

(D') نفس قوة الدفع (F_B) التي تؤثر على الجسم المغمور (D) لأن لهما نفس الشكل والحجم ويقعان على نفس العمق. إن الحجم المختار (D') يقع في حالة توازن لأن السائل ككل متوازن لذلك تكون: $F_B = W$ كما في الشكل (1-1-9) حيث: (W) وزن السائل ذي الحجم المختار، وبالتالي قوة الدفع تساوي وزن السائل الذي حجمه يساوي حجم الجسم المغمور وهذا ما يؤكد قانون أرخميدس.

مثال (1-1-5):

صخرة كتلتها 70kg مستقرة في قاع البحيرة. إذا كان حجم الصخرة $3 \times 10^4 \text{ cm}^3$ ما هي القوة اللازمة لتطبيقها لرفعها من القاع؟

الحل :

قوة الدفع المؤثرة على الصخرة في الماء تساوي وزن الماء الذي حجمه يساوي حجم الصخرة.

$$F_B = (1000$$

وزن الصخرة :

القوة اللازمة لرفع الصخرة:

F

وكان الصخرة لها كتلة تحت الماء لا تساوي 70kg وإنما تساوي:

مثال (1-1-6):

تاج كتلته 14.7kg ووزنه تحت الماء يقابل كتلة قدرها 13.4kg. هل هذا التاج ذهباً؟

$$\rho_{H_2O} = 10^3 \text{kg/m}^3 \quad \text{علماً بأن}$$

الحل :

إن وزن الجسم المغمور في السائل يساوي وزنه خارج السائل مطروح منه قوة الدفع F_B

حيث : W وزن الجسم داخل السائل , W وزن الجسم خارج السائل , F_B قوة الدفع .

حيث : ρ_0 كثافة الجسم المغمور , ρ_f كثافة السائل (الماء) , V حجم الجسم المغمور .

$$\frac{W}{W - V}$$

إن نسبة وزن الجسم خارج السائل إلى قوة الدفع تساوي الكثافة النسبية أو نسبة كثافة الجسم إلى كثافة السائل الذي غمر به الجسم.

من هنا نلاحظ أن $\frac{W}{W - V}$ تساوي الكثافة النسبية ولما كان الجسم مغموراً في الماء يكون :

$$\frac{V}{W - V}$$

وفي حالتنا هذه :

$$\frac{14,7}{14,7 - 13,4} = \bar{\rho}$$

$$\rho_0 = \rho$$

بالبحث في جدول الكثافات والمقارنة نجد أن كثافة الرصاص $\rho_{pb} = 11300 \text{kg/m}^3$ ومنه نستنتج أن التاج مصنوع من الرصاص وليس من الذهب.

يستخدم قانون أرخميدس على الأجسام الطافية مثل الخشب. والأجسام التي كثافتها أقل من كثافة الماء , ويقال بأن الجسم يطفو في حالة كون كثافته أقل من كثافة السائل أو الغاز.

مثال (1-1-7):

خشبة كثافتها النسبية 0,6 أما حجمها 2m^3 وكتلتها 1200kg فإذا غطت هذه الخشبة بالماء كلياً فإنها تزيح كتلة من الماء قدرها :

m

وبالتالي ففوة الدفع أكبر من وزن الخشبة بـ 800kg فتطفو الخشبة على سطح الماء.

متى تحصل عملية التوازن ؟

تحصل عملية التوازن عندما تزيح الخشبة 1200kg من الماء أي عندما يكون حجم الجزء المغمور من الخشبة يساوي $1,2 \text{m}^3$ أو يجب أن تكون نسبة حجم الجزء المغمور إلى حجم الجسم الطافي الكلي مساوياً للكثافة النسبية للجسم بالنسبة للسائل أو الغاز المغمور فيه:

حيث: V حجم الجزء المغمور في السائل أو الغاز , V حجم الجسم الكلي , ρ_0 كثافة الجسم المغمور , ρ_f كثافة السائل أو الغاز.

