ความเสียดทาน

บทที่ 7 ความเสียดทาน

ความเสียดทาน

เป็นพฤติกรรมของแรง ที่ต้านทานการเคลื่อนที่ของวัตถุ 2 อันที่สัมผัสกัน แรงเสียดทานจะเกิดที่จุดสัมผัส

เนื้อหา

7.1 คำนำ
7.2 กฎของความเสียดทานแห้ง
7.3 มุมของความเสียดทาน
7.4 ปัญหาซึ่งเกี่ยวกับความเสียดทานแห้ง
7.5 ลิ่ม
7.6 Square-thread Screw
7.7 ความเสียดทานของสายพาน

วัตถุประสงค์

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการเกิดแรงเสียดทาน
ต้านทานการเคลื่อนที่ของวัตถุ 2 ชิ้น

สามารถหาค่าแรงกระทำ
น้อยที่สุดที่จะเอาชนะแรงเสียดทาน

หรือแรงมากที่สุด
ที่วัตถุจะไม่ลื่นไถลไปจากกัน

บทที่ 7 ความเสียดทาน (Friction)

7.1 ชนิดความเสียดทาน

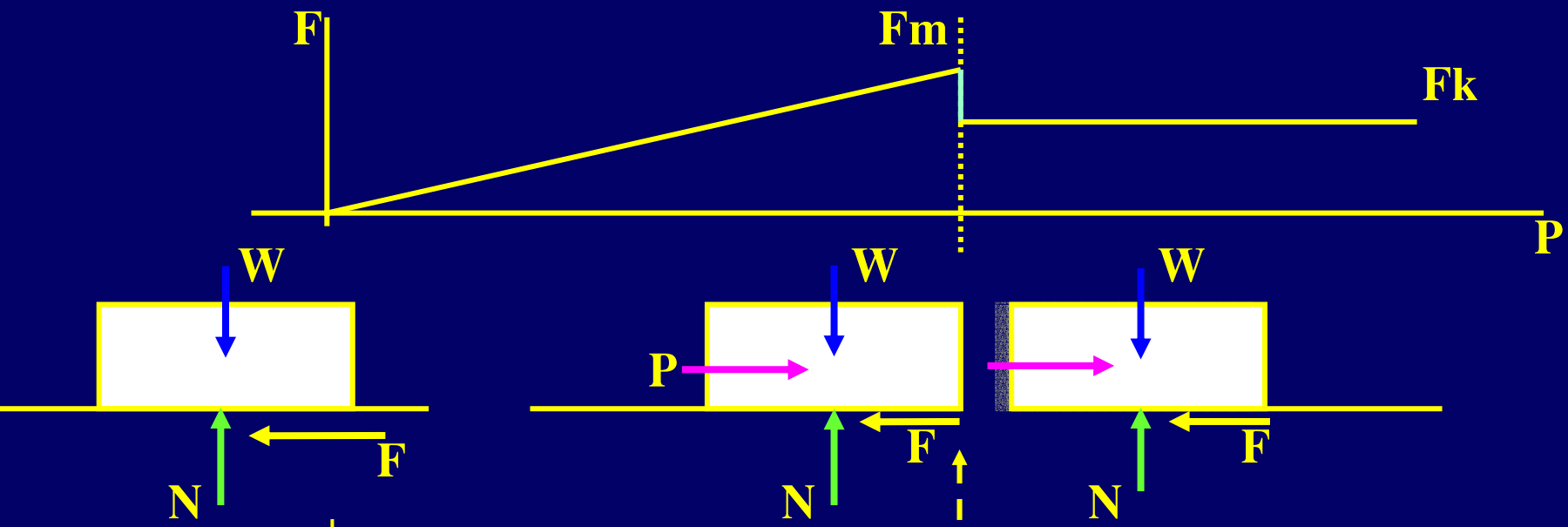
1. ความเสียดทานแห้ง (Dry or Coulomb Friction)
2. ความเสียดทานของ ของไหล (Fluid Friction)

7.2 กฎของความเสียดทานแห้ง

ความเสียดทานแห้งมี 2 ประเภท ดังนี้

1. ความเสียดทานสถิตย์ Static Friction
2. ความเสียดทานจลน์ Kinetic Friction

ลักษณะการเกิดความเสียดทาน



ไม่มีแรงผลัก

$F = 0$

เริ่มมีแรงผลัก แต่ยังอยู่นิ่ง

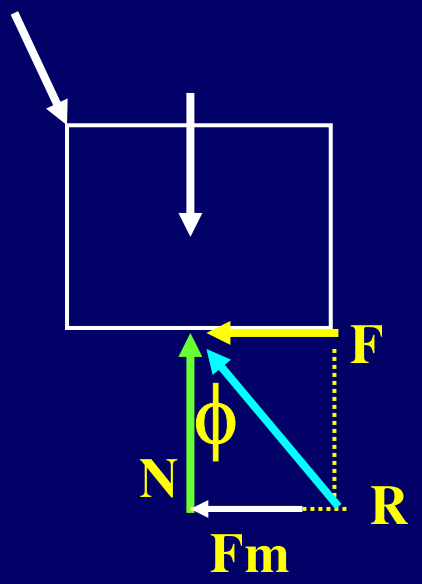
$F = P$

มีแรงผลัก และเคลื่อนที่แล้ว

$Fk = \mu_K N$

แรงเสียดทานสูงสุด $Fm = \mu_S N$

7.3 มุมของความเสียดทาน



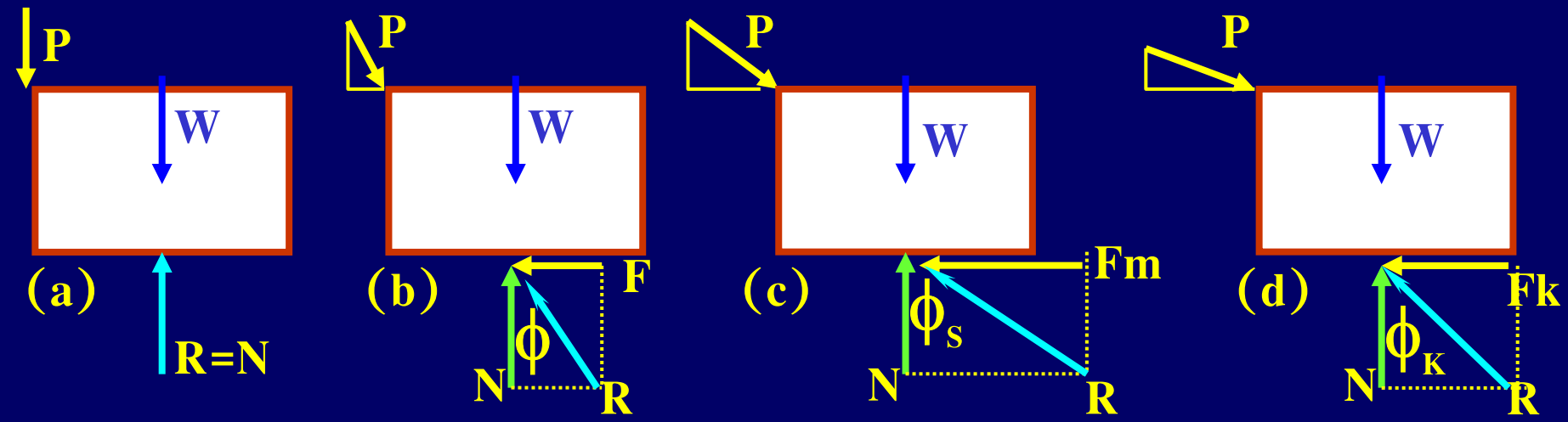
เมื่อเกิดแรงเสียดทานต่อต้านการเคลื่อนที่ (F)
รวมแรง F กับ N ได้แรงลัพท์ R
ค่ามุม ϕ ที่ R ทำกับแรง N จะเป็นค่าคงที่
แม้ F และ N เปลี่ยนไป
มุมดังกล่าวเรียกว่า

มุมแห่งความเสียดทาน

$$\tan \phi_S = (Fm)/N = \mu_S N/N = \mu_S$$

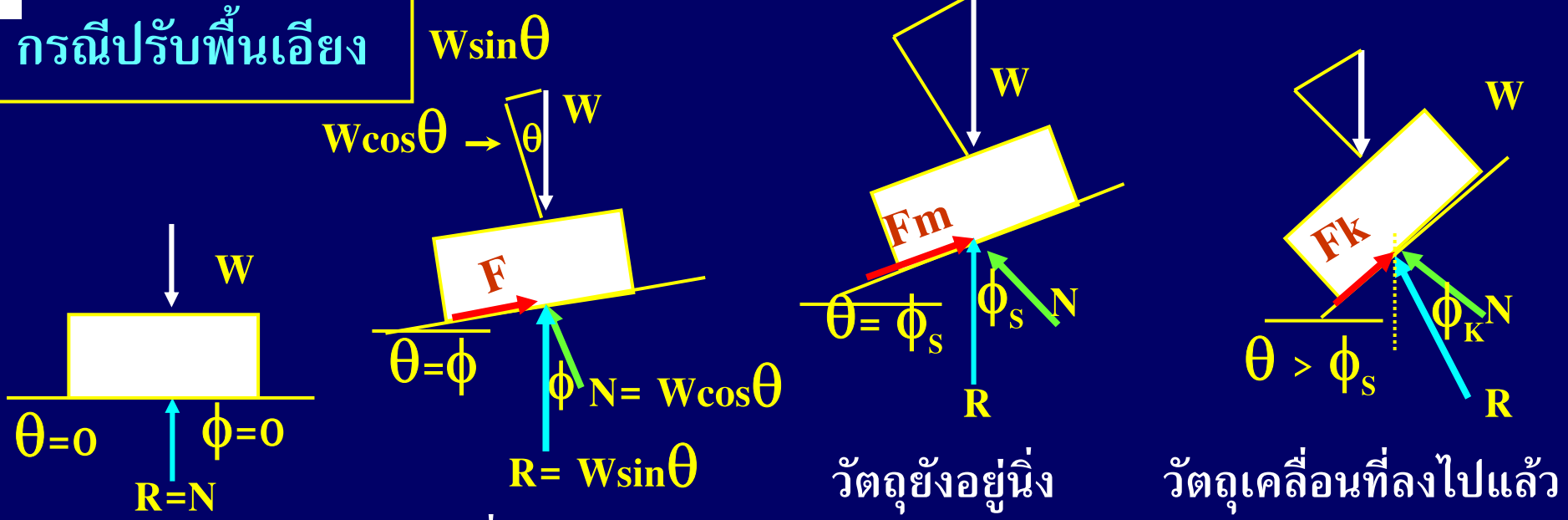
$$\tan \phi_K = (Fk)/N = \mu_K N/N = \mu_K$$

มุมแห่งความเสียดทานใน 4 สภาวะ ของระบบแรง มีดังนี้



รูป (a)	รูป (b)	รูป (c)	รูป (d)
ไม่มีแรงผลัก	มีแรงผลักเล็กน้อย	มีแรงผลักมากขึ้น	มีแรงผลักมากขึ้นอีก
ยังอยู่นิ่ง	ยังอยู่นิ่ง	จะเคลื่อนที่พอดี	จนเคลื่อนที่ไปแล้ว
$F = 0$ $\bar{R} = \bar{N}$	$F = P_x$ $\bar{R} = \bar{N}+\bar{F}$	แต่ยังอยู่นิ่ง	เกิด Fk $\bar{R} = \bar{N}+\bar{F}$
$\phi = 0$	มุม ϕ ไม่มาก	เกิด Fm $\bar{R} = \bar{N}+\bar{F}$	มุม = ϕ_K
		มุม = ϕ_S	

