



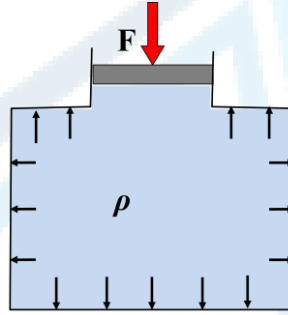
جامعة  
المنارة  
MANARA UNIVERSITY

## الموائع في حالة السكون Fluid static's

قاعدة باسكال:

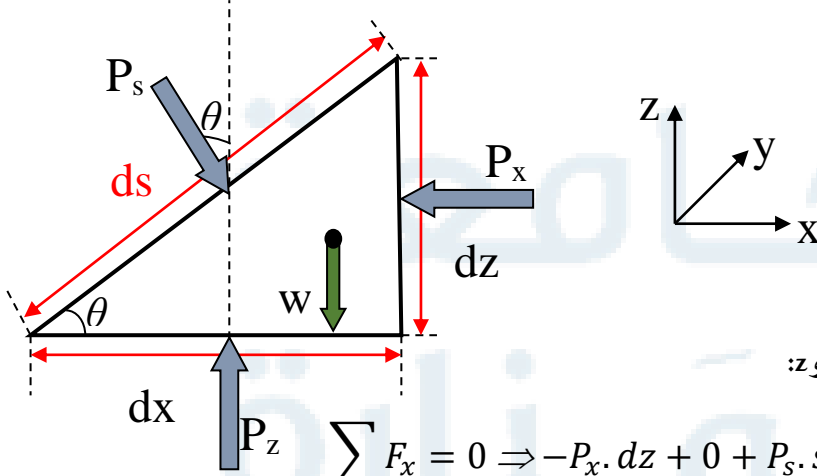
تنص قاعدة باسكال على أنه:

عندما يؤثر ضغط خارجي على مائع محصور ضمن إناء مغلق، فإنّ هذا الضغط ينتقل بكامله إلى جميع أجزاء السائل كما ينتقل إلى جدران الإناء الذي يحتوي على السائل.



البرهان:

لنأخذ حجم عنصري صغير جداً شكله مثلث (حيث بعده بالاتجاه  $y$  صغير جداً يمكن إهماله).



بإسقاط القوى المؤثرة على المحورين  $x$  و  $z$ :

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow -P_x \cdot dz + 0 + P_s \cdot \sin\theta \cdot ds = 0$$

$$\Leftarrow \sin\theta = \frac{dz}{ds} \text{ حيث}$$

$$P_s \cdot \frac{dz}{ds} \cdot ds = P_x \cdot dz \Rightarrow P_s = P_x$$

و

1

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow P_z \cdot dx + 0 - P_s \cdot \cos\theta \cdot ds - w = 0$$

$$\Leftarrow w = m \cdot g = \gamma \cdot V = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot dx \cdot dz \text{ , } \cos\theta = \frac{dx}{ds} \text{ حيث:}$$

$$P_z \cdot dx = P_s \cdot \frac{dx}{ds} \cdot ds + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot dx \cdot dz \Rightarrow P_z = P_s + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot dz ; \quad dz \approx 0$$

$$\Rightarrow P_z = P_s$$

إذاً:

$$P_x = P_z = P_s$$

وهذا عبارة عن قانون باسكال Pascal's law.

