## [ ٣ ] الدرس الثالث :

# مركز الثقل والإتزان

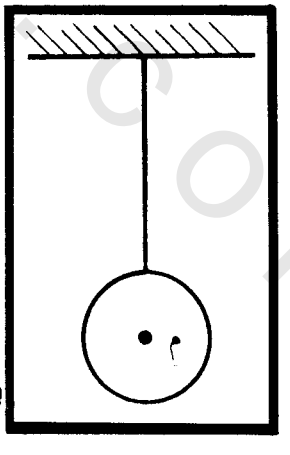
# Center of gravity and stability

## [ ٣ ـ ١ ] عام :

يمكن تعريف مركز ثقل الجسم بأنه النقطة الوحيدة التى يمكن إعتبار أن الوزن وشد الجاذبية يؤثر عندها ؛.

أو بمعنى آخر ، فإنه من المفضل استبدال الجسم كله أياً كان حجمه أو وزنه بجسم صغير جداً (حجماً) فى حجم النقطة ، ووزن هذا الجسم الصغير جداً هو نفس وزن الجسم الأصلى .

**مثال** : إذا علقنا كرة منتظمة (مفرغة أو مصمتة) فى خيط من أى نقطة على سطحها ، فإن النقطة المركزية (الجسم الصغير جداً وفى حجم النقطة) للكرة ، توجد ودائماً على امتداد خيط التعليق ، انظر شكل (٣ ـ ١) .




**شكل [ ٣ ـ ١ ]**
**يقع مركز ثقل الكرة م تحت نقطة التعليق مباشرة**

ويمكننا هنا أن نعتبر أن وزن الكرة كله يؤثر عليها عند النقطة م أو عند مركز الكرة . وتسمى هذه النقطة بمركز ثقل الكرة .

وعند تعليق جسم بخيط أو حبل واحد ، وعندما يتزن تماماً ، فإن مركز ثقله يقع تحت نقطة التعليق وعلى نفس إمتداد خط الخيط أو الحبل .

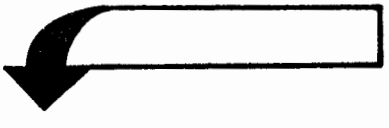
***وخلاصة القول*** : فإن مركز ثقل جسم ما ، هو النقطة التى يمكن اعتبار أن وزن كل الجسم يؤثر عليها .

