البـــــاب الخـــامـــــس

الاحتكـــــــــاك

1.5 مقدمة

2.5 قوى الاحتكاك

3.5 الظواهر الاحتكاكية

4.5 ميكانيكية الاحتكاك

5.5 أنواع الاحتكاك

6.5 قوانين ومعامل الاحتكاك

7.5 زاوية الاحتكاك

8.5 المسائل المتعلقة بتأثير قوى الاحتكاك

9.5 تطبيقات عامة.

1.5 مقدمـــــــــــة

هل ساء حظك وأنت تسير في مره ما لتقع قدمك على مادة لزجة بـــالتواطؤ مـــع قـــوة الجاذبية الارضية في سقوطك على الارض، وهل سألت نفسك كم مره وأنت في طريقك فـــي يوم شتاء اضطررت، تحت وطأة البرد القارس أن تحك يديك بعضهما ببعض لتخفف من شـــدة هذا البرد؛ ولماذا يعتبر ظهور الضوء الاحمر الخاص بمعدل زيت المحرك في السيارة نذيـــر شؤم لايستهان بعواقبه؛ كما أن أنزلاق أجزاء الآلات والمكائن مختلفـــة التصنيـــع والجدمـــات بعضها على بعض يؤدي الى فقدان الطاقة وتحويلها الى طاقة حرارية عرضية، فضـــلاً عـــن توليد الحرارة، كما أن تلامس بين هذه الاجزاء سوف يؤدي الى سوفانها ثم الى تلفها.

كل هذه الاشياء وكثير غيرها تسببها ظاهرة ميكانيكية واحدة تعرف بظاهرة الاحتكـــاك (Friction).

يعتبر الاحتكاك ظاهرة ميكانيكة معقدة تخفي الكثـــير مـــن اســـرارها، الا أنـــه نتيجـــة للملاحظات والدراسات العلمية والمعملية المكثفة، اصبحنا نعرف الكثير عنها وسنحاول القـــاء الضوء عليها من ناحية فيزيائية بحتة.

من الناوحي الايجابية لهذه الظاهرة تعتبر قوى الاحتكاك (Frictional Forces) هـــي المسؤولة عن قدرتنا على المشي لأن المشي يعتمد على الاحتكاك يبن الحذاء والارض ولـــولا الاحتكاك لتعذر المشي، كما وتعتبر المسؤولة عن دوران اطارات الســـيارات، وتلعـــب دوراً مهماً في عمل أجهزة مختلفة مثل الكوابح (Brakes) وأحزمة التسيير (وسيلة النقـــل بالســـير) (Belt drives)، والقوابض (Clutches) والاوتاد الاسافين (Wedges)، اذ أن هذه الاجـــهزة بدون الاحتكاك لا يمكن أن تؤدي وظائفها وخدماتها.

أن قوى الاحتكاك موجودة دائما في الطبيعة وبنسب متفاوته، وعلى الرغم من فوائـــد الاحتكاك المذكورة فإننا نسمعى للتقليل من تأثيره في كثير من الاماكن والالات مثـــل، لوالـــب الطاقة (Power screws) والمساند بانواعها (Bearings) ونـــاقلات الحركـــة (Gears) وكلذلك دفع الطائرات والصواريخ خلال الفضاء.

لفهم ظاهرة الاحتكاك علينا أن ندرس التركيب الدقيق للمادة على مســـتوى الجـــزيء والذرة وذلك لمعرفة كيفية حدوث الاحتكاك لذلك يجب علينا أن نركز قليـــلاً علـــى الخـــوص الجزيئية والذرية للسطوح.

كما هو معروف الآن أن قوى الرابطة الجزيئية بين الجزيئات المكونة للسطوح سواء على هيئة شوائب واكاسيد ومواد تشحيم أو المواد الاصلية المكونة لمادة السطوح، هي المسؤولة عن ظاهرة الاحتكاك، فلو كانت لنا القدرة على فحص سطح معين بدقة متناهية لوجدناه عبارة عن هضاب ووديان جزيئيه، وعندما تقترب هذه الجزيئات من بعضها بدرجة كافية نجد أن القوى الجزيئيه تربطها ببعضها.

في عملية الحركة نجد أن هذه الهضاب تتفكك والجزيئات المكونة لها عن بعضها مسببه في تذبذب هذه الجزيئات عند السطوح المتلامسة، ونتيجة لتلك الحركة الذبذبية يتم أطلاق قدر من الطاقة في شكل حرارة يسبب في ارتفاع درجة الحرارة السطوح، كما يتم أطلاق هذه الطاقة في شكل أصوات في بعض الحالات كالالات وأثناء قيادة السيارات بسرعة أولية عالية.

ومعروف أن أضافة الشوائب بين السطوح كزيوت للتشحيم تقلل من قوة الاحتكاك وتطيل عمر الالات حيث أنه لو تم صقل أو تلميع سطحين من نفس المادة وتم الصاقهما ببعض، فإن قوة الاحتكاك تزيد الاضعاف المضاعفة عن مقدارها عندما تكون هناك شوائب بين نفس السطحين، ويفسر ذلك على أعتبار أن الجزيئات والذرات على السطوح ليس لها القدرة على التميز فيما اذا كانت تتبع السطح العلوي أو السفلي نظراً لتشابه طبيعة الجزيئات.

كل ما سبق كان توضيح لنشوء ظاهرة الاحتكاك من ناحيو فيزيائية بحتة الاننا سنعامل الاحتكاك كقوة (Force) أسوة بغيره من القوى دون أن نخوض في تفاصيل طبيعه هذه القوه أو الكيفية التي تنتج بها، حيث أن هذا يخرج عن هدف هذا الباب.

2.5 قوى الاحتكاك (Frictional Forces)

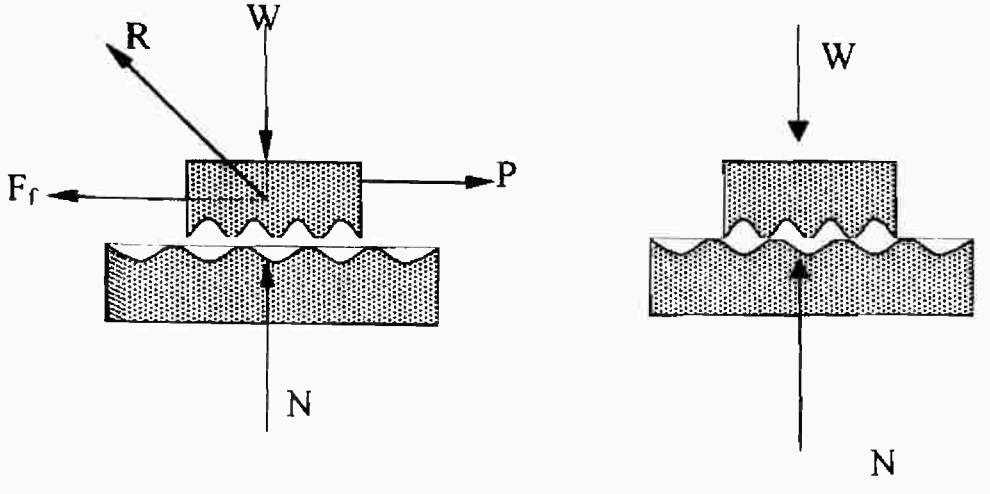
أن عدم وجود سطح تام النعومة من حيث الملمس في الوقت الحاضر معروف، وكما أشرت سابقاً اذا تعذر أكتشاف ذلك عن طريق المس العادي وبالعين المجردة فإنه يمكن مشاهدة خشونه وعدم أنتظام هذا السطح عن طريق المجهر.

