بسم الله الرحمن الرحيم

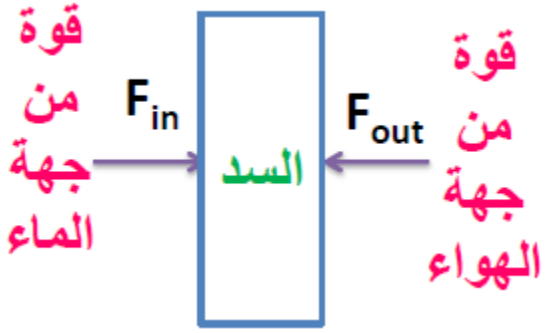
السوائل(2) + الكهرباء

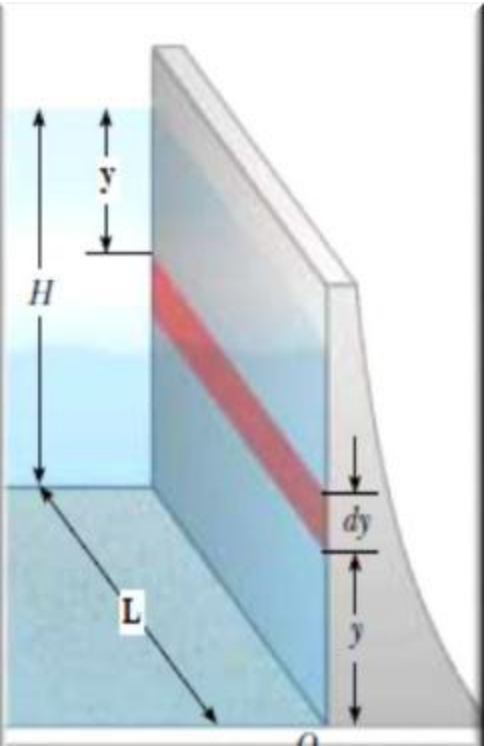
كلية الهندسة المدنية – السنة الأولى

د.صبا عياش

القوى المؤثرة على السدود

ليكن لدينا سد على شكل مستطيل طوله L يحجز خلفه ماء بعمق h ، نأخذ شريحة من السد عرضها dy وطولها L و تقع على عمق y من سطح الماء





تتعرض الشريحة في السد لقوتين :
داخلية df_{in} من جهة الماء و
خارجية من جهة الهواء df_{out}:

تحسب القوة العنصرية من العلاقة $dF=P.dA$ حيث $dA=L.dy$ وتتم المكاملة على كامل ارتفاع الماء H