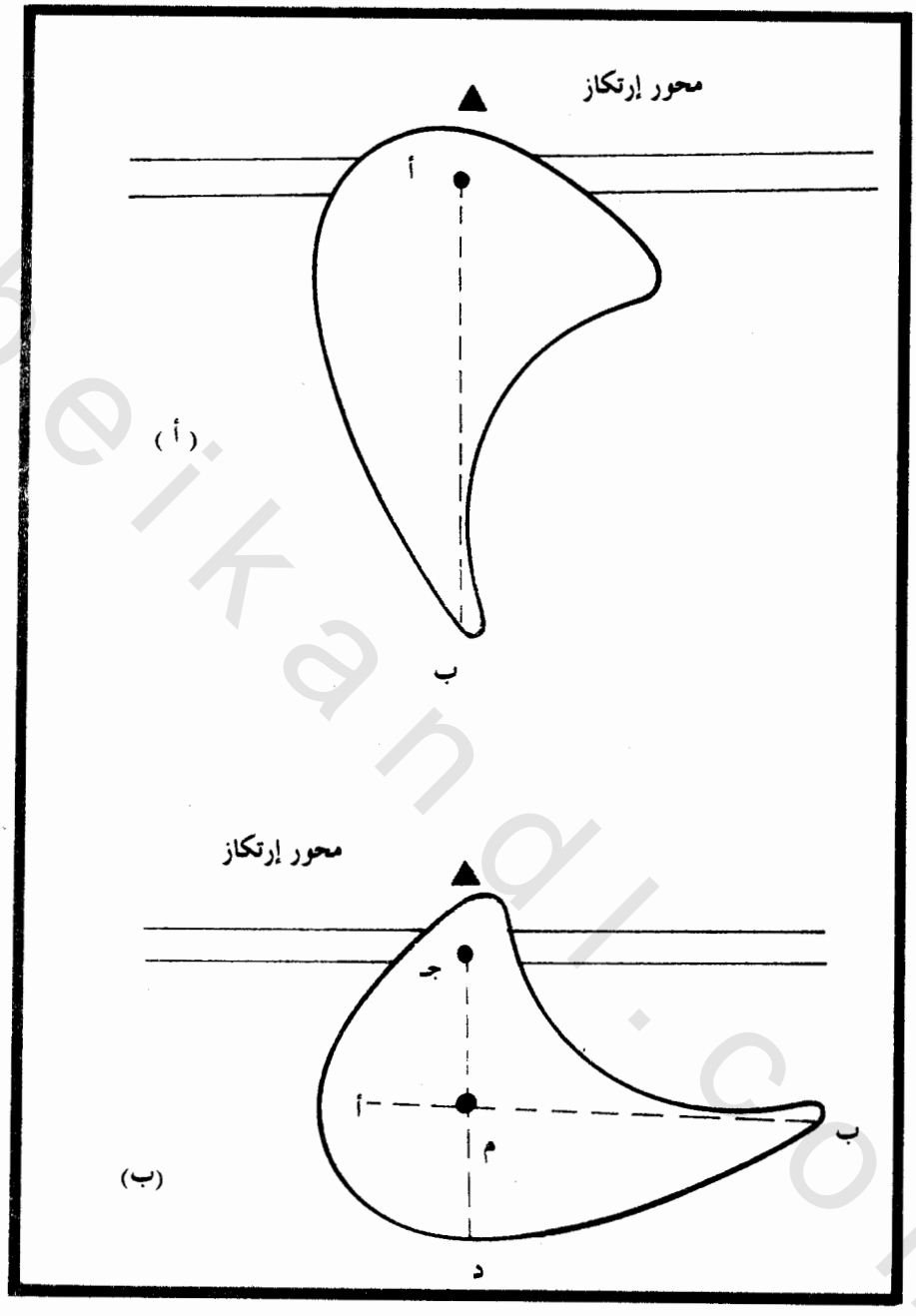
ومن السهل أن نوجد مركز ثقل بعض الأجسام ذات الشكل الهندسى المنتظم لوجود نقطة مركزية سهل التعرف عليها فمثلاً الكرة ، مركز ثقلها هو مركزها ومركز ثقل صفيحة رقيقة مربعة هو نقطة تلاق قطرى المربع ونفس الحال بالنسبة للمستطيل وللمكعب .

إلا أن الأمر يختلف فى حالة الأجسام الغير متماثلة هندسياً مثل بعض أجزاء المحركات والماكينات وغيرها الكثير فيما حولنا .

ومن شكل (٣ ـ ١) ، علمنا أن مركز ثقل الجسم ، يكون على امتداد خيط التعليق وتحت نقطة التعليق مباشرة . ومن هنا يمكننا بسهولة إيجاد مركز ثقل الجسم الجاسىء الغير منتظم هندسياً ،

***مثـــال*** : لإيجاد مركز ثقل جسم مسطح رقيق (صفيحة مثلاً) غير منتظم هندسياً كالمبين فى شكل (٣ ـ ٢) ،






شكل [ (٣ ـ ٢) ، (أ ، بـ) ]



obeikandl.com

فعند وضع هذا الجسم على محور إرتكاز عند « أ » فإن مركز ثقل هذا الجسم سيكون تحت نقطة التعليق مباشرة وفى مكان ما على الخط « أ ب » كما فى (٣ ـ ٢ ـ أ) فإذا ما علقنا الجسم من نقطة أخرى « جـ » فإنه يأخذ الوضع الجديد المبين فى (٣ ـ ٢ ـ ب) ، وهنا فإن مركز الثقل لابد أن يقع فى مكان ما على الخط « جـ د » .