في الابواب السابقة فرض أن تاثير الفعل ورد الفعل بين السطوح المتلامسة يكون عمودياً على السطوح المتماسة الملساء وتكون انضغاطاً كما في الشكل (a.1.5).

لكن في الحياة العملية لايكون سطح التلامس أملس لذلك فـــإن رد الفعـــل (N) لايكـــون عمودياً على سطح التلامس، وهذا يعني أنه في حالة تسليط قوة ما على جسم ؛ وكان الجســـم في حالة سكون فسيكون لرد الفعل السطح الخشن مركبتان:

المركبة العمودية (N) على السطح التماس ، أتجاهها الى أعلى وتساوي وزن الجســـم W والمركبة المماسية الافقية لسطح التماس وهي قوة الاحتكاك ويرمز لـــها بـــالرمز (F_f) – هدفها اعاقة الحركة– أي أن أتجاهها و دائماً في الاتجـــاه المعـــاكس للحركـــة النســـبية بيـــن السطحين سواء كان الجسم ساكناً أو متحركاً، شكل (b.1.4)، وتساوي القوة المسلطة (P) فـــي المقدار، أما المركبة رد الفعل العمودية فتكون ثابته في المقدار دائماً.

وتظل تخطيطات الجسم الحر (F.B.D) في المسائل التي تتعرض للاحتكاك مثـــل مـــا هي في المسائل التي يفترض فيها أن سطح التلامس أملس مع مراعاة إضافة قوة الاحتكاك.



شكل (1.5) مركبات الفعل وقوة الاحتكاك

3.5 الظواهر الاحتكاكية (Frictional Phenomena)

في علم الميكانيكا يمكن ملاحظة عدة أنواع مختلفة للظواهر الاحتكاكية وسوف نقوم بعرضها باختصار وهي:

1-الاحتكاك الجاف (Dry Friction)

وهذا النوع من الاحتكاك يسمى أحتكاك كولومب (Coulomb) حيث تم استنتاجه من التجارب العملية التي قام بها العالم الفرنسي كولومب عام 1781.

ويظهر هذا الاحتكاك عند تلامس سطحين غير مزيتين وهما في حالة حركة نسبية أو ميل للحركة. وعليه تظهر قوة الاحتكاك متتامة مع سطح التلامس خلال الفترة قبل أن تكون الحركة النسبية وشيكه الحدوث وكذلك عند حدوث الحركة. ويكون اتجاه قوة الاحتكاك معاكساً دائما لاتجاه الحركة.

2-الاحتكاك المائع (Fluid Friction)

ينشأ الاحتكاك المائع عند تدفق طبقات متجاورة من السائل بسرعة مختلفة، حيث يؤدي هذا الى حدوث قوى أحتكاك بين أجزاء السائل، وتعتمد قوة الاحتكاك هذه على السرعة النسبية بين الطبقات. ويجب الاشارة هنا أن قوة الاحتكاك في السوائل لاتعتمد على السرعة النسبية بين الطبقات، ولكنها تعتمد ايضا على لزوجة السائل التي توثر مقاومته الى تأثير الاحتكاك بين الطبقات المتجاورة.

3-الاحتكاك الداخلي (Internal Friction)

ينشأ الاحتكاك الداخلي في كل المواد الصلبة المعروفة المعرضة للتحميل الدوري. ففي المواد عالية المرونة يحدث تشوه، وبعكسه فإن المواد ذات المرونة القليلة والتي تتعرض الى تشوهات (Deformation) لدنه خلال التحميل تؤدي الى حصول أحتكاك داخلي كبير يصاحب هذا التشوه.

4-احتكاك التدحرج (Rolling Friction)

احتكاك التدحرج هو المقاومة الناتجة عن تدحرج أي شئ دائري مثل الاعمدة والعجلات وما شابه ذلك.

4.5 ميكانيكية الاحتكاك

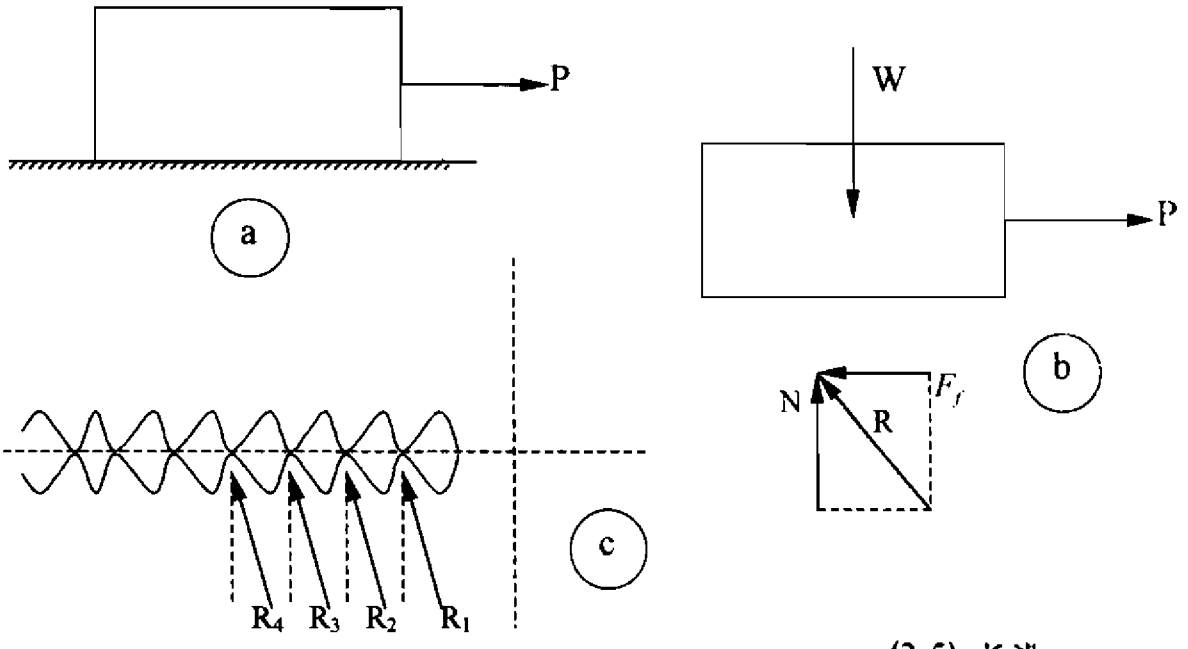
سوف نقوم في هذا الباب بوصف أثار الاحتكاك الجاف المؤثر على الاجزاء الخارجية للاجسام الصلبة فقط وسنبين ميكانيكية الاحتكاك بالاعتماد على الملاحظة والتجربة.

