قوى ضغط السائل الساكن على السطوح المغمورة فيه

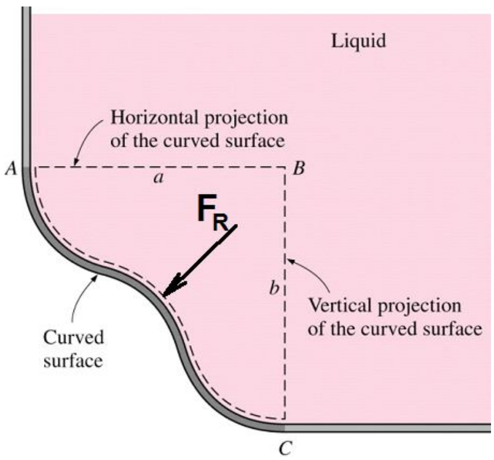
4. قوى ضغط السائل الساكن المؤثرة على السطوح المنحنية المغمورة

F_R : قوة ضغط السائل الساكن على السطح المنحني

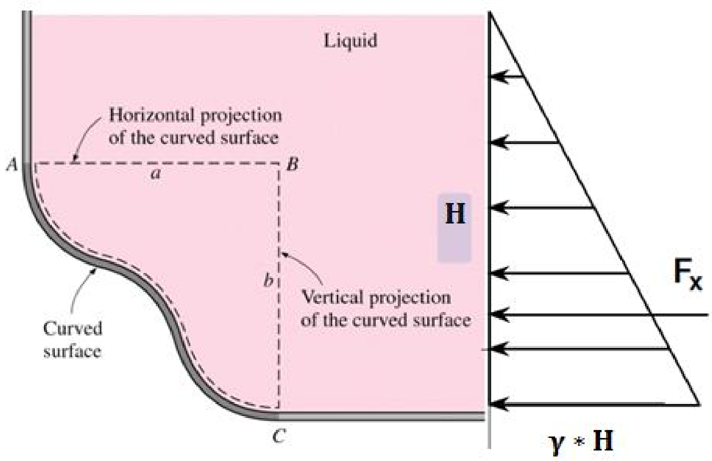
تحلل إلى مركبتين F_X و F_y حيث:

$$F_R = \sqrt{{F_x}^2 + {F_y}^2}$$

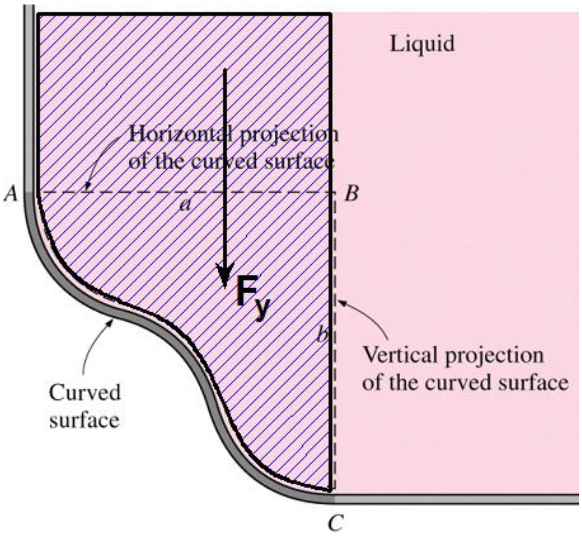
$$Tan(\theta) = \frac{F_y}{F_x}$$



❖ F_X : **المركبة الأفقية لقوى ضغط السائل الساكن على السطح المنحني ويتم تحديدها كما في السطوح الشاقولية**

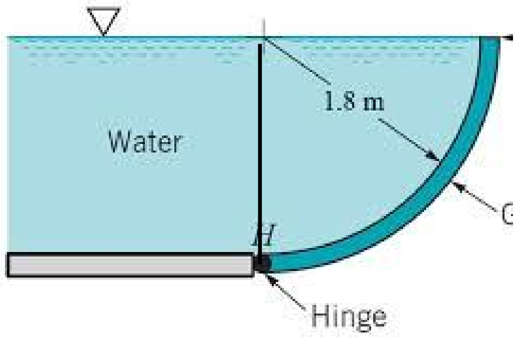


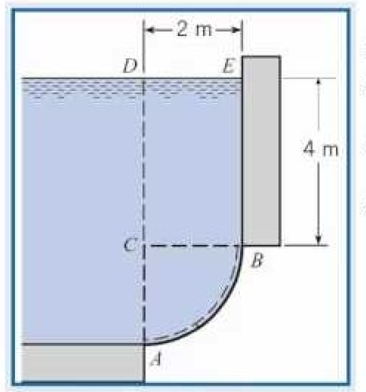
F_y : المركبة الشاقولية لقوى ضغط السائل الساكن على السطح المنحني ويتم تحديدها كما في السطوح الأفقية :كما يلي:



- نرفع شاقول من بداية المنحني A حتى يتقاطع مع سطح الماء أو ممده
- نرفع شاقول من نهاية المنحني C حتى يتقاطع مع سطح الماء أو ممده
- وزن الماء المحصور بين السطح المنحني وسطح الماء أو ممده والشاقوليين الممدين من بداية ونهاية المنحني يمثل المركبة الشاقولية Fy
- اتجاه Fy يكون للأسفل إذا <u>كان هناك سائل</u> فوق السطح

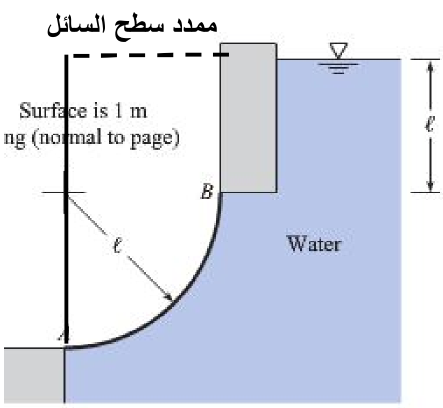
مثال:

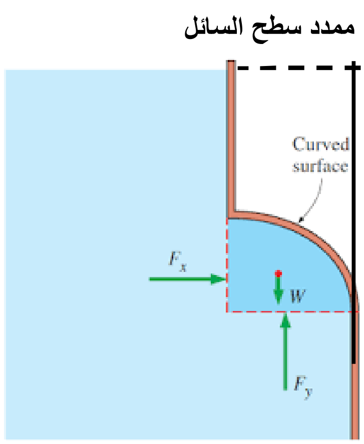




- ويكون اتجاهها للأعلى إذا كان <u>لم يكن هناك سائل</u> فوق السطح

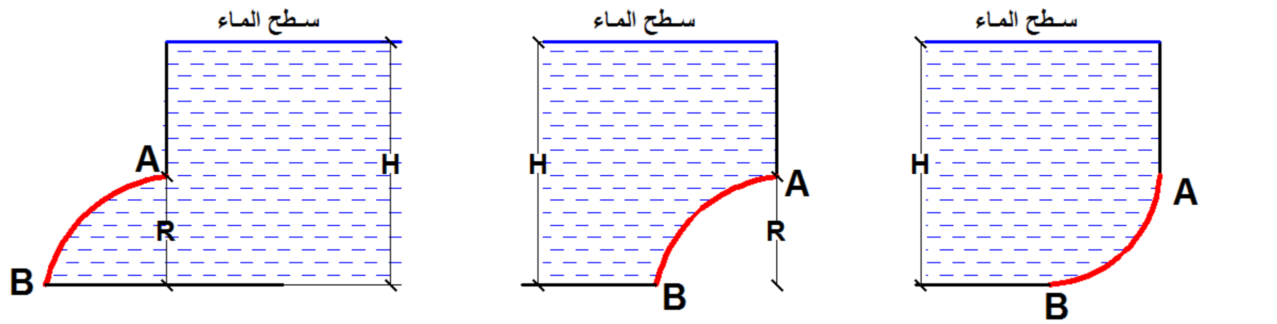
مثال:

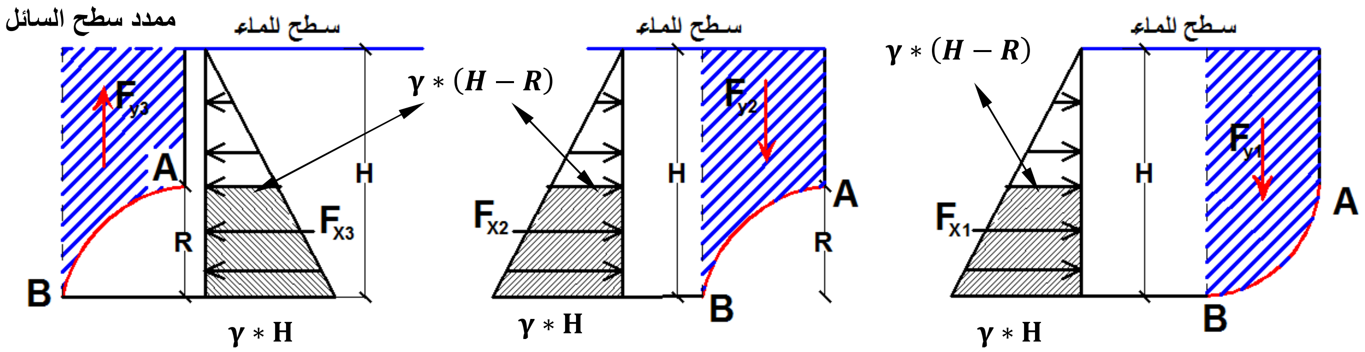




تطبيق:

بوابة بشكل ربع اسطوانة **AB** نصف قطر قاعدتها **R** ، احسب محصلة قوى ضغط الماء المؤثرة عليها من أجل الحالات التالية:





- المركبة الأفقية لقوة الضغط المؤثرة: F_{x1}

$$F_{x1} = \frac{\gamma * (H-R) + (\gamma * H)}{2} * R * L$$

المركبة الشاقولية لقوة الضغط المؤثرة F_{y1}

$$F_{y1} = W = \gamma * \forall = \gamma * A * L = \left((H - R) * R + \frac{\pi * R^2}{4} \right) * L$$

واتجاه القوة نحو الأسفل

- المركبة الأفقية لقوة الضغط المؤثرة: F_{x2}

$$F_{x1} = \frac{\gamma * (H-R) + (\gamma * H)}{2} * R * L$$

المركبة الشاقولية لقوة الضغط المؤثرة F_{y2}

$$F_{y1} = W = \gamma * \forall = \gamma * A * L = \left(H * R - \frac{\pi * R^2}{4} \right) * L$$

واتجاه القوة نحو الأسفل

- المركبة الأفقية لقوة الضغط المؤثرة: F_{x3}

$$F_{x1} = \frac{\gamma * (H-R) + (\gamma * H)}{2} * R * L$$

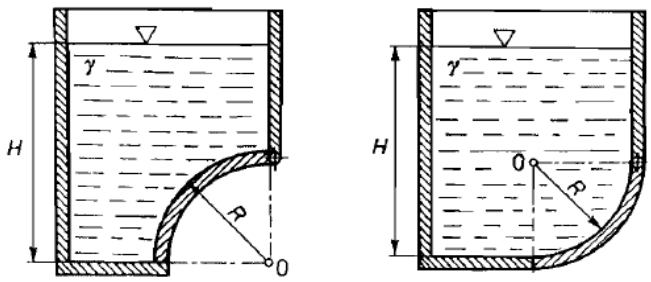
المركبة الشاقولية لقوة الضغط المؤثرة F_{y3}

$$F_{y1} = W = \gamma * \forall = \gamma * A * L = \left(H * R - \frac{\pi * R^2}{4} \right) * L$$

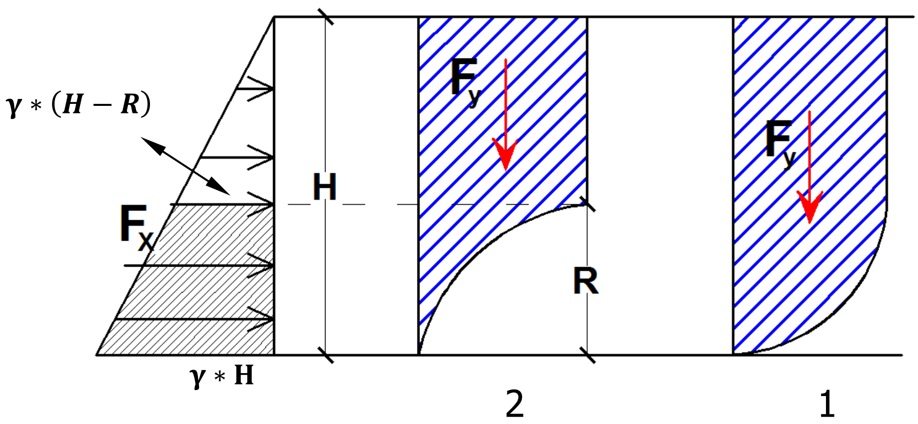
واتجاه القوة نحو الأعلى

المسألة العاشرة

احسب محصلة قوى الضغط المؤثرة على البوابتين ربع الأسطوانيتين المبينـــتين في الشكل. إذا كان نصف قطر القاعدة R، والطول L، وارتفاع السائل H، والكتلـــة النوعية له ρ.