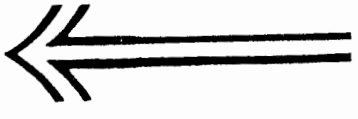
وحيث أن مركز الثقل يقع على الخط « أ ب » وعلى الخط « جـ د » فى نفس الوقت ولكى يتحقق هذا فإنه لابد وأن يقع عند تقاطع الخطين [ أ ب ، جـ د ] وبالتحديد عند نقطة « م » .

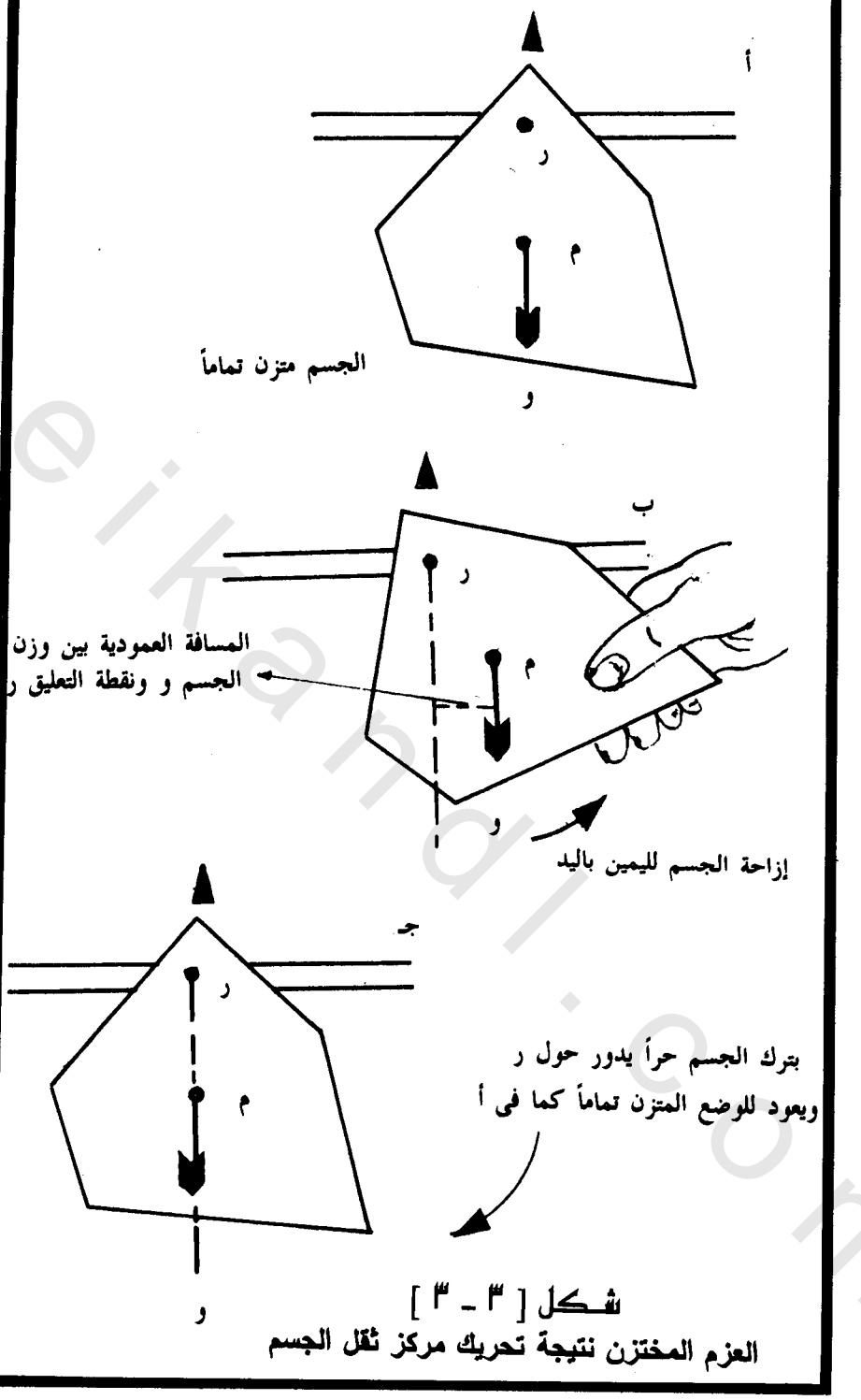
فإذا ما قمنا بتعليق الجسم من أى نقطة جديدة أخرى غير « جـ » ، فإن نقطة « م » ستقع تحت نقطة التعليق مباشرة ، كذلك .