กรณีปรับพื้นเอียง



วัตถุยังอยู่นิ่ง

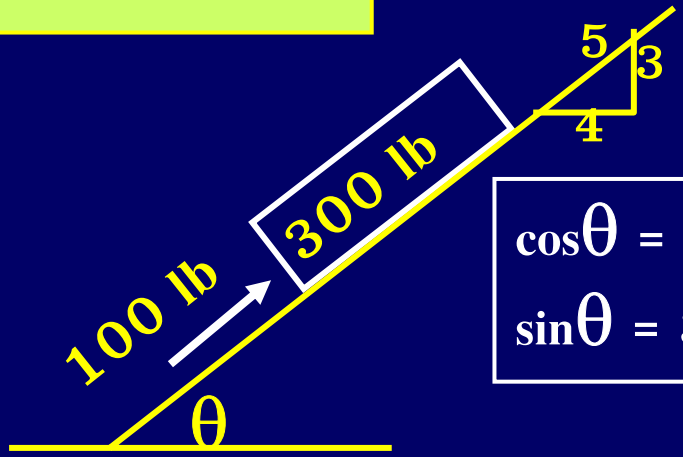
วัตถุยังอยู่นิ่ง แต่จะเคลื่อนที่ลงพอดี

วัตถุเคลื่อนที่ลงไปแล้ว

$\theta=0$	$\theta=\phi$	$\theta=\phi_S$	$\theta>\phi_S$
$R=N=W$	$N=W\cos\theta$	$N=W\cos\theta$	$N=W\cos\theta$
$F=0$	$F=W\sin\theta$	$Fm=W\sin\theta$	$Fk<W\sin\theta$
มุม $\phi=0$	มุม $\phi=\phi$	มุม $\phi=\phi_S$	มุม $\phi=\phi_K$

มุม $\theta=\phi_S$ เรียกว่า Angle of Repose

ตัวอย่าง 7.1



$\cos\theta = 4/5$

$\sin\theta = 3/5$

ข้อมูล

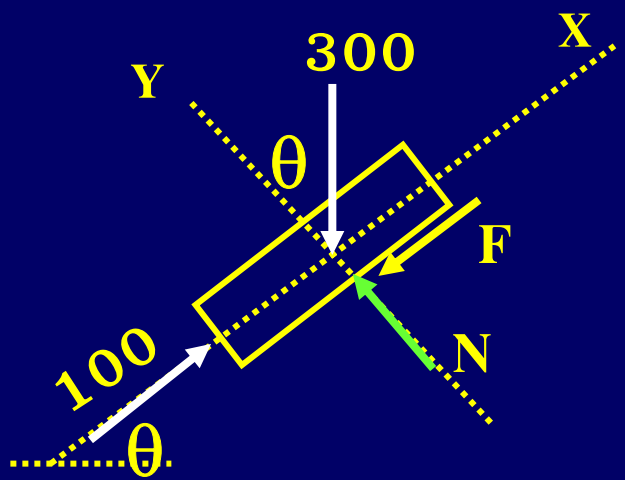
กล่องหนัก 300 lb วางบนพื้นเอียง

มีแรงดันขึ้น 100 lb

$\mu_S = 0.25$ $\mu_K = 0.20$

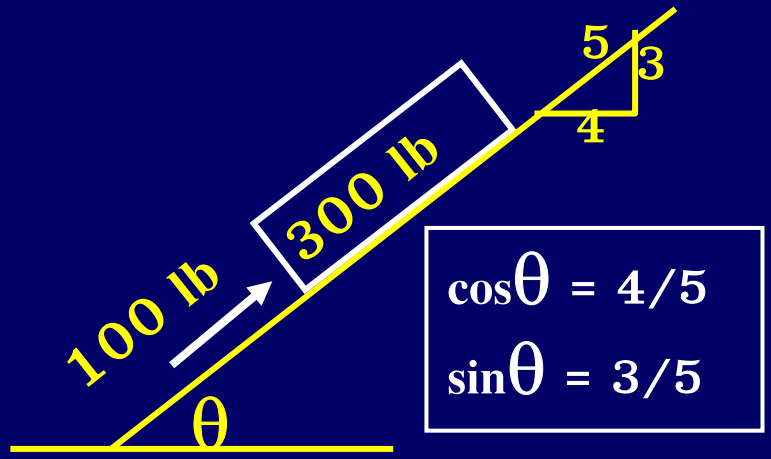
ปัญหา

1. กล่องนี้อยู่ในสภาวะสมดุลหรือไม่
2. หาค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น



วิธีทำ

เขียน FBD กล่อง ตั้งแกน X ขนานพื้น



$\cos\theta = 4/5$

$\sin\theta = 3/5$

1. กล่องอยู่ในสภาวะสมดุลหรือไม่

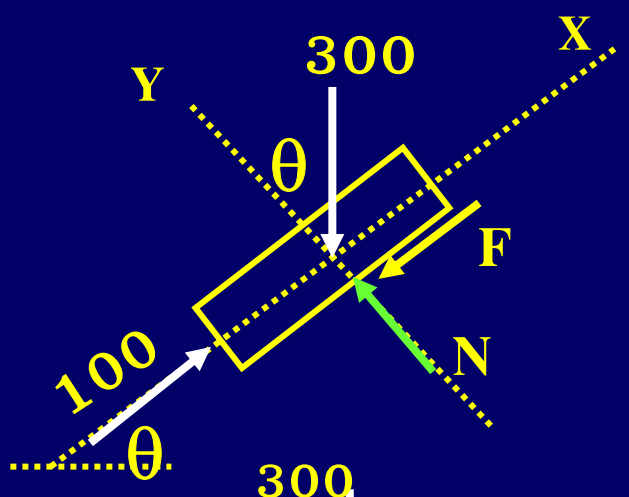
สมมุติว่ากล่องสมดุลและจะเคลื่อนที่ขึ้น

$\sum F_X = 0; \quad 100 - 300\sin\theta - F = 0$

$F = -80$

แสดงว่ากล่องนี้จะเคลื่อนลง F ช่วยดันไว้

ขนาดแรงที่ต้องการเพื่อให้สมดุล = 80 lb.



$\sum F_Y = 0; \quad N - 300\cos\theta = 0$

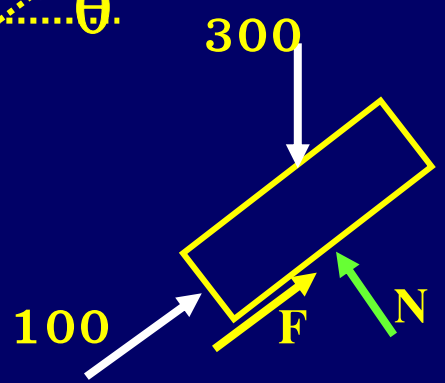
$N = 240$

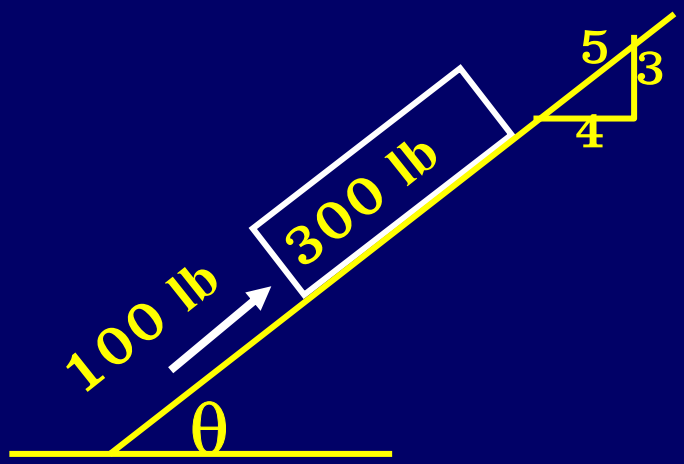
แรงเสียดทานสูงสุดที่เกิดขึ้น $Fm = \mu_S N$

$Fm = 0.025(240) = 60$ lb.

แรงเสียดทานมีไม่พอ กล่องเคลื่อนลงแล้ว

กล่องไม่อยู่ในสภาวะสมดุล ****

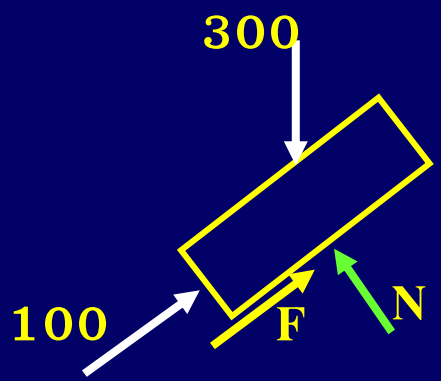




2. ค่าแรงเสียดทานที่เกิด

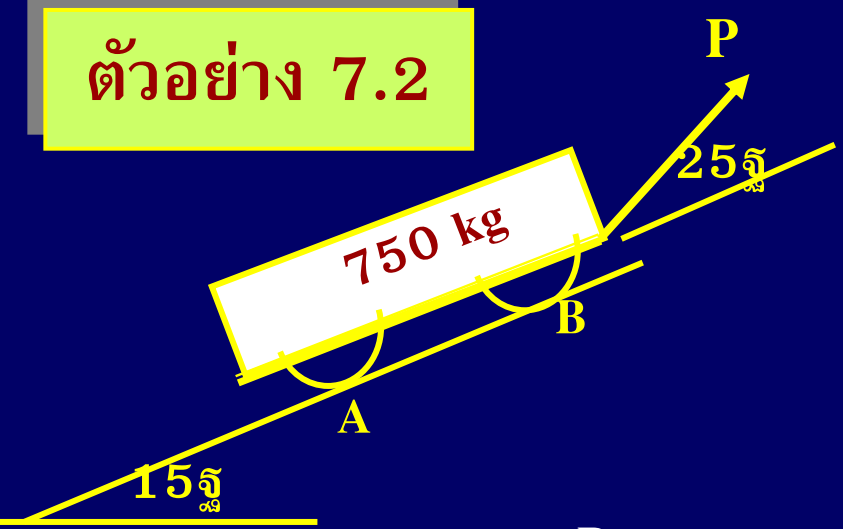
จะเป็นแรงเสียดทานจลน์

เพราะกล่องมีการเคลื่อนที่แล้ว



$$Fk = \mu_K N = 0.20(240) = 48 \text{ lb.}$$

ตัวอย่าง 7.2



ข้อมูล เลื่อนไม้รับน้ำหนัก 750 kg อยู่บนพื้นเอียง 15ฐ มีแรงดึง P

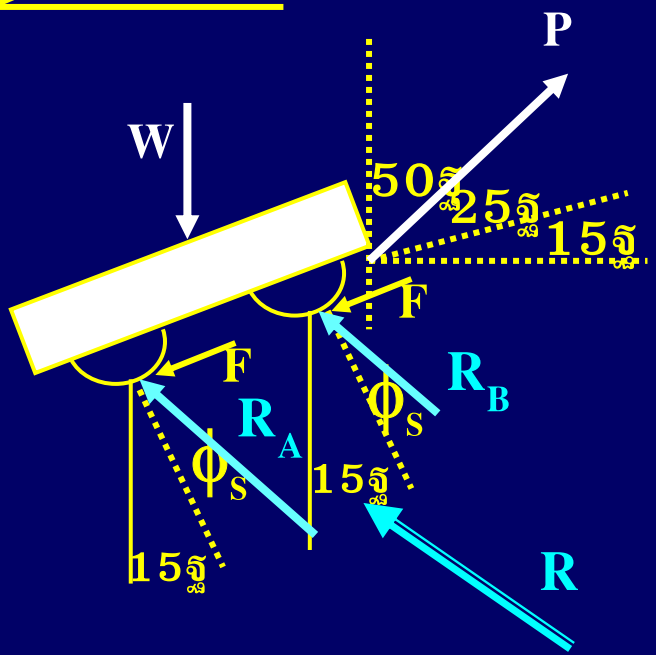
$\mu_S = 0.40$ $\mu_K = 0.30$

ปัญหา หาแรง P ที่ทำให้ เลื่อนนี้

(a) จะเคลื่อนที่ขึ้นพอดี

(b) เคลื่อนที่ขึ้นไปแล้ว

(c) จะเคลื่อนที่ลงพอดี



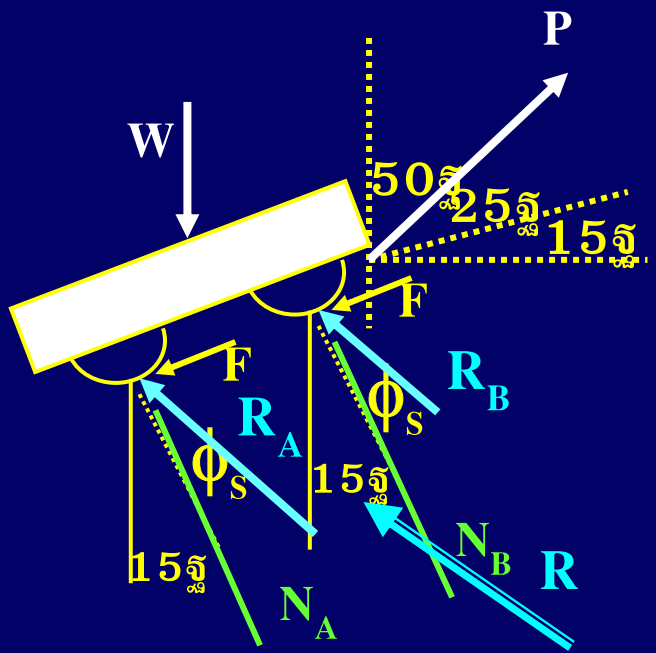
วิธีทำ เขียน FBD เลื่อน

กำหนดแรงต่าง ๆ R_A,R_B (ค่าไม่เท่ากัน)

