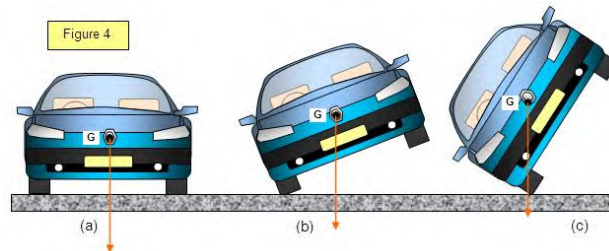


รูป 4.19 วัตถุที่อยู่ในสนามโน้มถ่วงไม่สม่ำเสมอ จุด CG กับจุด CM จะอยู่คนละตำแหน่งกัน

วัตถุโดยทั่วไปที่ไม่ใหญ่หรือสูงมาก ๆ แล้วศูนย์กลางมวลของกับศูนย์กลางจะอยู่ที่จุดเดียวกัน

จุดศูนย์กลางของสิ่งต่าง ๆ

โลกดึงดูดวัตถุด้วยแรงเท่ากับน้ำหนักของวัตถุ จุดศูนย์กลางเป็นจุดที่เสมือนว่าแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุที่จุดนี้ ถ้าแนวแรงของแรงโน้มถ่วงตกพื้นฐานของวัตถุ วัตถุนั้นก็จะล้ม



รูป 4.๒๓ ถ้าแนวแรงของแรงโน้มถ่วงเคลื่อนที่พ้นฐานของวัตถุ วัตถุนั้นก็จะล้ม

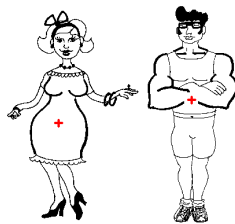
ข้อสังเกตเกี่ยวกับจุดศูนย์กลาง

- 1) จุดศูนย์กลางอาจจะอยู่ในหรือนอกวัตถุก็ได้



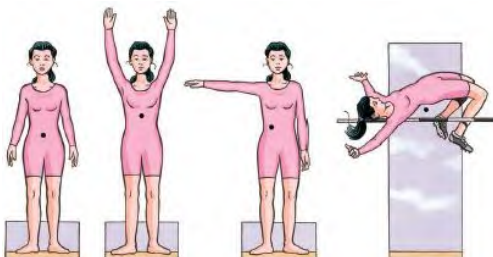
รูป 4.๒๕ จุดศูนย์กลางของสิ่งต่าง ๆ

- 2) สำหรับเพศชายจุดศูนย์กลางของร่างกายจะอยู่สูงกว่าเพศหญิง เนื่องจากสะโพกของผู้หญิงกว้างกว่าของเพศชาย



รูป 4.๒๖ จุดศูนย์กลางของผู้หญิงจะอยู่ต่ำกว่า จุดศูนย์กลางของผู้ชาย

- ๓) จุดศูนย์กลางของร่างกายเลื่อนตำแหน่งได้ เมื่อเปลี่ยนท่าทาง



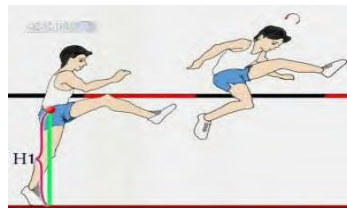
รูป 4.๒๗ จุดศูนย์กลางของร่างกายเลื่อนตำแหน่งได้ เมื่อเปลี่ยนท่าทาง

4) จุดศูนย์ถ่วงของร่างกายมีความสำคัญกับนักกีฬาแต่ละชนิดแตกต่างกัน กีฬาบางชนิดถ้านักกีฬามีจุดศูนย์ถ่วงต่ำก็จะได้เปรียบ เช่นการวิ่งระยะสั้นที่ต้องการความเร็วสูงซึ่งมีจุดศูนย์ถ่วงต่ำจะทำให้รักษามomentum ของร่างกายได้ง่ายขึ้น รวมถึงกีฬาชกน้ำหนักด้วยเนื่องจากนักกีฬาน้ำหนักที่มีจุดศูนย์ถ่วงต่ำจะทรงตัวได้ดีกว่า



รูป 4.๒8 นักวิ่งที่มีจุดศูนย์ถ่วงต่ำจะทรงตัวได้ดีกว่านักวิ่งที่มีจุดศูนย์ถ่วงสูง

แต่กีฬาบางชนิดที่นักกีฬาที่มีจุดศูนย์ถ่วงสูงได้เปรียบ คือการกระโดดสูง วิ่งข้ามรั้ว เพราะว่าการกระโดดสูง และวิ่งข้ามรั้ว คือการทำให้จุดศูนย์ถ่วงเคลื่อนที่ข้ามไม่พาดขวางอยู่ ซึ่งนักกีฬาที่มีจุดศูนย์ถ่วงสูงเท่าใด นักกีฬาก็จะใช้พลังงานในการกระโดดน้อยกว่าคนที่จุดศูนย์ถ่วงต่ำ (ถ้านักกีฬามีมวลเท่ากัน) เนื่องจากระยะความสูงในการกระโดดของนักกีฬาที่มีจุดศูนย์ถ่วงสูงจะน้อยกว่านักกีฬาที่มีจุดศูนย์ถ่วงต่ำ



รูป 4.๒๙ นักกระโดดสูงที่มีจุด CG สูง จะมีระยะกระโดดน้อยกว่านักกระโดดสูงที่มีจุด CG ต่ำ

๕) วัตถุที่วางบนพื้นโดยจุดศูนย์ถ่วงอยู่สูงจากพื้นมาก จะมีพลังงานศักย์มากกว่าการวางวัตถุให้จุดศูนย์ถ่วงอยู่ต่ำ



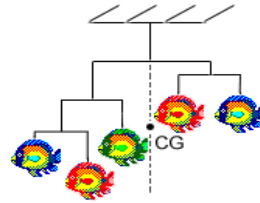
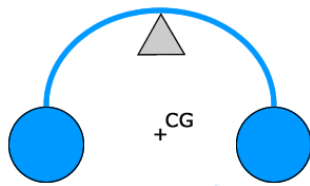
รูป 4.๓๐ วางวัตถุในลักษณะต่างกัน พลังงานศักย์ของวัตถุไม่เท่ากัน

๖) รถที่มีจุดศูนย์ถ่วงสูงมีโอกาสพลิกคว่ำได้ง่ายกว่ารถที่มีจุดศูนย์ถ่วงต่ำ



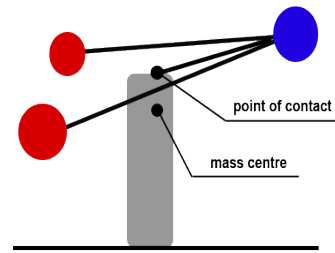
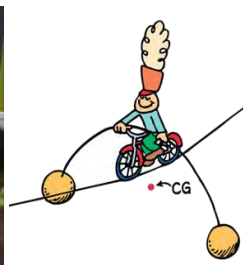
รูป 4.๓๑ รถที่มีจุดศูนย์ถ่วงสูงมีโอกาสพลิกคว่ำได้ง่ายกว่ารถที่มีจุดศูนย์ถ่วงต่ำ

๗) เมื่อแขวนวัตถุ จุดศูนย์กลางจะอยู่ในแนวตั้งใต้จุดแขวนเสมอ



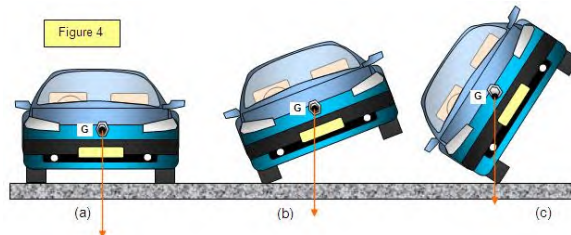
รูป 4.๓๒ จุดศูนย์กลางจะอยู่ในแนวตั้งใต้จุดแขวนเสมอ

และด้วยเหตุผลนี้ทำให้ วัตถุที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ใต้จุดแขวนมีความสมดุล ดังรูป