## [ ٣ ـ ٢ ] تأرجح الجسم :

إذا علقنا جسماً ما وتركناه حر الحركة فإنه سوف يتأرجح ولأسفل إلى أن يقع مركز ثقله مباشرة أسفل نقطة التعليق ، وهذا ما لا بد أن يحدث لأنه لو تم إزاحة مركز ثقل الجسم إزاحة جانبية (بعد تعليقه) فإنه سوف يتولد لدينا عزم ، يبقى مختزن وهو عبارة عن وزن الجسم مضروباً فى المسافة العمودية بينه وبين نقطة التعليق وهذا العزم يتسبب فى إعطاء حركة دورانية للجسم حول نقطة التعليق ويتأرجح إلى أن يستقر فى وضعه المتزن مرة ثانية .

وشكل (٣ ـ ٣) يوضح كيفية حدوث هذا .






شكل [ ٣ ـ ٣ ]

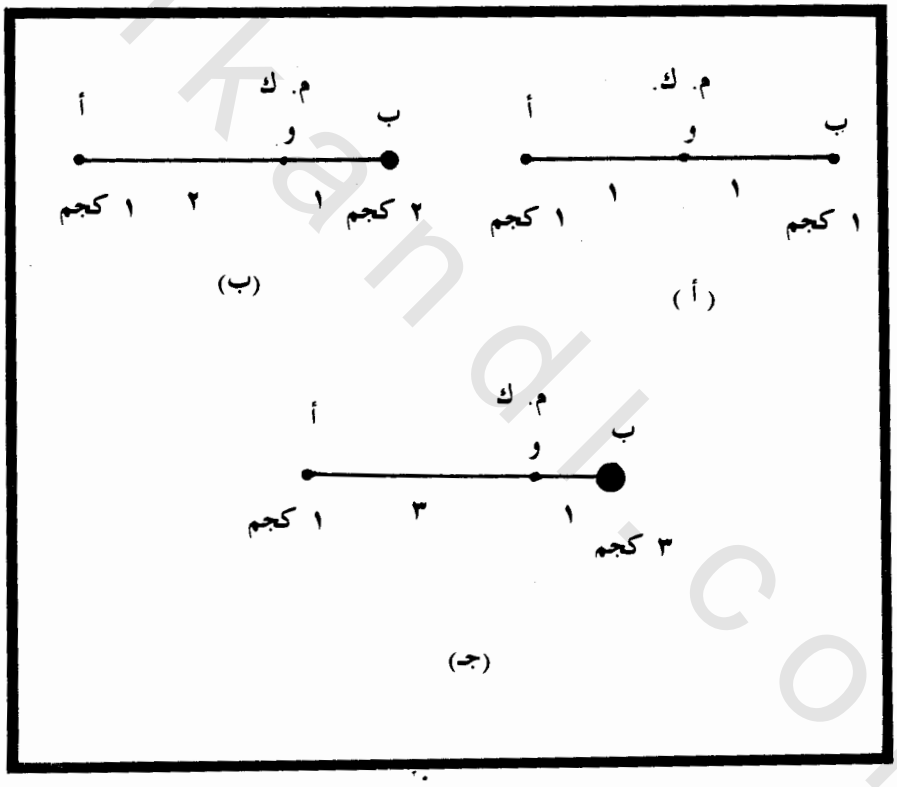
العزم المختزن نتيجة تحريك مركز ثقل الجسم

obeikandl.com

وعند حساب القوى المؤثرة على جسم ما فإن وزن الجسم من أهم القوى التى يجب أخذها فى الاعتبار ويكون خط تأثير قوة (وزن) الجسم ، ودائماً ، يمر بمركز ثقل الجسم ورأسياً إلى أسفل ومن هنا يتضح أهمية تحديد مركز ثقل أى جسم عند دراسة القوى المؤثرة عليها أو عند دراسة إتزانه .

