



MathStandard

เอกสารประกอบการเรียน

เทคโนโลยีและวิทยาการคำนวณ

เรื่อง แรงและกลไก

เตรียมสอบเข้า ม.4

โครงการห้องเรียนวิทยาศาสตร์ วมว. รอบ 2

www.mathstandard.com

คำชี้แจง

แรงและกลไก

จัดทำโดย MathStandard

ฉบับ 2.0

แรง และ กลไก เป็นพื้นฐานของการอธิบายการรองรับ การยก การส่งกำลัง และการเปลี่ยนรูปแบบการเคลื่อนที่ การพิจารณาอุปกรณ์ต้องเชื่อมระบบแรง ระยะการเคลื่อนที่ และการถ่ายโอนพลังงาน เพื่อแยกข้อกำหนดด้านขนาด ภาระ เวลา และประสิทธิภาพอย่างมีเหตุผล

เนื้อหาครอบคลุมแรงและสมดุล เสถียรภาพ เครื่องกลอย่างง่าย การส่งกำลังด้วยเฟืองและสายพาน รางเฟือง ลูกเบี้ยว ระยะเวลา แทนยก ตลอดจนงาน พลังงาน และแบบจำลองประยุกต์ของสปริงกับการหยุดเคลื่อน เริ่มจากความหมายและความสัมพันธ์พื้นฐานแล้วเชื่อมสู่การวิเคราะห์หลายเงื่อนไข การตรวจค่าขอบ และการอธิบายผลจากหลักฐาน

ผู้เรียนควรมีพื้นฐานหน่วย อัตราส่วน ร้อยละ สมการ อสมการ กราฟเส้นตรง พีทาโกรัส และการคำนวณจำนวนเต็ม สูตรในส่วนประยุกต์ใช้ตามสมมติฐานและช่วงค่าที่ระบุ ไม่ถือว่าทุกสูตรเป็นข้อกำหนดพื้นฐานของหลักสูตร การคำนวณต้องระบุวัตถุที่ศึกษา หน่วย ทิศทาง และความหมายตัวแปรให้ครบ

มวลใช้หน่วยกิโลกรัม ส่วนน้ำหนักและแรงใช้หน่วยนิวตัน ค่า g ใช้ตามที่กำหนดในแต่ละข้อ ระยะเวลาใช้หน่วยเมตรเพื่อให้ได้จุด อัตรารอบกับจำนวนรอบเป็นคอนสแตนต์ และคำว่าตามเข็มหรือทวนเข็มนาฬิกาต้องอ้างมุมมองเดียวกัน คำว่าไม่เกินและไม่น้อยกว่ารวมค่าที่เท่าขอบ เว้นแต่ระบุให้มีระยะเผื่อเป็นบวก

ข้อมูลตัวเลขและผลทดสอบในสถานการณ์เป็นข้อมูลสมมติ การคำนวณอัตรารอบหรือขนาดไม่รับรองพิกัดแรงและความแข็งแรง เงื่อนไขสมดุลหรือระยะหยุดในแบบจำลองไม่ใช่แทนการรับรองความปลอดภัยของอุปกรณ์จริง การฝึกใช้การอ่านภาพและวิเคราะห์ข้อมูล ไม่กำหนดให้ยกของหนัก ทดสอบรถหรือเบรกจริง หรือใช้เครื่องมือและเครื่องมือเสี่ยง

การหาค่ามากที่สุดหรือน้อยที่สุดต้องแสดงว่าค่าที่เลือกทำได้ และตัดค่าที่ดีกว่าตามขอบเขตที่อนุญาต เฉลยยอมรับวิธีเทียบเท่าที่รักษาเงื่อนไขครบ ส่วนการให้เหตุผลต้องสอดคล้องกับข้อมูลที่มี ไม่สรุปเกินหลักฐาน