يمكن شرح آلية الاحتكاك الجاف بتفصيل بواسطة الاستعانة بالتجربة البسيطة التالية:

لنأخذ جسماً معيناً وزنه (W) موضوعاً على مستوى أفقي كما في الشكل (a.2.5). في هذه التجربة نقوم بالتاثير على الجسم بقوة (P) تتغير بشكل مستمر من الصفر الى قيمة كافيه لتعطي الجسم سرعة مملوسة؛ على إعتبار أن السطوح المتلامسة تملك قدراً معيناً من الخشونة كما أشرنا سابقا. يبين الشكل (b.2.5) الرسم البياني لمخطط الجسم الحر (F.B.D) للجسم (W) عند أي مقدار للقوة المؤثرة (P) وقوة الاحتكاك المماسة (F_f) المبذولة بالمستوى الافقي على الجسم W، وتكون قوة الاحتكاك دائما في أتجاه يعاكس أتجاه حركة الجسم، وهناك أيضاً قوة عمودية (N) والتي تساوي في هذه الحالة وزن الجسم W، وعليه تكون القوة الكلية(R)والتي يؤثر بها السطح المستوي على الجسم (رد فعل) هي محصلة القوتين F ، N.

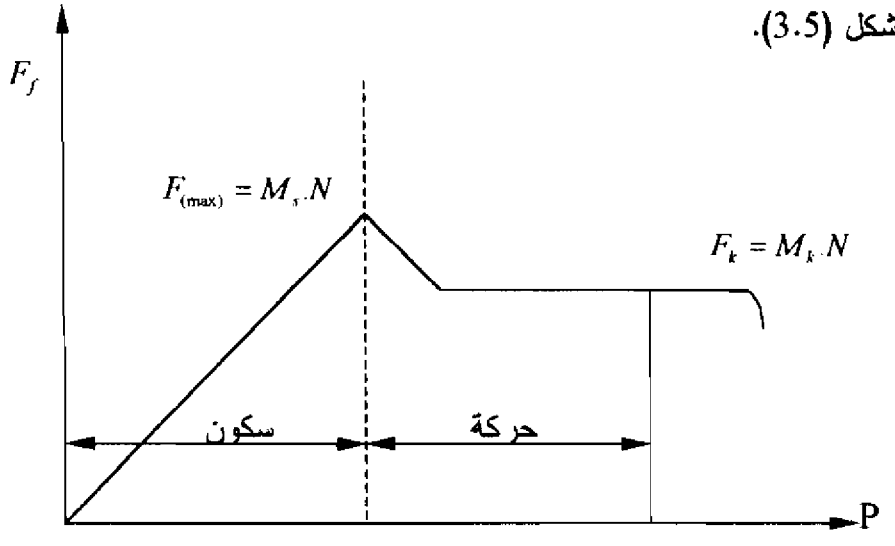
أن الشكل (c.2.5) يساعد على رؤية ومعرفة التأثير الميكانيكي للاحتكاك حيث يبين منظراً مكبراً لعدم انتظام السطوح المتلامسة (المتزاوجة)، وواضح ايضا تكوّن اسناداً متقطعاً (تقابل الدعائم الساندة) وينشأ عند الاماكن المتحدبة المتزاوجة (mateing Humps).

يتوقف أتجاه كل رد فعل على الجسم R_1 ، R_2 ، R_3.....الخ ليس فقط على شكل الجانبية الهندسي لعدم انتظام، بل ايضا على مدى التشوه الموضعي (Local Deformation) ،وعندما تكون السطوح في حركة نسبية فإن التلامسات تكون على طول قمم الرؤوس، وتكون المركبات المماسه للقوى R أصغر منها عندما تكون السطوح ساكنة بالنسبة لبعضها البعض ويساعد هذا الاعتبار كثيراً على شرح الحقيقة المعروفة والتي تنص على أن «القوة F اللازمة لحفظ الحركة تكون أقل من المطلوبة لبدء حركة الجسم عندما يكون عدم الانتظام في حالة تعشيق.



الشكل (2.5)

ولنفرض الآن انه من خلال أجرائنا للتجربة سنحصـــل على قيم القوة الاحتكاك (F_f) كدالـــة للقوة (P) أي أن قوة الاحتكاك تتغير بزيادة قيمه القوة الخارجية الافقية المسلطة على الجســـم، من ثم بناءاً على هذه القيم ثم رسم العلاقة التي تربط بينهما كما هو موضح على الرسم البيـلني في الشكل (3.5).



الشكل (3.5)

وبدراسة وتحليل هذا الرسم البياني (المنحنى) نحصل على النتائج التالية:

1.عندما تكون القوة (P) مساوية للصفر، فإن قوه الاحتكاك (F_f) تكون حسب قوانين الاتزان مساوية للصفر كذلك.

2.عندما تزداد قيمة القوة (P) فإن قوة الاحتكاك يجب أن تكون مساوية للقوة (P) ومعاكسة لها بالاتجاه طالما ليس هناك حركة نسبية بين الجسم والسطح المستوي.وخلال هذه الفترة يكون الجسم في حالة توازن . ويعتمد على معادلات وشروط الاتزان في تحليل القوى المؤثرة كافة.

3.عند الوصول بقيمة (P) الى القوة التي تؤدي بالجسم الى بدء بالحركة واتجاهها نجد أن قيمة قوه الاحتكاك تنخفض قليلاً وبصورة فجائية الى قيمة أقل وتبقى ثابتة الى برهة من الزمن لتستمر بالانخفاض مع زيادة السرعة.

في مسائل الميكانيكا لاتوجه أهتمامنا الا الى حالتين هما: أما الاهتمام بمعرفة الشروط التي عندها يكون الجسم على وشك الحركة، أو الاهتمام بحالة الجسم وبناءٍ على ذلك يؤخذ في عين الاعتبار أما أقصى قيمة للاحتكاك قبل بدء حركة الجسم مباشرة أو القيمة الثابتة لقوة الاحتكاك بإختلاف السطوح المتلامسة مع ثبات الشروط الاخرى المحيطة وعموماً فإن قوه الاحتكاك تتناسب تناسباً طردياً مع القوة العمودية على سطوح التماس.

ويمكن التعبير عنها رياضياً باستخدام المعادلات التاليه:

$$F_{f(S)} = \mu_s . N \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1.5)$$

$$F_{f(k)} = \mu_k . N \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1.5)$$

حيث أن:-

μ_s =معامل الاحتكاك الاستاتيكي حتى اللحظة التي يكون عندها الجسم على وشك الحركة.

μ_k =معامل الاحتكاك الحركي بعد أستمرار الجسم في حركته.

وهكذا من خلال هذا التحليل لمنحنى نتائج هذه التجربة البسيطة استطعنا توضيح بصورة كافية ميكانيكية قوى الاحتكاك وتأثيراتها.