## [ ٣ ـ ٣ ] مركز الكتلة *Center of mass – [C.m.]* :

إذا كان لدينا كرتان صغيرتان « أ ، ب » وزن كل منهما ١ كجم ومتصلتان مع بعضهما بقضيب مهمل الوزن كما فى شكل (٣ ـ٤) أ ، فإن مركز كتلة كل من « أ ، ب » .




**شكل [ ٣ ـ ٤ ] ( أ ) ، (بـ) ، (جـ)**
**مركز الكتلة (م. ك) Center of mass c.m.**

يكون عند النقطة « و » التى تقع فى منتصف المسافة « أ ب » فعند الرغبة فى تحريك المجموعة فإنه يمكننا اعتبار أن كتلتهما الكلية ، ٢ كجم ومُركزة عند نقطة « و » وذلك لسهولة الحسابات .

فإذا قمنا بتغيير الكتلة التى عند « ب » إلى كتلة أخرى وزنها ٢ كجم، فإن مركز الكتلة « و » سيكون هنا أقرب إلى « ب » منه إلى « أ » ، كما فى شكل (٣ ـ ٤ ـ ب) ومن المنطقى أن تكون النسبة : و ب : و أ = ٢ : ١

وعلى ذلك فإنه يمكننا تغيير الكتلتين بكتلة مقدارها ٣ كجم تؤثر عند « و » .

وبنفس الطريقة ، إذا قمنا بتغيير الكتلة التى عند « ب » لتصبح ٣ كجم ، فإن مركز الكتلة « و » سيكون أقرب إلى « ب » عما قبل وتصبح النسبة و ب : و أ = ١ : ٣ كما فى شكل (٣ ـ ٤ ـ جـ) .

وعموماً فإنه كلما زادت كتلة « ب » عن كتلة « أ » كلما اقترب مركز الكتلة من « ب » .

## [٣ ـ ٤] مركز الثقل : *Center, of Gravity (C.G.) :*

إذا قمنا بوضع القضيب « أ ب » الذى يصل بين الكتلتين (١) كجم عند « أ » ، (٢) كجم عند « ب » على مرتكز عديم الاحتكاك عند « و » كما فى شكل [ ٣ ـ ٥ ] .

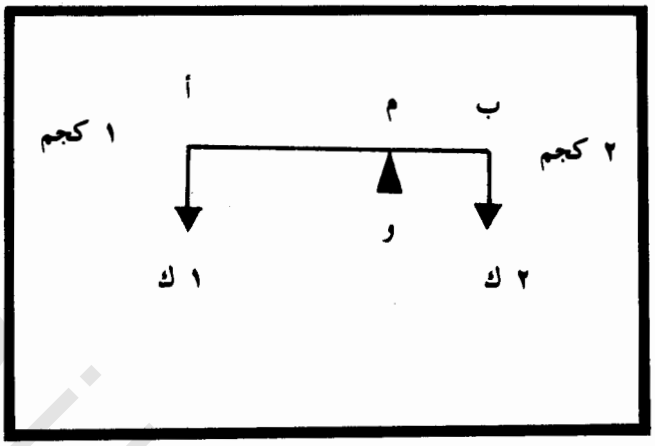
فإن عزم القوة ٢ ك للكتلة ٢ كجم حول « و » يكون متوازن تماماً مع عزم القوة ١ ك لكتلة ١ كجم حول « و » .

وبذلك يتزن القضيب أفقياً تماماً ، ويطلق على النقطة « و » بمركز ثقل الوزنين عند أ ، ب .