الحل:



المركبة الأفقية لقوة الضغط المؤثرة على البوابتين في الحالتين تحسب كما يلي:

$$F_x = \frac{\gamma * (H-R) + (\gamma * H)}{2} * R * L$$

المركبة الشاقولية لقوة الضغط المؤثرة على البوابتين في الحالة الأولى تحسب كما يلي:

$$F_y = W = \gamma * \forall = \gamma * \left((H - R) * R + \frac{\pi * R^2}{4} \right) * L$$

$\forall$ = (مساحة المستطيل + مساحة ربع دائرة) × L

واتجاه القوة نحو الأسفل

المركبة الشاقولية لقوة الضغط المؤثرة على البوابتين في الحالة الأولى تحسب كما يلي:

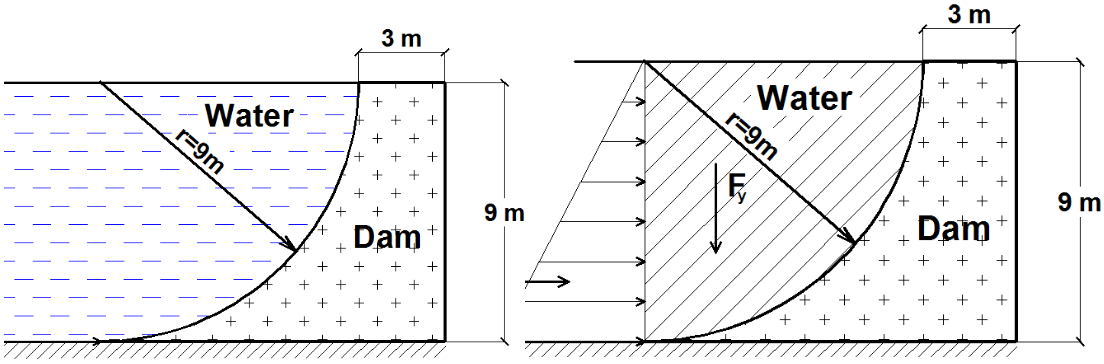
$$F_y = W = \gamma * \forall \gamma * \left(H * R - \frac{\pi * R^2}{4} \right) * L$$

$\forall$ = (مساحة المستطيل − مساحة ربع دائرة) × L

واتجاه القوة نحو الأسفل

مسألة دورة:

سد بيتوني وجهه الأمامي على شكل ربع دائرة يحجز الماء احسب لشريحة بعرض **1m** وزن السد إذا كانت كثافة البيتون النسبية $SG_b = 2.4$ واحسب المركبتين الأفقية والشاقولية لمحصلة قوى ضغط الماء على السد . هل ينزلق السد لى القاعدة تحت تأثير قوى ضغط الماء عليه (معامل الاحتكاك بين السد والقاعدة $\mu = 0.4$)



الحل:

حساب وزن السد:

$$W_D = \forall * \gamma = \forall * \rho_w * SG_b * g$$

$$W_D = \left[(12 * 9) - \frac{\pi * 9^2}{4})\right] * 2.4 * 1000 * 9.81 = \mathbf{1045KN}$$

حساب المركبة الأفقية لمحصلة قوى ضغط الماء:

$$F_x = \frac{9 * \gamma * 9}{2} * 1 = \frac{9 * 9810 * 9}{2} * 1 = \mathbf{397.73\ KN}$$

حساب المركبة الشاقولية لمحصلة قوى ضغط الماء:

$$F_y = \forall * \gamma = \left(\frac{\pi * 9^2}{4}\right) * 1000 * 9.81 = \mathbf{624KN}$$

هل ينزلق السد:

$$F_{\text{مثبت}} = \mu * N = \mu * (W_D + F_y) = 0.4 * (1045 + 624) = \mathbf{667.6KN}$$

$$F_{\text{زالق}} = F_x = \mathbf{397.73\ KN}$$

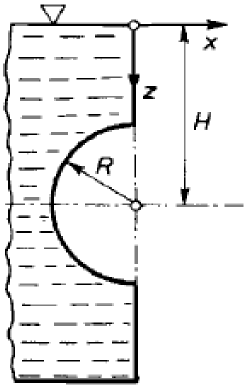
$F_{\text{مثبت}} = \mathbf{667.6KN} > F_{\text{زالق}} = \mathbf{397.73\ KN}$ **لا ينزلق السد**

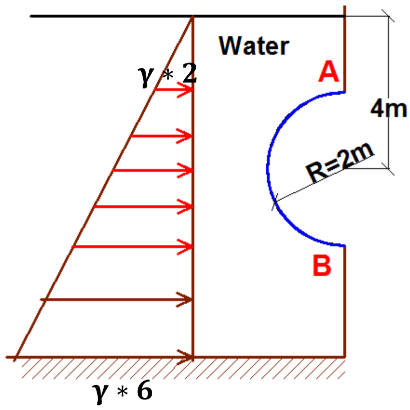
<u>مسألة رقم (11) غير محلولة</u>

احسب محصلة القوة المؤثرة على واحدة العرض من نصف الاسطوانة المبينة في الشكل علماً أن البعد بين مركز قاعدة نصف الاسطوانة وسطح الماء $H = 4m$، وأن نصف قطر القاعدة $R = 2m$

<u>الحل:</u>

- المركبة الأفقية لقوة الضغط المؤثرة تحسب من مخطط الضغط الهيدروستاتيكي كما يلي:

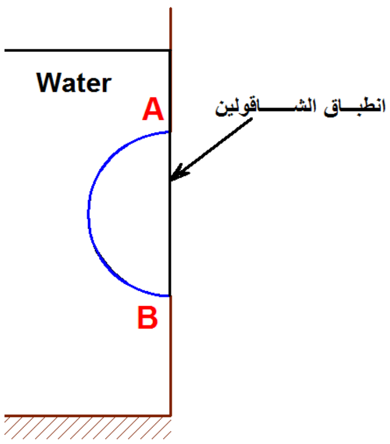




$$\mathbf{F_x = \frac{\gamma * 2 + \gamma * 6}{2} * 4 * 1}$$

- المركبة الشاقولية لقوة الضغط المؤثرة :

<u>إذا طبقنا القاعدة:</u>

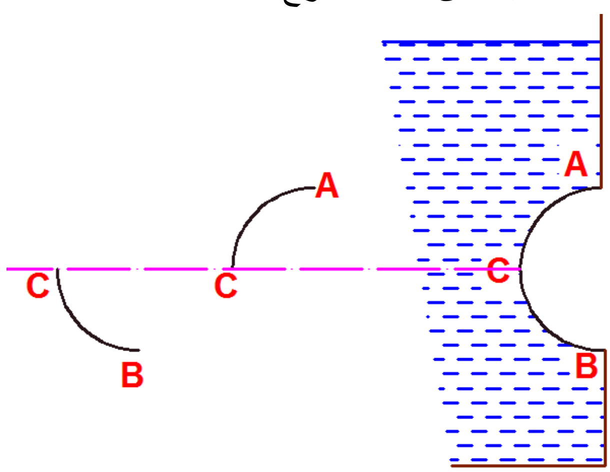


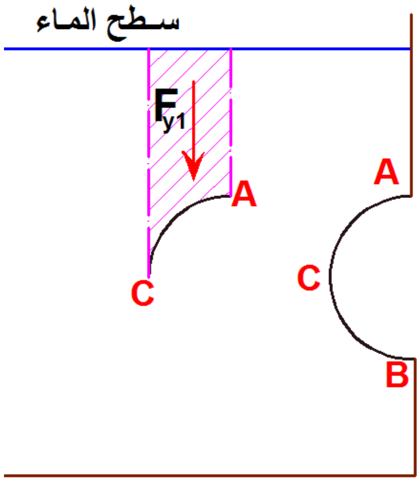
نرفع شاقول من بداية المنحني A حتى يتقاطع مع سطح الماء أو ممده