5.5 أنواع الاحتكاك

هناك نوعان من الاحتكاك هما:

1. الاحتكاك الاستاتيكي (Static Friction) ويحدث عندما لاتكون هناك حركة نسبية بين الجسمين المتلامسين، أو عندما يتحركان كجسم واحد، وسميت المقاومة الناشئة عن القوة المسلطة بالاحتكاك الاستاتيكي(السكوني). (F_s)

2. الاحتكاك الديناميكي (Dynamic Friction) ويحدث هذا النوع من الاحتكاك عندما يتحرك جسم على أخر وسميت المقاومة بين الجسمين والمماسه لسطح التلامس بالاحتكاك الحركي (F_k). وتكون قوة الاحتكاك الديناميكي أقل من أقصى قوه للاحتكاك الاستاتيكي لأي زوج من السطوح التي تؤثر عليها نفس القوه العمودية.

وقد أثبتت التجارب العملية والنظرية المتعددة أنه من الصعب الحصول على معلومات يعتمد عليها لأي من قوه الاحتكاك الديناميكي، أو أقصى أحتكاك استاتيكي بين جسمين من معدنين مختلفين، وذلك لان أي تغير طفيف في تماس السطوح سوف يؤثر على قوة الاحتكاك الناتجة، لذا من النادر ما يحصل الباحثون على نتائج متشابهة لنفس المادة، وذلك نتيجة لوجود التماس وعلى العموم كما أشرنا سابقاً على أن اقصى أحتكاك أستاتيكي يكون أكبر من الاحتكاك الديناميكي لأي زوج من السطوح المتماسه في ثبات مقدار القوة العموديه.

6.5 قوانين ومعامل الاحتكاك

أن قوانين الاحتكاك الجاف تعزى كما أشرنا سابقا الى التجارب الكثيرة التي أجراها كولومب عام 1781 وأيده فيها فيما بعد مورين بتجاربه عام 1831. وقد أدت النتائج هذه الى استنتاج قوانين الاحتكاك للسطوح الجافة وهي كما يلي:

1. تتناسب قوة الاحتكاك النهائي مع القوة العمودية لرد الفعل، $(F \propto N)$

وأن عامل التناسب يعرف بمعامل الاحتكاك (Coefficient of Friction) حيث يعتمد هذا المعامل على طبيعة الاحتكاك، ففي حالة الاحتكاك الساكن يرمز له بالرمز (μ_s)، بينما في حالة الاحتكاك الحركي يرمز له بالرمز (μ_k) كما أشرنا سابقاً.

وقد أثبتت التجارب والابحاث أنه في الغالبية المطلقة من الحالات نجد أن:

$$\mu_s > \mu_k \quad \ldots\ldots(3.5)$$

وفي حالة الاحتكاك الساكن وجد أن قوة الاحتكاك تعطى بالعلاقة التاليه:

$$F_s \le \mu_s.N \quad \ldots\ldots(4.5)$$

ويحدث التساوي أي أن

$$F_s = \mu_s.N \quad \ldots\ldots(5.5)$$

عندما يكون الجسم على وشك الحركة أي في اللحظة التي تسبق الحركة مباشرة.

بعد ذلك يتحول السكون الى حالة حركة ومعامل الاحتكاك الساكن (μ_s) الى حركي (μ_k) ويقل مقدار الاحتكاك.

في حالة الحركة وجد أن العلاقة التي تربط بين رد الفعل N وقوة الاحتكاك تعطى كما يلي:

$$F_k = \mu_k.N \quad \ldots\ldots(6.5)$$

2.لاتعتمد قوة الاحتكاك الديناميكي (μ_k) على خشونة السطوح المتلامسه، ولاعلى مساحتها،ولاعلى الحركة النسبية بين السطوح، والواقع أثبت أن (μ_k) أكبر للسطح الناعم منه للسطح الخشن.

3.الحد الاقصى لقوى الاحتكاك الاستاتيكي يفوق قوى الاحتكاك الديناميكي.

ونتيجة لتراكم التجارب والدراسات والابحاث العملية في هذا المجال فقد أدخلت الاضافات والتعديلات الى قوانين الاحتكاك وهي كما يأتي:

1.بالنسبة للقوى العمودية الصغيرة جداً والقوى العمودية الكبيرة جداً والتي تؤدي الى تولد تشوهات كبيرة فإن معامل الاحتكاك الاستاتيكي يزداد نوعاً ما.

2.لايتأثر معامل الاحتكاك بالتغيرات العادية لدرجات الحركة.

3.في حالة السرعة النسبية البطيئة جداً وجد أن معامل الاحتكاك الديناميكي (μ_k) يزداد وظاهرياً يصبح مساوياً لمعامل الاحتكاك الاستاتيكي (μ_s).

4.في السرع العالية جداً يقل معامل الاحتكاك الحركي تشكل ملحوظ.

أن قوانين الاحتكاك المذكورة وضعت اعتماد على التجارب والبراهين العملية على الطبيعة، حيث بذلت جهود كبيرة للتوصل الى توضيح نظري دقيق للتغيرات التي تحصل في قوى الاحتكاك عندما تكون الحركة على وشك الحدوث، أو عندما تنشأ حركة نسبية ولكن لم تنجح أي من هذه الجهود. وفي الوقت الحاضر تعد القوانين التي ذكرت معتمدة وصحيحة حيث فرض أنها تتحقق في حدود دقة القياسات.

أن الطريق الوحيد لأفضل وسيلة لاختيار معامل الاحتكاك لأي وضع مطلوب هو القيام بالتجارب العملية مع معرفة كل الظروف المحيطة بالسطح بقدر الامكان من حيث المعادن، والضغوط، والعوامل الاخرى التي تنشأ في الآلة أو الماكينة أو أي تركيبه نحن بصددها.

يكون معامل الاحتكاك الاستاتيكي مساويا للصفر اذا كان السطحان المتلامسان املسين تماماً. وقد وجد أن معامل الاحتكاك بين جسمين من الصلب بحدود (0,78) للسطوح النظيفة، وبواسطة التجارب العملية التي أجراها كامبل أمكن الحصول على قيم لمعاملات الاحتكاك الاستاتيكي لسطوح التماس الجافة ولمعادن مختلفة مبينة في جدول أدنا حيث يمكن الاستفادة منها عند الحاجة.

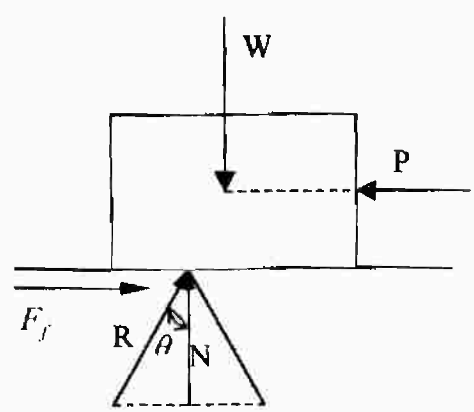
-جدول (1.5) القيم التقريبية لمعامل الاحتكاك الاستاتيكي (μ_s) للسطوح الجافة

القيم التقريبية لمعامل الاحتكاك	السطحين المتلامسين
0,25-0,50	خشب على خشب
0,40-0,70	فولاذ على فولاذ
0,15-0,60	معدن على معدن
0,20-0,60	خشب على معدن
0,30-0,70	معدن على حجر
0,30-0,60	معدن على جلد
0,60-0,90	مطاط على خرسانة
0,20-0,05	مطاط على ثلج
0,30-0,40	حديد صلب على حديد صلب

كما أشرنا سابقا أنه اذا كانت هناك حركة نسبية بين السطحين المتلامسين سمي معـــامل الاحتكاك بمعامل الاحتكاك الحركي أو الديناميكـــي (μ_k) (Dynamic coefficient of Friction) وقد وجد بالتجربة أن (μ_k) يقل عن مقدار الربع عن (μ_s) أي مساوياً تقريبـــاً ثلاثة أرباع عامل الاحتكاك الاستاتيكي (μ_s).