ملاحظة: يؤثر في الهواء قوة دفع أيضاً وكل جسم موجود في الهواء يكون وزنه أقل من وزنه في الفراغ أو الخلاء (vacuum) ولكن كثافة الهواء قليلة لذلك لا نلاحظ هذا الفرق. وهناك أجسام تطير في الهواء , كالكرة أو البالون المليء بالهليوم.

مثال (1-1-8):

احسب حجم الهليوم في كرة مملوءة بالهليوم وذلك من أجل رفع ثقل كتلته 800kg (بما فيه كتلة الغشاء) . علماً بأن $\rho_{\text{هواء}} = 1,29 \text{ kg/m}^3$ و $\rho_{\text{هليوم}} = 0,18 \text{ kg/m}^3$.

الحل :

من أجل أن ترتفع الكرة في الهواء يجب أن تكون قوة الدفع المؤثرة على الكرة (والمساوية وزن الهواء الذي يزيحه حجم الكرة) مساوية على الأقل وزن الهليوم + وزن الثقل المعلق أو الحمل.

F

$\rho_{\text{هواء}} \cdot$

(

$$V = \frac{800\text{kg}}{(\rho_{\text{هليوم}} - \rho_{\text{هواء}})}$$

نلاحظ أنه كي ترتفع الكرة يجب أن يكون حجم الكرة $V \geq 720\text{m}^3$ وكذلك يجب أن تكون $\rho_{\text{هليوم}} > \rho_{\text{هواء}}$ وهذا واضح من المعادلة الأخيرة.

1-1-10- التوتر السطحي Surface Tension:

حتى الآن نجرى بالحديث في هذا الفصل عما يجري في الأساس داخل حجم السائل والغاز .
غير أن سطح السائل يتمتع بعدد ذاتي بخواص مهمة .

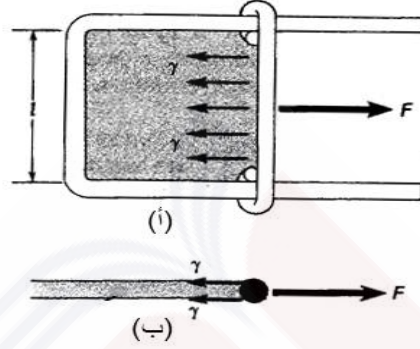
تبيننا المشاهدة اليومية ، علناً سطح السائل يسلك سلوك غشاء مرن ممطوط .
إن قطرات الماء التي تسيل من صنوبر المياه ، وقطرات الندى العالقة على الأعشاب صباحاً تأخذ تقريباً أشكالاً كروياً ،
كما لو أنها عبارة عن كريات هوائية صغيرة ، مملوءة بالماء . فيمكن مثلاً لإبرة الفولاذ أن
تطفو على سطح الماء علماً بالرغم من أن كثافة الفولاذ أكبر من كثافة الماء . ويذكرنا سطح السائل بالغشاء المشدود ،
وهذا الشد يؤثر بصورة موازية للسطح وينشأ من وجود قوى التجاذب الفاعلة بين جزيئات السائل التي تستطيع حمل
إبرة الفولاذ . ويُعد هذا التأثير بالتوتر السطحي . ويوصف هذا التأثير كمياً بقيمة التوتر السطحي التي يرمز لها
بالحرف اللاتيني γ ، وهو عبارة عن القوة F المطبقة على وحدة الطول من الخط L والمؤثرة عامودياً
على أي خط مأخوذ من السطح ، والتي تسبب الشد السطحي في هذا الخط :

$$\gamma = F$$

ومن أجل فهم أفضل ، لمانكر ، نأخذ إطاراً أسلياً ، يحوي في داخله غشاء رقيق من السائل كما في
الشكل (1-10) (أ ، ب) . ونجعل أحد جانبي الإطار قابلاً للحركة . وبسبب وجود التوتر السطحي ،
وكيف قوم بإزاحة الجانب المتحرك للإطار وبالتالي ينزيم من سطح السائل ليدمن تطبيق قوة F .

ويتحدد غشاء السائل المحمول على الإطار بسطحين (علوي وسفلي) ،
لذا فإن طول الخط الذي يخضع لتأثير القوة F التي تعمل على السطحين يساوي $2l$ وهكذا فمن أجل التوتر السطحي يكون لدينا
العلاقة التالية :

مثل هذا الجهاز يتيح القيام بقياس التوتر السطحي لكافة السوائل .
فالتوتر السطحي للماء يساوي $0,072$ N/m عند درجة الحرارة 20°C .