มีทิศทางเดียวกัน ϕ_S เท่ากัน

$R = R_A + R_B$

สรุปว่า มีแรง 3 แรง คือ W,R,P



(a) **จะเคลื่อนขึ้นพอดี (Fm)**

เขียนสามเหลี่ยมแทนแรงได้ดังรูป

มุมที่ P ทำกับ W หรือแนวดิ่ง = 50ฐ

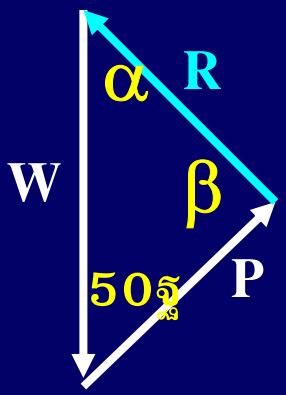
มุมที่ R ทำกับ W หรือแนวดิ่ง = α

$$\alpha = \phi_S + 15^\circ$$

$$\phi_S = \tan^{-1} \mu_S = 21.8^\circ$$

$$\alpha = 21.8 + 15^\circ = 36.8^\circ$$

$$\beta = 180 - 50 - 36.8 = 93.2^\circ$$

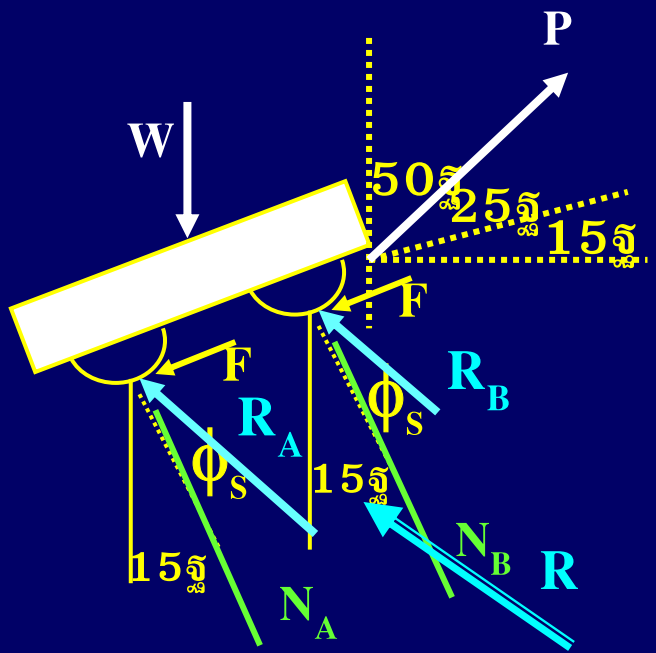


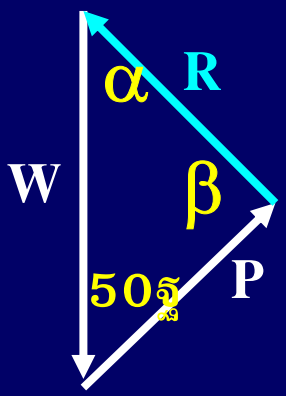
W=(750kg)(9.81)= 7360N=7.36 kN

ใช้ Sine Law

$$P/(\sin 36.8) = 7.36(\sin 93.2)$$

$$P = 4.42 \text{ kN}$$





(b) เคลื่อนที่ขึ้นไปแล้ว (Fk)

เขียนสามเหลี่ยมแทนแรงได้ดังรูป

มุมที่ P ทำกับ W หรือแนวดิ่ง = 50ฐ

มุมที่ R ทำกับ W หรือแนวดิ่ง = α

$\alpha = \phi_K + 15$ฐ

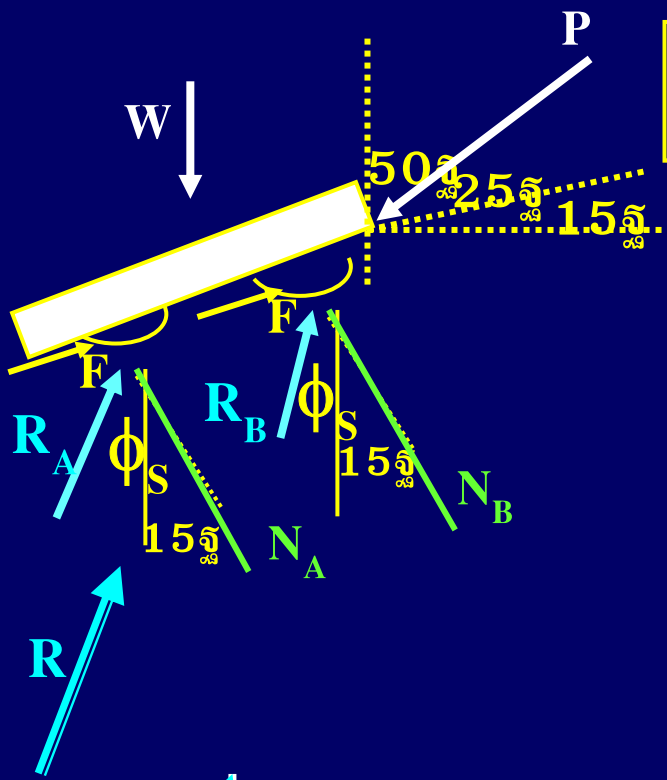
$\phi_K = \tan^{-1} \mu_K = 16.7$ฐ

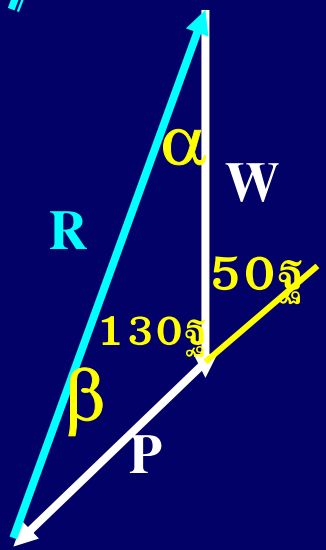
$\alpha = 16.7 + 15$ฐ $= 31.7$ฐ

$\beta = 180 - 50 - 31.7 = 98.3$ฐ

ใช้ Sine Law $P/(\sin 31.7) = 7.36/(\sin 98.3)$

$P = 3.91$ kN





(c) จะเคลื่อนที่ลงพอดี (Fm)

P จะต้องช่วยดันลง

เขียนสามเหลี่ยมแทนแรงได้ดังรูป

มุมที่ P ทำกับ W หรือแนวดิ่ง = 130ฐ

ลักษณะ P ผลักลง

มุมที่ R ทำกับ W หรือแนวดิ่ง = α

$\alpha = \phi_S - 15$ฐ

$\phi_S = \tan^{-1} \mu_S = 21.8$ฐ

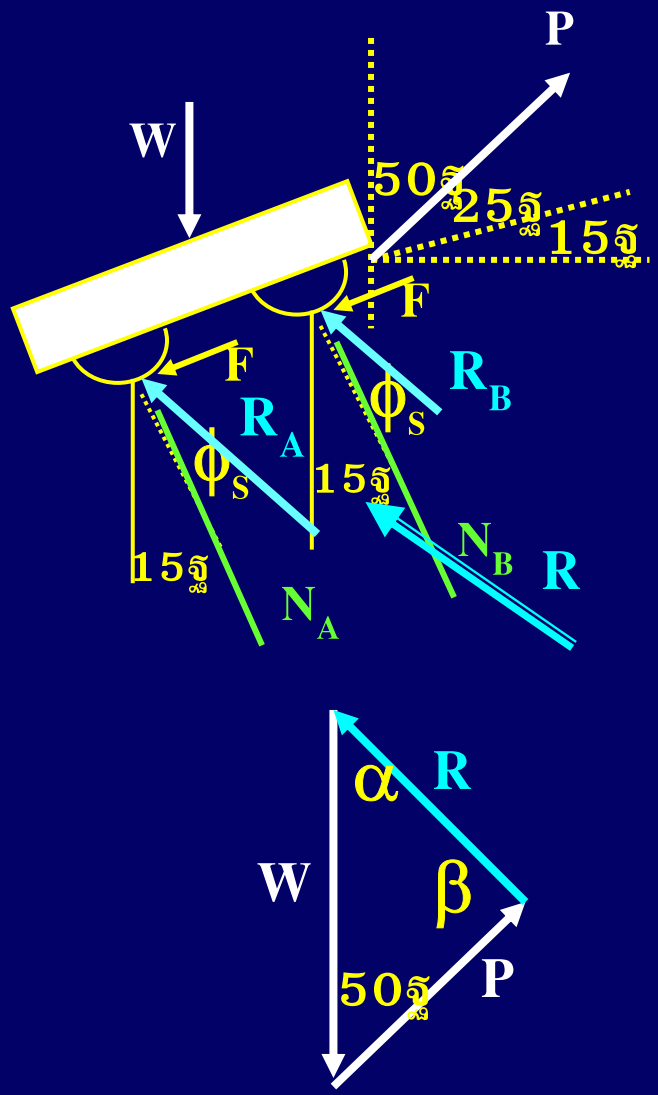
$\alpha = 21.8 - 15$ฐ $= 6.8$ฐ

$\beta = 180 - 6.8 - 130 = 43.2$ฐ

ใช้ Sine Law

$P/(\sin 6.8) = 7.36/(\sin 43.2)$

$P = 1.273$ kN



ปัญหาตัวอย่างนี้

ค่า R_A, R_B ไม่เท่ากัน

เพียงแต่ทิศทางเดียวกันเท่านั้น

หรือขนานกัน

เพราะ N และ Fm, Fk

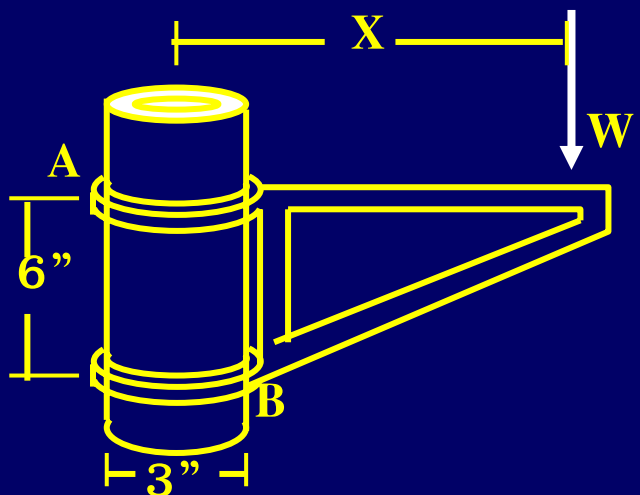
ที่จุด A และ B ไม่เท่ากัน

หากต้องการหา N หรือ R_A, R_B

จะต้องใช้วิธีสมการสมดุล

$\sum M = 0, \sum F = 0$

ตัวอย่าง 7.3



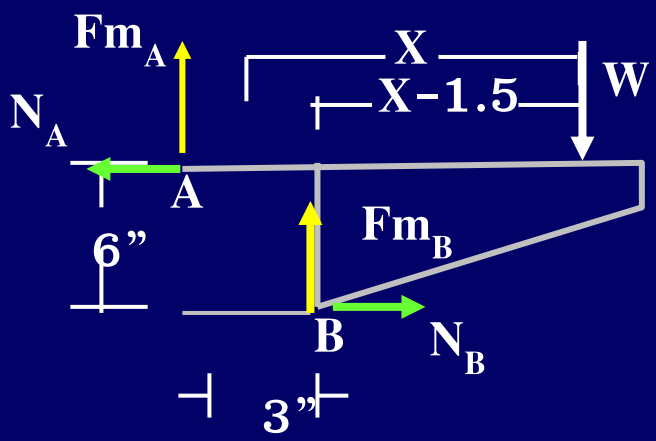
ข้อมูล หิ้งเลื่อนดังรูปคล้องไว้กับท่อ ϕ 3” บรรทุกน้ำหนัก W