نرفع شاقول من نهاية المنحني B حتى يتقاطع مع سطح الماء أو ممده

سوف ينطبق الشاقولين

<u>لذلك نجزأ نصف الدائرة</u> (نصف الاسطوانة في الفراغ) إلى ربعي دائرة ونطبق القاعدة السابقة من أجل كل ربع AC,CB



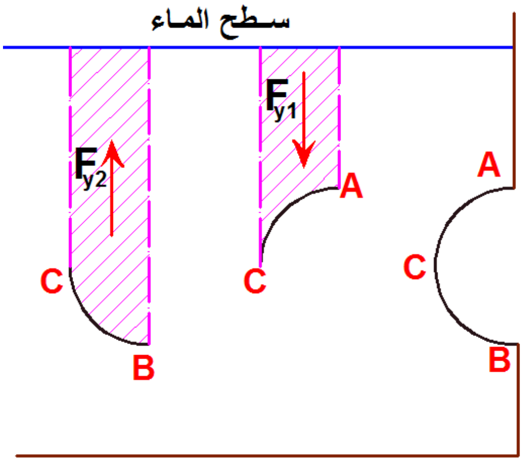


ربع الدائرة AC: (ربع الاسطوانة في الفراغ)

نرفع شاقول من بداية ربع الدائرة A حتى يتقاطع مع سطح الماء أو ممده

نرفع شاقول من نهاية ربع الدائرة C حتى يتقاطع مع سطح الماء أو ممده

وزن السائل المحصور بين الشاقولين المرفوعين من بداية ربع الدائرة A و نهاية ربع الدائرة C وبين ربع الدائرة وبين سطح الماء تمثل المركبة الشاقولية المؤثرة على ربع الدائرة AC : Fy_1 واتجاهها نحو الأسفل

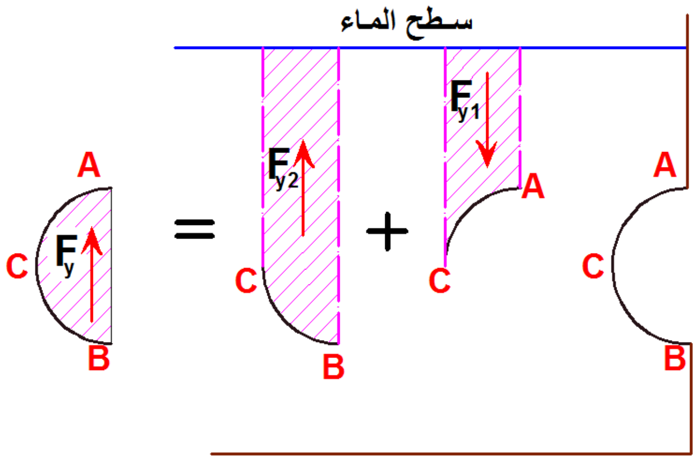


ربع الدائرة CB: (ربع الاسطوانة في الفراغ)

نرفع شاقول من بداية ربع الدائرة C حتى يتقاطع مع سطح الماء أو ممده

نرفع شاقول من نهاية ربع الدائرة B حتى يتقاطع مع سطح الماء أو ممده

وزن السائل المحصور بين الشاقولين المرفوعين من بداية ربع الدائرة C و نهاية ربع الدائرة B وبين ربع الدائرة وبين سطح الماء تمثل المركبة الشاقولية المؤثرة على ربع الدائرة Fy2 CB واتجاهها نحو الأعلى



بجمع المخططين المؤثرين على ربعي الدائرة Fy1 وFy2 نحصل على المحصلة النهائية وهي نصف الدائرة (نصف الاسطوانة في الفراغ)

أي أن المركبة الشاقولية لمحصلة قوى الضغط المؤثرة تساوي وزن السائل المحصور في نصف الاسطوانة

ويكون اتجاهها من Fy2 لأن شدتها أكبر من شدة Fy1

تذكير: محصلة قوتين متعاكستين بالاتجاه : شدتها تساوي طرح شدتي القوتين واتجاهها يكون من اتجاه القوة الأكبر

$$F_y = W = \gamma * \forall = \gamma * \frac{\pi * R^2}{2} * 1$$

دافعة أرخميدس - استقرار الأجسام المغمورة والعائمة

دافعة أرخميدس:

قوة شاقولية تؤثر على الجسم المغمور في السوائل

اتجاهها: من الأسفل إلى الأعلى

قيمتها F_B: تساوي وزن السائل الذي يشغله الجسم في هذا السائل (وزن السائل المزاح)

نقطة تطبيقها: تقع في مركز ثقل وزن السائل المزاح

استقرار الأجسام المغمورة:

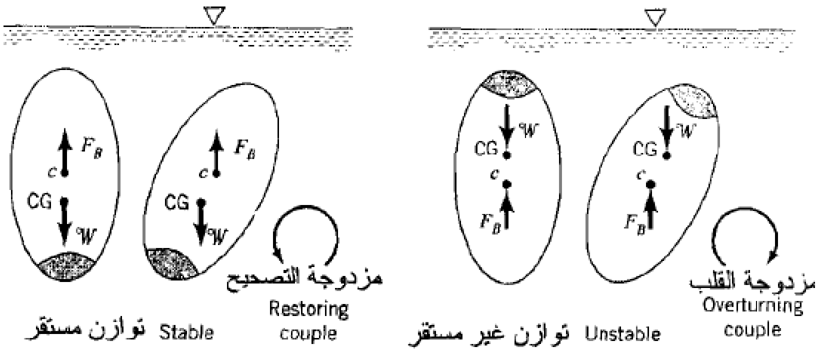
شروط استقرار الجسم المغمور:

1. **وزن الجسم = دافعة أرخميدس**

$$F_B = W$$

أو:

الكتلة الحجمية للجسم ρ_b تساوي الكتلة الحجمية للسائل ρ



الشكل (٢-٢٤). استقرار الأجسام المغمورة [6]