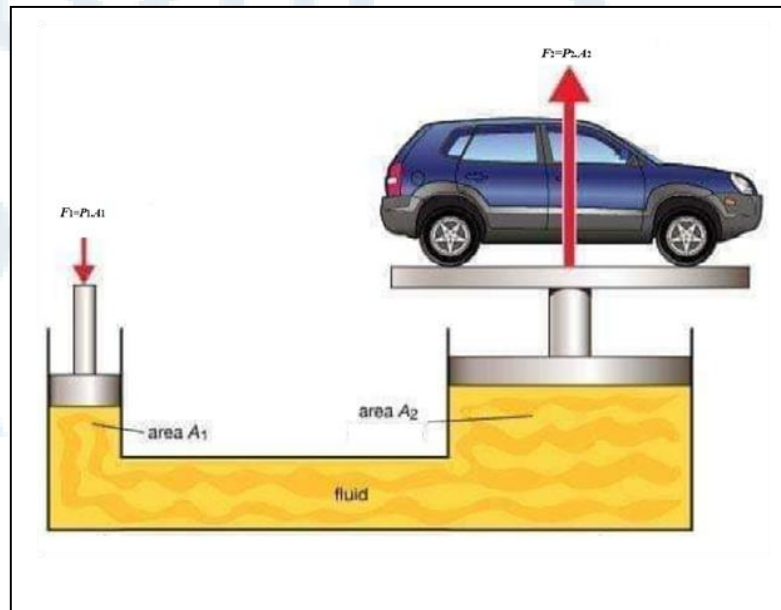
## تطبيقات على قاعدة باسكال

### 1- المكبس الهيدروليكي:

يُعتبر المكبس الهيدروليكي من الأمثلة الممتازة على قاعدة باسكال حيث يوضح كيفية الحصول على قوة كبيرة من قوة صغيرة والحصول على عمل بمجهود صغير.

يوضح الشكل التالي رسماً توضيحياً للمكبس الهيدروليكي، حيث يتكون من أسطوانتين متصلتين من الأسفل ومملوءتين بسائل كالزيت مثلاً.

كل أسطوانة تكون مزودة بمكبس متحرك أحدهما صغير مساحته  $A_1$  والآخر كبير مساحته  $A_2$ .



## مبدأ المكبس الهيدروليكي.

مبدأ العمل:

عندما تؤثر على المكبس الصغير بقوة  $F_1$  بحيث كان الضغط على المكبس هو  $P$ ، فإنه حسب قاعدة باسكال سوف ينتقل الضغط بكامله إلى جميع أجزاء السائل، وبالتالي سوف ينتقل إلى السطح السفلي للمكبس الكبير ويؤثر عليه بقوة هي  $F = P.A$ .

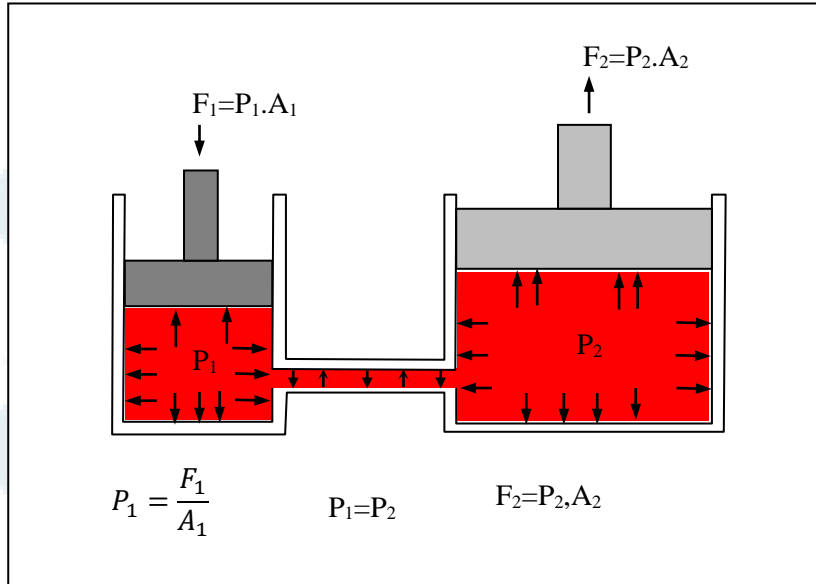
لكي يتوازن المكبس ويصبح في نفس مستوى المكبس الأول، فإنه يجب التأثير على المكبس الكبير بقوة قدرها  $F_2$  حتى يتساوى الضغط المؤثر على المكبسين ويصبح مساوياً لـ  $P$ :

أي:

$$P_1 = P_2$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow F_2 = \frac{A_2}{A_1} \cdot F_1$$

إذاً: عند التأثير على المكبس الصغير بقوة صغيرة  $F_1$  فإنه تتولد على المكبس الكبير قوة أكبر هي  $F_2$ . (أي القوة تتناسب طردياً مع المساحة).