الشكل (10-1-1) إطار مجازي على شكل حرف U مع غشاء السائل الموضوع من أجل قياس التوتر السطحي (أ) عند الرؤية من الأعلى , (ب) الرؤية الجانبية مع زيادة بالأبعاد.

يبين الجدول (1-1-1)

(3) قيم التوتر السطحي γ لسوائل مختلفة وتوجد الملاحظة الأندرجة الحرارة فتبدت تأثير كبير جداً على التوتر السطحي.

جدول (1-1-3) يبين بعض قيم التوتر السطحي لبعض المواد

التوتر السطحي γ (N/m)	المادة
0,44	الزئبق (20°C)
0.058	الدم (37°C)
0.037	بلازما الدم (37°C)
0,023	الكحول الايتلي (20°C)
0,076	الماء (0°C)
0,072	الماء (20°C)
0,059	الماء (100°C)
0,029	البنزن (20°C)
0,025	محلول الصابون (20°C)
0,016	الأوكسجين السائل (-139°C)



يمكن تفسير وجود التوتر السطحي بواسطة النظرية الجزيئية. تؤثر قوى تجاذب بين جزيئات السائل ، ففي الشكل (1-1-1) تظهر هذه القوى بالمأخوذة على جزيئة واحدة الواقعة في عمق السائل وعلى جزيئة واقعة على سطح السائل. فالجزيئة الواقعة داخل السائل تتوازن بفعل انعدام محصلة القوى المؤثرة عليها من كافة الجهات من الجزيئات المحيطة بها ، والجزيئة الواقعة على السطح تتوازن نهياً لأخرى (السائل ساكن) ، حتى لو أثرت قوى بعلى الجزيئة من الجزيئات الواقعة تحتها ومنعجانبيها في نفس المستوى الواقعة عليه. وبالتالي تنشأ محصلة للقوى المؤثرة على الجزيئة متجهة نحو الأسفل لبعمق السائل محدثة شدة بسيطة للطبقة السطحية ، إلما الحد الذي تتوازن فيه القوى بالتجاذب مع قوى التمداد والتنافر ، والتي تنشأ عند حدودها اقتراباً أكثر بين الجزيئات . ويمكن تتناولشد السطح هذا ، بمعنا أن السائل يسعيا لالحالة تكون فيها مساحة سطح السائل أصغرية. ولهذا السبب يكون لقطرات الماء شكلاً كروياً :

فمناً لجحما واحد يكون للكرة مساحة أصغرية للسطح من بين كافة الكتل ذات الأشكال المختلفة التي لها نفس الحجم.



الجزيئية وضحت
بائل وفي عمقه

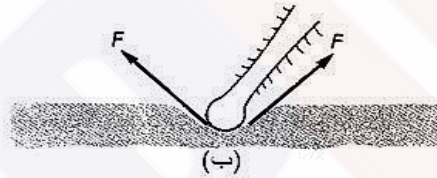
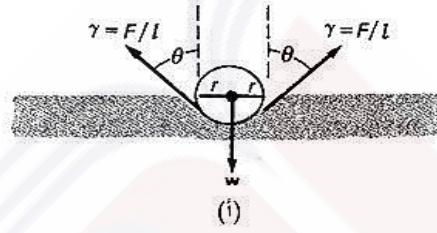
الشكل (11-1-1)
فقط قوة التجاذب

ولزيادة سطح السائل لابد أن تطبق قوة ، بحيث أن العمل المنجز يبذل لبعلى نقل الجزيئات من عمق السائل إلى السطح انظر الشكل (12-1-1) عندئذ تزداد الطاقة الكامنة للجزيئات ، والتي تدعى بالطاقة السطحية، وكلما ازدادت مساحة السطح كلما ازدادت الطاقة السطحية.