الجسم مستقر $\rho = \rho_b$

يغرق الجسم $\rho < \rho_b$

(غمر جزئي للجسم)يطفو الجسم $\rho > \rho_b$

2. **مركز ثقل الجسم أخفض من مركز ثقل وزن السائل المزاح**

استقرار الأجسام العائمة

شرط التوازن المستقر لجسم طاف:

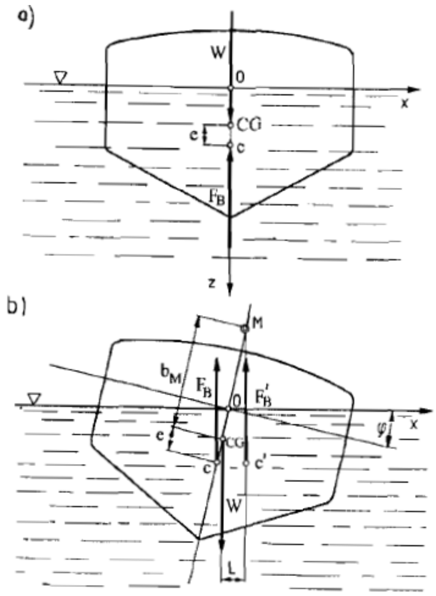
$$b_M > \frac{I_{min}}{\forall} - e$$

b_M **ارتفاع مركز الدوران (المسافة بين مركز الدوران ومركز ثقل الجسم)**

$\forall$ **حجم الجزء المغمور من الجسم (حجم السائل المزاح)**

I_{min} **عزم عطالة الجسم**

e **بعد مركز ثقل الجسم العائم عن مركز حجم الجزء المغمور من الجسم (حجم السائل المزاح)**

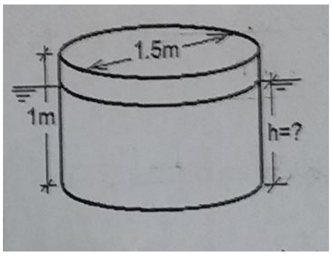


الشكل (٢-٢٥). استقرار الأجسام العائمة [7]

مسألة دورة

اسطوانة خشبية قطرها 1.5m, وارتفاعها 1m كثافتها $930\ \mathrm{kg/m^3}$ احسب **وزنها النوعي γ** ، **وكثافتها النسبية SG ، ثم وزن الاسطوانة W**

إذا وضعنا الاسطوانة لتسبح في سائل كتلته الحجمية $1100\ \mathrm{kg/m^3}$، فما هو **ارتفاع الجزء المغمور منها h** ؟



الحل:

$$\gamma = \rho * g = 930 * 9.81 = 9123.3\ N/m^3$$
$$SG = \frac{\rho}{\rho_W} = \frac{930}{1000} = 0.93$$
$$W = \gamma * \forall = 9123.3 * \frac{\pi * 1.5^2}{4} * 1 = 16122.2\ N$$

شرط التوازن:

وزن الجسم = دافعة أرخميدس

$$F_B = \mathrm{W}$$

F_B : وزن الجزء المغمور (وزن السائل المزاح)

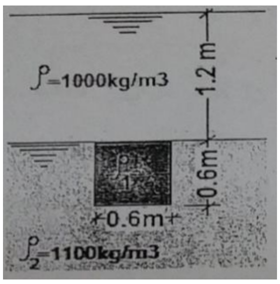
$$\gamma_{\text{للسائل}} * \forall_{\text{المغمور}} = \gamma_{\text{الخشب}} * \forall_{\text{الاسطوانة}}$$

$$\rho_{\text{للسائل}} * g * \frac{\pi * D^2}{4} * \mathrm{h} = \rho_{\text{الخشب}} * g * \frac{\pi * D^2}{4} * 1$$

$$\mathrm{h} = 0.845m$$

مسألة دورة

مكعب طول ضلعه 0.6 m من مادة متجانسة كثافتها $\rho_1 = 1050\ \mathrm{kg/m^3}$، موضوع في سائل كتلته الحجمية $\rho_2 = 1100\ \mathrm{kg/m^3}$، بحيث تغطيَه طبقة من الماء سمكها 1.2 m والمطلوب:



1- حساب وزن المكعب
2- حساب الضغط على السطح العلوي للمكعب
3- حساب الضغط على السطح السفلي للمكعب
4- حساب محصلة قوى الضغط على أحد السطوح الجانبية للمكعب ونقطة تطبيقها مع رسم مخطط الضغط
5- حساب دافعة أرخميدس على المكعب ونقطة تطبيقها واتجاهها
6- هل هذا المكعب مستقر في مكانه أم سيطفو أم سيغوص؟

<u>الحل:</u>

1. $W = \gamma_1 * \forall = 1050 * 9.81 * 0.6^3 = \mathbf{2223.9\ N}$
2. $P_{up} = P_0 + \gamma_w * h_1 = 0 + 9810 * 1.2 = \mathbf{11772\ Pa}$
3. $P_{down} = P_{up} + \gamma_2 * h_2 = 11772 + 1100 * 9.81 * 0.6 = \mathbf{18247\ Pa}$

<u>طريقة أولى:</u>

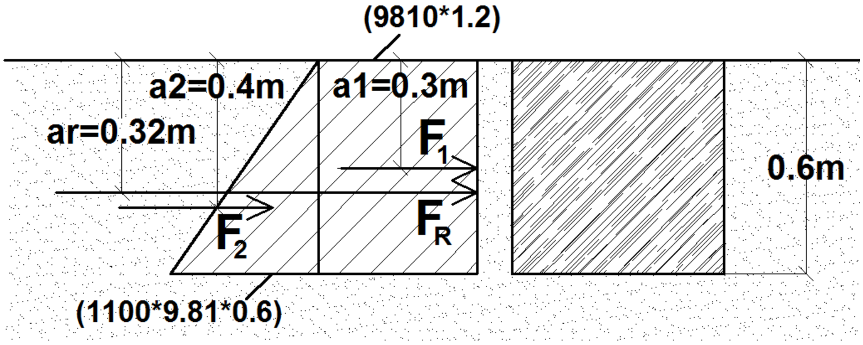
4. $F_R = \frac{11772+18246}{2} * 0.6 * 0.6 = \mathbf{5403\ N}$

<u>طريقة ثانية:</u>

$$F_R = P_c * A = \left(11772 + 1100 * 9.81 * \frac{0.6}{2}\right) * 0.6^2 = \mathbf{5403\ N}$$

<u>طريقة ثالثة:</u>

$$F_1 = 9810 * 1.2 * 0.6^2 = \mathbf{4.238\ KN} \ , a_1 = \frac{0.6}{2} = 0.3\ m$$
$$F_2 = \frac{1100*9.81*0.6*0.6}{2} * 0.6 = \mathbf{1.165\ KN} \ , a_2 = \frac{2}{3} * 0.6 = 0.4\ m$$
$$F_R = F_1 + F_2 = 4238 + 1165 = \mathbf{5403\ N}$$



$$a_R = \frac{F_1*a_1+F_2*a_2}{F_R} = \frac{4238*0.3+1165*0.4}{5403} = \mathbf{0.32\ m}$$