ملاحظة: المسافة التي سيتحركها المكبس الكبير تساوي المسافة التي يتحركها المكبس الصغير مقسومة على

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{A_1}{A_2} \text{ أي: نسبة مساحات سطح المكبسين.}$$

## 2- مكابح السيارة

يُعتبر نظام المكابح في السيارات من إحدى التطبيقات النموذجية لقاعدة باسكال. عند الضغط على دواسة المكابح، يزداد الضغط الموجود في الأسطوانة، ومن ثمّ ينتقل هذا الضغط بالتساوي (وفق قاعدة باسكال) عبر سائل المكابح، فتضغط المكابح على القرص مثبت العجلات وتتوقف العجلة عن الدوران.

## 3- الهيدروليك

الهيدروليك عبارة عن كلمة يونانية وتعني نقل القوة أو الضغط عبر السوائل. تعد أنظمة الهيدروليك من أبسط الأنظمة التي تُستخدم في نقل الاستطاعة أو القوة باختلاف أشكالها. وبالتالي التحكم الهيدروليكي هو عبارة عن عملية يتم فيها نقل القوة والحركة والتحكم فيها باستخدام الموائع المضغوطة. استخدامات الهيدروليك كثيرة مثل عمليات الإنتاج ورفع الأجسام وحملها.

## 4- كرسي طبيب الأسنان

تنقسم أجهزة كرسي طبيب الأسنان إلى ثلاث أجيال وذلك حسب الطريقة المتبعة في تحريك الكرسي:

الطريقة البسيطة: وهي أول الطرق المتبعة في تحريك الكراسي، فهي تعتمد على النظام الهيدروليكي، حيث تعتمد الحركة في هذا الكرسي على أربع عناصر وهي مضخة وخزان زيت وصمام للرجوع وصمام آخر لعدم الرجوع، حيث يقوم طبيب الأسنان بضغط قدم موجودة في أسفل الكرسي تسمح له برفع الكرسي عن طريق انتقال الزيت الهيدروليكي الموجود في الخزان في المضخة ليقوم برفع الكرسي ويتوقف عن الارتفاع في مكان معين حسب رغبة الطبيب بسبب صمام عدم الرجوع ثم يقوم بإرجاعه لمكانه بصمام الرجوع.

طريقة الحركة الهيدروليكية الكهربائية: تتم الحركة في هذه الطريقة عن طريق نظام الحركة الهيدروليكي الموجود فيه ولكن يتم التحكم بالصمامات كهربائياً.

طريقة الحركة الكهربائية الميكانيكية: تتم الحركة في هذه الطريقة بشكل ميكانيكي عن طريق تحكم كهربائي.

## قاعدة أرخميدس وقواعد الطفو:

نلاحظ أنه عندما نحاول أن نغمر كرة في الماء بأننا نشعر بقوة كبيرة يدفع بها الماء الكرة إلى الأعلى. كذلك نشاهد وجود بعض المواد تطفو فوق الماء. كما نلاحظ أنه يكون من السهل رفع الجسم المغمور في الماء أو السائل عموماً طالما كان مغموراً في السائل، بينما يكون من الصعب رفعه في الهواء.

تؤكد كل هذه الملاحظات وجود قوة يؤثر بها السائل على الجسم المغمور فيه وأن هذه القوة تعمل إلى أعلى. تُسمى هذه القوة بقوة الدفع (دافعة أرخميدس) وتنشأ نتيجة لزيادة الضغط ضمن السائل مع زيادة العمق تحت سطح السائل، مما يؤدي إلى نشوء فرق في الضغط بين أسفل الجسم وقمته، وبالتالي إلى نشوء قوة تتجه نحو الأعلى.