$\mu_s = 0.25$

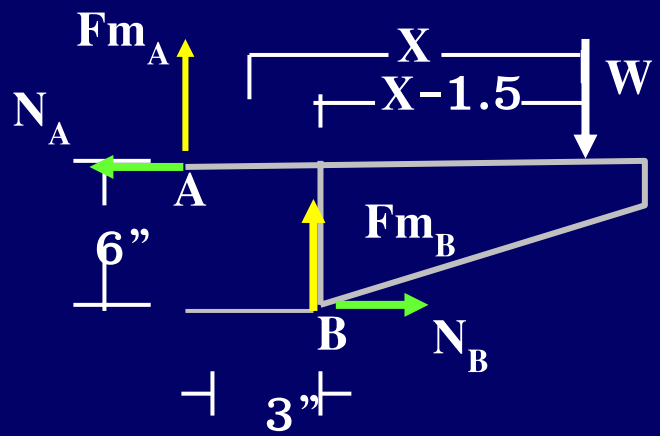
ปัญหา หาระยะ X ที่สั้นที่สุดที่หิ้ง จะคงที่อยู่ได้

วิธีทำ

สภาวะหิ้งคงที่อยู่ได้ หมายถึงหิ้งจะเคลื่อนที่ลงพอดี แต่ยังไม่ลง



เขียน FBD หิ้ง พบว่า เกิดแรงเสียดทานที่ จุด A และ B ดังรูป



$$Fm_A = \mu_S N_A = 0.25\ N_A$$
$$Fm_B = \mu_S N_B = 0.25\ N_B \quad \text{-- (1)}$$

$$\sum F_Y = 0\ ; \quad Fm_A + Fm_B - W = 0$$
$$0.25\ N_A + 0.25\ N_B - W = 0 \text{ -- (2)}$$

$$\sum F_X = 0\ ; \quad -N_A + N_B = 0\ ; \quad N_A = N_B$$

แทนค่า N_A ใน (2) $\quad 0.25\ N_A + 0.25\ N_B = W$

$$N_A = 2W \quad \text{-- (3)}$$

$$\sum M_B = 0; \quad (N_A)(6) - (Fm_A)(3) - (W)(X-1.5) = 0$$

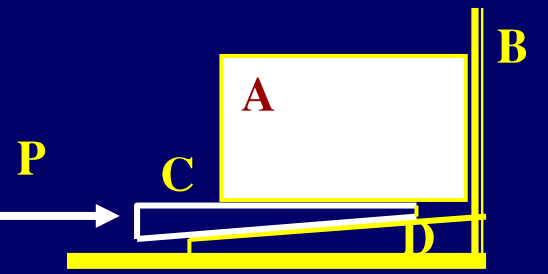
แทนค่า $Fm_A = 0.25N_A$; $\quad 6(N_A) - 3(0.25\ N_A) - XW + 1.5W = 0$

แทนค่า $N_A = 2W$; $\quad 6(2W) - 0.75(2W) - XW + 1.5W = 0$

$$X = 12 \text{ in}$$

7.5 ความเสียดทานในลิ่ม (Wedge)

การตอกลิ่ม เป็นวิธีการใช้ยกหรือปรับตำแหน่งวัตถุหนัก ๆ

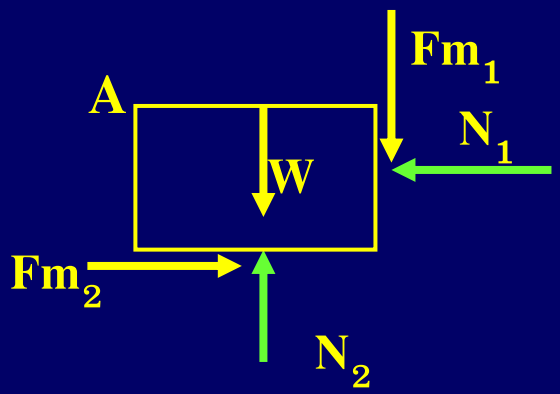


มีวัตถุ A , กำแพง B, ลิ่ม C, ฐาน D

ชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ คือ

วัตถุ A และ ลิ่ม C

เขียน FBD ของวัตถุ A



มีแรงกระทำหลายแรง

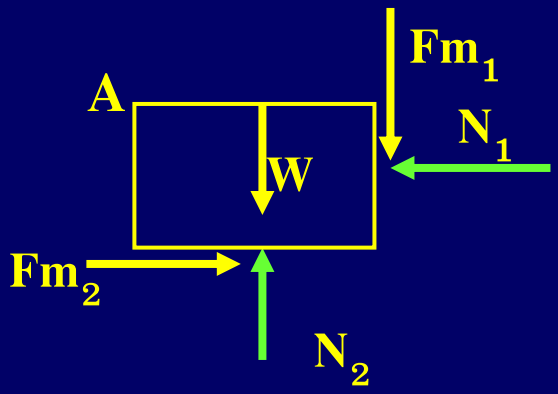
จะใช้วิธีแตกแรงเป็นแรงคู่ฉาก หรือ

รวม F กับ N เป็น R ก็ได้

เมื่อวัตถุจะเคลื่อนที่ขึ้นพอดี

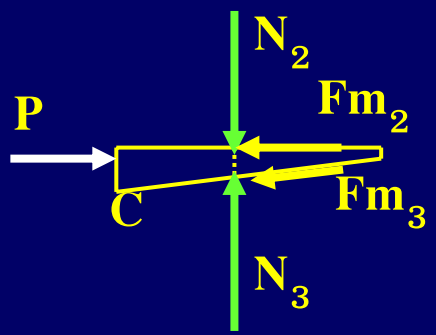
$$Fm_1 = \mu_s N_1$$

$$Fm_2 = \mu_s N_2$$



เขียน FBD ของ ลิ่ม C

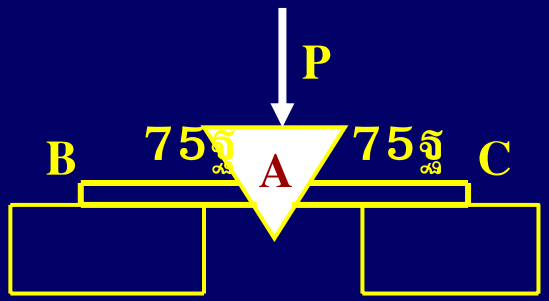
$Fm_3 = \mu_s N_3$



จาก FBD ของชิ้นส่วนทั้งสอง

ใช้สมการสมดุล ในการแก้ปัญหา

ตัวอย่าง 7.4

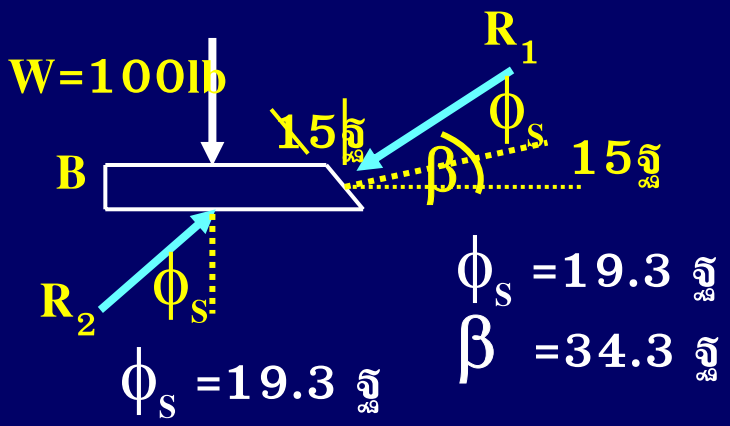


ข้อมูล ลิ่มเอียงทำมุมกับแนวราบ 75 ฐ ทั้งสองด้าน น้ำหนักลิ่มน้อยมาก B และ C เป็น Plate หนัก 100 lb. $\mu_s = 0.35$

ปัญหา หาขนาดแรง P ที่ทำให้ลิ่มจะเคลื่อนที่พอดี เมื่อ

(a) Plate B และ C เคลื่อนที่ได้

(b) Plate C ถูกยึดแน่น



วิธีทำ (a) Plate ทั้ง 2 เคลื่อนที่ได้

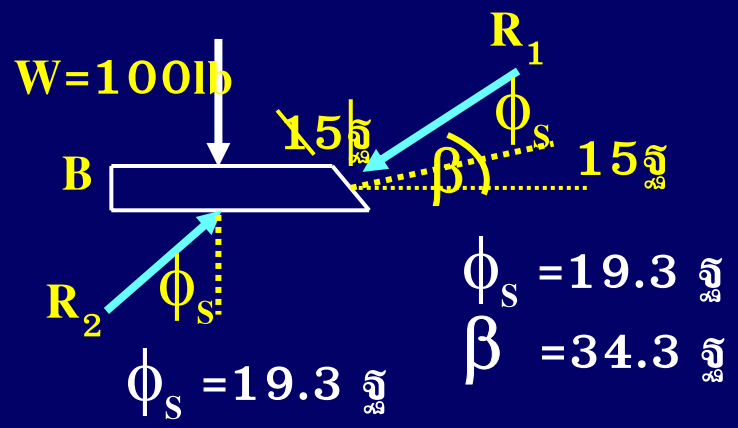
เขียน FBD ของลิ่ม B

เมื่อลิ่มจะเคลื่อนที่ลงพอดี หมายความว่า Plate จะเคลื่อนที่ออกพอดีเช่นกัน

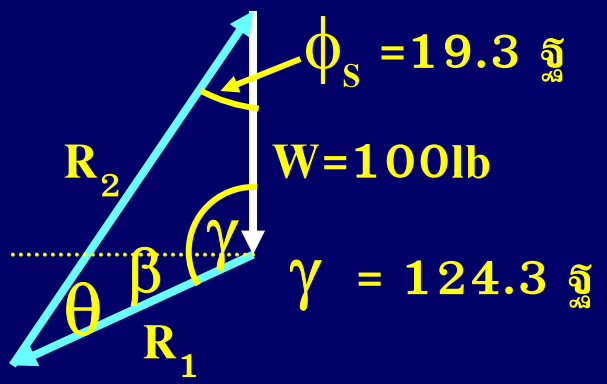
(a) Plate ทั้ง 2 เคลื่อนที่ได้

$\phi_S = \tan^{-1} 0.35 = 19.3$ ฐ

$\beta = 15 + 19.3 = 34.3$ ฐ



จาก FBD ของ Plate B พบว่ามีแรง 3 แรง คือ W, R_1 , R_2 เขียนสามเหลี่ยมแทนแรง



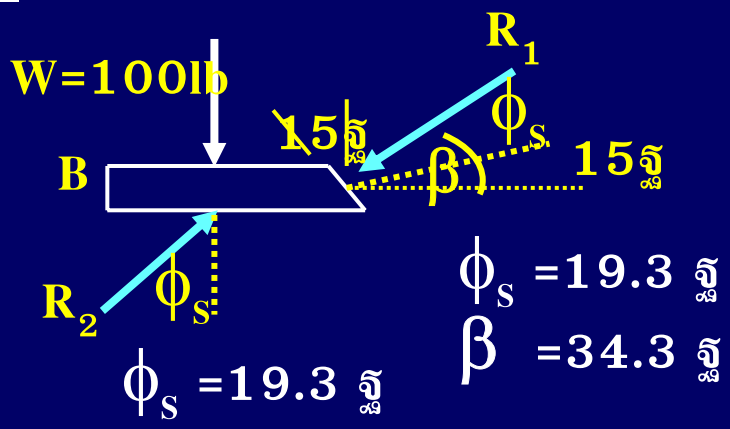
$\gamma = 90+34.3 = 124.3$ ฐ

$\theta = 180-19.3-124.3 = 36.4$ ฐ

ใช้ Sine Law

$R_1 /\sin 19.3 = 100/\sin 36.4 = R_2 /\sin 124.3$

$R_1 = 55.7$ lb. , $R_2 = 139.2$ lb.