5. $B = \gamma_2 * \forall = 1100 * 9.81 * 0.6^3 = \mathbf{2331\ N}$

مطبقة في مركز المكعب و متجهة نحو الأعلى

6. $B > W$ **يطفو المكعب**

بما أن دافعة أرخميدس على المكعب أكبر من وزنه إذنً المكعب سيطفو قليلاً ويستقر في مكان ما مابين السائلين

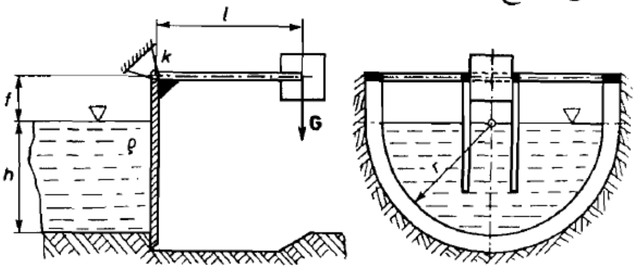
أو :

$$\rho = 1100 > \rho_b = 1050$$ **يطفو الجسم (غمر جزئي للجسم)**

حالة عرض غير ثابت

المسألة الثامنة

وضعت في قناة بوابة على شكل نصف دائرة نصف قطرها $r = 0.6m$، ووصلت مع ذراع طوله $l = 0.5m$، بحيث كانت قابلة للدوران حول المفصل k. وثبت وزن مقداره G في نهاية الذراع. احسب قيمة هذا الوزن بحيث لاتفتح البوابة عندما يصل ارتفاع الماء h إلى قيمة عظمى تساوي نصف قطر البوابة r. علماً أن بعد المفصل k عن سطح الماء $f = 0.1m$.



الحل:

نأخذ معادلة العزوم حول المفصل K :

$$\sum M_K = 0 \quad \Leftrightarrow F_R * a_1 = G * l$$

العرض غير ثابت لا يمكن استخدام مخططات الضغط لحساب محصلة قوى الضغط لذلك نستخدم العلاقة العامة لحساب محصلة قوى الضغط:

$$F_R = A * \gamma * h_c = \frac{\pi * r^2}{2} * \rho * g * \frac{4 * r}{3 * \pi}$$

$$F_R = \frac{\pi * 0.6^2}{2} * 1000 * 9.81 * \frac{4 * 0.6}{3 * \pi} = \mathbf{1412.64\ N}$$

$$a_1 = y_R + f$$

$$y_R = y_c + \frac{\bar{I_x}}{A * y_c}$$

$$\bar{I_x} = 0..11 * r^4 = 0.014256 \ \ m^4$$

$$A = \frac{\pi * r^2}{2} = 0.5655\ m^2$$

$$y_c = \frac{4 * r}{3 * \pi} = 0.255m$$

$$a_1 = y_R + f = 0.354 + 0.1 = \mathbf{0.45m}$$

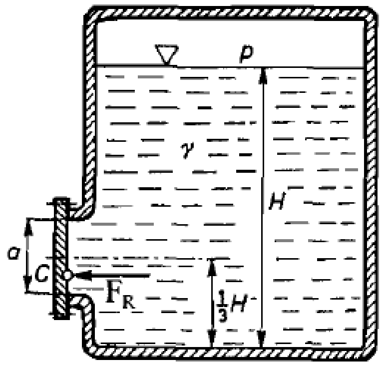
بالتعويض:

$$G = \frac{F_R * a_1}{l} = \frac{\mathbf{1412.64} * 0.45}{0.5} = \mathbf{1271.38\ N}$$

حالة وجود ضغط على سطح السائل (خزان مضغوط)

مسألة رقم (7) غير محلولة صفحة 123:

يحتوي الجدار الجانبي لخزان مغلق فيه سائل وزنه النوعي γ وعمقه **H**، على فتحة مربعة أبعادها **a×a** كما في الشكل . فإذا علمت أن مركز الفتحة يبعد عن أرضية الخزان بمقدار $H/3$، وأن الضغط المطبق على سطح السائل هو **P**، احسب محصلة القوة المؤثرة على الفتحة



الحل:

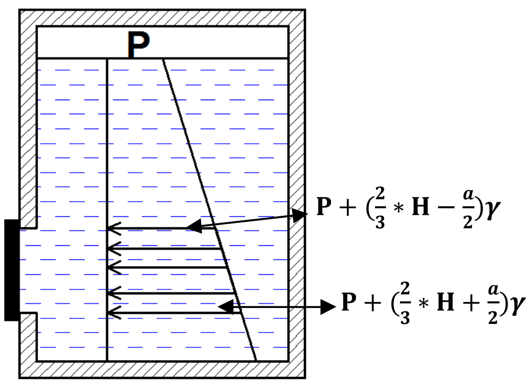
بمأن الفتحة مربعة الشكل: فإن قوة الضغط المؤثرة على الفتحة تساوي حجم مخطط الضغط لذلك نرسم أولاً مخطط الضغط :

عند أعلى الفتحة: قيمة الضغط تساوي: $P+\left(\frac{2}{3}*H-\frac{a}{2}\right)*\gamma$

عند أسفل الفتحة: قيمة الضغط تساوي: $P+\left(\frac{2}{3}*H+\frac{a}{2}\right)*\gamma$

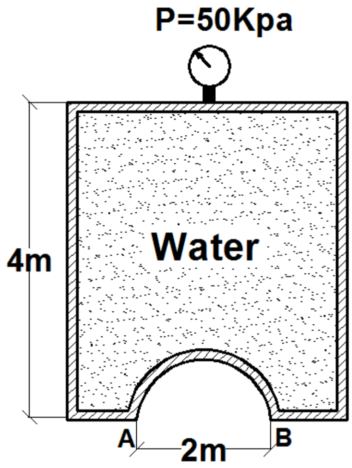
شكل مخطط الضغط شبه منحرف وبالتالي:

$$F_R=\frac{\left[P+\left(\frac{2}{3}*H-\frac{a}{2}\right)\gamma\right]+\left[P+\left(\frac{2}{3}*H+\frac{a}{2}\right)\gamma\right]}{2}*a*a$$



مسألة دورة:

احسب محصلة قوى الضغط المؤثرة على واحدة العرض من السطح الأسطواني AB إذا علمت أن السطح معرض لضغط مقداره: $\mathbf{P = 50Kpa}$، وارتفاع الماء فوق السطح، $\mathbf{h = 4m}$، علماً أن نصف القطر $\mathbf{R = 1m}$