สารบัญ

เนื้อหาและแบบฝึกหัด

ตอนที่ 1 แรง สมดุล และเสถียรภาพ	4
แบบฝึกหัดตอนที่ 1	10
ตอนที่ 2 เครื่องกลอย่างง่ายและความสัมพันธ์ของระยะ	12
แบบฝึกหัดตอนที่ 2	19
ตอนที่ 3 กลไกหมุนและกลไกแปลงการเคลื่อนที่	22
แบบฝึกหัดตอนที่ 3	31
ตอนที่ 4 งาน พลังงาน กำลัง และประสิทธิภาพ	35
แบบฝึกหัดตอนที่ 4	40
ตอนที่ 5 การวิเคราะห์กลไกภายใต้ข้อจำกัด	42
แบบฝึกหัดตอนที่ 5	49
สรุปสาระสำคัญ	52
แบบฝึกหัดบูรณาการ	53
เฉลยเฉพาะคำตอบ	58
เฉลยวิธีคิดและเกณฑ์ตรวจ	60
คำศัพท์และเอกสารอ้างอิง	71

ตอนที่ 1

แรง สมดุล และเสถียรภาพ

การอธิบายกลไกเริ่มจากการกำหนดวัตถุหรือชุดชิ้นส่วนที่ศึกษา แล้วระบุแรงจากภายนอกที่กระทำต่อชุดนั้น การเคลื่อนที่ตรงและการหมุนเป็นพฤติกรรมคนละด้าน วัตถุที่ไม่มีแนวโน้มเลื่อนอาจยังหมุนได้ และวัตถุที่ไม่หมุนอาจยังเลื่อนได้ การตรวจสอบดุลจึงต้องพิจารณาทั้งแรงและโมเมนต์ภายใต้ขอบเขตเดียวกัน

1.1 มวล น้ำหนัก และแผนภาพแรง

มวลเป็นปริมาณที่สัมพันธ์กับความเฉื่อย มีหน่วยกิโลกรัม ส่วนน้ำหนักเป็นแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อวัตถุ มีหน่วยนิวตัน มวลของวัตถุเดิมไม่เปลี่ยนแปลงเพียงเพราะย้ายไปบริเวณที่มีแรงโน้มถ่วงต่างกัน แต่น้ำหนักเปลี่ยนได้ คำว่า “หนัก” ในภาษาทั่วไปจึงต้องพิจารณาจากหน่วยและความหมายที่โจทย์กำหนด

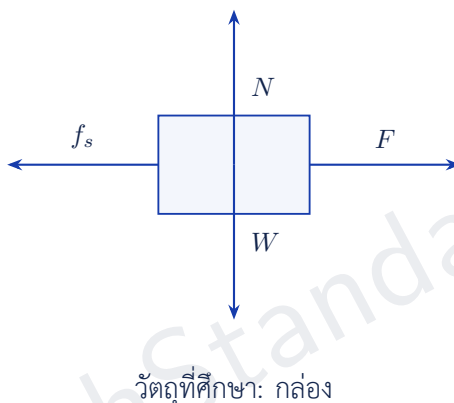
น้ำหนักและแรงลัพธ์

$$W = mg \quad F_{\text{net}} = ma$$

W คือน้ำหนัก F_{net} คือแรงลัพธ์ตามแกน หน่วยนิวตัน m คือมวลหน่วยกิโลกรัม ส่วน g และ a เป็นความเร่งโน้มถ่วงและความเร่งตามแกน หน่วยเมตรต่อวินาทีกำลังสอง การใช้สูตรต้องทราบค่า g และกำหนดทิศบวกสำหรับแรงลัพธ์ สมดุลการเคลื่อนที่ให้แรงลัพธ์เป็นศูนย์ จึงไม่มีความเร่ง แต่ไม่จำเป็นต้องหยุดนิ่ง