يمكن حساب العمل اللازم لزيادة مساحة السطح ، باستخدام العلاقة (1-1-11) وبمساعدة الشكل (1-1-1-10) حسب ما يلي :

حيث Δx مقدار انتقال الطرف المتحرك للإطار و ΔA تغير مساحة السطح (من كلا طرفي الإطار). ومنه نجد :

$$\gamma = \frac{W}{\Delta A}$$



ند زيادة مساحة
وحسب قانون
السطحي

الشكل (1-1-1)
السطح تؤثر
نيوتن الذ

وهكذا فإن معامل التوتر السطحي γ يمكن تعريفه ليسفة كقوة مؤثرة في وحدة الطول ،

وإنما العمل اللازم كيتزداد مساحة سطح السائل بمقدار واحد وبالتالي

فإن γ تقاس إما بواحد قتيوتن / متر أي N/m أو جول / متر مربع أي J/m^2 . ولذلك يمكن للأجسام ذات الكثافة

الأكبر من كثافة الماء (كالإبرة الفولاذية). أنتطفو على سطح الماء. ويبين الشكل (1-1-13 أ)،

كيف أن قوة التوتر السطحي لا تسمح للجسم الطافي على السطح بأن يغرق في الماء. حيث يشير W أنوزن الجسم في السائل ،

الذي يساوي بالفرق بين قوة الثقل والقوة الدافعة للجسم نحو الأعلى (لأن الجسم موجود في الماء جزئياً)

إذا كان الجسم كقطر فرجل حشرة على سبيل المثال : الشكل (1-1-13 ب)،

فأن قوة التوتر السطحي تؤثر في جميع النقاط الواقعة على محيط دائرة نصف قطرها r وتتم موازنة ثقل الجسم بالمركبة الشا

قولية $\gamma \cos \theta$. وعليه تكون المركبة الشاقولية لقوة التوتر السطحي مساوية لـ $2\pi r \gamma \cos \theta$.



الشكل (1-1-13) قوة التوتر السطحي الشرطية المؤثرة
على كرة (أ) وعلى رجل حشرة (ب)

مثال (1-1-9):

إذا علمنا أن قطر فرجل حشرة شكل كروي وتقريباً نصف قطره 2×10^{-5}
m وان كتلة الحشرة تساوي 0,0030g ويتوزع وزنها بالتساوي على أقدامها الستة
أوجد عندئذ الزاوية θ حسب ما هو مبين في الشكل (1-1-13ب) ، إذا كانت درجة حرارة الماء مساوية لـ 20°C .

الحل :

بمأن :

حيث W سدس وزن الحشرة ذات الستة أرجل .

يكون لدينا:

$$(6,28) \cdot (2 \cdot 10^{-5} \text{m}) \cdot (($$

$\cos \theta :$

تشير إلى أنه لو أن $\cos\theta$ كانت أكبر من الواحد فهذا كان سيغيرنا التوتر السطحي سيكون غير كاف لحمل الحشرة على سطح الماء

• ٤

لا تكون دقة الحسابات عالية
لمثل الحسابات
السابقة لأن نصف قطر (الحفرة) r على السطح لا يساوي النصف قطر الجسم الطافيش كدقيق
بيد أنه هذه الطريقة تسمح بالحصول على تقدير تقريبي لمكانية سطح السائل لحمل الجسم.
يقال لصابون ومساحيق الغسيل من قيم التوتر السطحي للماء. وهذا ليس عملية الاستحمام والغسيل
لأن التوتر السطحي المرتفع للماء النقي لا يسمح للماء بالتغلغل إلى داخل ما بين ألياف القماش أو إلى المسامات الصغيرة.
والمواد التي تخفف من التوتر السطحي، تدعى بالمواد الفعالة سطحياً **Surface active materials** (واختصاراً SAM).

مسائل

- 1) إذا كانت كثافة مادة أكبر من كثافة مادة أخرى هل هذا يغير أن الكتلة الجزئية للمادة الأولى أكبر من الكتلة للمادة الثانية؟
- 2) كيف يمكنك أن تعين كثافة جسمك عندما تسبح في المسبح؟
- 3) هل يمكن لكرة هوائية أن ترتفع في الجو إلى ارتفاع غير محدد؟ وضح ذلك