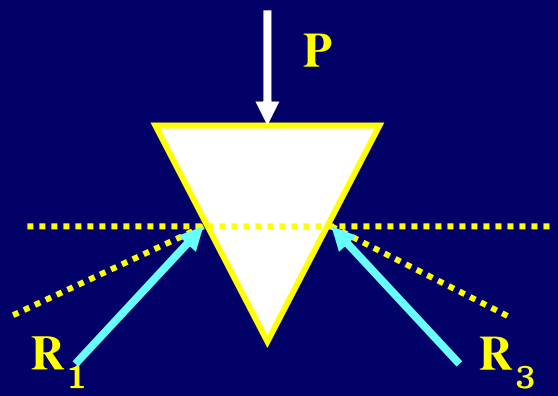


เขียน FBD ของลิ่ม

พบว่ามีแรง 3 แรงเช่นกัน คือ P, R_1, R_3

R_1 ส่งต่อมาจาก Plate B

เขียนสามเหลี่ยมแทนแรง

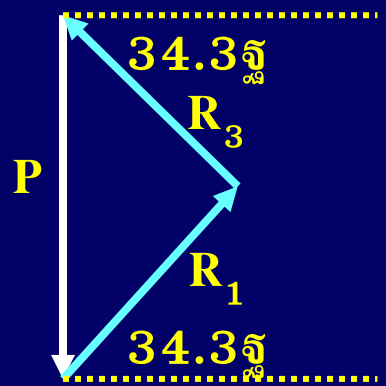


เนื่องจากเกิดลักษณะสมมาตร

$R_3 = R_1 = 55.7$

และทำมุมกับแนวราบเท่ากัน = 34.3ฐ

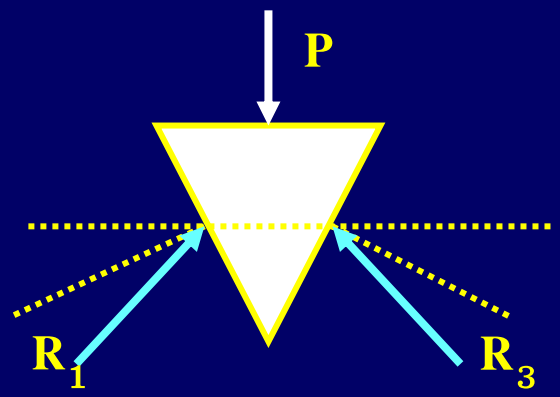
จากสามเหลี่ยมแทนแรง เป็นสามเหลี่ยมหน้าจั่ว

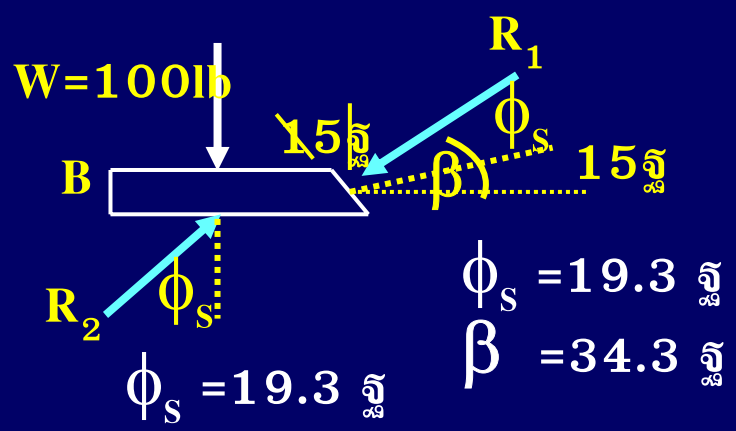


$\sum F_Y = 0$ $\quad P = 2R_1(\sin 34.3\ ฐ)$

$P = 2(55.7)(\sin 34.3\ ฐ)$

$P = 62.8$ lb.





จาก FBD ของ Plate และ FBD ของลิ่ม

Plate C ไม่ได้เกี่ยวข้องในการคำนวณ

ถึงแม้ว่า Plate C จะถูกยึดแน่นไว้ หรือไม่ก็ตาม

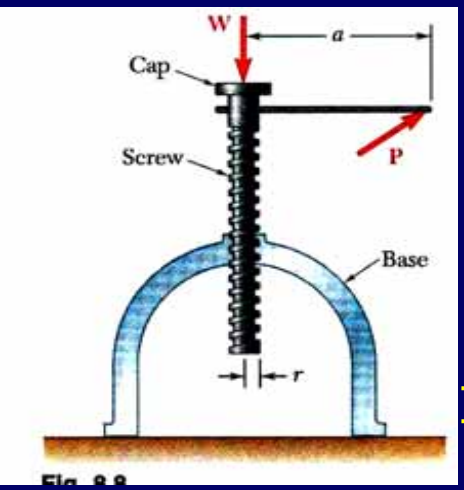
ค่า P ก็ไม่เปลี่ยนแปลง ยังคงเท่ากับ 62.8 lb

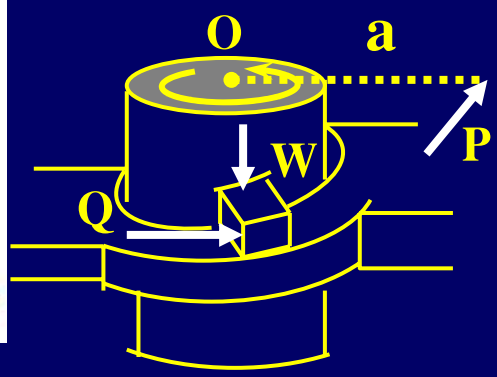
จะทำให้ลิ่ม จะเคลื่อนที่พอดี

R_1 , R_2 และ R_3 เป็นผลรวมของ N และ Fm

7.6 แรงเสียดทานในเกลียวเหลี่ยม (Square Threaded Screws)

เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แรงในเครื่องมือกล ที่ใช้ขับเคลื่อนด้วยเกลียวเหลี่ยม

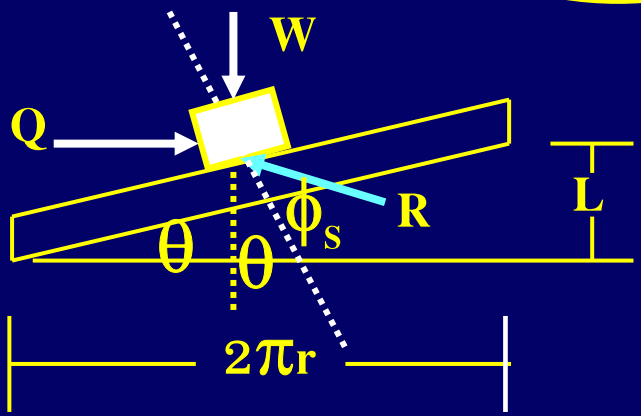




เกลียว มี 2 ลักษณะ คือ

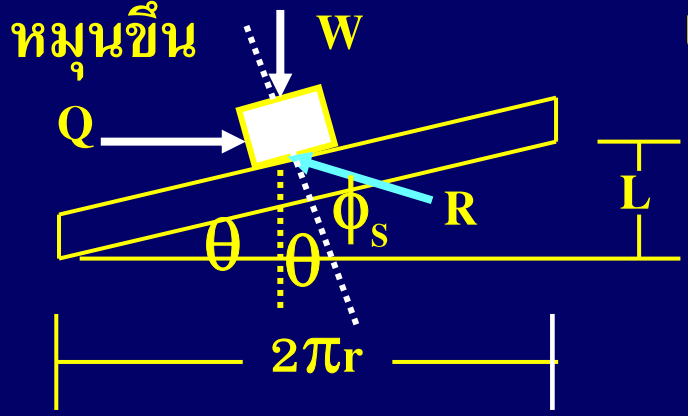
1. เกลียวเดี่ยว (Single Thread)
2. เกลียวคู่ (Double Thread)

เมื่อเราตัดเกลียวของแท่นออกมา 1 รอบเกลียว



คลี่ออกให้เป็นพื้นเอียง เขียน FBD ได้ดังรูป เกลียวอีกชุด จะเป็นเสมือนน้ำหนักบรรทุก

ϕ_S คือ มุมที่ R ทำกับแนว N

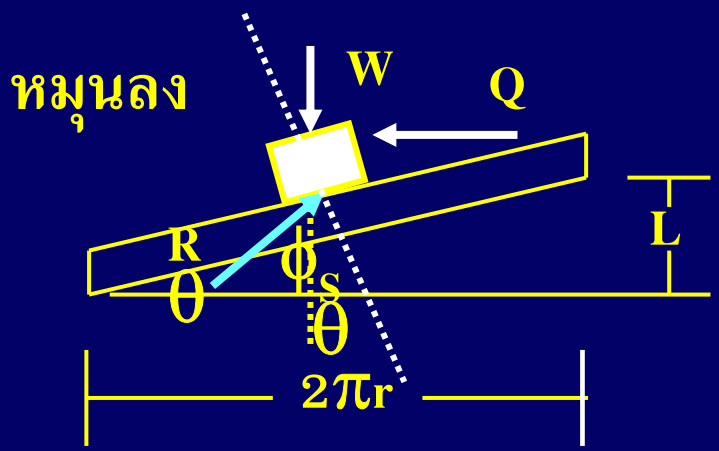


แรงกระทำต่อน้ำหนักบรรทุก ประกอบด้วย

W จากน้ำหนักบรรทุกจริง

Q แรงดันที่ถ่ายทอดมาจากแรงผลัก P

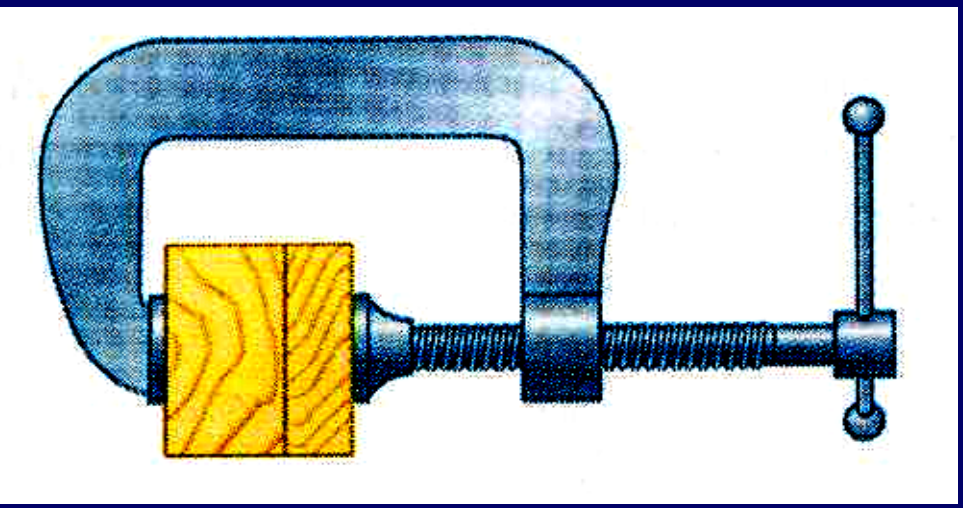
R แรงรวมของ N กับ Fm ที่ผิวสัมผัส



ความลาดเอียงของพื้นเอียง หาได้จาก ระยะห่างช่วง Pitch (1 ช่วงเกลียว) ซึ่งก็คือ ความสูง Lและความยาว 1 รอบเกลียวจากรัศมีเกลียว = $2\pi r$

เกลียวเดี่ยว L= 1 Pitch ; เกลียวคู่ L= 2 Pitch

ตัวอย่าง 7.5



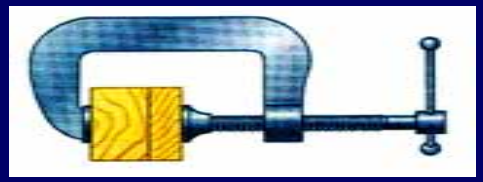
ข้อมูล

Clamp บีบไม้แบบเกลียวคู่ เส้นผ่าศูนย์กลางเกลียว 10 มม ระยะ Pitch 2 มม แรงบิดที่ก้านเท่ากับ 40 N ฐ m $\mu_S = 0.30$