แผนภาพแรงแสดงเฉพาะแรงที่สิ่งอื่นกระทำต่อวัตถุที่เลือก น้ำหนักชี้ลงในสนามโน้มถ่วงใกล้ผิวโลก แรงปฏิกิริยาจากพื้นตั้งฉากกับผิว แรงเสียดทานขนานผิว ส่วนแรงตึงเชือกชี้ตามเชือกออกจากวัตถุ การแยกแรงหนึ่งแรงเป็นองค์ประกอบเป็นวิธีคำนวณ ไม่ใช่การเพิ่มแรงใหม่เข้าไปอีกชุด

แรงคู่ปฏิกิริยากระทำต่อคนละวัตถุ จึงไม่หักล้างกันในแผนภาพของวัตถุชิ้นเดียว เช่น น้ำหนักของกล่องกับแรงจากพื้นบนกล่องอาจสมดุลกัน แต่ไม่ใช่คู่ปฏิกิริยาของกันและกัน คู่ของน้ำหนักคือแรงที่กล่องดึงดูดโลก ส่วนคู่ของแรงจากพื้นคือแรงที่กล่องกระทำต่อพื้น



ภาพที่ 1 แรงบนก้อนขึ้นเดียว แยกแรงแยกออกจากการกระจัดของก้อน

ตัวอย่างที่ 1 มวลและแรงจากพื้น

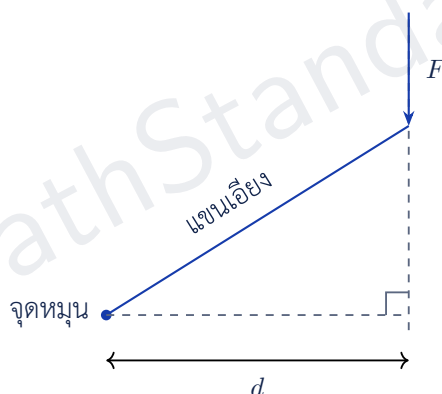
ก้อนมวล 4 กิโลกรัมอยู่นิ่งบนพื้นราบ ให้ $g = 10$ เมตรต่อวินาทีกำลังสอง มีแรงดึงขึ้นแนวตั้ง 10 นิวตัน โดยก้อนยังสัมผัสพื้น จงหาน้ำหนัก แรงจากพื้น และอธิบายว่าเหตุใดสองแรงนี้จึงไม่จำเป็นต้องเท่ากัน

วิธีคิด น้ำหนักเป็น $W = 4(10) = 40$ นิวตัน แรงดึงบนก้อนมีแรงจากพื้น N และแรงดึง 10 นิวตัน ขึ้น กับน้ำหนักลง สมดุลให้ $N + 10 = 40$ จึงได้ $N = 30$ นิวตัน ค่า N ต่างจากน้ำหนักเพราะมีแรงดึงอื่นร่วมรับภาระ ไม่ใช่ $N = mg$ โดยอัตโนมัติ

ตอบ น้ำหนัก 40 นิวตัน แรงจากพื้น 30 นิวตัน

1.2 โมเมนต์และสมดุลการหมุน

แรงทำให้เกิดแนวโน้มหมุนรอบจุดที่เลือกได้ ขนาดโมเมนต์ขึ้นกับแรงและระยะสั้นที่สุดจากจุดหมุนถึงเส้นแนวแรง ระยะนี้เรียกว่าแขนโมเมนต์และต้องตั้งฉากกับแนวแรง การใช้ความยาวคาน แทนแขนโมเมนต์ทำได้เมื่อแรงตั้งฉากกับคาน หากแนวแรงผ่านจุดหมุน แขนโมเมนต์เป็นศูนย์แม้แรงไม่เป็นศูนย์



ภาพที่ 2 แขนโมเมนต์ d วัดตั้งฉากจากจุดหมุนถึงแนวแรง ไม่ใช่ระยะตามแขนเอียง

สองเงื่อนไขของสมดุลสถิต

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0 \quad \sum \tau_{ทวนเข็มนาฬิกา} = \sum \tau_{ตามเข็มนาฬิกา} \quad |\tau| = Fd$$