7.5 زاوية الاحتكاك (Angel of Friction)

الشكل (a.4.5) يوضح جسماً على وشك الحركة في أتجاه اليسار تحت تأثير القـــوة (P) المسلطة عليه، وفي هذه الحالة يكون الاحتكاك نهائياً وثابتاً، ومنه يكون الجسم واقعـــاً تحـــت تأثير ثلاث قوى هي:
وزنه (W)، والقوة المسلطة (P) ، ورد الفعل الذي يصنع مع الاتجاه العمودي علـــى ســـطح التلامس زاوية مقدارها ( ) وتعرف هذه الزاوية بزاوية الاحتكاك (Angel of Friction).



الشكل (4.5) توضيح زاوية الاحتكاك

نلاحظ من الشكل أن المركبة الافقية للمحصلة هي:

$$R_x = R\cos\theta = N \quad \text{.......................................} (6.6)$$

وأن المركبة الرأسية هي:

$$R_y = R\sin\theta = F_f \quad \text{.......................................} (7.6)$$

وأن أتجاهها هو

$$\tan\theta = \frac{R_y}{R_x} = \frac{F_f}{N} \quad \text{.......................................} (8.6)$$

عندما تصل قيمة الاحتكاك الى قيمتها العظمى أي $F_{f(mac)}$ فإن الزاوية تصل الى أقصى قيمة لها (ϕ_s) وهكذا فإن:-

$$\tan\phi_s = \mu_s \qquad (9.6)$$

وعند حدوث أنزلاق فإن الزاوية ستحمل القيمة (ϕ_k) المناسبة لقوة الاحتكاك الحركي وبهذا تكون:

$$\tan\phi_k = \mu_k \qquad (10.6)$$

وعند أختصار المعادلتين السابقتين نحصل على:

$$\tan\phi = \mu \qquad (11.6)$$

حيث أن (ϕ_s) تمثل زاوية الاحتكاك السكوني (الاستاتيكي) وتمثل (ϕ_k) زاوية الاحتكاك الحركي وأن الزاوية في الحالتين تمثل نهاية موقع رد الفعل (R) بين السطحين المتلامسين.

وعندما تكون الحركة على وشك الحدوث فإن (R) يجب أن تكون مولداً لمخروط دائري قائم زاوية راسه تساوي ($2\phi_s$) كما هو مبين في الشكل (b.4.5) ويسمى هذا المخروط بمخروط الاحتكاك السكوني (الاستاتيكي)، وعندما لاتكون السطوح في حالة شروع بالانزلاق فإن المحصلة (R) ستقع داخل المخروط.

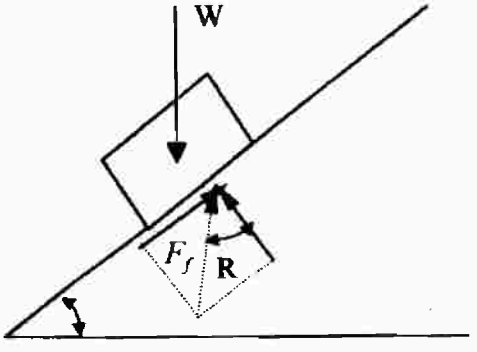
أن مخروط الاحتكاك السكوني(الاستاتيكي) يمثل المحل الهندسي لكافة المواقع المحتملة لرد الفعل (R) في حالة البدء بالانزلاق حيث أن القوة (P) في الشكل (a.4.5) قد تدور في مستوى أفقي دورة كاملة، وبذا يتغير موقع المحصلة (R) بشكل دوراني على سطح المخروط يدعى بمخروط الاحتكاك الحركي.

ويمكن الحصول على زاوية الاحتكاك عن طريق أجراء تجربة بسيطة وذلك بوضع جسم وزنه (W) على سطح مستو مائل خشن يمكن تغير زاوية ميله ( ) بالتدريج حيث نبداء من الصفر الى قيمة التي يكون فيها هذا الجسم على وشك الانزلاق الى الاسفل.

أن الشكل (5.5) يوضح تلك التجربة وللحصول على التوازن يجب أن يكون وزن الجسم (W) مساوياً لرد الفعل (R). ومن الشكل واضح أن زاوية الميلان ( ) عندما يكون الجسم على وشك الانزلاق أسفل السطح المستوي مساوية لزاوية الاحتكاك (ϕ) والتي يمكن ايجادها من معادلات التوازن

$$N = W\cos\theta \quad , \quad F = F_f = W\sin\theta$$

$$\tan\theta = \frac{F_f}{N} = \mu \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(12.6)$$



الشكل (5.5)

8.5 المسائل المتعلقة بتأثير قوى الاحتكاك.

هناك ثلاثة أنواع مميزة من المسائل المضمنة لقوى الاحتكاك.

1. النوع الاول وهو المسألة الذي يتوفر فيها شرط الحركة الوشيكة، وهنا يكون الجسم المستزن على وشك الانزلاق وتكون قوة الاحتكاك مساوية للحد الاقصى و $F_{s(\max)} = \mu_s N$ ويمكن في هذه الحالة تطبيق معادلات الاتزان.

2. النوع الثاني والذي لاتشترط فيه الحركة الوشيكة وعندها من المحتمل أن تكون قوة الاحتكاك أقل من القيمة ($F = \mu N$) وعندها لايمكن معرفة قوة الاحتكاك الامن خلال معادلات الاتزان. وفي مثل هذه المسائل يكون عادة المطلوب هو: هل قوة الاحتكاك كافية للمحافظة على جسم ما في حالة أتزان أم لا. ومن أجل حل مثل هذه المسألة فإننا نفرض مبدئياً حدوث حالة الاتزان وبواسطة معادلات الاتزان نجد قيمة قوة الاحتكاك (F_f) التي

تحقق مثل هذا الشرط وبعد ذلك نقوم بمقارنة هذه القيمة بقيمة الاحتكاك العظمى ($F_{f(\max)}$) المحسوبة من المعادلة التالية:

$$F_s = \mu_s . N \quad \dots\dots\dots (13.6)$$

فاذا كانت قيمة (F_f) أقل من القيمة العظمى فإننا نقول أن الجسم سيكون في حالة الاستقرار أي أن:-

$$F_f < F_{s(\max)}$$

أذاً هناك أتزان لهذا الجسم. أما أذا كانت قيمة القوة (F_f) أكبر من القيمة العظمى أي أن

$$F_f < F_{s(\max)}$$

فذلك يعني أن السطوح المعينة بالمسألة لا يمكن أن تعطي ذلك القدر من قوة الاحتكاك اذا الجسم يبدأ بالحركة ويكون عند ذلك الاحتكاك ديناميكياً.