القوة المؤثرة على السد $F=\rho gAH/2$

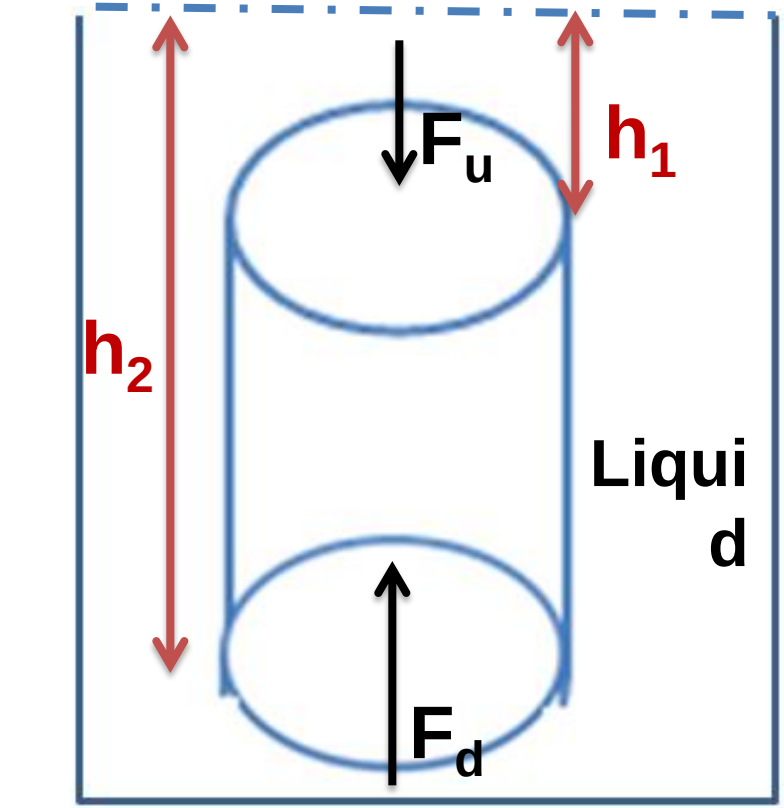
دافعة أرخميدس

إذا وضع جسم في سائل (أو غاز)
فإن هذا الجسم يخضع لقوة :

جهتها: ↑

شدتها :

دافعة أرخميدس (وزن السائل المزاح) B= القوة على الوجه السفلي F_d – القوة على الوجه العلوي F_u



Fu=?

Fd=?

$B=\rho_L g V$

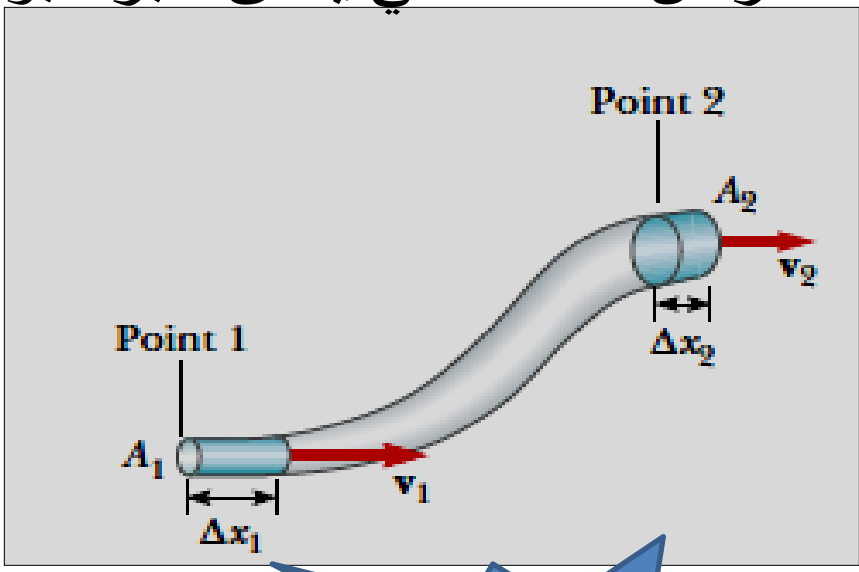
السوائل في حالة الحركة / معادلة الاستمرارية

ليكن لدينا الافتراضات التالية لحركة المائع (السائل) المثالي

السائل عديم اللزوجة (قوى الاحتكاك الداخلية مهملة)	السائل غير قابل للانضغاط (كثافة السائل ثابتة)	السائل موجود في الحالة المستقرة(سرعة السائل ثابتة و مماسة لخطوط تدفق السائل عبر مساحة المقطع عرضي A)

معادلة الاستمرارية

لنفترض سائل مثالي يتدفق عبر أنبوب غير متجانس



خلال فاصل زمني Δt :

كتلة السائل التي تعبر مساحة المقطع A_1 = كتلة السائل التي تعبر مساحة المقطع A_2

$m_1 = m_2$ $\Leftarrow$ $m=\rho.V$

$$\rho A_1.\Delta X_1=\rho A_2.\Delta X_2$$

$$\rho A_1.v_1.\Delta t=\rho A_2.v_2.\Delta t$$

$$A_1.v_1=A_2.v_2$$

معادلة الاستمرارية

جداء مساحة المقطع العرضي و سرعة المائع ثابتة في جميع نقاط الأنبوب

معادلة الاستمرارية $A_1.v_1=A_2.v_2$

$Q=A.v=\pi r^2.v$

واحدة معدل التدفق الحجمي Q (m^3/s)

بمعرفة معدل تدفق السائل عبر مساحة المقطع العرضي A، نحصل على سرعة السائل

سرعة السائل المتدفق $Q/A=v$

أنواع جريان السوائل (التدفق)

تتدفق السوائل داخل الأنابيب و القنوات وفق نوعين رئيسيين: جريان منتظم (انسيابي) و جريان اضطرابي

أنواع التدفق

التدفق الانسيابي: تكون خطوط جريان السائل موازية لسطح السائل أو محور الأنبوب ، وتمثل الجريان خطوط سرعة انسياب طبقات السائل ، وتكون هذه السرعة ثابتة مع الزمن (عند نقطة معينة) وتختلف من نقطة لأخرى.