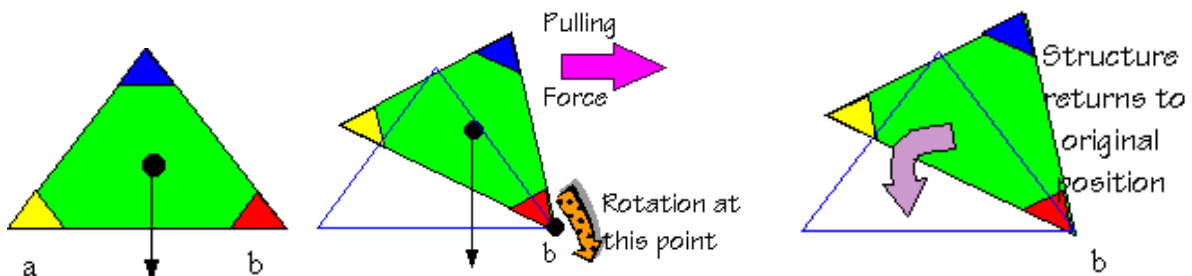
รูป 4.๓๓ สมดุลอย่างน่าแปลกใจ

๘) ถ้าแนวตั้งของจุดศูนย์กลางไม่ตกนอกฐาน วัตถุนั้นก็จะเป็นสถานะสมดุล

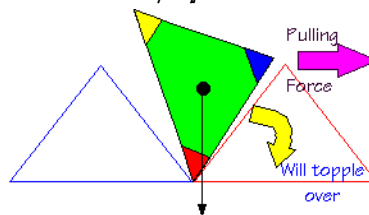


รูป 4.๓๔ แนวตั้งของจุดศูนย์กลางไม่ตกนอกฐาน

จุดศูนย์กลางมีความสำคัญกับสมดุลเป็นอย่างมาก ถ้าแนวตั้งของจุดศูนย์กลางมวลยังไม่ออกนอกฐาน เมื่อแรงที่กระทำหมดไป วัตถุนั้นก็กลับมาสภาพเดิม ดังรูป



รูป 4.๓๕ แนวตั้งของจุดศูนย์กลางยังไม่ออกนอกฐาน



รูป 4.๓๖ แนวตั้งของจุดศูนย์กลางออกนอกฐานไปแล้ว ไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้

แต่ถ้าแนวตั้งของจุดศูนย์ถ่วงออกนอกฐานไปแล้วดังรูป 4.๓6 ฐานของวัตถุจะกลายเป็นจุดหมุน และแรงโน้มถ่วงจะกลายเป็นแรงบิด ดึงให้วัตถุนั้นพลิกคว่ำดังรูป 4.๓6 ดังนั้นการออกแบบสิ่งก่อสร้างทั้งหลายจึงต้องคำนึงถึงแนวตั้งของจุดศูนย์ถ่วงด้วย ตัวอย่างของสิ่งก่อสร้างที่มีความเสี่ยงที่จะล้มลงมาเนื่องจากแนวตั้งของจุดศูนย์ถ่วงตกนอกฐานได้แก่ เสาของลิฟต์ขนส่งวัสดุก่อสร้าง ดังรูป 4.๓7 (๔) ถ้าการผูกยึดติดกับตัวอาคารไม่แน่นพอก็จะเกิดการล้มลงมาได้ ดังรูป (๕)



(๔)



(๕)

รูป 4.๓7 แนวตั้งของจุดศูนย์ถ่วงตกนอกฐาน

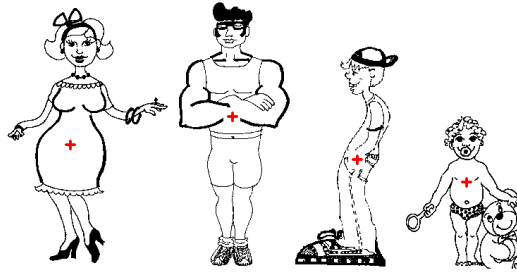
จุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย

ในชีวิตประจำวัน การเคลื่อนไหวอย่างมั่นคง เช่น การยืน เดิน วิ่ง หรือการทรงตัว ล้วนมีความเกี่ยวข้องกับ “จุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย” จุดนี้คือบริเวณที่แรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อร่างกายราวกับว่ามันรวมศูนย์อยู่ที่จุดเดียว จุดศูนย์ถ่วงมีผลอย่างมากต่อความสมดุลและความมั่นคงของบุคคล จุดศูนย์ถ่วงของมนุษย์ไม่ได้อยู่คงที่เสมอ แต่จะแตกต่างกันไปตามเพศ วัย และสัดส่วนของร่างกาย เช่น

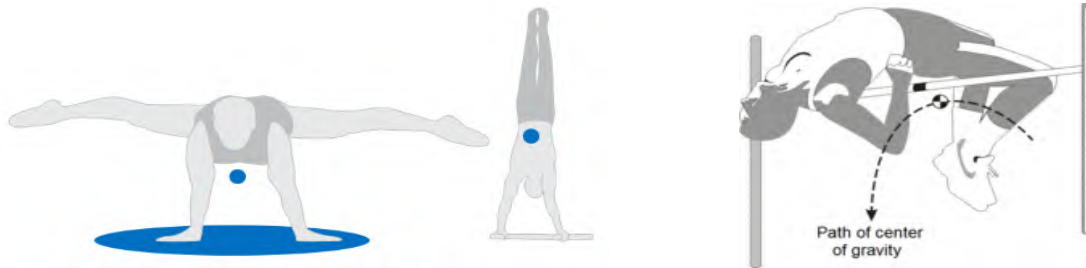
- ใน ผู้ชาย ซึ่งโดยทั่วไปมีกล้ามเนื้อส่วนบนเด่น จุดศูนย์ถ่วงจึงมักอยู่สูงกว่าผู้หญิง
- สำหรับ ผู้หญิง ที่มีกล้ามเนื้อส่วนล่างและน้ำหนักส่วนล่างมากกว่า จุดศูนย์ถ่วงจึงอยู่ต่ำกว่า
- ใน เด็กเล็ก หัวมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับลำตัว ทำให้จุดศูนย์ถ่วงอยู่ค่อนข้างสูง
- ส่วนใน ผู้สูงอายุ การเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อและโครงสร้างร่างกาย เช่น หลังโก่ง หรือมวลกล้ามเนื้อลดลง ก็ส่งผลให้ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงเปลี่ยนไป และอาจทำให้การทรงตัวแย่ลง

การเข้าใจจุดศูนย์ถ่วงในแต่ละช่วงวัยและเพศไม่เพียงช่วยให้เราวิเคราะห์การเคลื่อนไหวทางชีวกลศาสตร์ได้ดีขึ้นเท่านั้น แต่ยังสามารถนำไปใช้ในการออกแบบท่าทางการออกกำลังกาย การฟื้นฟูสมรรถภาพร่างกาย หรือการพัฒนาอุปกรณ์ช่วยเหลือนักกีฬาให้มีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นในหัวข้อนี้ เราจะได้เรียนรู้ตำแหน่งโดยประมาณของจุดศูนย์ถ่วงในแต่ละกลุ่มบุคคล และวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงจุดศูนย์ถ่วงในร่างกายมนุษย์.

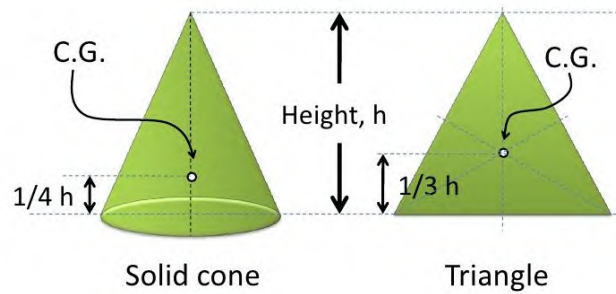
จุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย หมายถึงจุดที่เสมือนว่าน้ำหนักของร่างกายทั้งหมดมารวมกันที่จุดนั้น จุดศูนย์ถ่วงของร่างกายคนเราเมื่อยืนในท่าปกติ แขนอยู่ข้างลำตัวจะอยู่ที่ระดับบริเวณกลางลำตัวระดับสะดือ จุดศูนย์ถ่วงของแต่ละคนจะอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างของร่างกาย เพศ อายุ นอกจากนี้จุดศูนย์ถ่วงของร่างกายจะเปลี่ยนไปตามการจัดท่าทางของแขนขา และการถือน้ำหนัก จุดศูนย์ถ่วงของร่างกายซึ่งอยู่ใกล้ฐานมากเท่าใดก็จะทำให้มีความสมดุลมากขึ้นเท่านั้น