وبذلك فإن مركز الثقل هو النقطة التى يؤثر عندها الوزن المحصل للكتلتين .



obeikandl.com




**شكل [ ٣ ـ ٨ ]**

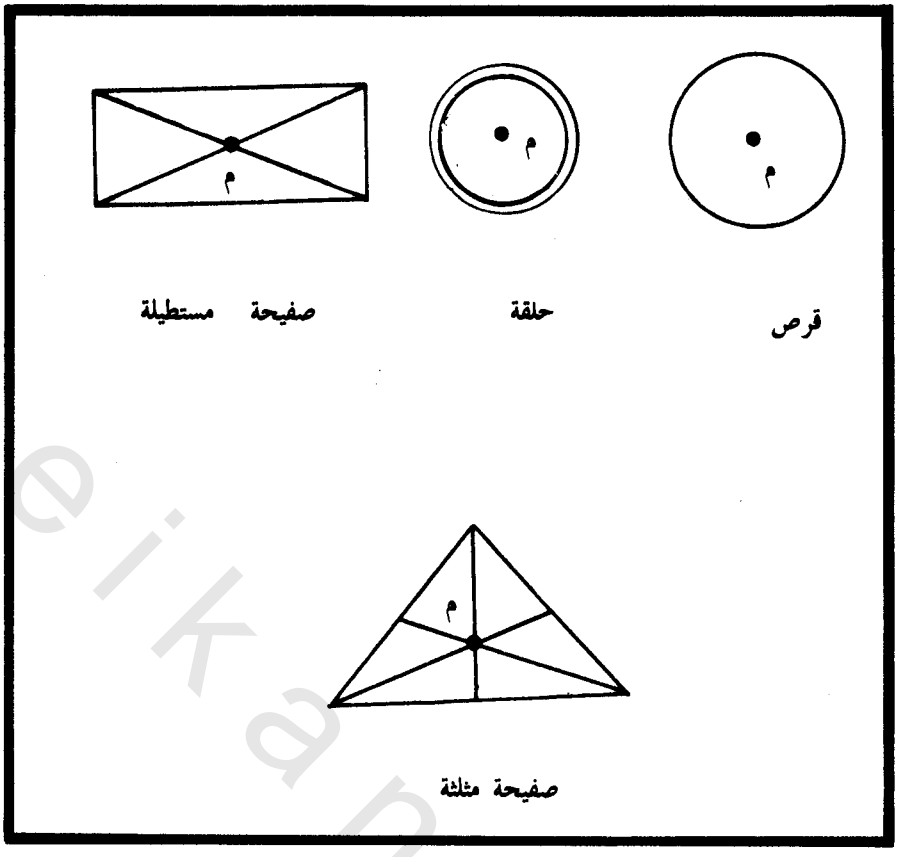
**مركز الثقل م Center of gravity C.G.**

وإذا رجعنا إلى شكل (٣ ـ ٤) فإن مركز الثقل م ينطبق تماماً على مركز الكتلة م . ك . عند « و » وهذا لا يحدث دائماً . فمثلاً إذا كانت المسافة التى تفصل بين الكتلتين كبيرة جداً فإن قوة جذب الأرض ستختلف على الكتلة الموضوعة فى أ عنها فى ب ،

إلا أننا سنعتبر هنا أن مركز الكتلة هو مركز الثقل للجسم .

## [ ٣ ـ ٥ ] مركز ثقل بعض الأجسام الهندسية المنتظمة :

يوضح شكل (٣ ـ٦) مركز ثقل (وكتلة) بعض الأشكال الهندسية المنتظمة .