يمكن تلخيص قاعدة أرخميدس للطفو كما يلي:

عند غمر جسم بشكل جزئي أو كلي ضمن سائل، فإنه يتعرض لقوة دفع عمودية تقوم بدفعه من الأسفل إلى الأعلى، تتساوى قوة الدفع هذه مع وزن السائل الذي يزيحه الجسم، وتُسمى هذه القوة: دافعة أرخميدس.

ملاحظة:

ندعو وزن الجسم في الهواء بالوزن الحقيقي  $W$ ، ووزنه في السائل بالوزن الظاهري  $W'$ ، وتكون:

$$F_{\text{arch}} = W - W'$$

ويكون:

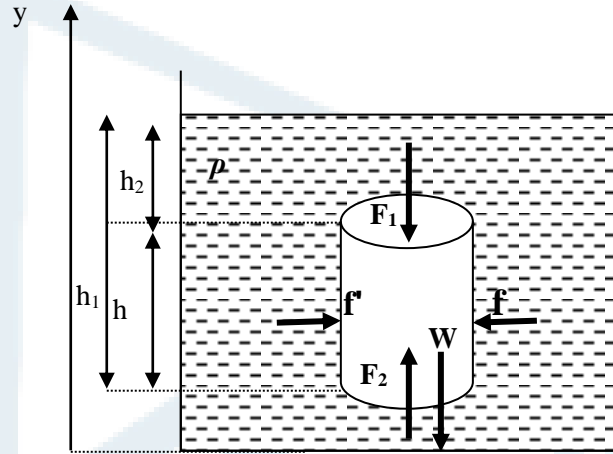
- في حالة الأجسام المغمورة كلياً: قوة الدفع أو الطفو = حجم السائل المزاح (أو حجم الجسم المغمور)  $\times$  تسارع الجاذبية الأرضية  $\times$  الكتلة الحجمية للسائل ( $\rho_f$ ).
- أما في حالة الأجسام المغمورة جزئياً أو التي تطفو فوق سطح السائل تكون قوة الدفع = وزن الجسم في الهواء = وزن السائل المزاح.

$$F_{\text{arch}} = \rho_f g \cdot V = \gamma \cdot V = m \cdot g = W$$

حيث  $W$  وزن السائل المزاح ( $W = m \cdot g$ )،  $V$  حجم السائل المزاح (وتساوي  $V_s$ : حجم الجزء المغمور من الجسم).

ليكن لدينا أسطوانة طولها  $L$  ومساحة مقطعها  $S$  مغمورة ضمن مائع كتلته الحجمية  $\rho$ . تخضع هذه الأسطوانة إلى القوى التالية:

- قوى أفقية  $f$  و  $f'$  متساوية ومتعاكسة بالاتجاه فتعتمد بعضها البعض.
- قوة  $F_1$  تؤثر على السطح العلوي وتتجه نحو الأسفل حيث:  $F_1 = P_1 \cdot A$ .
- قوة  $F_2$  تؤثر على السطح السفلي وتتجه نحو الأعلى حيث:  $F_2 = P_2 \cdot A$ . (وتكون أكبر من القوة  $F_1$ ).



دافعة أرخميدس

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_2 + \vec{F}_1 + \vec{W}$$

بالإسقاط على المحور oy :

$$F = -F_1 + F_2 - W$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow F &= P_2 \cdot A - P_1 \cdot A - W = (P_2 - P_1) \cdot A - W \\ &= \rho_f \cdot g \cdot (h_2 - h_1) \cdot A - W = \rho_f \cdot g \cdot h \cdot A - W \\ &= \rho_f \cdot g \cdot V_s - m \cdot g \end{aligned}$$

$$\Rightarrow F = \rho_f \cdot g \cdot V_s - m \cdot g$$

$$\Rightarrow F = F_{arch} - W$$

حيث:

$F$ : محصلة القوى المؤثرة على الجسم.  $P_f$ : الكتلة الحجمية للمائع،  $V_s$ : حجم الجسم المغمور،  $m$ : كتلة الجسم المغمور.