รูป 4.39 จุดศูนย์กลางของและคนจะอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างของร่างกาย เพศ อายุ

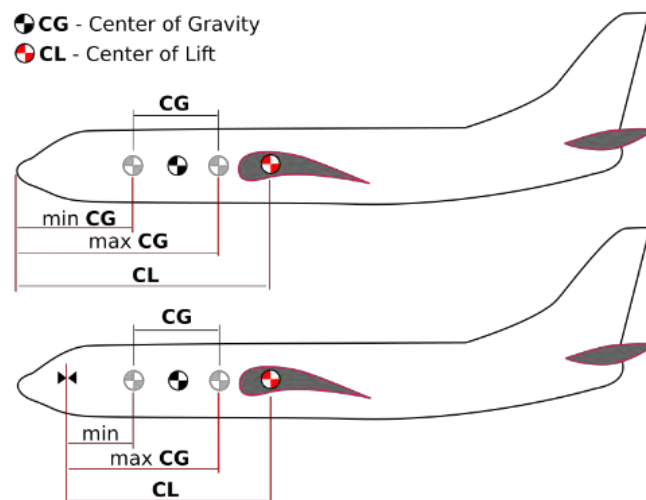


รูป 4.40 จุดศูนย์กลางของร่างกายเปลี่ยนตำแหน่งได้เมื่ออยู่ในท่าทางที่แตกต่างกัน



เปรียบเทียบจุดศูนย์กลางของกรวยกับสามเหลี่ยม

จุดศูนย์กลางของเครื่องบินจะจอดที่สนามบินกับขณะที่บินอยู่ในอากาศจะอยู่คนละตำแหน่งกัน เนื่องจากขณะบินอยู่ในอากาศมีแรงที่กระทำต่อเครื่องบินหลายแรง



รูป 4.41 จุดศูนย์กลางของเครื่องบินจะจอดกับขณะที่บินอยู่ในอากาศจะอยู่คนละตำแหน่งกัน

คำถามระหว่างบทเรียน

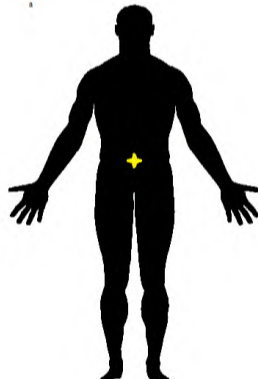
1) จุดศูนย์ถ่วงกับจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่ที่เดียวกันเมื่อใด จงยกตัวอย่างวัตถุที่มีจุดศูนย์ถ่วงกับจุดศูนย์กลางมวลอยู่ที่เดียวกัน

ตอบ วัตถุที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก จุดศูนย์ถ่วงกับจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่ที่เดียวกัน

2) จุดศูนย์ถ่วงกับจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่คนละตำแหน่งเมื่อใด จงยกตัวอย่างวัตถุที่มีจุดศูนย์ถ่วงกับจุดศูนย์กลางมวลอยู่คนละตำแหน่งกัน

ตอบ วัตถุที่มีความสูงมาก ๆ จุดศูนย์ถ่วงกับจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่คนละที่ เช่น อาคารที่มีความสูงมาก ๆ เป็นต้น

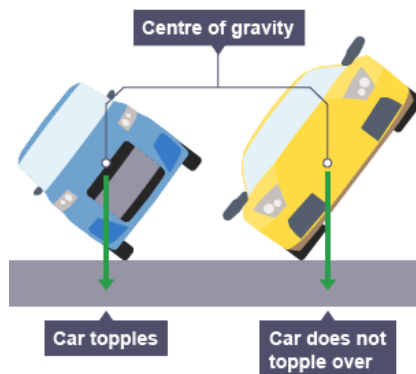
3) ในขณะที่ขึ้นจุดศูนย์ถ่วงและจุดศูนย์กลางมวลของนักเรียนอยู่บริเวณใด และถ้านักเรียนเปลี่ยนท่าทาง จุดศูนย์ถ่วงและจุดศูนย์กลางมวลของนักเรียนจะย้ายตำแหน่งไปหรือไม่ เพราะอะไร



ตอบ จะอยู่บริเวณสะดือ และจุดนี้จะย้ายตำแหน่งไปเมื่อเปลี่ยนท่าทาง

4) ถ้าวมีจุดศูนย์ถ่วงอยู่สูงจากพื้นมาก ๆ จะดีหรือไม่อย่างไร

ตอบ วมีจุดศูนย์ถ่วงอยู่สูงจากพื้นจะมีโอกาสพลิกคว่ำได้ง่ายกว่าวมีจุดศูนย์ถ่วงต่ำ



5) จุดศูนย์ถ่วงของรถโดยสารหรือรถทัวร์จะมีผู้โดยสารกับขณะไม่มีผู้โดยสารอยู่ที่จุดเดียวกันหรือไม่ อย่างไร

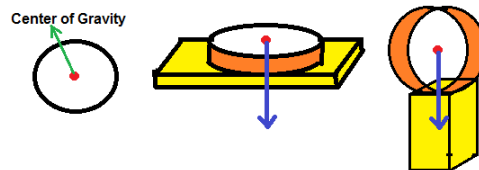
ตอบ คนละจุดกัน เนื่องจากเมื่อมีผู้โดยสาร ก็เสมือนว่ามีรูปร่างเปลี่ยนไป

6) เพราะเหตุใดรถแข่งจึงมีความสูงน้อยกว่ารถทั่วไป



๗) จุดศูนย์กลางของแวนอยู่บริเวณใด

๑๐๖) อยู่บริเวณจุดศูนย์กลางของแวน



๘) จุดศูนย์กลางของแก้วอยู่บริเวณใด

๑๐๖) อยู่บริเวณที่ว่างภายในแก้ว ดังรูป

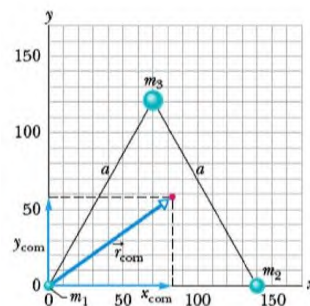


๑) จุดศูนย์กลางของรูปข้างล่างอยู่ที่จุดใด (บอกตำแหน่ง x และ y)



๑๐๖) อยู่ที่ตำแหน่ง $x = 0\text{ cm}$, $y = 1.5\text{ cm}$

10) อนุภาค m_1 มวล 1.2 กิโลกรัม อนุภาค m_2 มวล ๑.๕ กิโลกรัม และอนุภาค m_3 มวล ๑.4 กิโลกรัมวางที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังรูป ถัดด้าน a ขาว 140 เซนติเมตรจงหาจุดศูนย์กลางมวลของระบบนี้



$$x_{cm} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$x_{cm} = \frac{(1.2)(0) + (2.5)(150) + (3.4)(70)}{1.2 + 2.5 + 3.4}$$

$$x_{cm} = \frac{0 + 375 + 238}{1.2 + 2.5 + 3.4} = \frac{613}{7.1}$$

$$x_{cm} = 86.3$$

ตอบ

$$y_{cm} = \frac{m_1y_1 + m_2y_2 + m_3y_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$y_{cm} = \frac{(1.2)(0) + (2.5)(0) + (3.4)(120)}{1.2 + 2.5 + 3.4}$$

$$y_{cm} = \frac{0 + 0 + 408}{1.2 + 2.5 + 3.4} = \frac{408}{7.1}$$

$$y_{cm} = 57.5$$

ตอบ

11) จุดศูนย์กลางมวลกับจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุแตกต่างกันอย่างไร

ตอบ จุดศูนย์กลางมวล คือจุดที่เสมือนว่าแรงโน้มถ่วงกระทำต่อวัตถุที่จุดนี้
จุดศูนย์กลางมวล คือจุดที่เสมือนว่ามวลทั้งหมดของวัตถุมารวมกันอยู่ที่จุดนี้

12) จุดศูนย์กลางมวลกับจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุโดยทั่วไปจะอยู่ที่จุดเดียวกัน เพราะอะไร

ตอบ เพราะว่ามีค่า g มีค่าคงตัว

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาจุดศูนย์กลางมวล กับสมการที่ใช้ในการคำนวณหาจุดศูนย์กลางมวล จะมีส่วนการที่เหมือนกัน

13) จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุใดหรือไม่มี



ตอบ ได้

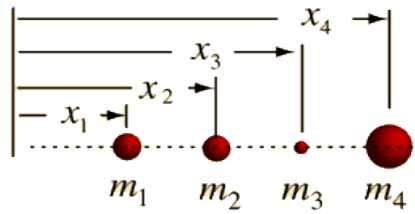
14) จงยกตัวอย่างวัตถุที่มีจุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุ

ตอบ ถ้วยกาแฟ แก้ว น้ำเบียร์

15) จงยกตัวอย่างวัตถุที่มีจุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์กลางมวลไม่อยู่ที่จุดเดียวกัน พร้อมให้เหตุผลว่าเพราะเหตุใดจึงไม่อยู่ที่จุดเดียวกันเหมือนวัตถุโดยทั่วไป

ตอบ ภาชนะต่างๆ เพราะว่ามีค่า g ที่บริเวณฐานของภาชนะกับ ค่า g ที่ยอดภาชนะมีค่าไม่เท่ากัน

16) จากรูป/จงหาจุดศูนย์กลางมวล



$$x_{cm} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3 + m_4x_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}$$

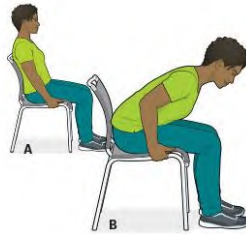
17) จุดศูนย์กลางมวลกับจุดศูนย์กลางมวล จุดใดมีตำแหน่งเดิมเสมอ ไม่ว่าจะนำวัตถุไปวางไว้ที่ใด และเพราะอะไร

ตอบ จุดศูนย์กลางมวล เพราะว่าจุดศูนย์กลางมวลมีตำแหน่งเดิมเสมอ (๑)

18) จุดศูนย์กลางมวลกับจุดศูนย์กลางมวล จุดใดเปลี่ยนตำแหน่งได้ เมื่อนำวัตถุไปวางไว้ที่ตำแหน่งอื่น และยกตัวอย่าง

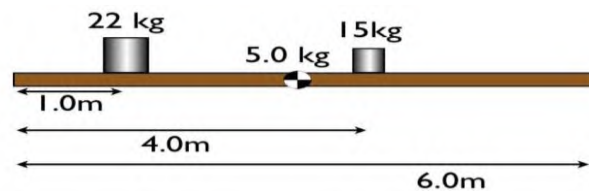
ตอบ จุดศูนย์กลาง เพราะว่าจุดศูนย์กลางมีตำแหน่งเดิมเสมอ (๑)

19) เราจะลุกจากเก้าอี้โดยไม่ได้ขยับตัวไปข้างหน้าได้หรือไม่ เพราะอะไร



ตอบ ไม่ได้ เพราะว่าจุดศูนย์กลางจะเคลื่อนที่ (๑)

20) จากรูป ถ้าคนมีมวล ๕ กิโลกรัม จงหาจุดศูนย์กลางมวล



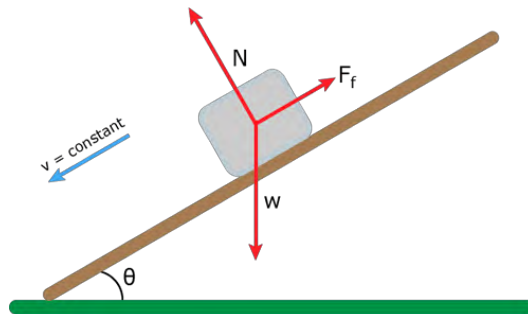
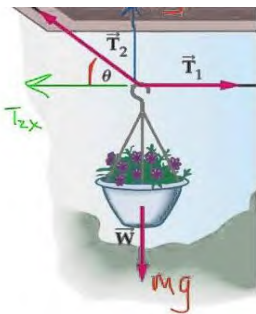
$$\begin{aligned} x_{cm} &= \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{m_1 + m_2} \\ x_{cm} &= \frac{(22)(1) + (15)(4)}{22 + 15} \\ x_{cm} &= \frac{22 + 60}{37} = \frac{82}{37} \\ x_{cm} &= 2.2 \end{aligned}$$

วัตถุที่อยู่ในสภาพสมดุลหมายถึงวัตถุไม่มีการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ ซึ่งแบ่งออกเป็น ๓ ประเภท คือ

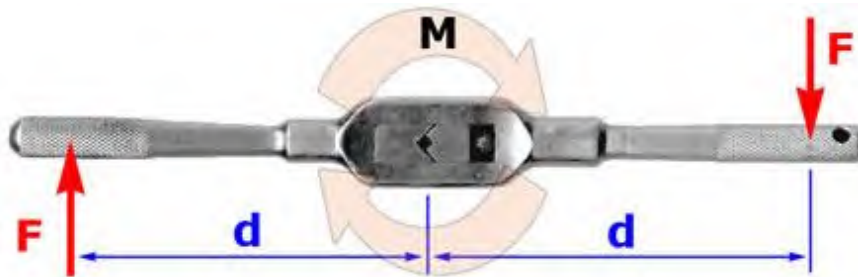
1) สมดุลต่อการเลื่อนที่ คือ วัตถุหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เรือนไขของสมดุลนี้คือ

$$\sum \vec{F} = 0$$

$$\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum F_z = 0$$



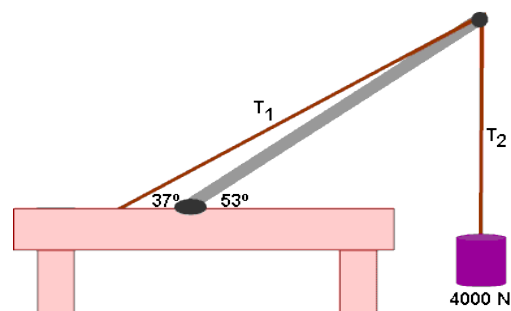
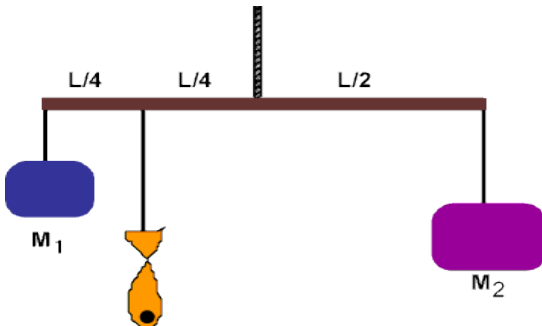
รูป 4.42 แรงลัพธ์ในแนวแกน และ มีค่าเท่ากับศูนย์



รูป 4.43 แรงลัพธ์เป็นศูนย์ แต่โมเมนต์ไม่เป็นศูนย์

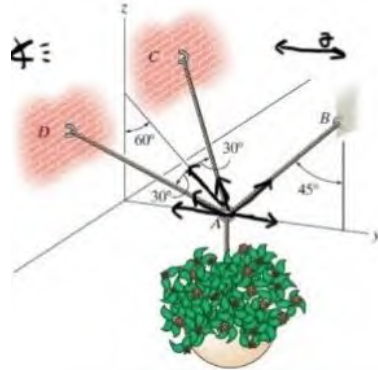
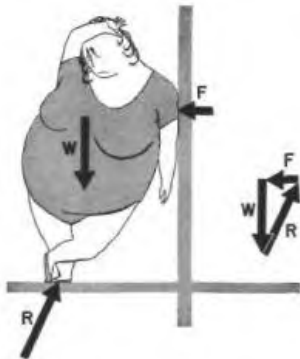
2) สมดุลต่อการหมุน คือ วัตถุไม่หมุนหรือหมุนด้วยอัตราเร็วคงตัว เรือนไขของสมดุลนี้คือ

$$\sum M = 0$$



รูป 4.44 โมเมนต์ทวนเท่ากับโมเมนต์ตาม

๓) สมดุลสัมบูรณ์ คือวัตถุสมดุลต่อการเลื่อนที่และสมดุลต่อการหมุน เงื่อนไขของสมดุลนี้คือ $\sum F = 0$ และ $\sum M = 0$