F_x, F_y เป็นองค์ประกอบแรงตามแกน หน่วยนิวตัน F เป็นขนาดแรง และ d เป็นแขนตั้งฉากหน่วยเมตร โมเมนต์ τ มีหน่วยนิวตันเมตร ต้องเลือกจุดหมุนและทิศให้ตรงกัน หน่วยโมเมนต์ไม่ใช่เรียกว่าเป็นงาน แม้มีรูปหน่วยแรงคูณระยะเหมือนกัน

การเลือกจุดหมุนตรงแนวแรงรองรับทำให้แรงนั้นไม่มีโมเมนต์รอบจุดที่เลือก แต่ยังอยู่ในสมการแรง ต้องรวมน้ำหนักแกนและอุปกรณ์ตามจุดศูนย์ถ่วงที่กำหนด เมื่อมีตำแหน่งแขนจำกัดหรือก๊อ่นถ่วงเท่ากัน ต้องตรวจจำนวนเต็มไม่ลบและจำนวนสูงสุด ไม่ปัดจำนวนก๊อ่นเศษส่วนแล้วถือว่าสมดุลพอดี

ตัวอย่างที่ 2 คานกับตำแหน่งถ่วงที่อนุญาต

คานแนวราบสมดุล มีตุ้มเดิมหนัก W_c นิวตันทางซ้ายห่างจุดหมุน 20 เซนติเมตร ภาระ 40 นิวตันทางขวาห่าง 25 เซนติเมตร และน้ำหนักโครง 20 นิวตันทางขวาห่าง 10 เซนติเมตร แรงทั้งหมดแนวตั้ง ต่อมาเปลี่ยนภาระเป็น 76 นิวตัน ตุ้มเดิมห้ำมถอด แต่ย้ายไปทางซ้ายที่ระยะ 15, 20, 30, 42 เซนติเมตรได้ และเพิ่มก๊อ่นละ 10 นิวตันไม่เกินสี่ก๊อ่นที่ตำแหน่งเดียวกัน จงหาตุ้มเดิม การเพิ่มก๊อ่นน้อยที่สุดที่ทำให้สมดุล และแรงรองรับขึ้นหลังปรับ

วิธีคิด สมดุลเดิมให้ $20W_c = 40(25) + 20(10) = 1200$ จึง $W_c = 60$ นิวตัน ภาระใหม่มีโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา $76(25) + 20(10) = 2100$ นิวตันเซนติเมตร ให้ d เป็นระยะทางซ้ายและ n เป็นจำนวนก๊อ่นเพิ่ม ต้องมี $(60 + 10n)d = 2100$

d (ซม.)	น้ำหนักที่ต้องมี (นิวตัน)	n	ผล
15	140	8	เกินสี่ก๊อ่น
20	105	4.5	ไม่เป็นจำนวนเต็ม
30	70	1	ผ่าน
42	50	-1	ต้องถอดตุ้ม

จึงเพิ่มหนึ่งก๊อ่นที่ระยะ 30 เซนติเมตร แรงรองรับขึ้นต้องสมดุลแรงลงทั้งหมด คือ $70 + 76 + 20 = 166$ นิวตัน