شكل [ ٣ ـ ٦ ]
**مركز ثقل بعض الأجسام الهندسية المنتظمة**

## [ ٣ ـ ٦ ] العلاقة بين ارتفاع مركز الثقل والاتزان :

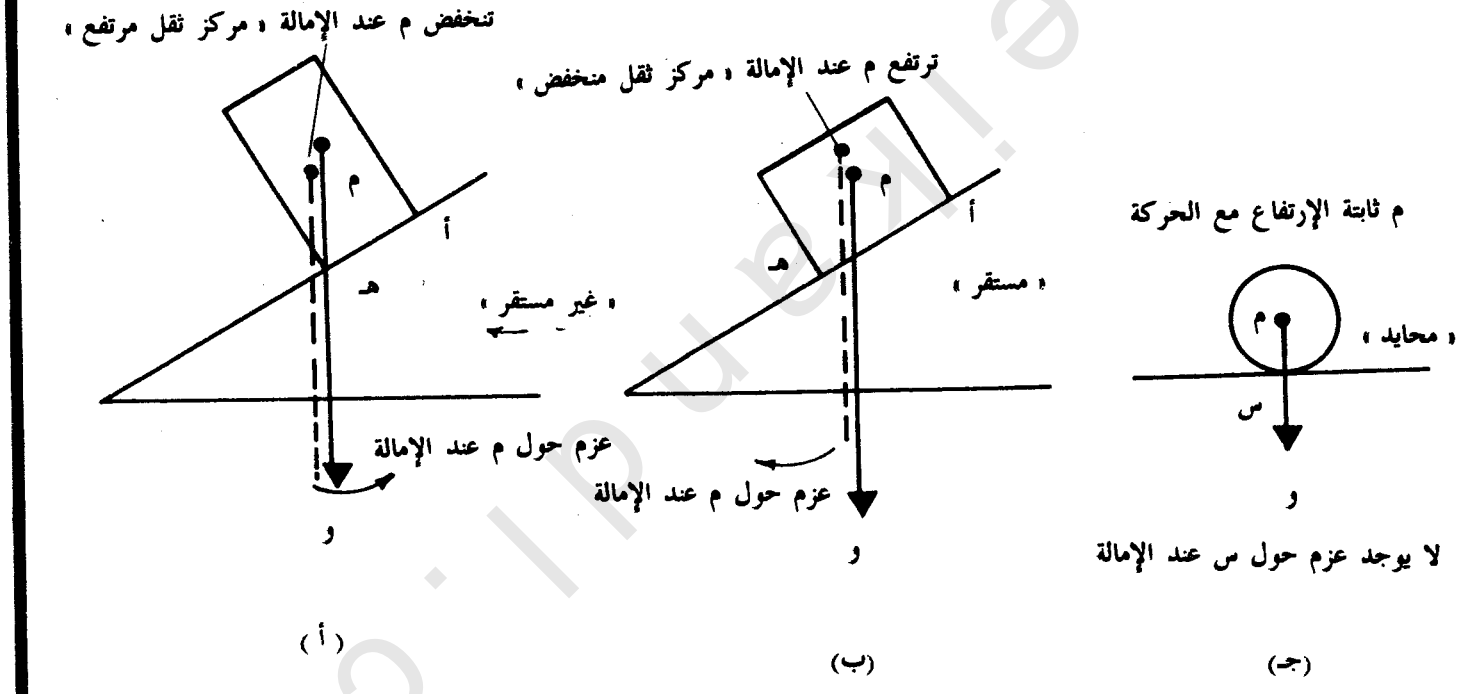
يتوقف اتزان جسم ما على موقع مركز ثقله والعزم الذى يبديه وزن الجسم حول محور الدوران .

ولنفترض كمثال ، اسطوانة مصمته ثقيلة لها مركز ثقل مرتفع (م) ، موضوعة على مستوى مائل ،

يلاحظ من الشكل (٣ ـ ٧) ـ أ أن الخط الرأسى المار بنقطة م يمر بالحافة هـ للقاعدة أ هـ ، انظر شكل (٣ ـ ٧) .



obeikandl.com




**شكل [ ٣ ـ ٧ ] ( أ ) ، (بـ) ، (جـ)**
**التوازن المستقر وغير المستقر والمحايد**

فإذا ما أميلت الاسطوانة قليلاً لليسار فإن مركز الثقل يتحرك لنقطة أخرى وينشأ من وزن الجسم عزم حول هـ فى اتجاه عكس عقارب الساعة وهذا يؤدى إلى انقلاب الاسطوانة حول هـ ، ويطلق عليها فى هذا الوضع بأنها فى وضع إتزان غير مستقر Unstable equilibrium .

والآن لنعتبر أن لدينا إسطوانة أخرى لها نفس كتلة الأسطوانة السابقة ولكن مركز ثقلها منخفض عن الأولى . شكل (٣ ــ ٧) ــ ب .

ففى هذه الحالة نجد أن الخط الرأسى عبر نقطة م يقطع القاعدة أ هـ وعلى يمين النقطة هـ (أقرب إلى أ) .