$F_{arch}$ : دافعة أرخميدس وتتجه عكس قوة الجاذبية: ( $F_{arch} = \rho_f \cdot g \cdot V_{submerge}$ )

$W$ : وزن الجسم المغمور ( $W = m \cdot g = \rho_s \cdot g \cdot V_s$ ).

### وضع الجسم المغمور في المائع الساكن:

#### الحالة الأولى، وزن الجسم يساوي قوة دافعة أرخميدس:

يتواجد الجسم في هذه الحالة بشكل متوازن داخل السائل، ويبدو كأنه معلقاً داخل السائل، ويكون حجم السائل المزاح يساوي حجم الجسم بالكامل.

$$V = V_s$$

حيث:  $V$  هو حجم السائل المزاح ويساوي  $V_s$  حجم الجسم المغمور

$$F_{arch} = \rho_f \cdot g \cdot V = \rho_s \cdot g \cdot V_s = m \cdot g$$

إذاً:

$$\rho_f = \rho_s$$

#### الحالة الثانية، الجسم يطفو فوق السائل:

يكون  $F_{arch} > W$  أي أنّ قوة دافعة أرخميدس أكبر من وزن الجسم، في هذه الحالة يطفو الجسم ويستقر فوق سطح السائل، حيث يطفو جزء منه وينغمر الجزء الآخر، ويكون وزن الجسم مساوياً لوزن السائل الذي يزيحه الجزء المغمور من الجسم، ويكون حجم السائل المزاح يساوي حجم الجزء المغمور من الجسم (وهذا هو قاعدة الطفو).

$$F_{arch} = \rho_f \cdot g \cdot V_s$$

#### الحالة الثانية، الجسم يغوص إلى القاع:

تكون  $F_{arch} < W$  أي أنّ وزن الجسم أكبر من قوة دافعة أرخميدس، في هذه الحالة يغوص الجسم إلى القاع (حيث تؤثر عليه قوة دفع لكتّها لا تكفي لتعادل وزنه).

إذاً:

عند الغمر الكلي للجسم يكون حجم السائل المزاح يساوي حجم الجسم بالكامل.  
عند الغمر الجزئي للجسم يكون حجم السائل المزاح يساوي الحجم المغمور من الجسم.

### تطبيقات على قانون الدفع:

#### طفو السفينة فوق الماء:

توضح قاعدة الطفو كيف تطفو السفينة فوق الماء، وذلك بسبب أن جسم السفينة الأجوف يغمر في الماء ويزيح كمية كبيرة من الماء إلى أن يتساوى وزن الماء المزاح (أي قوة الدفع) مع وزن السفينة وتطفو السفينة. بينما الحجر المصمت مع أنه يتلقى دفعاً للأعلى عندما يوضع في الماء ولكن تكون قوة الدفع أصغر من وزن الحجر لذلك يغوص الحجر إلى القاع.

#### ارتفاع البالون في الجو:

يتم عادة ملء البالون بالهواء الساخن (أو بغاز أقل كثافة من الهواء) فيكون وزن البالون أقل من وزن الهواء الذي يزيحه أي أقل من قوة الدفع، لذلك يرتفع البالون إلى الأعلى، لكن كثافة الهواء الجوي تقل مع الارتفاع لذلك يستمر البالون في الارتفاع حتى تقل قوة الدفع إلى أن تتساوى مع وزن البالون.

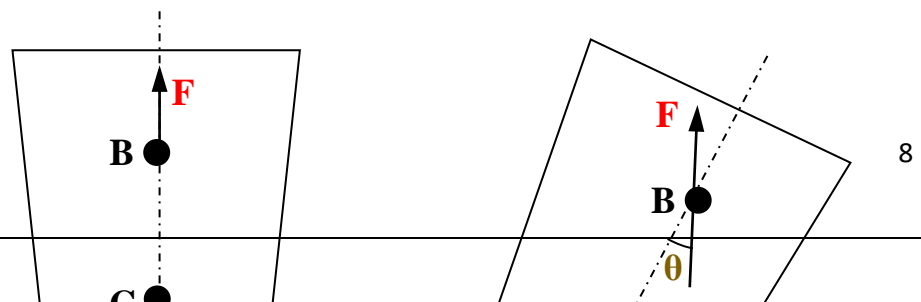
### استقرار الأجسام الطافية:

ذكرنا أنه عندما يطفو جسم فوق سطح سائل، فإنه وفقاً لقاعدة أرخميدس سوف تؤثر على الجسم قوة دافعة تتجه نحو الأعلى وتساوي وزن السائل المزاح ويكون حجم السائل المزاح يساوي حجم الجزء المغمور من الجسم.

تتوقف حالة الاستقرار على موقع مركز ثقل الجسم (G) بالنسبة إلى موقع مركز ثقل المائع المزاح (B) والذي نسميه (مركز الطفو).

#### عندما يكون الجسم مغمور بالكامل:

يسبب انحراف الجسم بزاوية  $\theta$  عن موقع التوازن عزمًا مقداره: القوة (الوزن) في الذراع.





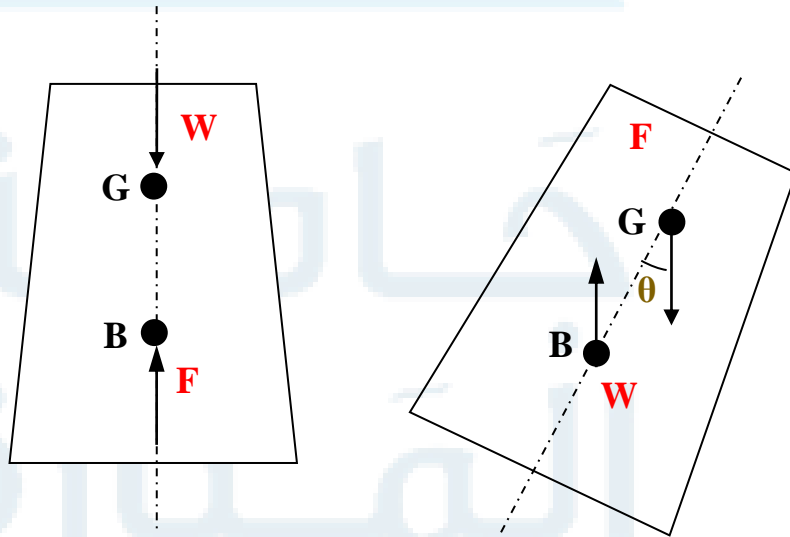
$$Tag\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{\text{الذراع}}{BG} \Rightarrow \text{الذراع} = BG \cdot Tag\theta \approx BG \cdot \theta$$

(اعتبرنا أن  $\theta \approx Tag\theta$  كون الزاوية  $\theta$  صغيرة جداً)، وبالتالي يكون العزم يساوي:

$$\text{العزم} = W \cdot BG \cdot \theta$$

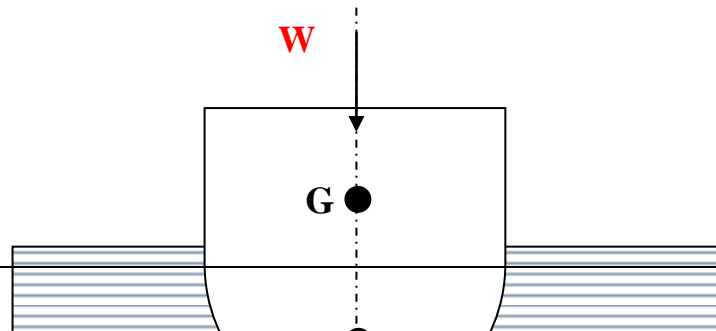
ونسماه عزم التقويم وهو يعمل على إعادة الجسم إلى حالة التوازن (يكون مركز الثقل أسفل مركز الطفو).

عندما يقع مركز ثقل الجسم أعلى مركز الطفو فالعزم هو عزم تدوير ويصبح الجسم غير مستقر.