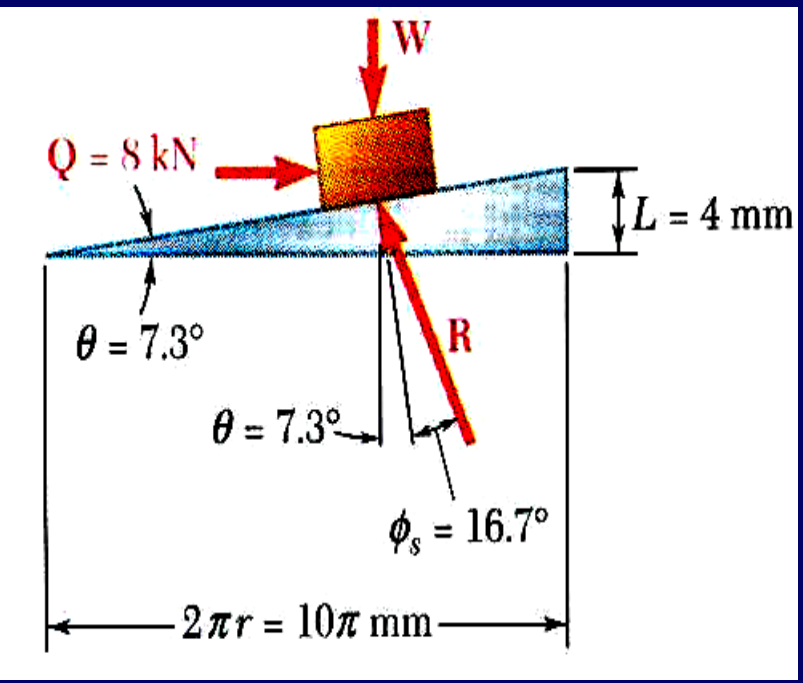
ปัญหา

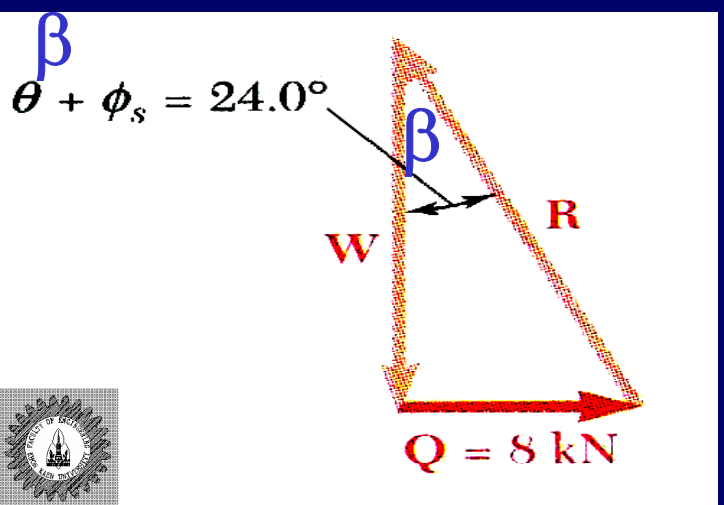
(a) หาแรงที่กระทำต่อชิ้นไม้

(b) แรงบิดที่จำเป็นเพื่อคลาย ออก



วิธีทำ





(a) แรงกระทำต่อชิ้นไม้

ตัดเกลียวมา 1 รอบเกลียว

L = 4 mm ; $2\pi r = 10\pi$ mm

$\tan\theta = 4/10\pi$; $\theta = 7.3$ ฐ

$\tan \phi_s = \mu_s =$; $\phi_s = 16.7$ ฐ

จากแรงบิด = Qr = 40 N ฐ m

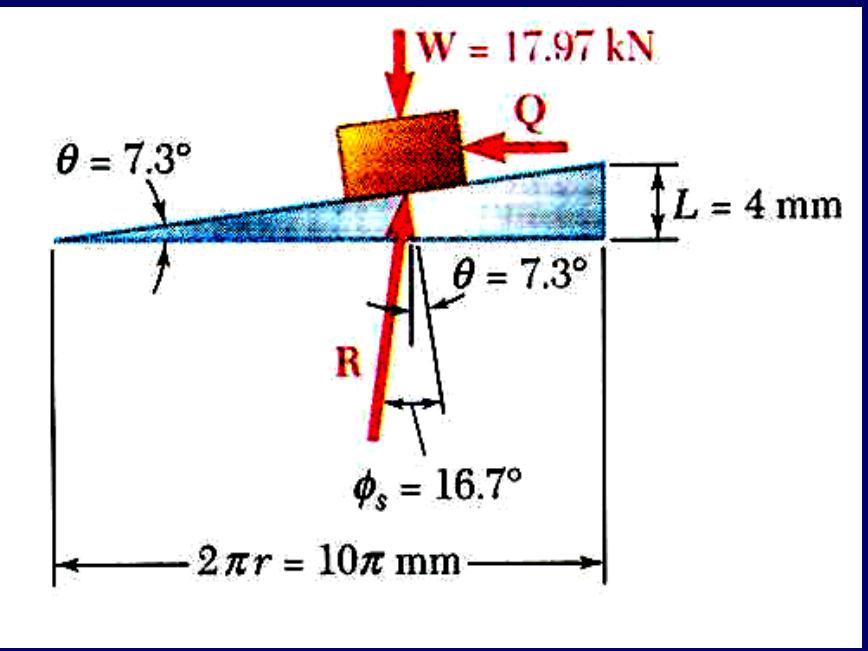
Q = 8000 N = 8 kN

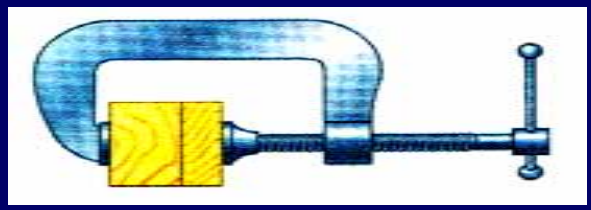
จากสามเหลี่ยมแทนแรง W, Q, R

$\beta = \phi_s + \theta = 16.7 + 7.3 = 24$ ฐ

$Q/W = \tan\beta$; $W = Q/(\tan\beta)$

แรงบีบไม้ W = 17.97 kN





(b) แรงบิดคลาย Clamp ออก

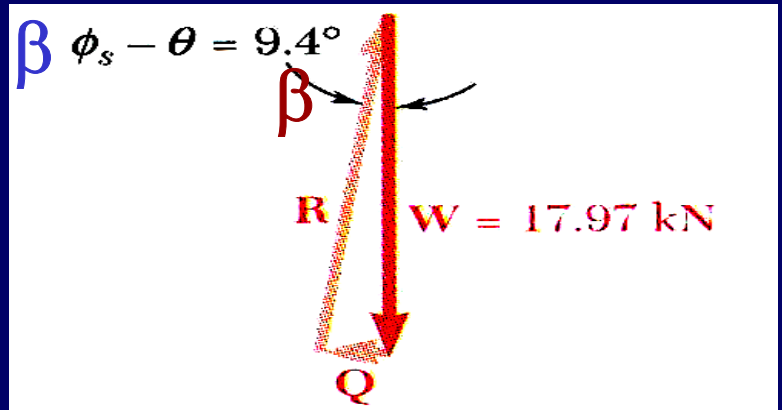
จากสามเหลี่ยมแทนแรง $\beta = 9.4$ฐ

$Q = W(\tan\beta) = 17.97(\tan 9.4$ ฐ$)$

$Q = 2.975$ kN

$Qr = 2.975 \times 5 = 14.87$ N ฐ m

แรงบิดคลายออก $= 14.87$ N ฐ m

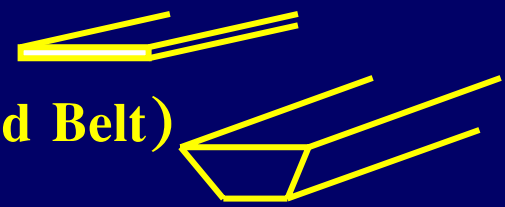


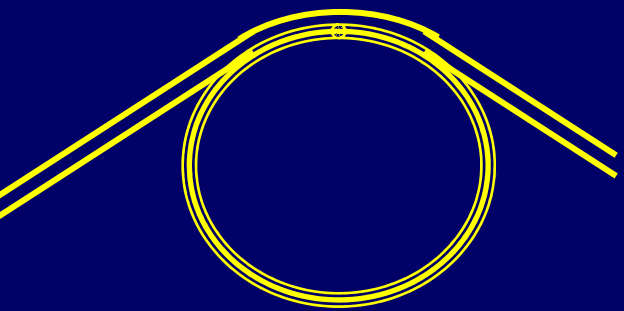
7.7 ความเสียดทานของสายพาน (Belt Friction)

การวิเคราะห์ความเสียดทานของสายพาน
ก็เพื่อนำไปสู่การกำหนดชนิดและความตึงของสายพานใช้งาน

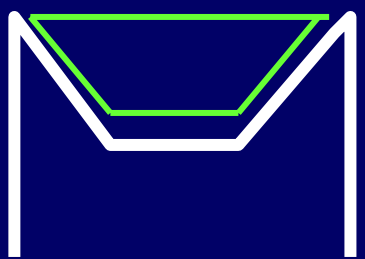
สายพานมี 2 ชนิด คือ

1. สายพานแบน (Flat Belt)
2. สายพาน วี (V – Shaped Belt)



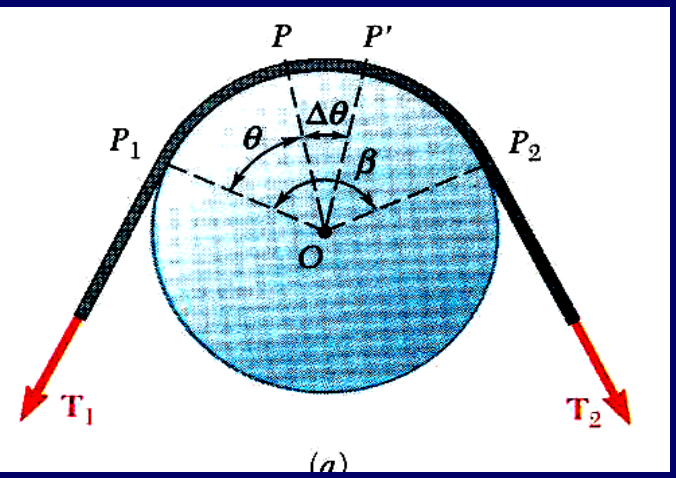


สายพานแบน
จะคิดความเสียดทาน
ที่ท้องสายพานสัมผัส Pulley ทั้งหมด



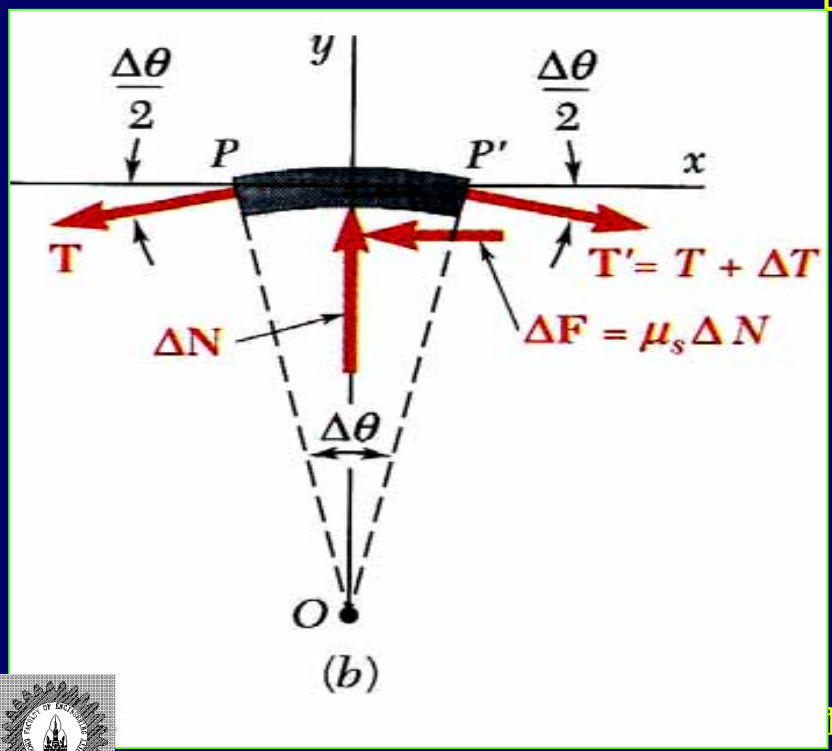
สายพาน วี
จะคิดความเสียดทาน
ที่แก้มสายพานทั้งสองด้านที่สัมผัส Pulley