ตอบ ตุ้มเดิม 60 นิวตัน เพิ่มหนึ่งก๊อ่นที่ระยะ 30 เซนติเมตร แรงรองรับ 166 นิวตัน

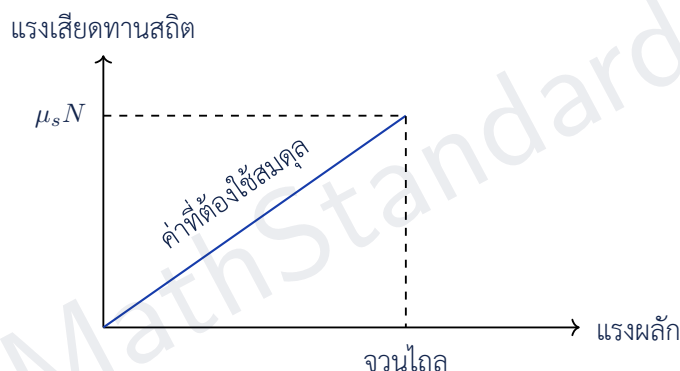
1.3 แรงเสียดทาน การไถล และการลื่น

แรงเสียดทานสถิตตอบสนองต่อแนวโน้มการเคลื่อนสัมผัสของผิวสัมผัส ขณะวัตถุอยู่นิ่ง ขนาดจริงอาจเป็นศูนย์หรือมีค่าต่ำกว่าค่าสูงสุดได้ หากกล่องถูกผลักเบาและยังนิ่ง แรงเสียดทานมีขนาดเท่าที่จำเป็นต้องใช้สมดุล มิฉะนั้นค่าเต็มขีดจำกัดตั้งแต่เริ่ม เมื่อผิวเลื่อนแล้วต้องใช้ข้อมูลแรงเสียดทานจลน์ตามเงื่อนไขที่ให้

ขีดจำกัดแรงเสียดทานสถิต

$$0 \leq f_s \leq \mu_s N$$

f_s เป็นขนาดแรงเสียดทาน N เป็นแรงกดตั้งฉาก หน่วยนิวตัน และ μ_s เป็นสัมประสิทธิ์ไม่มีหน่วย ทิศเสียดทานต้านแนวโน้มการเคลื่อน หากแรงดึงบนลาดมีทิศขึ้น แรงเสียดทานอาจขึ้นหรือลงลาดตามแรงที่ยังต้องสมดุล



ภาพที่ 3 ค่าจริงของแรงเสียดทานเพิ่มตามแรงที่ต้องสมดุลจนถึงขีดจำกัดในแบบจำลอง

การไถลและการลื่นต้องตรวจสอบแยกกัน สำหรับวัตถุนบนพื้นราบที่ไม่มีแรงดึงอื่น ถ้าน้ำหนัก W อยู่ห่างขอบที่จะพลิกในแนวราบ a และมีแรงผลักแนวราบ F ที่สูง h เกณฑ์จวนลื่นคือ $Fh = Wa$ ส่วนเกณฑ์จวนไถลคือ $F = \mu_s W$ โดยใช้หน่วยความยาวเดียวกัน ค่าที่น้อยกว่าจะถึงก่อนเมื่อเพิ่มแรงอย่างช้า

เมื่อมีแรงผลักสูงจากพื้น แม้น้ำหนักยังตัดในฐาน ก็อาจจวนลื่นได้เพราะโมเมนต์ของแรงผลักทำให้แรงรองรับรวมเลื่อนไปถึงขอบ หากต้องการระยะเพื่อเป็นบวก็ต้องมีทั้ง $Fh < Wa$ และ $F < \mu_s W$ ข้อสรุปนี้ใช้เฉพาะระบบแรงที่ระบุ ไม่ใช่แทนการประเมินฐานที่มีเชือกยึดหรือแรงอื่น

ตัวอย่างที่ 3 แยกเกณฑ์ไถลกับลื่น

แบบจำลองกล่องมีน้ำหนัก 120 นิวตัน จุดศูนย์กลางมวลห่างขอบที่จะพลิก 0.20 เมตร ถูกผลักแนวราบที่สูง 0.60 เมตร ให้ $\mu_s = 0.5$ ไม่มีแรงดึงอื่น จงหาขีดเริ่มไถลและขีดจวนลื่น และประเมินแรงผลัก 35 นิวตัน

วิธีคิด จวนไถลเมื่อ $F = 0.5(120) = 60$ นิวตัน จวนลื่นเมื่อ $F(0.60) = 120(0.20)$ จึงได้ $F = 40$ นิวตัน ดังนั้นถึงเกณฑ์ลื่นก่อนเกณฑ์ไถล ที่ 35 นิวตันต้องใช้แรงเสียดทานจริง 35 นิวตันซึ่งต่ำกว่า 60 และโมเมนต์ผลัก $35(0.60) = 21$ ต่ำกว่าโมเมนต์ต้าน 24 นิวตันเมตร จึงยังมีระยะเพื่อทั้งสองด้าน