3.في النوع الثالث تكون الحركة معطاة ضمن المسألة أي أن هناك حركة نسبية بين السطوح المتلامسة وعندها قوة الاحتكاك أيجادها كما يلي:

$$F_k = \mu_k . N \quad \dots\dots\dots (14.6)$$

9.5 تطبيقات عامه

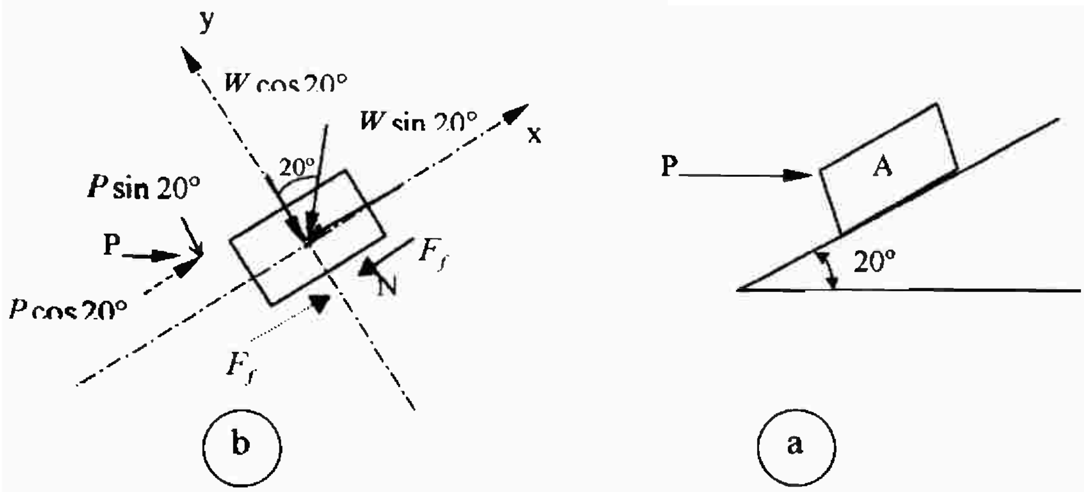
مثال (1.5)

أوجد قيمة واتجاه قوة الاحتكاك المؤثرة على ا لجسم (A) الذي وزنه (200kg) كما في الشكل (a.6.5)

1.عندما تكون قيمة P=800N.

2.عندما تكون قيمة P=200N.

علماً بأن معامل الاحتكاك الاستاتيكي 0,2 ومعامل الاحتكاك الديناميكي 0,17.



الشكل(6.5)

الحل:

كخطوة أولى نقوم برسم مخطط الجسم الحر (F.B.D) كما هو موضح على الشكل (b.6.5) كما نلاحظ ليس هناك في معطيات السؤال مايشير الى أن الجسم (A) سيبقى ساكنا أو هو في حالة أتزان، ولهذا سوف نفترض أحتمال حدوث الحركة الى أسفل السطح المائل وبذا تكون قوة الاحتكاك بعكس الاتجاه كما هو موضح في مخطط الجسم الحر.

الوزن W يساوي

$$W = 200(9.81) = 1962\ N$$

الحالة الاولى: عندما P=800N:

$$\sum F_x \; \overset{+}{\nearrow} = 0 ;$$

$$P\cos 20° + F_f - 1962\sin 20° = 0 \quad \text{.......} \quad (1)$$

وبالتعويض عن قيمة (P=800) في المعادلة نجد:-

$$F_f = 1962\sin 20° - 800\cos 20° = 80{,}7\,N \leftarrow$$

أن الاشارة السابة لقيمة قوة الاحتكاك تعني أنها تؤثر بالاتجاه المعاكس وكما هو مؤشر بعكس السهم المنقط، وهذا يعني كذلك أن الجسم (A) في حالة شروع بالحركة الى أعلى السطح المائل عكس المفروض.

الآن نقوم بحساب القيمة العظمى لقوة الاحتكاك وذلك باستخدام العلاقة (13.6) حيث:

$$F_{s(mac)} = \mu_s N$$

لذلك يجب أولاً ايجاد رد الفعل العمودي (N) وذلك من خلال الشرط الثاني للاتزان:-

$$\sum F_y \nwarrow^{+} = 0;$$

$$N - P\sin 20 - 1962\cos 20 = 0$$

وبالتعويض عن قيمة (P=800N)

$$N - 800\sin 20^\circ - 1962\cos 20^\circ = 0$$

$$N = 2117N$$

وعليه فإن:

$$F_{S(\max)} = \mu_s . N = 0{,}2.2117 = 423N$$

وهكذا وجدنا أن أعلى قيمة لقوة الاحتكاك أعلى من القيمة الفعليه وعليه يكون الجسم ساكناً.

$$F_{s(\max)} = \mu_s . N = 0{,}2.2117 = 423N$$

وهكذا وجدنا أن أعلى قيمة لقوة الاحتكاك أعلى من القيمة الفعلية وعليه يكون الجسم ساكناً.

الحالة الثانية: عندما تكون قيمة القوة P=200N عند التعويض في معادلتي الاتزان نجد أن:-

$$F = 1962\sin 20 - 200\cos 20 = 483N$$

$$N = 200\sin 20 + 1962\cos 20 = 1912N$$

$$F_{s(\max)} = \mu_s . N = 0{,}2 \times 1912 = 382N$$

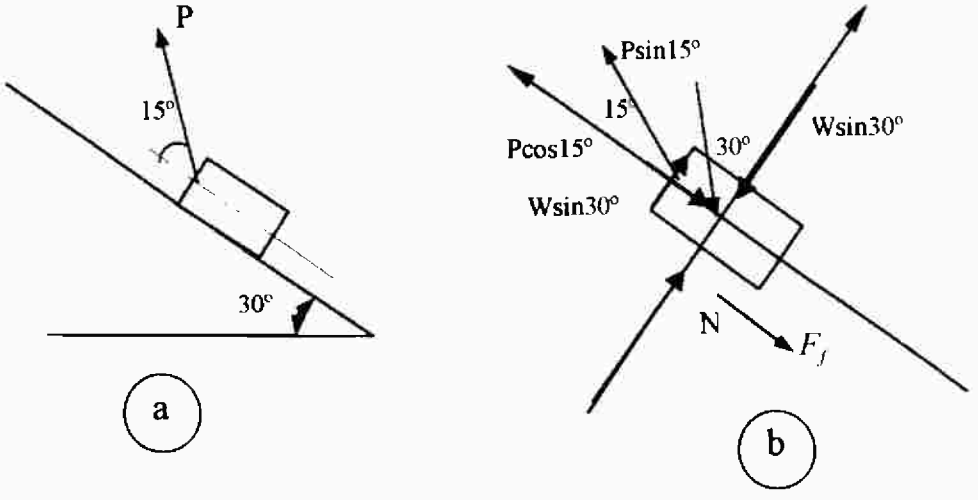
وفي هذه الحالة نرى أن قوة الاحتكاك المسحوبة من المعادلة الاولى اعلى من القيمة العظمى الممكنة للأحتكاك وعليه فإن الجسم سينزلق أسفل السطح المائل وبذا يتوجب علينا استخدام معامل الاحتكاك الحركي أي أن قيمة الاحتكاك ستكون:-

$$F_f = 0{,}17 \times 1912 = 325N$$

ويكون أتجاهها بعكس أتجاه الحركة أي أعلى السطح المائل.