فإذا ما أميلت الأسطوانة قليلاً إلى اليسار حول هـ ، ثم تركناها فإن قوة الوزن و تُظهر عزماً فى اتجاه عقرب الساعة حول هـ مما يؤدى إلى عودة الاسطوانة إلى وضعها الأصلى ويطلق على الاسطوانة فى هذه الحالة بأنها فى وضع اتزان مستقر stable equilibrium .

والآن ، إذا قمنا بوضع الأسطوانة على جانبها كما فى شكل (٣ ــ ٧) ــ جـ وعلى سطح أفقى ، فإن الوزن والمؤثر فى نقطة م ، لن يكون له عزم حول محور تماس الأسطوانة مع السطح الأفقى ويحدث هذا كذلك ، لو قمنا بدحرجة الأسطوانة إلى وضع جديد .

ويطلق على الاسطوانة حينئذ بأنها فى وضع اتزان محايد neutral equilibrium مما سبق فإننا نلاحظ أن الأجسام ذات مركز الثقل المرتفع تكون عادة غير متزنة أو أقرب إلى عدم الإتزان ولهذا السبب فإنه يتم صنع سيارات السباق بحيث تكون منخفضة لصعوبة إنقلابها عند المنحنيات مع السرعات العالية التى تسير بها .

ويساعد اتساع القاعدة على الاتزان ولهذا نجد أن هذه السيارات عريضة عن غيرها من السيارات العادية حيث يقع الخط الرأسى المار بمركز ثقل السيارة فيما بين العجلتين ويعمل العزم الناشىء عن وزن السيارة ، حول نقطة

الإنقلاب على منع حدوثه ولذات السبب فإنه لا يسمح بوقوف ركاب الأتوبيسات ذات الطابقين فى الطابق العلوى ، وذلك للحيلولة دون ارتفاع مركز الثقل الكلى للسيارة بالركاب وأبسط مثال على هذا نجده فى الشمسية التى تحمى الإنسان من المطر أو الحرارة . حيث نجد أن لها مقبض ثقيل وغالبية الوزن بالأسفل مما يخفض من مركز ثقلها أثناء حملها بحيث لا تصبح سهلة الإنقلاب .

## [ ٣ ـ ٧ ] تدريبـــات :

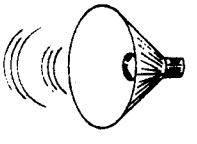
[ ١ ] اشرح المقصود بمركز الثقل وبالاتزان المستقر ، وعلل بالاستعانة بالرسوم الإيضاحية ، لماذا تكون قاعدة مصباح بنز ثقيلة الوزن وذات مساحة كبيرة .

[ ٢ ] ( أ ) اشرح مفهومك لكل من الاتزان المستقر وغير المستقر والمحايد واعط لكل منهم مثال .

(ب) ثم اشرح طريقة للحصول على مركز (كتلة) صفيحة رقيقة ذات شكل غير منتظم .

(جـ ) إذا اعتبرنا كتلة الأرض ٨١ ضعف كتلة القمر وأن نصف قطر الأرض = ٦٥٦٠ كم وأن المسافة بين مركزى الأرض والقمر تعادل ٦٠ ضعف نصف قطر الأرض .

فاوجد مقدار ما يبعده مركز كتلة كل من الأرض والقمر عن مركز الأرض .





obeikandi.com

## ◄ خلاصـــة :

١ ـ يقع مركز ثقل ومركز كتلة كل من :

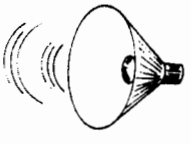
( أ ) قرص منتظم أو حلقة عند المركز .

(ب) صفيحة مستطيلة أو مربعة عند نقطة تقاطع القطرين .

(جـ) صفيحة مثلثة الشكل ، عند نقطة تلاقى المستقيمات المتوسطة .

٢ ـ التوازن المستقر ، إذا عاد الجسم لوضعه الأصلى عند إزاحته قليلاً ثم تركه ثانية (مركز ثقل منخفض) .

والتوازن الغير مستقر ، إذا تحرك الجسم بعيداً عن وضعه الأصلى عند إزاحته قليلاً ثم تركه ثانية (مركز ثقل مرتفع) .





obeikandl.com