ตอบ ไถล 60 นิวตัน จวนลื่น 40 นิวตัน แรง 35 นิวตันผ่านทั้งสองเงื่อนไข

1.4 ศูนย์กลางมวลและฐานเอียง

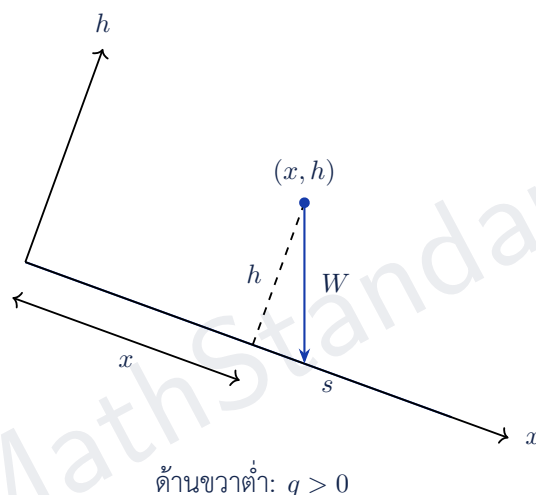
ในสนามโน้มถ่วงสม่ำเสมอสามารถแทนน้ำหนักรวมที่จุดศูนย์กลางมวลได้ พิกัดรวมเป็นค่าเฉลี่ยที่ถ่วงด้วยมวล ไม่ใช่เฉลี่ยตำแหน่งของทุกชิ้นเท่ากัน การเพิ่มมวลที่ตำแหน่งหนึ่งทำให้จุดรวมเคลื่อนเข้าใกล้ตำแหน่งนั้น จึงอาจช่วยขอบด้านหนึ่งและทำให้ขอบอีกด้านเสถียรระยะเพื่อ

พิกัดรวมและจุดตัดแนวน้ำหนัก

$$\bar{x} = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i}, \quad \bar{s} = \frac{\sum m_i (x_i + q h_i)}{\sum m_i}$$

m_i คือมวลแต่ละส่วน x_i คือพิกัดตามฐาน และ h_i คือความสูงตั้งฉากออกจากฐาน ใช้หน่วยมวลเดียวกันและความยาวเดียวกัน ในแบบจำลองฐานเอียง กำหนด q เป็นอัตราส่วนความเอียงแบบมีเครื่องหมาย จุดตัดแนวน้ำหนักของแต่ละชิ้นคือ $s_i = x_i + q h_i$ เมื่อขาตั้งใช้ $q > 0$ เมื่อขาตั้งต่ำใช้ $q < 0$

ค่า $|q|$ เท่ากับความต่างระดับแนวตั้งหารระยะแนวราบของฐานช่วงเดียวกันตามสามเหลี่ยมคล้าย จึงไม่มีหน่วย หากให้ค่า q แล้วใช้ได้โดยตรง การตรวจจุดตัดนี้สมมติวัตถุไม่ไถลและชิ้นส่วนยึดกัน หากมีแรงภายนอกอื่นต้องรวมโมเมนต์ของแรงนั้นเพิ่มเติม เกณฑ์อยู่ในฐานเพียงอย่างเดียวไม่ครอบคลุมระบบแรงทุกชนิด