مثال (2.5)

أوجد قيمة القوة (P) التي تجعل الصندوق الذي كتلته 10kg يبدأ بالحركة الى أعلى. أذا علمت أن معامل الاحتكاك بين الصندوق والسطح المائل $\mu_s = 0,25$. كما هو موضح في الشكل (a.7.5).



الشكل (7.5)

الحل:-

الخطوة الاولى: رسم مخطط الجسم الحر الموضح عليه جميع القوى المؤثرة على الجسم كما في الشكل (b.7.5)

$$W = m.g = 10.9,81 = 98,1N$$

نقوم بوضع شروط الاتزان حيث:-

$$\sum F_x \nwarrow + = 0 ;$$

$$P\cos 15° - 98,1\sin 30° - F_f = 0 \quad \text{(1)}$$

$$P\cos 15° - 9,81\sin 30° = F_f$$

$$\sum F_y + \nearrow = 0 ;$$

$$P\sin 15° - 98,1\cos 30° + N = 0$$

$$N = 98,1\cos 30° - P\sin 15° = 0 \quad \text{(2)}$$

وحيث أن:

$$F_f - M_s.N$$

من المعادلة رقم (1) والمعادلة رقم (2) نجد قيمة القوة P التي تجعل الصندوق على وشك الحركة الى أعلى:

$$P\cos 15° - 9{,}81\sin 30° = 0{,}25(98{,}1\cos 30° - P\sin 15°)$$

ومنه:

$$P = \frac{0{,}25(98{,}1\cos 30° - P\sin 15°) + 9{,}81\sin 30°}{\cos 15°}$$

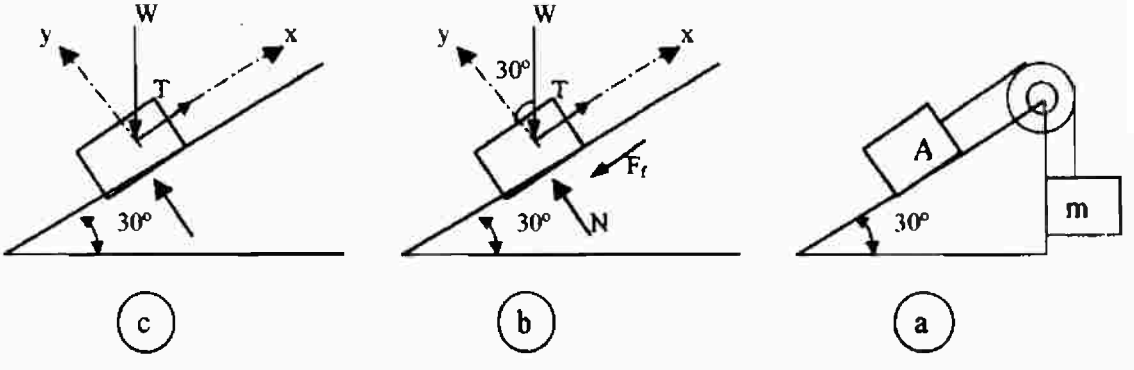
$$P = 68{,}2N$$

مثال (3.5)

أوجد حدود القيم التي يمكن أن تكون عليها الكتله (m) والتي تؤثر على الجسم (A) الذي يزن 100kg كما هو موضح في الشكل (a.8.5) بحيث تمنع حركته سواء الى أعلى أو أنزلاقه الى أسفل السطح المائل. أذا علمت أن معامل الاحتكاك بين السطوح المتلامسة 0,3.

الحـــل:-

واضح أن القيمة العظمى للكتلة m تكون عندما يكون الجسم A على وشك الحركة أعلى المستوى المائل ويكون أتجاه قوة الاحتكاك أسفل السطح المائل كما هو موضح على الشكل (b.8.5)



الشكل (8.5)

$$W = m.g = 100(9{,}81) = 981N$$

نقوم الآن بوضع شروط الاتزان:

$$\sum F_x + \nearrow = 0;$$
$$m(98,1) - E - 981\sin 30° = 0 \quad \text{.....} (1)$$

$$\sum F_y \nwarrow + = 0;$$
$$N - 981\cos 30° = 0 \quad \text{.....} (2)$$

ومنه:

$$N = 850N$$

أما قيمة (F_f) العظمى فيمكن الحصول عليها كما يلي:-

$$F_{f(max)} = \mu_s . N$$
$$= 0,3(850) = 255N$$

وبالتعويض عن قيمة (F_f) في المعادلة رقم (1) نستطيع الحصول على قيمة الكتلة العظمى(m):

$$m(9,81) - 255 - 981\sin 30 = 0$$
$$m = 76kg$$

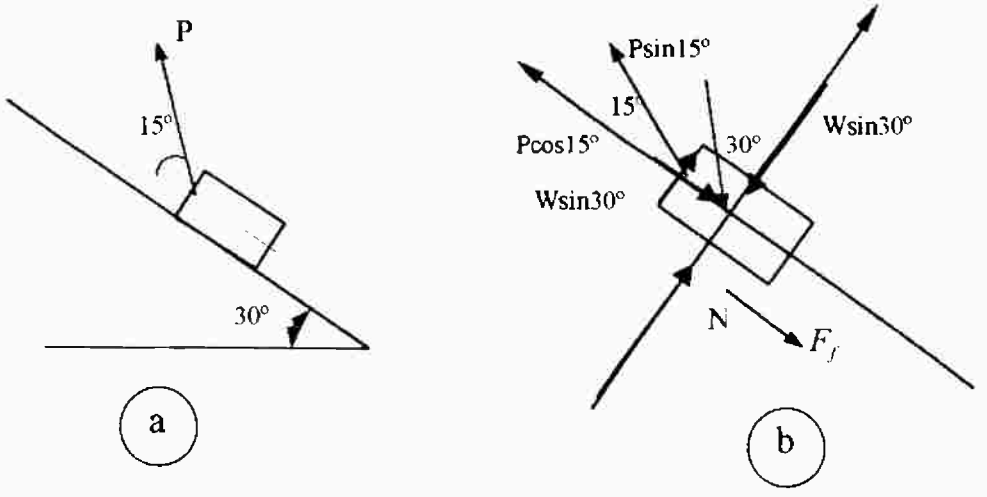
أما القيمة الدنيا للكتلة (m) فتكون عندما يكون الجسم (A) على وشك الحركة الى أسفل السطح المائل ويكون اتجاه قوة الاحتكاك بنفس أتجاه قوة الشد (T) أي على السطح المائل كما هو موضح في الشكل لمخطط الجسم الحر (c.8.5) –الحالة الثانية-

$$\sum F_x + \nearrow = 0;$$
$$m(98,1 + 255 - 981\sin 30°) = 0$$
$$m = 76kg$$

وعليه فإن قيمة (m) تتراوح بين (24 و 76) كيلو غرام ويبقى الجسم (A) ساكنا وفي كلتا الحالتين نجد أن الاتزان يشترط أن تكون المحصلة من N ، F_f متلاقية مع وزن الجسم وكذلك قوة الشد T.