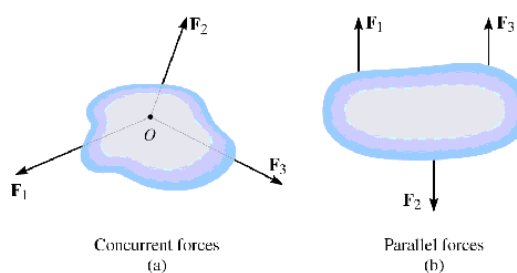
รูป 4.45 แรงลัพธ์เท่ากับศูนย์ และ โมเมนต์รวมเท่ากับโมเมนต์ตาม

สมดุลของแรง 3 แรง

ในชีวิตประจำวัน เรามักพบเห็นวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่นิ่ง (หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่) เช่น โต๊ะที่ตั้งอยู่บนพื้น หรือวัตถุที่ห้อยนิ่งอยู่กับเชือก นั้นแสดงว่าแรงที่กระทำต่อวัตถุนั้นมีสภาพ “สมดุล” ซึ่งเป็นแนวคิดพื้นฐานที่สำคัญในวิชาฟิสิกส์ โดยเฉพาะในหัวข้อเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ หนึ่งในกรณีที่น่าสนใจคือ สมดุลของแรง 3 แรง ที่กระทำต่อวัตถุ โดยที่แรงทั้งสามนี้มีทิศทางและขนาดแตกต่างกัน แต่รวมกันแล้วทำให้วัตถุอยู่ในสภาพนิ่ง (หรือเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอ) ซึ่งเป็นกรณีที่พบได้บ่อยในการออกแบบโครงสร้าง การวิเคราะห์ระบบรอก การพิจารณาแรงดึงของเชือก การเข้าใจสมดุลของแรง 3 แรง ไม่เพียงแต่ช่วยให้เราวิเคราะห์สถานะของวัตถุได้อย่างถูกต้องเท่านั้น แต่ยังเปิดโอกาสให้เราเข้าใจหลักการเหล่านี้ไปใช้ในการแก้ปัญหาและออกแบบทางวิศวกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ หัวข้อนี้จะพาเราไปรู้จักกับเงื่อนไขของสมดุล การวาดภาพเวกเตอร์ และการประยุกต์ใช้กฎของเวกเตอร์ในเชิงเรขาคณิตและฟิสิกส์เพื่อวิเคราะห์สถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับแรงทั้งสาม

เมื่อมีแรง 3 แรง กระทำต่อวัตถุ วัตถุจะสมดุลได้จะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขดังนี้

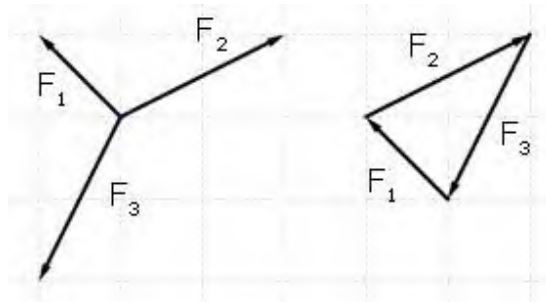
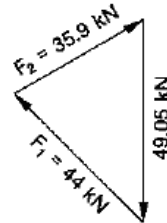
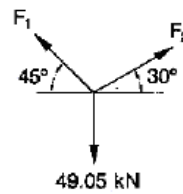
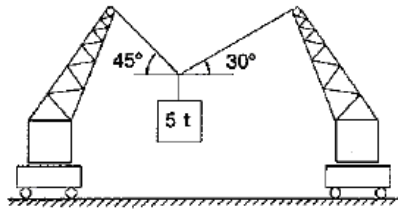
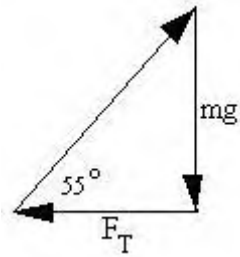
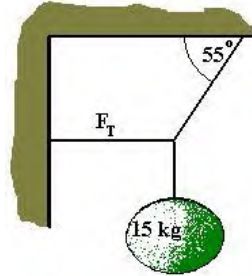
- 1) แรงทั้งสามต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน
- 2) แรงลัพธ์เท่ากับศูนย์
- ๓.) แรงทั้งสามต้องพบกันที่จุดเดียวกันหรือแรงทั้งสามต้องขนานกัน



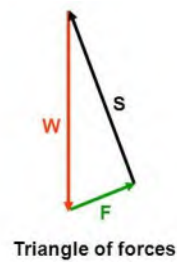
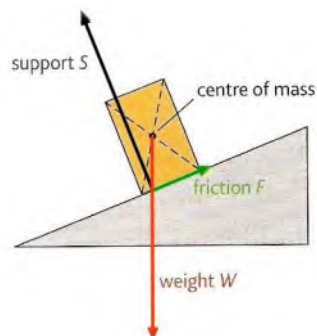
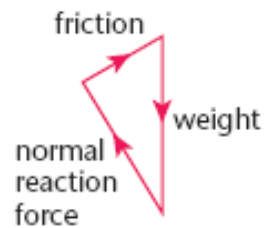
สมดุลของแรง 3 แรง

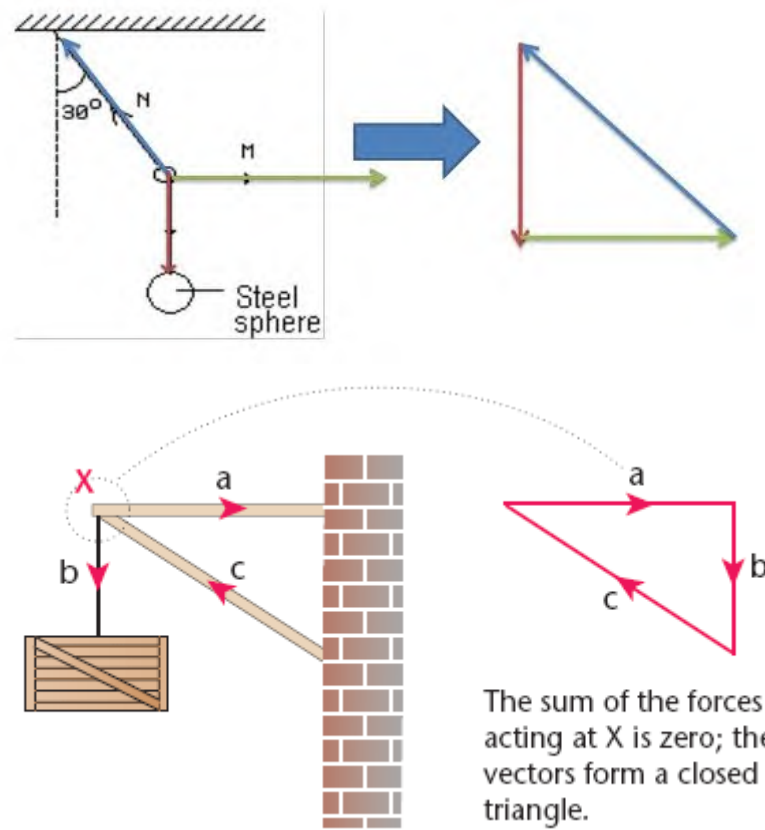
ข้อสังเกต

เมื่อวัตถุอยู่ในสภาพสมดุลของแรงตั้งแต่ ๓ แรง เมื่อนำเวกเตอร์ของแรงมารวมกันแบบเวกเตอร์จะได้เป็นรูปเหลี่ยมปิดได้พอดี ดังรูป



normal reaction force





รูป 4.4๖ เมื่อรวมเวกเตอร์ของแรงทั้งหมดได้เป็นรูปสามเหลี่ยมปิด

คำถามระหว่างบทเรียน

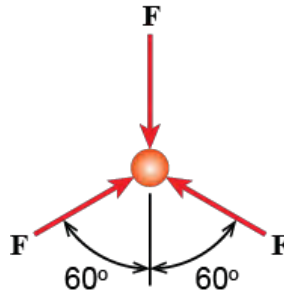
๑) วัตถุต่อไปนี้อยู่ในสภาวะสมดุลหรือไม่ เพราะอะไร และถ้าสมดุลเป็นสมดุลชนิดใด



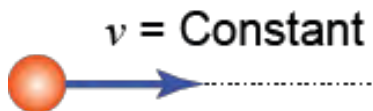
ตอบ อยู่ในสภาวะไม่สมดุลของแรง เนื่องจากมีแรงกระทำเพียงแรงเดียว