ภาพที่ 4 พิกัดตั้งฉากและแนวน้ำหนักแนวดิ่ง จุดตัด s ต่างจากพิกัดตามฐาน x

ตัวอย่างที่ 4 ตรวจฐานเอียงสองทิศ

รถจำลองไม้ไผ่ มีมวล 4 กิโลกรัมที่พิกัด $(18, 6)$ สัมภาระเริ่ม 1 กิโลกรัมเล็กลง $P(24, 24)$, $Q(36, 64)$ หรือ $R(18, 12)$ พิกัดหน่วยเซนติเมตร กำหนด $s = x + qh$ โดย $q = \pm 1/2$ ต้องมีระยะสัมภาระ $x \geq 22$ และจุดตัดรวม $10 \leq \bar{s} \leq 26$ ทั้งสองทิศ รวมขอบ จงเลือกแบบ จากนั้นเพิ่มสัมภาระแบบที่เลือกเป็น 5 กิโลกรัม และเติมมวลถ่วง $c \geq 0$ ที่ $(0, 0)$ จงหาช่วง c ที่ผ่าน พร้อมเลือกจาก 1, 2, 4 กิโลกรัม

วิธีคิด ตัวรถมีจุดตัด 21, 15 ตามสองเครื่องหมายของ q สัมภาระ P มี 36, 12 จึงได้จุดรวม 24, 14.4 แบบ Q มี 68, 4 จึงได้ 30.4, 12.8 ซึ่งเกินขอบขวา ส่วน R มีจุดรวม 21.6, 14.4 แต่ $x = 18$ ไม่ถึงระยะ จึงเลือก P

เมื่อสัมภาระเป็น 5 กิโลกรัม จุดรวมสองทิศคือ $264/(9 + c)$ และ $120/(9 + c)$ เงื่อนไขขวามือให้ $c \geq 15/13$ ส่วนขอบซ้ายล่างให้ $c \leq 3$ อีกสองขอบให้ $c \leq 17.4$ และ $c \geq -57/13$ จึงไม่จำกัดเพิ่ม ต้องมี $15/13 \leq c \leq 3$ ตัวเลือกที่ผ่านคือ 2 ซึ่งให้ 24 และ 120/11 เซนติเมตร

ตอบ เลือก P มวลถ่วงอยู่ในช่วง 15/13 ถึง 3 กิโลกรัม เลือก 2 กิโลกรัม

ข้อ 4 กล่องน้ำหนัก 100 นิวตันอยู่บนพื้นราบ จุดศูนย์กลางห่างจากขอบที่จะพลิก 0.15 เมตร ผลักแนวราบที่สูง 0.50 เมตร ให้ $\mu_s = 0.4$ ไม่มีแรงดึงอื่น จงเปรียบเทียบเกณฑ์จวนไถลกับจวนล้ม และหาแรงเสียดทานจริงเมื่อผลัก 25 นิวตันโดยกล่องยังไม่

ตอบ

ข้อ 5 รถจำลองไม้ไถลมีมวล 3 กิโลกรัมที่ $(20, 4)$ วางสัมภาระ 2 กิโลกรัมได้ที่ $P(28, 20)$, $Q(36, 40)$ หรือ $R(18, 10)$ พิกัดหน่วยเซนติเมตร ใช้ $s = x + qh$ โดย $q = \pm 1/2$ ต้องมี x สัมภาระอย่างน้อย 24 และจตุรวม $12 \leq \bar{s} \leq 30$ ทั้งสองทิศรวมขอบ จงเลือกแบบโดยคำนวณและตรวจสอบ

ตอบ

ข้อ 6 รถจำลองมวล 3 กิโลกรัมที่ $(20, 4)$ มีสัมภาระ 4 กิโลกรัมที่ $(28, 20)$ และเติมมวลถ่วง $c \geq 0$ ที่ $(0, 0)$ พิกัดหน่วยเซนติเมตร ไม่ไถล ใช้ $s = x + qh$ และ $q = \pm 1/2$ ต้องมี $12 \leq \bar{s} \leq 30$ ทั้งสองทิศรวมขอบ จงหาช่วงมวลถ่วงทั้งหมด และเลือกค่าที่ใช้ได้จาก 0, 1, 4 กิโลกรัม พร้อมตรวจค่าที่เลือก