مثال (4.5)

أوجد معامل قوى الاحتكاك الذي يجعل الصندوق يبدأ بالشروع بالحركة الى أعلى كما هو مبين في الشكل (a.9.5). أذا علمت أن كتلة الصندوق 100 kg. وأن قيمة القوة P=1000N.



الشكل (9.5)

الحـــل:-

نقوم برسم مخطط الجسم الحر كما هو موضح على الشكل (b.9.5). وبعد ذلك نضع شروط الاتزان.

$$\overrightarrow{W} = m.\overrightarrow{g} = 100 \times 9{,}81 = 981N$$

$$\sum F_x \nwarrow + = 0\ ;$$
$$1000\cos 15° - 981\sin 30° - F_f = 0$$
$$F_f = 475.42\,N;$$

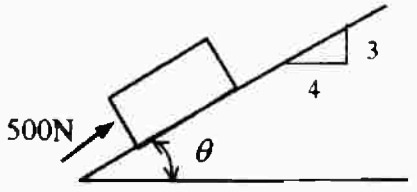
$$\sum F_y + \nearrow = 0\ ;$$
$$N - 981\cos 30° + 1000\sin 15°$$
$$N = 590{,}75\,N$$

يمكن ايجاد معامل الاحتكاك الذي يجعل الصندوق يبدأ بالشروع بالحركة الى أعلى كما يلي:-

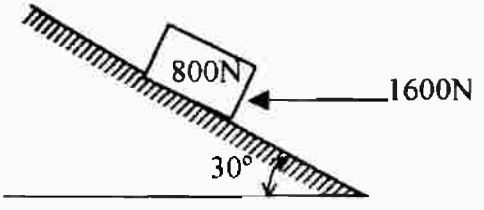
$$\mu_s = \frac{F}{N} = \frac{475{,}42}{590{,}75} = 0{,}804$$

تمارين (5)

س1:- في الشكل (10.5) هل الصندوق في حالة أتزان أذا علمت أن كتلتـــه 150 kg وأن معامل الاحتكاك في السكون 0,25 أحسب قيمة قوة الاحتكاك.

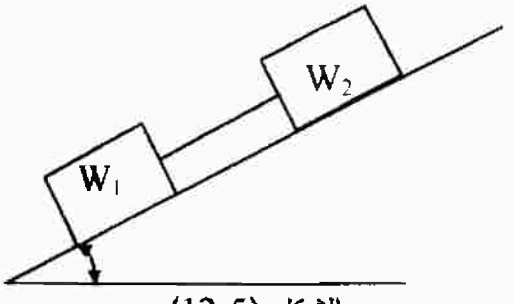


س2:- جسم وزنه 800(N) موضوع على مستوى يميل عن المستوى الافقي بزاوية مقدارهـا 30° كما هو مبين في الشكل (11.5) ويكون الجسم على وشك الحركة الـــى الاعلـــى تحت تأثير قوة أفقية مقدارها 1600(N). المطلوب أيجاد معامل الاحتكاك بين ســطوح التلامس.



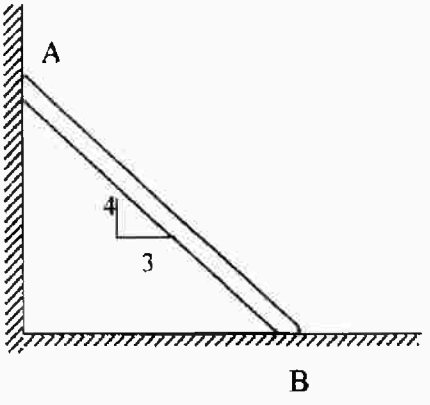
الشكل (11.5)

س3:- في الشكل (12.5) وزن الصندوق الاول $W_1 = 50N$ وزن الصنـــدوق الثـــاني $W_2 = 30N$ وهما مربوطان معاً بحبل مواز للمستوى المائل بزاوية عن المســـــتوى الافقي. أذا علمت أن معامل الاحتكاك بين الصندوق الاول والمستوى يســـاوي 0,25، وأن معامل الاحتكاك بين الصندوق الثاني والمستوى يساوي 0,5 أحسب قيمة الزاويـــة التي يحدث عندها الانزلاق وقيمة الشد في الحبل عندئذٍ.



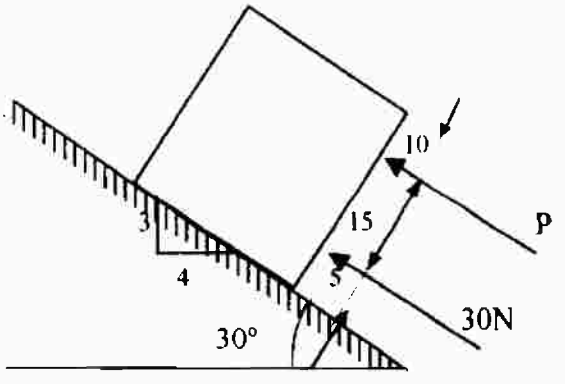
الشكل (12.5)

س4:- أوجد القوى المؤثرة على العمود المتجانس AB كما هو موضح في الشـــكل (13.5) علماً بإن طوله 10m وأن وزنه 400N. الحائط العمودي أملس في حين تكون زاويـــة الاحتكاك بين العمود والمستوى الافقي في الزاوية 20°.



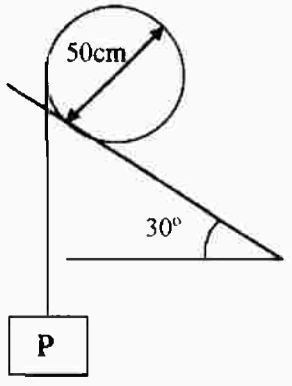
الشكل (13.5)

س5:- أوجد مدى قيم القوة P والذي تظل فيه الكتلة المبينة في الشكل (14.5) في حالة أتزان علماً بإن معامل الاحتكاك بين الكتلة والمستوى هو 0,25 وأن الكتلة تزن 500N.



الشكل (14.5)

س6:- أسطوانة وزنها 1000N في حالة سكون بواسطة الثقل P المعلق من يلتف حولها كما في الشكل (15.5) أذا كانت الاسطوانة على وشك الانزلاق الى أسفل السطح المائل. أوجد كل من قيمة P ومعامل الاحتكاك.



الشكل (15.5)

س7:- في الشكل (16.5) يمر الحبل المرن الذي يحمل ثقلاً مقداره (1kN) فوق عارضة اسطوانية ثابتة وتؤثر على النهاية الأخرى قوة مقدارها (P) لحفظ التوازن فأذا علمت أن معامل الاحتكاك بين الحبل و العارضة هو 0,32.

1. أوجد القيم العظمى والصغرى للقوة (P) أذا كانت الزاوية $\alpha = 0$، بحيث تمنع الثقل (1kN) من الصعود أو الهبوط.
2. أذا كانت قيمة P تساوي 500N فما القيمة الصغرى للزاوية (α) قبل أن يحصل أنزلاق الحبل على العارضة.