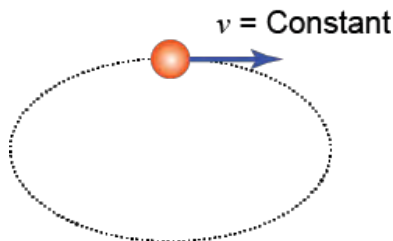
ตอบ อยู่ในสภาวะสมดุลของแรง เนื่องจากมีแรงกระทำสองแรง ขนาดเท่ากันแต่ทิศตรงข้าม



ตอบ อยู่ในสภาวะสมดุลของแรง

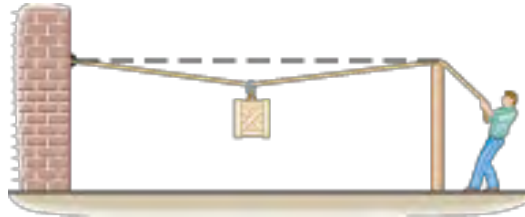


ตอบ อยู่ในสภาวะสมดุลของแรง คือแรงลัพธ์มีค่าเท่ากับศูนย์



ตอบ อยู่ในสภาวะไม่สมดุลของแรง คือแรงลัพธ์มีค่าไม่เท่ากับศูนย์

๒) ลังห้อยลงมาจากกลางเส้นเชือก ดังรูป ชายคนหนึ่งพยายามดึงปลายเชือกเพื่อให้เชือกเป็นเส้นตรง อยากรทราบว่าเขาจะทำได้หรือไม่ เพราะอะไร



ตอบ ไม่ได้ เพราะว่าเมื่อสิ่งใดเลือกลงมาในแนวตั้ง ก็จะต้องมีแรงดึงขึ้นในขนาดที่เท่ากัน
เชือกจึงต้องหดร่อนเสมอ เพื่อให้เกิดแรงดึงขึ้นในแนวตั้ง

๓) เมื่อมีแรง ๒ แรงกระทำต่อวัตถุ แล้ววัตถุอยู่ในสภาพสมดุล แสดงว่าแรง ๒ แรงเป็นอย่างไรกัน

ตอบ มีขนาดเท่ากันแต่ทิศตรงข้าม

๔) เมื่อมีแรง ๓ แรงซึ่งไม่อยู่ในแนวเดียวกันกระทำต่อวัตถุ แล้ววัตถุอยู่ในสภาพสมดุล แสดงว่าผลรวมของแรงคู่ใดคู่หนึ่งกับแรงที่สามจะต้องเป็นอย่างไรกัน

ตอบ มีขนาดเท่ากันแต่ทิศตรงข้าม

๕) เมื่อมีแรงมากกว่า ๓ แรง กระทำต่อวัตถุ ปรากฏว่าวัตถุอยู่ในสภาพสมดุล แรงทั้ง ๓ ต้องอยู่ในระนาบเดียวกันหรือไม่

ตอบ แรงทั้ง ๓ ต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน

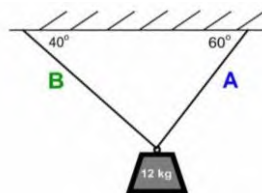
๖) สมดุลแรงตั้งแต่ 4 แรงขึ้นไปต้องมีลักษณะเช่นใด

ตอบ ผลรวมแบบเวกเตอร์ของแรงทั้งสี่เท่ากับศูนย์

๗) เงื่อนไขของสภาพสมดุลสัมบูรณ์ คืออะไร

ตอบ แรงลัพธ์เท่ากับศูนย์ และแรงบิดเท่ากับศูนย์

๘) แขนงวัตถุหนัก 120 นิวตัน ไว้ที่ปลายของเชือกสองเส้นดังรูป ผลรวมของแรงดึงในเส้นเชือกทั้งสองในแนวตั้งจะมีค่าเท่าไร



ตอบ 120 นิวตัน

๙) วัตถุจะสมดุลต่อการหมุนเมื่อใด

ตอบ เมื่อผลรวมของโมเมนต์มีค่าเท่ากับศูนย์

10) วัตถุจะสมดุลต่อการเลื่อนตำแหน่งเมื่อใด

ตอบ เมื่อผลรวมของแรงมีค่าเท่ากับศูนย์

11) รถยนต์กำลังแล่นด้วยความเร็วคงตัว ใบพัดกำลังหมุนด้วยความเร็วคงตัว รอกหมุนรอบแกนด้วยความเร็วคงตัว ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็วคงตัว การเคลื่อนที่ดังกล่าวอยู่ในสภาวะสมดุลหรือไม่

ตอบ อยู่ในสภาวะสมดุล เพราะว่าแรงลัพธ์มีค่าเท่ากับศูนย์

12) สมดุลต่อการเลื่อนที่หมายความว่าอย่างไร

ตอบ ไม่เคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เงื่อนไขของสมดุลต่อการเลื่อน คือ

$$\sum F = 0$$

13) สมดุลต่อการหมุนหมายความว่าอย่างไร

ตอบ ไม่หมุนหรือหมุนด้วยความเร็วคงตัว เงื่อนไขของสมดุลต่อการหมุน คือ

$$\sum M = 0$$

14) วัตถุที่มีอัตราเร็วคงตัวเป็นวัตถุที่อยู่ในสภาพสมดุล ไช้หรือไม่

ตอบ ไช้ เพราะว่าแรงลัพธ์เป็นศูนย์

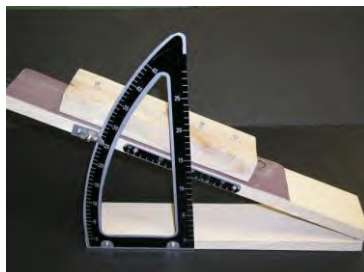
สมดุลสถิตหมายความว่าอย่างไร

ตอบ สมดุลสถิตหมายถึงสมดุลของวัตถุที่หยุดนิ่ง

15) เมื่อวัตถุอยู่ในสมดุลกลจะมีความเร่งได้หรือไม่ เพราะอะไร

ตอบ จะไม่มีความเร่ง เพราะว่าแรงลัพธ์เท่ากับศูนย์

16) นำวัตถุวางบนพื้นเอียงที่ปรับมุมเอียงได้ ถ้าเพิ่มมุมเอียงขึ้นเรื่อย ๆ ปริมาณต่อไปนี้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงหรือไม่ เพราะอะไร



แรงกดของวัตถุต่อพื้น

ตอบ จะมีค่าลดลง

แรงเสียดทานระหว่างวัตถุกับพื้น

ตอบ จะมีค่าลดลง เนื่องจากแรงปฏิกิริยาดังกล่าวมีค่าลดลง

สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานระหว่างพื้นกับวัตถุ

ตอบ สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานระหว่างพื้นกับวัตถุ มีค่าคงตัว

17) ขนาดของโมเมนต์หาได้จากอะไร

ตอบ โมเมนต์มีค่าเท่ากับ ผลคูณระหว่างแรงกับระยะทางที่ตั้งฉากกับแนวแรง

18) การทำงานใดบ้างที่ใช้หลักการของโมเมนต์ช่วยให้ออกแรงน้อยลง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุชาติ สุภาพ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตอบ การโต้ประแจกับเอด การใช้คันเกอนดะปู ฯลฯ

19) ขนาดของโมเมนต์จะมากขึ้นหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอะไรบ้าง

ตอบ แรง และระยะทางที่ตั้งฉากกับแนวแรง

20) เมื่อวางวัตถุบนพื้นเอียงซึ่งปรับค่ามุมระหว่างพื้นเอียงกับแนวนอนได้ ปรากฏว่าเมื่อมุมของพื้นเอียงมีค่า 37° วัตถุจะเคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียงด้วยความเร็วคงตัว จากผลการทดลองนี้สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานระหว่างวัตถุกับพื้นเอียงมีค่าเท่าไร

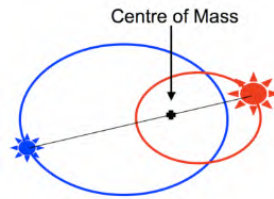
$$\mu = \tan \theta$$

$$\mu = \tan 37$$

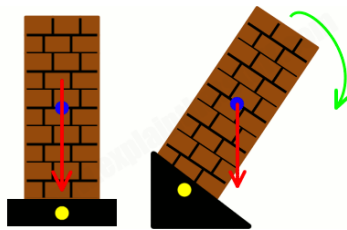
$$\mu = 0.75$$

สรุป

๑) จุดศูนย์กลางมวล (C.M.) เป็นจุดที่เสมือนว่าเป็นที่รวมของมวลทั้งก้อน



๒) จุดศูนย์ถ่วง (C.G.) เป็นจุดที่เสมือนว่าแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุที่จุดนั้น