عندما يكون الجسم مغمور جزئياً (طافياً):

عندما يقع مركز ثقل الجسم G ومركز الطفو B على نفس الاستقامة فإنه لا يتولد عزم.



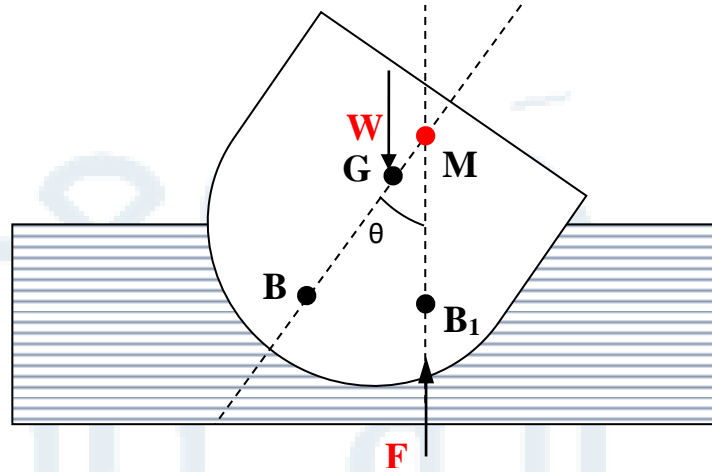
(مركز الطفو هو مركز ثقل السائل المزاح).

عندما يميل الجسم بزاوية  $\theta$  فإن شكل حجم السائل المزاح سوف يتغير وتزداد كميته بجوار الجسم في جهة أكثر من الأخرى، ويصبح مركز ثقل الحجم المزاح هو  $B_1$  بدلاً من  $B$ .

تؤثر القوة  $F$  في النقطة  $B_1$  وتحاول تدويره إلى وضعه الأصلي.

يتقاطع الخط الشاقولي المار من النقطة  $B_1$  مع المستقيم الواصل بين النقطتين  $B$  و  $G$  في النقطة  $M$  والتي تُدعى بالنقطة البينية (metacenter).

يكون الجسم مستقراً عندما تقع  $M$  أعلى  $G$ .



$MG$ : المسافة البينية وهو المسافة بين مركز ثقل الجسم الطافي والنقطة البينية  $M$  حيث:

$$MG = BM - BG$$

$$MG = \frac{I_c}{V_s} - BG$$

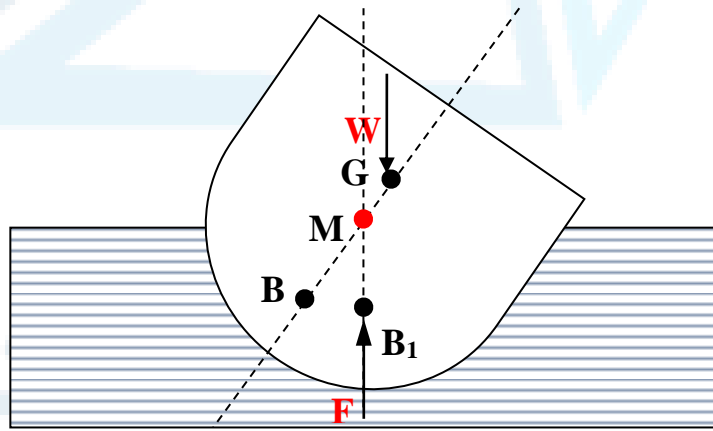
حيث:

$$BM = \frac{I_c}{V_s}$$

$I_c$ : هو عزم العطالة حول محور الدوران،  $V_s$ : هو الحجم المغمور،  $BG$ : هو المسافة بين مركز الطفو الأساسي ومركز ثقل الجسم.

$$\text{كما أن: } BB_1 = \frac{I_c \cdot \text{Tag} \theta}{V_s} \text{ (حيث } \theta \text{ زاوية الميلان بالدرجة).}$$

عندما تقع النقطة  $M$  أسفل مركز الثقل  $G$  فإن الجسم يكون غير مستقراً، حيث ينشأ عزم تدوير يؤدي إلى قلب الجسم.