ตอบ

เฉลยวิธีคิดและเกณฑ์ตรวจ

การวิเคราะห์และการให้เหตุผล

ข้อ 1

วิธีคิด น้ำหนัก $W = 6(10) = 60$ นิวตัน แรงบนกล่องมีน้ำหนักลง แรงดึงขึ้น 15 และแรงจากพื้น N ขึ้น สมดุลให้ $N + 15 = 60$ จึง $N = 45$ นิวตัน แรงพื้นกับน้ำหนักกระทำบนกล่องเดียวกันจึงไม่ใช่คู่ปฏิกิริยา คู่ของแรงพื้นเป็นแรงที่กล่องกดพื้น

ตอบ น้ำหนัก 60 นิวตัน แรงจากพื้น 45 นิวตัน สองแรงนี้ไม่ใช่คู่ปฏิกิริยา

กลับไปโจทย์ข้อ 1

เกณฑ์ตรวจ (4 คะแนน): น้ำหนัก 1 แรงพื้น 1 ระบุแรงบนกล่อง 1 และคู่ปฏิกิริยาพร้อมเหตุ 1 คะแนน

ข้อ 2

วิธีคิด แนวแรงเป็นเส้นดึงผ่านปลาย ระยะตั้งฉากจากจุดหมุนจึงเป็นระยะแนวราบ 0.30 เมตร โมเมนต์ $50(0.30) = 15$ นิวตันเมตรตามเข็มนาฬิกา ความยาวแขนเอียง 0.50 ไม่ตั้งฉากกับแนวแรง จึงไม่ใช่แขนโมเมนต์

ตอบ แขนตั้งฉาก 0.30 เมตร โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา 15 นิวตันเมตร

กลับไปโจทย์ข้อ 2

เกณฑ์ตรวจ (4 คะแนน): แขนตั้งฉาก 1 ขนาด 1 ทิศ 1 และเหตุไม่ใช่ระยะเอียง 1 คะแนน

ข้อ 3

วิธีคิด เดิม $25W_c = 50(30) + 15(20) = 1800$ จึง $W_c = 72$ นิวตัน หลังเปลี่ยนมีโมเมนต์ขวา $80(30) + 15(20) = 2700$ ให้ $(72 + 6n)d = 2700$ ระยะ 18 ต้องมีน้ำหนัก 150 จึง $n = 13$ เกินห้า ระยะ 25 ต้องมี 108 จึง $n = 6$ เกินห้า ระยะ 30 ต้องมี 90 จึง $n = 3$ ผ่าน ระยะ 45 ต้องมี 60 จึง $n = -2$ ซึ่งต้องถอดเดิม ใช้ไม่ได้ เลือกสามก้อนที่ระยะ 30 แรงรองรับ $90 + 80 + 15 = 185$ นิวตัน

ตอบ ต้มเดิม 72 นิวตัน เพิ่มสามก้อนที่ระยะ 30 เซนติเมตร แรงรองรับ 185 นิวตัน

กลับไปโจทย์ข้อ 3

เกณฑ์ตรวจ (4 คะแนน): ต้มเดิม 1 ตรวจทุกระยะและจำนวนต้ม 1 เลือกขั้นต่ำ 1 และแรงรองรับครบ 1 คะแนน

ข้อ 4

วิธีคิด ชีตไถล $0.4(100) = 40$ นิวตัน ชีตลื่น $100(0.15)/0.50 = 30$ นิวตัน จึงจวนลื่นก่อน ที่แรง 25 ต้องใช้แรงเสียดทานจริง 25 นิวตัน ไม่ใช่ 40 และโมเมนต์ผลัก 12.5 ต่ำกว่าโมเมนต์ต้าน 15 นิวตันเมตร จึงยังผ่านทั้งสอง

ตอบ จวนลื่น 30 นิวตัน จวนไถล 40 นิวตัน ที่แรง 25 นิวตันมีแรงเสียดทานจริง 25 นิวตัน

กลับไปโจทย์ข้อ 4

เกณฑ์ตรวจ (4 คะแนน): ไถล 1 ลื่น 1 เปรียบเทียบ 1 และค่าจริงพร้อมตรวจ 1 คะแนน