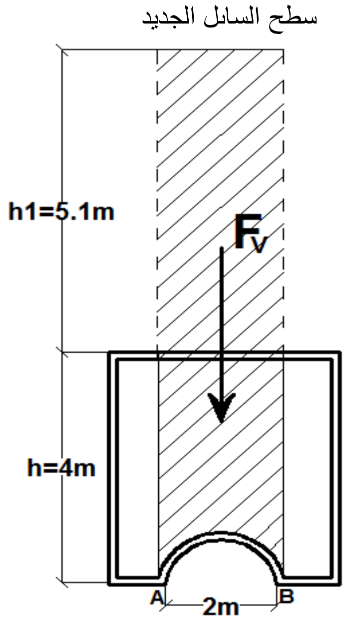
الحل:

- ✓ لاتوجد مركبة أفقية لقوة ضغط الماء المؤثرة على السطح **AB** لأن الشكل متناظر
- ✓ مركبة قوة ضغط الماء الشاقولية المؤثرة على السطح **AB**:

نستبدل الضغط بارتفاع سائل (ضاغط) $\mathbf{h_1}$ حيث: $\mathbf{h_1} = \frac{P}{\gamma} = \frac{50*10^3}{9.81*1000} = 5.1m$

ونرفع سطح السائل بمقدار h_1 نحدد بذلك **سطح السائل الجديد**

نرفع شاقول من بداية السطح A ونرفع شاقول من نهاية السطح B حتى يتقاطع مع سطح السائل الجديد وبالتالي:



$$\mathbf{F_Y = \gamma * \forall = \gamma * \left[\left((h_1 + h) * R\right) - \left(\frac{\pi * R^2}{2}\right)\right] * b}$$

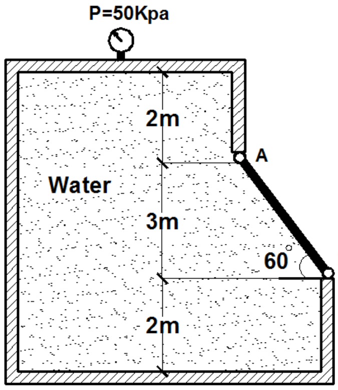
$$\mathbf{F_Y = \gamma * \left[\left((4 + 5.1) * 2\right) - \left(\frac{\pi * 1^2}{2}\right)\right] * 1 = 163132.49N}$$

- ✓ محصلة قوة ضغط الماء الكلية المؤثرة على السطح **AB**

$$F_R = \sqrt{F_X{}^2 + F_Y{}^2} = \sqrt{0 + 163132.49^2} = 163132.49N$$

مسألة دورة:

احسب محصلة قوى الضغط المؤثرة على واحدة العرض من السطح المائل **AB** إذا علمت أن السطح معرض لضغط مقداره: $\mathbf{P = 50Kpa}$



✓ مركبة قوة ضغط الماء الأفقية المؤثرة على السطح **AB**

$$h_1 = \frac{P}{\gamma} = \frac{50*10^3}{9.81*1000} = 5.12\text{m}$$

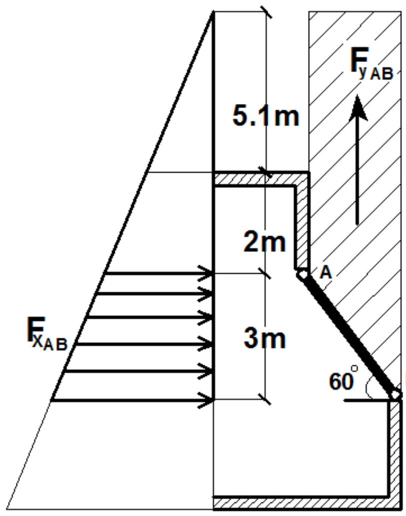
$$F_{x_{AB}} = \frac{7.1*\gamma+10.1*\gamma}{2} * 3 * 1 = 253.098 \times 10^3$$

✓ مركبة قوة ضغط الماء الشاقولية المؤثرة على السطح **AB**

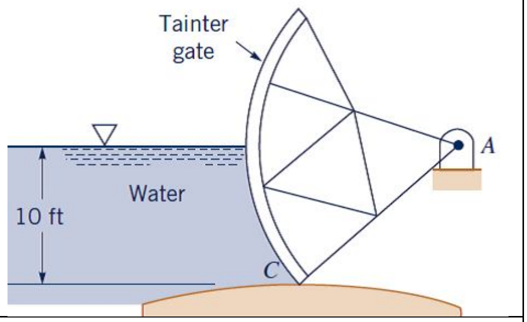
$$F_{y_{AB}} = \gamma * \forall = \gamma * \left[\left(\frac{3*1.73}{2}\right) + (7.1 * 1.73)\right] * 1 = 145.953 \times 10^3\text{N}$$

✓ محصلة قوة ضغط الماء الكلية المؤثرة على السطح **AB**

$$F_R = \sqrt{{F_x}^2 + {F_y}^2} = 292.166\ \text{KN}$$



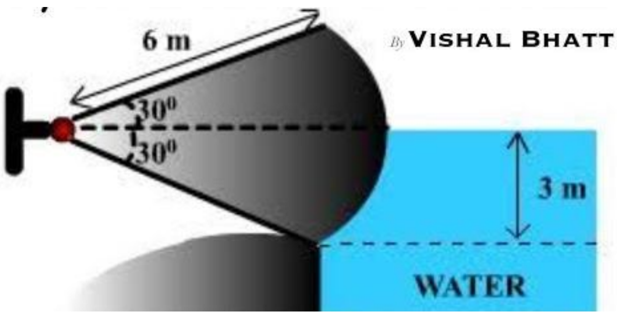
حالة بوابة قوسية



بوابة قوسية

مسألة

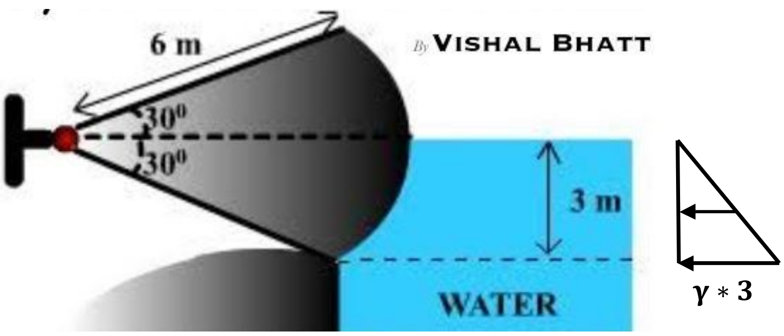
بوابة على شكل قوس دائري نصف قطرها 6m احسب محصلة قوى ضغط السائل الساكن بواحدة العرض وحدد اتجاهها