أنواع الاستقرار:

التوازن المستقر: يحدث عندما يميل الجسم تحت تأثير قوة خارجية ثم يعود إلى وضعه الأصلي، وتقع النقطة  $M$  أعلى مركز الثقل  $G$  (أي يكون  $MG$  موجباً) وينشأ عزم تقويم.

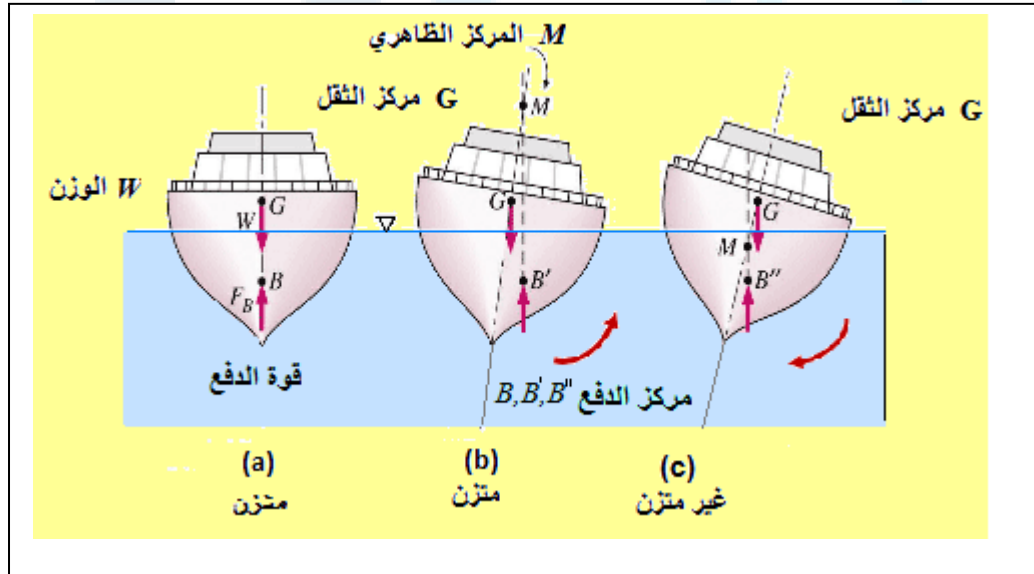
التوازن غير المستقر: يفقد الجسم توازنه، وتقع النقطة  $M$  أسفل مركز الثقل  $G$  (أي يكون  $MG$  سالباً) وينشأ عزم تدوير يؤدي إلى قلب الجسم.

أي أنه عندما:  $GB > \frac{I_c}{V}$  يكون الجسم مستقراً، وعندما  $GB < \frac{I_c}{V}$  يكون الجسم غير مستقر.

التوازن الحيادي: يحدث عندما يخضع الجسم لميلان صغير ويستقر في وضعه الجديد ولا يعود إلى وضعه الأصلي، وتكون النقطة  $M$  متطابقة مع مركز الثقل  $G$ .

مثلاً: بفرض أنّ الجسم الطافي عبارة عن سفينة كما هو مبيّن في الشكل (وأنّ مركز ثقل الجسم هو  $G$ ) ومركز تطبيق قوة دافعة أرخميدس هو مركز ثقل السائل المزاح  $(B)$ .

عندما تميل السفينة، تعمل القوتان المؤثرتان عليها (قوة الدفع  $F_B$  والوزن  $W$ ) على إعادتها إلى وضعها الأصلي، فمثلاً عندما تميل مع اتجاه عقارب الساعة نلاحظ أنّ مركز ثقل الماء المزاح يصبح عند  $(B)$  وتصبح قوة الدفع والوزن كأنّهما مزدوجة تعمل عكس عقارب الساعة من أجل إعادة السفينة إلى وضع الاستقرار (والطفو في هذه الحالة مستقر).



طفو السفينة.