๓) จุดศูนย์ถ่วง (C.G.) เป็นจุดที่เปลี่ยนแปลงได้ตามแรงโน้มถ่วงของโลก ส่วนจุดศูนย์กลางมวล (C.M.) เป็นจุดที่มีตำแหน่งไม่เปลี่ยนแปลง วัตถุที่มีความยาวมาก ๆ เมื่อวางนอนกับวางตั้งจุดศูนย์ถ่วงอาจไม่ใช่จุดเดียวกัน แต่จุดศูนย์กลางมวลจะอยู่ที่จุดเดิมเสมอ

๔) บริเวณผิวโลกที่มีสนามโน้มถ่วงสม่ำเสมอ จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วงมักจะอยู่ที่จุดเดียวกัน

๕) แต่ถ้าวัดภูมิความสูงมาก จนสนามโน้มถ่วงที่ปลายด้านหนึ่งกับสนามโน้มถ่วงที่ปลายอีกด้านหนึ่งมีค่าไม่เท่ากัน จุดศูนย์ถ่วงกับจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่คนละตำแหน่งกัน

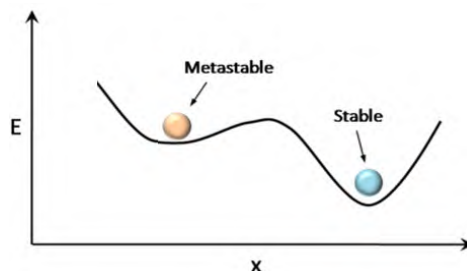
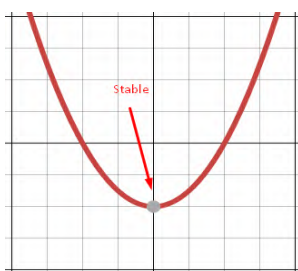
๖) จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วงอาจอยู่นอกเนื้อวัตถุก็ได้

๗) การหาจุดศูนย์กลางมวลทำได้โดยการใช้อย่างกระทำต่อวัตถุ ถ้าวัดไม่หมดแสดงว่าแนวแรงนั้นผ่านจุดศูนย์กลางมวล ทำการทดลองหลาย ๆ ครั้งก็จะหาจุดศูนย์กลางมวลได้

๘) การหาจุดศูนย์ถ่วงทำได้โดยการใช้อย่างกระทำต่อวัตถุ โดยการแขวนวัตถุขึ้นในแนวลักษณะต่าง ๆ กัน แนวของน้ำหนักของวัตถุจะตัดกันที่จุด ๆ หนึ่ง ซึ่งนั่นก็คือ จุดศูนย์ถ่วง

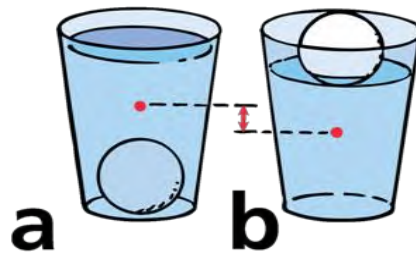
สิ่งต่าง ๆ จะพยายามปรับตัวเพื่อให้มีพลังงานต่ำสุด

ในธรรมชาติเราจะพบว่าสิ่งต่าง ๆ จะพยายามปรับตัวเพื่อให้มีพลังงานต่ำสุด เช่น วัตถุที่ร้อนก็จะแผ่ความร้อนออกไปเพื่อให้พลังงานความร้อนลดลง และอนุภาคและวัตถุทุกชนิดจะมีเสถียรมากที่สุดเมื่อมีพลังงานในต่ำสุด



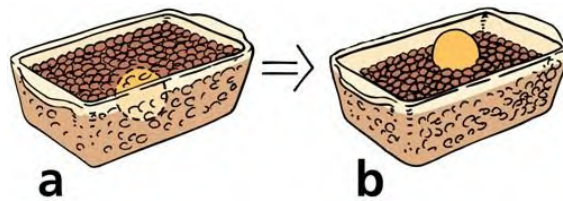
รูป 4.47 ตำแหน่งที่มีพลังงานต่ำที่สุดจะมีเสถียรมากที่สุด

เมื่อนำเอาลูกบ๊องลงไปในแก้วที่มีน้ำ เมื่อไม่มีแรงกดลูกบ๊องจะถูกน้ำดันขึ้นมา เนื่องจากน้ำต้องการมีพลังงานศักย์ต่ำที่สุด



รูป 4.48 น้ำพยายามทำให้ตัวเองมีพลังงานศักย์ต่ำที่สุด

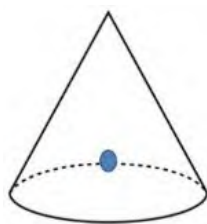
เมื่อนำเอาลูกบ๊องใสในภาตแล้วเทด้วยถั่วเขียวทับลงไปจนเต็ม เมื่อเขย่าภาตลูกบ๊องจะถูกดันขึ้นมา เนื่องจากถั่วเขียวต้องการมีพลังงานศักย์ต่ำที่สุด



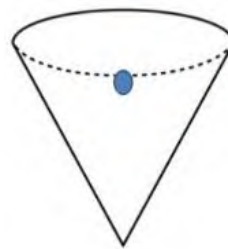
รูป 4.49 ถั่วเขียวพยายามทำให้ตัวเองมีพลังงานศักย์ต่ำที่สุด

สิ่งที่มีพลังงานต่ำสุดจะมีเสถียรภาพมากที่สุด

กรวยที่มีพลังงานศักย์ต่ำสุดจะมีเสถียรภาพมากที่สุด



กรวยที่คว่ำมีพลังงานศักย์ต่ำที่สุด



กรวยที่หงายมีพลังงานศักย์สูงที่สุด

รูป 4.50 กรวยที่คว่ำมีพลังงานศักย์ต่ำสุดแต่มีเสถียรภาพมากที่สุด



Figure 5.25a
unstable



Figure 5.25b
base area
increased



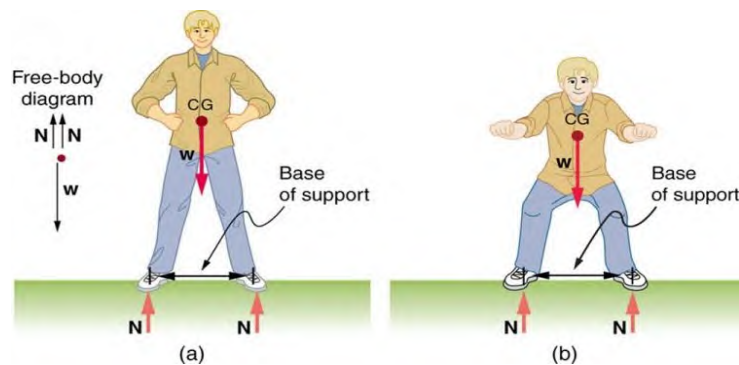
Figure 5.25c centre
of gravity lowered by
adding lead to base

รูป 4.51 เพิ่มฐานรองที่มีมวลมาก ๆ เพื่อให้จุดศูนย์กลางถ่วงต่ำลง จะมีเสถียรภาพมากขึ้น

ในบางสถานการณ์ที่มนุษย์ต้องการมีเสถียรภาพสูง เช่นในการรับลูกวอลเลย์บอล ก็จะมีการย่อตัวและแขนขาออก เพื่อลดพลังงานศักย์ของตัวเอง และเพื่อฐานรองรับน้ำหนัก ดังรูป