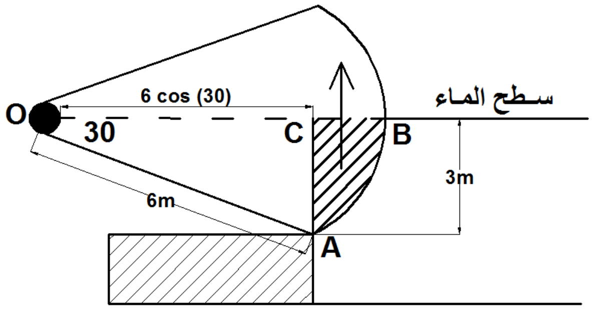
الحل:

المركبة الأفقية لقوة الضغط المؤثرة تحسب من مخطط الضغط الهيدروستاتيكي كما يلي:

$$F_x = \frac{3*\gamma*3}{2} * 1 = 44145\ N$$



المركبة الشاقولية لقوة الضغط المؤثرة نطبق القاعدة



$$F_y = W = \gamma * \forall = \gamma * A * 1$$

A تساوي مساحة القطاع الدائري **AOB** نطرح منه مساحة المثلث **OCA**

لإيجاد مساحة القطاع الدائري **AOB**:

مساحة الدائرة التي مجموع زواياها 2π تساوي πr^2

مساحة القطاع الدائري **AOB** الذي زاويته $\frac{\pi}{6}$ تساوي **X**

$$X = \frac{\frac{\pi}{6} * \pi r^2}{2\pi} = \frac{\frac{\pi}{6}}{2\pi} * \pi r^2$$

بشكل عام مساحة قطاع دائري:

$$A_{\text{قطاع دائري}} = \text{مساحة الدائرة} * \frac{\text{زاوية القطاع}}{\text{مجموع زوايا الدائرة}} = \pi r^2 * \frac{\alpha}{2 * \pi}$$

α : زاوية القطاع

مساحة المثلث **OCA**

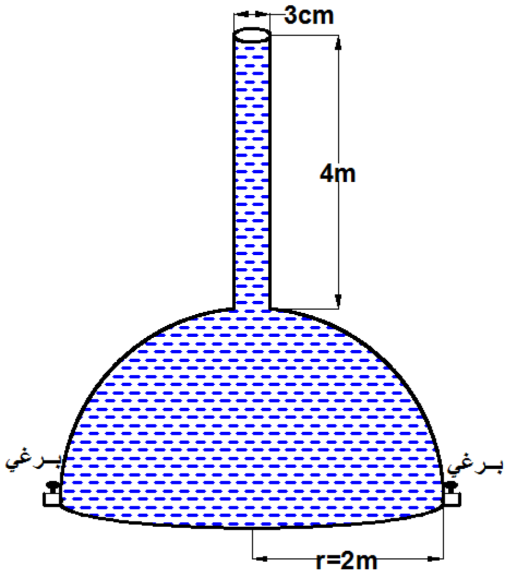
$$A(\mathrm{OCA}) = \frac{3 * 6 * COS(\frac{\pi}{6})}{2}$$

بالتعويض: (الآلة الحاسبة بالراديان)

$$F_y = \gamma * \left[\frac{\frac{\pi}{6}}{2\pi} * \pi r^2 - \frac{3 * 6 * COS(\frac{\pi}{6}))}{2}\right] * 1 = 16029\ N$$

$$F_R = \sqrt{F_x^{\ 2} + F_y^{\ 2}} = \sqrt{44145^2 + 16029^2} = 46.95\ KN$$

مسألة خارجية (حساب قوة ضغط السائل المؤثرة على شكل فراغي- قبة كروية)



قبة نصف كروية وزنها $30KN$ مملوءة بالماء ومثبتة في الأرض بوساطة 6 براغي موزعة على محيطها بالتساوي ، ماهي القوة التي يتحملها كل برغي لتبقى القبة مثبتة في الأرض

الحل:

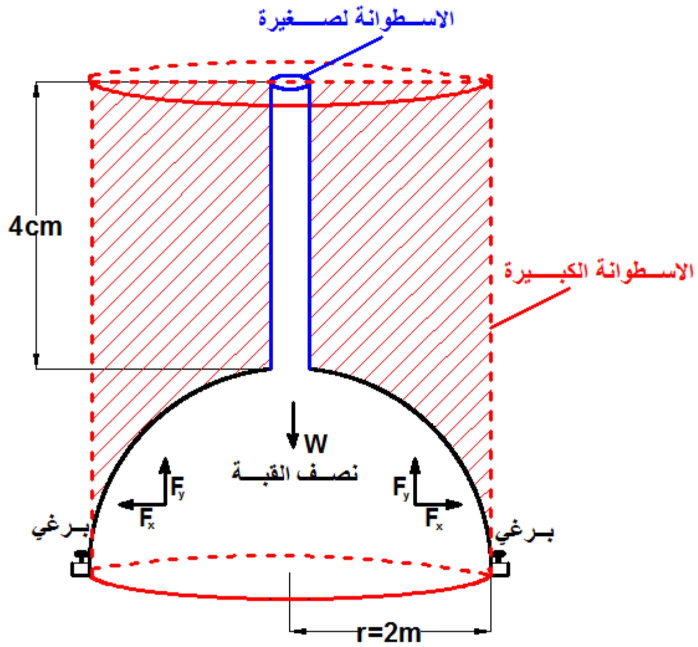
- تبدأ البراغي بالعمل عندما تصبح قوة ضغط الماء داخل القبة أكبر من وزن القبة
- لاتوجد F_x مؤثرة على القبة لأن الشكل متناظر

وبالتالي لتبقى القبة ثابتة يجب أن يتحقق:

$$\sum F_y = 0$$

القوة التي تتحملها البراغي هي:

$$F_b = F_y - W$$



حيث:

$$F_y = W = \gamma * \forall$$

حيث γ حجم فراغي ويساوي :

حجم الاسطوانة الكبيرة − (حجم نصف الكرة + حجم الأسطوانة الصغيرة)

حجم الاسطوانة الكبيرة : $\pi * 2^2 * (4+2)$

حجم نصف الكرة: $\frac{1}{2} * \frac{4}{3}\pi * 2^3$

حجم الأسطوانة الصغيرة: $\frac{\pi * 0.03^2}{4} * 4$

$$\forall = \left[\pi * 2^2 * (4+2) - \left(\frac{1}{2} * \frac{4}{3}\pi * 2^3 + \frac{\pi * 0.03^2}{4} * 4\right)\right] = 58.64\ m^3$$

$$\Rightarrow F_y = 9810 * 58.64 = 575260.71\ N$$

القوة التي تتحملها البراغي :

$$F_b = F_y - W = 575260.71 - 30 * 10^3 = 545260.71 N$$

القوة التي يتحملها البرغي الواحد:

$$\frac{F_b}{6} = \frac{545260.71}{6} = 90.87\ KN$$