สายพานแบน



พิจารณา ช่วงจะลื่นไถล หรือไถลไปแล้ว จากรูป สายพานแบนคล้องผ่านกระบอก ยึดด้วยหมุดที่ จุดศูนย์กลาง O

ตัดชิ้นส่วนเล็ก ๆ P–P’ มาพิจารณา มุมที่จุดศูนย์กลางรับ PP’ = $\Delta\theta$



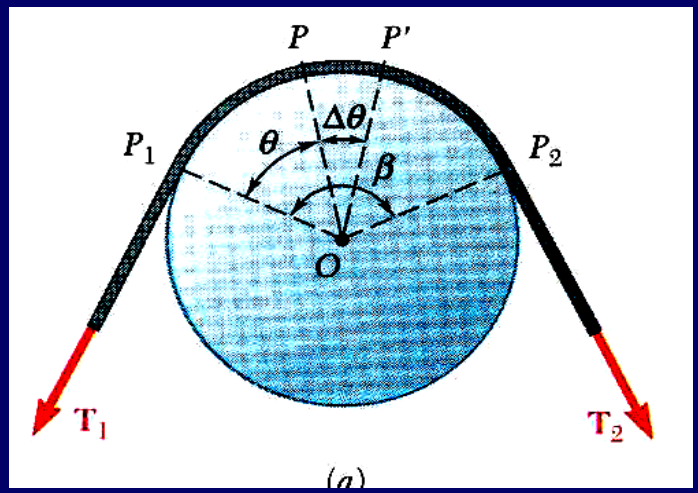
ในสภาวะที่จะลื่นไถลพอดี →

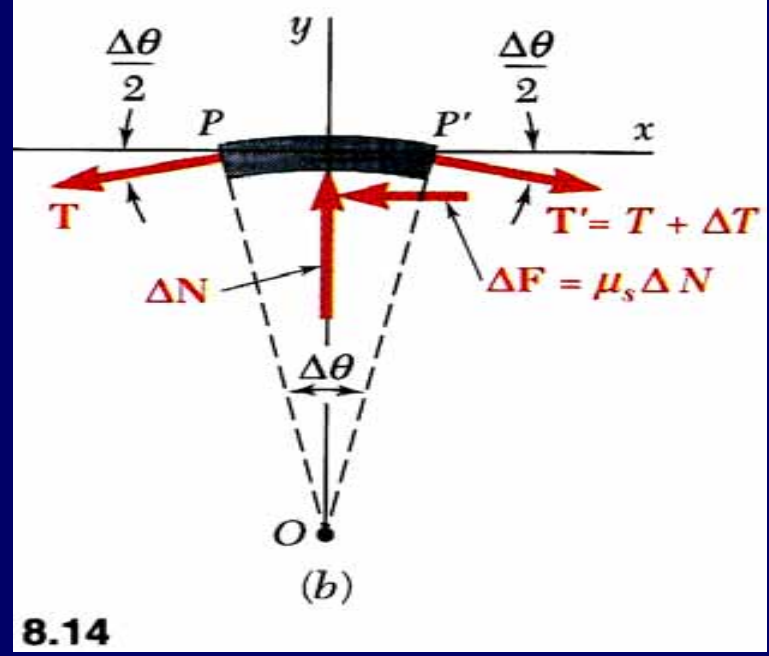
$\Delta F = \mu_S \Delta N$

ถ้า $\Delta\theta$ เข้าสู่ 0 ;

ΔN, ΔF, ΔT 0 ด้วย

ตั้งแกน X, Y ใช้สมการสมดุล





$\sum F_X = 0$

$$(T+\Delta T)\cos(\Delta\theta/2) - T\cos(\Delta\theta/2) - \mu_s \Delta N = 0$$

$$(\Delta T)\cos(\Delta\theta/2) - \mu_s \Delta N = 0 \quad \text{---- (7.11)}$$

$\sum F_Y = 0$

$$\Delta N - (T+\Delta T)\sin(\Delta\theta/2) - T\sin(\Delta\theta/2) = 0 \quad \text{--- (7.12)}$$

$$\Delta N = [\,(T+\Delta T)+T\,]\sin(\Delta\theta/2) = (2T+\Delta T)\sin(\Delta\theta/2)$$

แทนค่า ΔN ใน (7.11)

$$(\Delta T)\cos(\Delta\theta/2) - \mu_s (2T+\Delta T)\sin(\Delta\theta/2) = 0$$

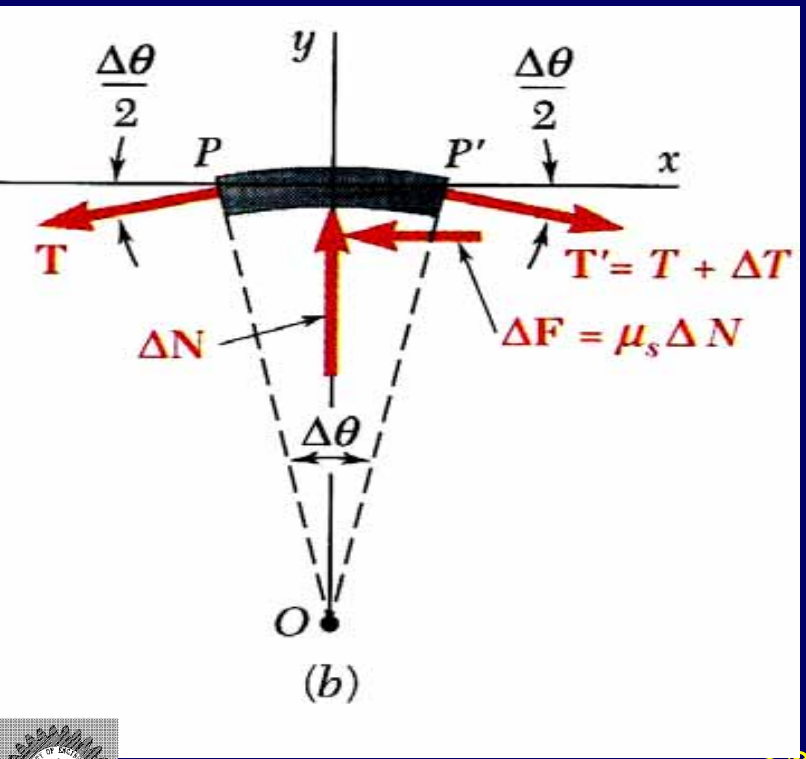
จาก $(\Delta T)\cos(\Delta\theta/2) - \mu_s (2T + \Delta T)\sin(\Delta\theta/2) = 0$

เอา $\Delta\theta$ หารตลอด ได้

$(\Delta T/\Delta\theta)\cos(\Delta\theta/2) - \mu_s (2T + \Delta T)\sin(\Delta\theta/2)/\Delta\theta = 0$

จัดรูปใหม่ ได้

$(\Delta T/\Delta\theta)\cos(\Delta\theta/2) - \mu_s(T+\Delta T/2)\sin(\Delta\theta/2)/(\Delta\theta/2) = 0$ -(1)



จากเงื่อนไข $\Delta\theta \longrightarrow 0$

$\cos 0 = 1$ และ $\Delta T/2 \longrightarrow 0$

$\sin(\Delta\theta/2)/(\Delta\theta/2) \longrightarrow 1$

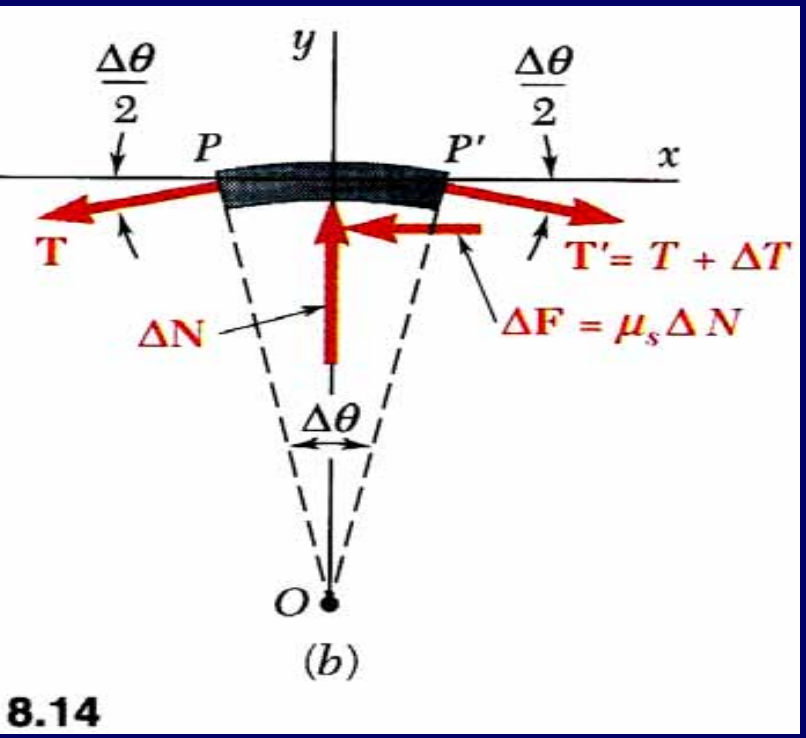
$\Delta T/\Delta\theta = dT/d\theta$

จาก สมการ (1) จะได้

$dT/d\theta - \mu_s T = 0$

$dT/T = \mu_s d\theta$ --- (2)

$$dT/T = \mu_s \, d\theta \quad \text{--- (2)}$$



8.14

Integrate สมการ (2) P_1 ถึง P_2

ที่ P_1 ; $\theta = 0$ $T = T_1$

ที่ P_2 ; $\theta = \beta$ $T = T_2$

$$\int_{T_1}^{T_2} dT/T = \int_{0}^{\beta} \mu_s \, d\theta$$

$$\ln T_2 - \ln T_1 = \mu_s \beta$$

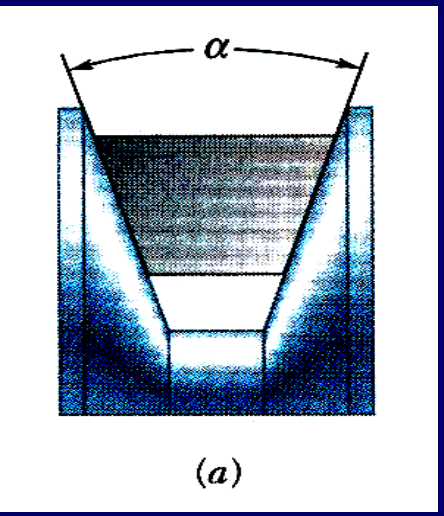
$$\ln (T_2/T_1) = \mu_s \beta \quad \text{----- (7.13)}$$

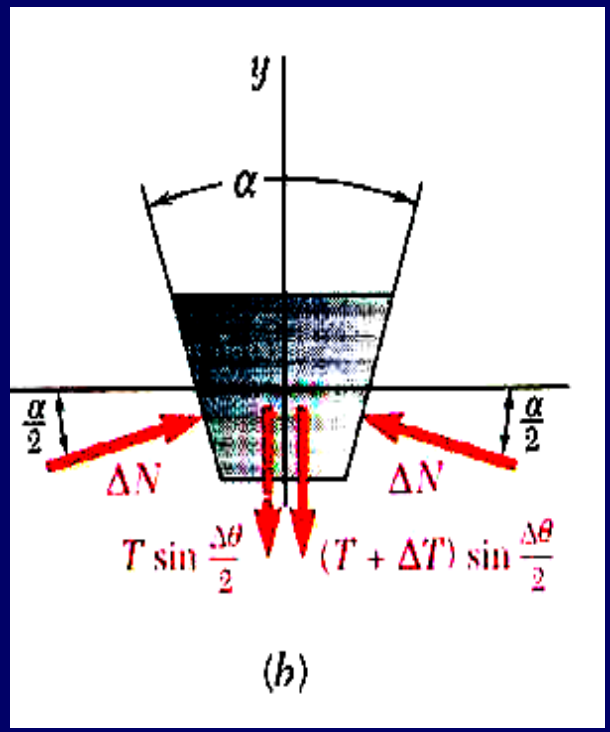
$$T_2/T_1 = e^{\mu_s \beta} \quad \text{---- (7.14)}$$