รูป 4.5๒ การเพิ่มเสถียรภาพในการขึ้นของนักกีฬา

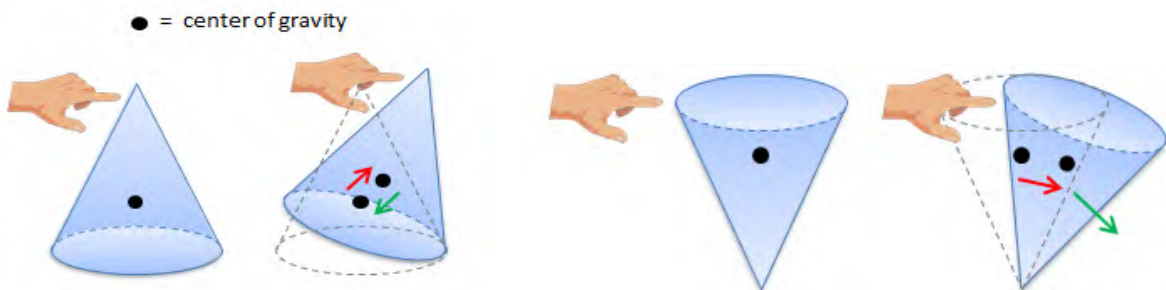


รูป 4.5๓ (๑) เสถียรภาพในการขึ้นไม่มั่นคงนัก

(๒) เสถียรภาพในการขึ้นมั่นคงกว่า

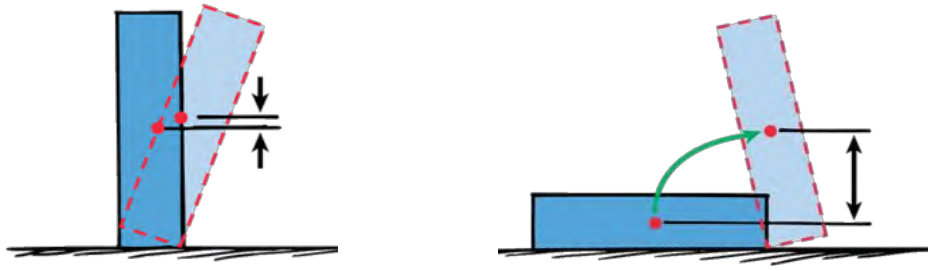
การทำให้สิ่งที่มีเสถียรภาพมากเสียสมดุลจะต้องใช้พลังงานมาก

การทำให้สิ่งที่มีเสถียรภาพเสียสมดุลจะต้องใช้พลังงานมาก เช่นการทำให้กรวยคว่ำเสียสมดุลต้องใช้พลังงานมากกว่า การทำให้กรวยหงายเสียสมดุล



รูป 4.54 การทำให้กรวยที่วางในลักษณะต่างกันเสียสมดุล จะใช้พลังงานต่างกัน

การทำให้แผ่นไม้ที่วางนอนกับพื้นพลิกคว่ำต้องใช้พลังงานมากกว่า การทำให้แผ่นไม้ที่วางตั้งกับพื้นพลิกคว่ำ



รูป 4.55 การทำให้แผ่นไม้ที่วางในลักษณะต่างกันพลิกคว่ำ จะใช้พลังงานต่างกัน

เพราะเหตุใดตุ๊กตาล้มลุกจึงล้มแล้วลุกขึ้นมาได้

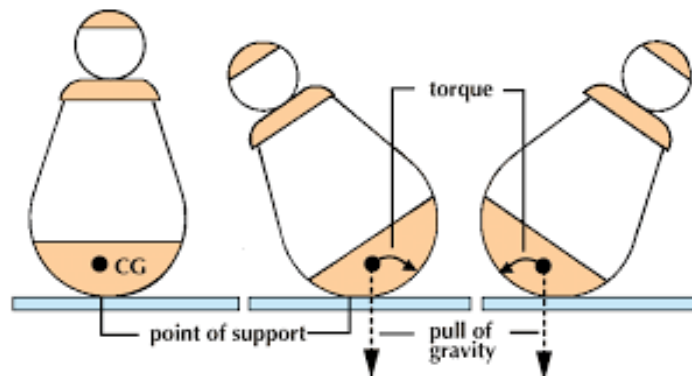
ตุ๊กตาล้มลุกที่เมื่อพลิกให้ไขว้ไปมาแล้วกลับคืนขึ้นนั่งเหมือนเดิม มันเกิดขึ้นได้อย่างไร



รูป 4.56 ตุ๊กตาล้มลุก

หลักการทำงานของตุ๊กตาล้มลุก

ตุ๊กตาล้มลุกถูกออกแบบให้มีจุดศูนย์ถ่วงอยู่ต่ำและจุดแนวตั้งของจุดศูนย์ถ่วงก็ไม่ตกนอกฐาน ดังรูป และธรรมชาติของสิ่งต่างๆ จะพยายามปรับตัวให้อยู่ในสถานะที่มีมีพลังงานต่ำสุด ดังนั้นตุ๊กตาล้มลุกจึงกลับมาตั้งตรง (ทำตั้งตรงเป็นท่าที่มีจุดศูนย์ถ่วงอยู่ต่ำสุด)



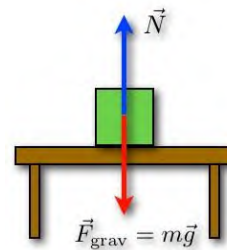
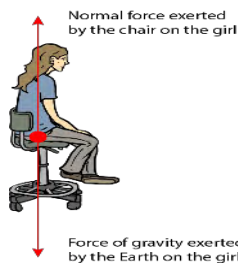
รูป 4.57 เมื่อได้รับแรงกระทำ ตุ๊กตาล้มลุกจะกลับมาตั้งตรงเหมือนเดิม

4.2 แผนภาพวัตถุอิสระ (free body diagram)

แผนภาพวัตถุอิสระ คือแผนภาพที่แสดงให้เห็นว่ามีแรงกี่แรงที่กระทำกับอนุภาคหรือวัตถุที่เราสนใจ และแรงนั้นมีทิศทางอย่างไร

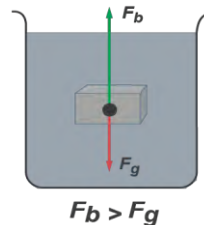
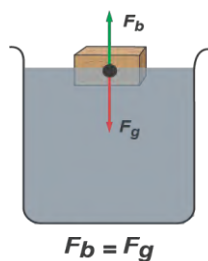
การเขียนแผนภาพวัตถุอิสระเป็นกระบวนการเริ่มต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ และแก้ปัญหา แผนภาพวัตถุอิสระมีความสำคัญมากในการวิเคราะห์และปัญหาเกี่ยวกับสมดุลของการเคลื่อนที่ เนื่องจากโดยทั่วไปขณะที่วัตถุอยู่ในสภาวะสมดุลจะมีแรงต่าง ๆ กระทำต่อวัตถุหลายแรง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทราบว่า มีแรงอะไรกระทำต่อวัตถุบ้าง และแต่ละแรงมีทิศทางใด ตัวอย่างแผนภาพวัตถุอิสระของวัตถุต่าง ๆ มีดังนี้

1) แผนภาพวัตถุอิสระของคนที่นั่งบนเก้าอี้ ประกอบด้วยแรงที่กระทำต่อคน ๒ แรงด้วยกันคือ แรงโน้มถ่วงของโลก และแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก



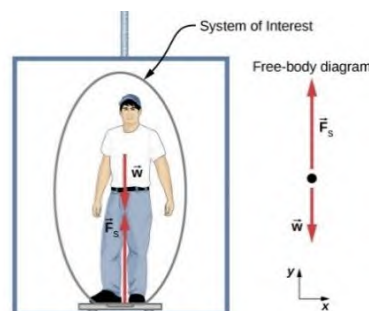
แผนภาพวัตถุอิสระของวัตถุที่หยุดนิ่ง

๒) แผนภาพวัตถุอิสระของคนเป็ดที่ลอยน้ำ ประกอบด้วยแรงที่กระทำต่อตัวเป็ด ๒ แรงคือ แรงโน้มถ่วงของโลก และแรงลอยตัว



แผนภาพวัตถุอิสระของวัตถุที่ลอยน้ำ

๓) แผนภาพวัตถุอิสระของคนที่อยู่ในลิฟท์ที่กำลังเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง ประกอบด้วยแรง ๒ แรงคือ น้ำหนักของคนและแรงปฏิกิริยาที่พื้น แต่สองแรงนี้ไม่เท่ากัน



แผนภาพวัตถุอิสระของคนที่อยู่ในลิฟท์

4) แผนภาพวัตถุอิสระของเท้าขณะเดิน จะมี ๒ แรงกระทำต่อเท้า ดังรูป