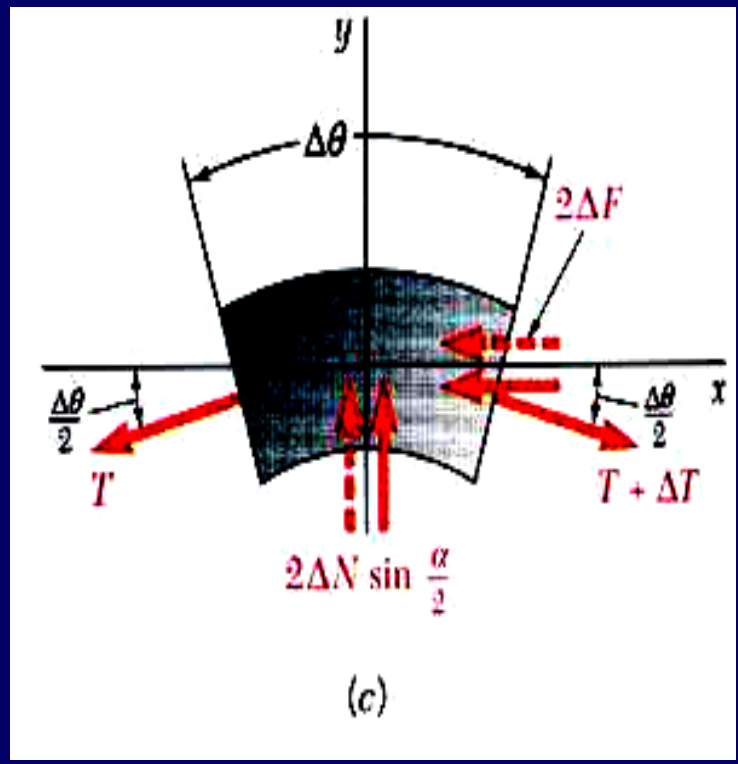
e = 2.71828

β เป็น radian

สายพาน – V





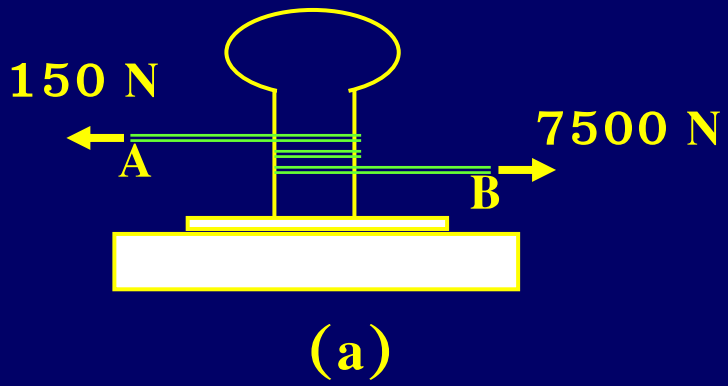


ดำเนินการเหมือนสายพานแบน

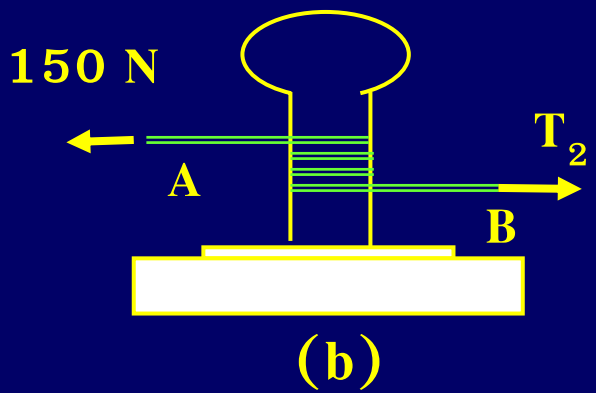
Integrated แล้ว ได้

$$T_2/T_1 = e^{\mu s \beta/\sin(\alpha/2)}$$

ตัวอย่าง 7.7



(a)



(b)

ข้อมูล

เชือกพันรอบเสา 2 รอบ มีแรงดึงที่ปลายเชือกทั้งสองดังรูป

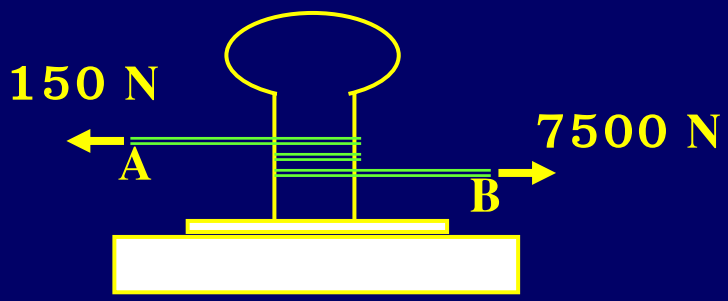
ปัญหา

(a) หาค่า μ_s ระหว่างเชือกกับเสา

(b) หาแรงดึงที่ปลาย B

เมื่อ เชือกพันรอบเสา 3 รอบ และเชือก จะเคลื่อนที่พอดี

ตัวอย่าง 7.7



วิธีทำ

(a) หา μ_s ใช้สมการ (7.13) เพราะเชือกคือสายพานแบน

$$\ln (T_2/T_1) = \mu_s \beta$$

เชือกพันรอบเสา 2 รอบ หา β

$$\beta = 2(2\pi) = 12.6 \text{ radian}$$

$T_1 = 150$; $T_2 = 7500$ แทนค่าในสมการ

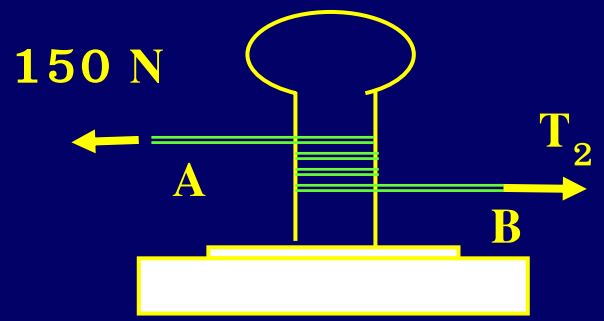
$$\ln (7500/150) = \mu_s 12.6$$

$$\ln 50 = 3.91 = \mu_s 12.6$$

$$\mu_s = 0.31$$

ตัวอย่าง 7.7

(b) หาแรง T_2 เมื่อเชือกพัน 3 รอบ



$\beta = 3(2\pi) = 18.9$ radian

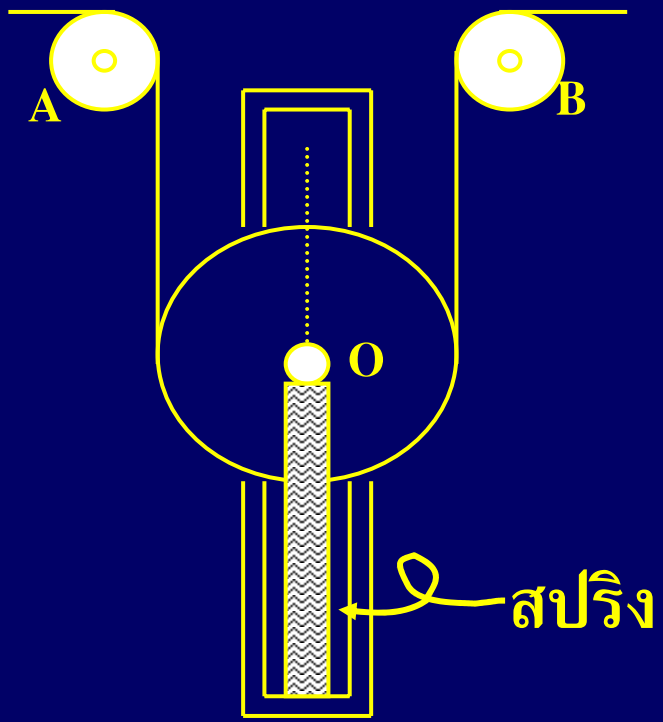
$T_1 = 150$; $\mu_s = 0.31$

จากสมการ (7.14) ; $T_2 / T_1 = e^{\mu_s \beta}$

$T_2 = [\, e^{(031)(18.9)} \,][\, 150 \,] = (350)(150)$

$T_2 = 52\,500$ N $= 52.5$ kN

ตัวอย่าง 7.8



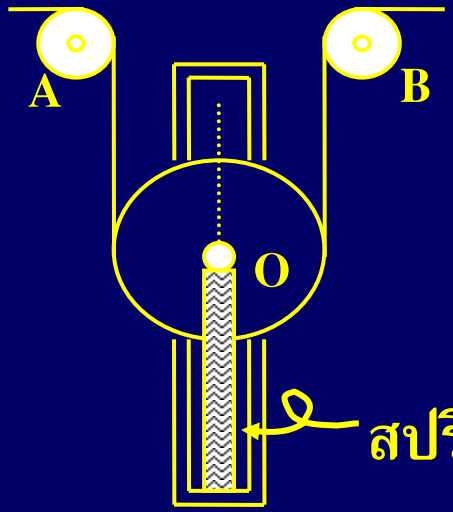
ข้อมูล

สายพานแบน พาดผ่านรอก A,B และคล้องผ่าน Pulley ซึ่งเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ โดยมีสปริงดึงด้านล่าง เมื่อ Pulley มีแรงบิด 30 lb ฐ ft สายพานจะเลื่อนพอดี

$\mu_s = 0.30$

ปัญหา

หาค่าแรงที่เกิดในสปริงในขณะนี้



วิธีทำ

เขียน FBD ของ Pulley

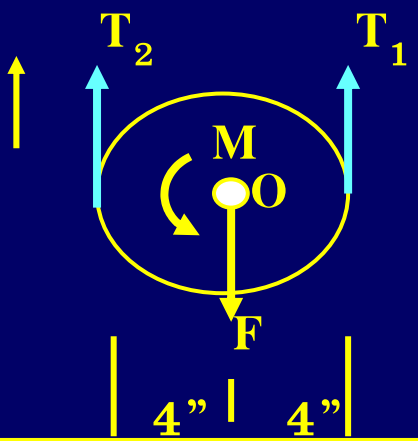
แรง F คือแรงในสปริง

และ $T_2 > T_1$

ใช้สมการสมดุล $\Sigma M_O = 0$

$$T_1(4) - T_2(4) + 30 = 0$$

$$T_2 - T_1 = 90 \text{ ------- (1)}$$



มุมรับส่วนสัมผัส $\beta = 180$ฐ $= 3.14$ rd

จากสมการ (7.14)

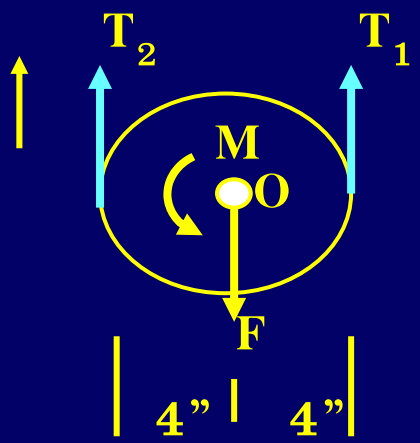
$$T_2 / T_1 = e^{\mu_s \beta}$$

$$T_2 / T_1 = e^{(0.30)(3.14)} = 2.57$$

$$T_2 = 2.57\, T_1 \text{ ----- (2)}$$

เมื่อเทียบกับการบิดของรอก

สายพานจะเคลื่อนไปทาง T_2



$$T_2 - T_1 = 90 \quad \text{-------- (1)}$$

$$T_2 = 2.57\, T_1 \quad \text{-------- (2)}$$

แทนค่า T_2 ลงใน (1)

$$2.57\, T_1 - T_1 = 90;$$

$$T_1 = 57.3 \text{ lb.}$$

แทนค่า T_1 ใน (2)

$$T_2 = 147.3 \text{ lb.}$$

$$\sum F_Y = 0 ; \quad T_1 + T_2 - F = 0$$

$$F = 57.3 + 147.3 = 204.6 \text{ lb.}$$

แรงดึงในสปริงขณะนี้เท่ากับ 204.6 lb.

บทที่ 7