التدفق الاضطرابي: يتدفق السائل بشكل مضطرب مولدا دوامات أثناء الحركة، و يحدث ضياع للطاقة على شكل طاقة داخلية (ارتفاع في درجة الحرارة) و تتقاطع خطوط الجريان في هذا التدفق مع بعضها البعض

لتحديد طبيعة التدفق ينظر لسرعة السائل المتدفق :

فإذا كانت $v<v_c$ جريان منتظم

$V>V_c$ جريان اضطرابي

$$v_c = R_e \frac{\eta}{\rho D} \ldots (13-3)$$

حيث η اللزوجة ($N.s/m^2$ أو $dyne.s/cm^2$) ρ كثافة السائل، Re عدد رينولد، D قطر الأنبوب

$Re \leq 2000$ ⇓ تدفق انسيابي منتظم

$Re \geq 3000$ ⇓ تدفق اضطرابي

$2000 < Re < 3000$ ⇓ تدفق متحول بين الانسيابي و الاضطرابي

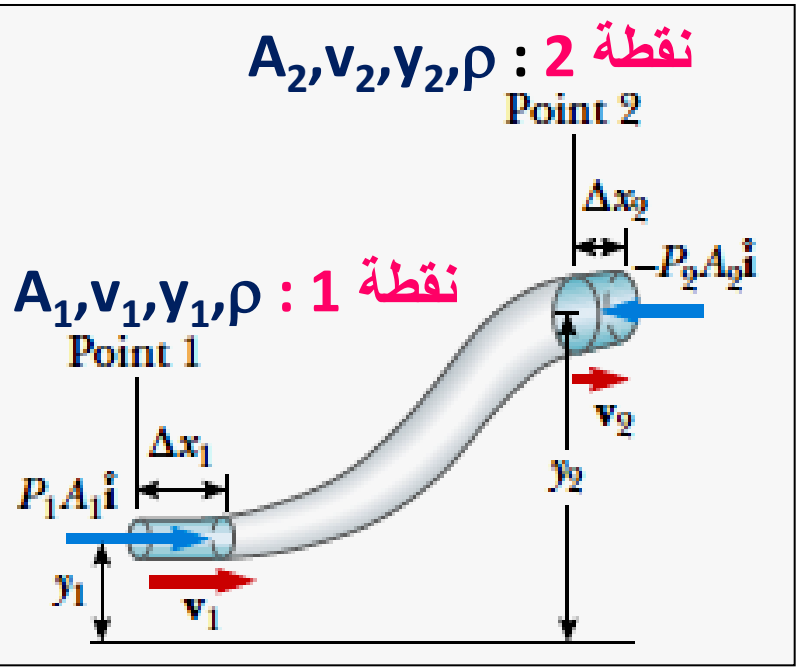
معادلة برنولي

يتحرك سائل مثالي عبر أنبوب غير متجانس، نأخذ نقطتين من الأنبوب نقطة 1 ونقطة 2

تؤدي القوة المطبقة على مساحة المقطع A_1 : $F_1=P_1.A_1$ إلى انتقال $\Delta X_1 \Rightarrow W_1 = P_1.A_1.\Delta X_1=P_1.V$

القوة بعكس جهة الإزاحة عند النقطة 2

العمل سالب



تؤدي القوة المطبقة على مساحة المقطع A_2 : $F_2=-P_2.A_2$ إلى انتقال $\Delta X_2 \Rightarrow W_2 = -P_2.A_2.\Delta X_2= -P_2.V$

العمل الكلي $W=W1+W2$

$$W=P_1.A_1.\Delta x_1-P_2.A_2.\Delta x_2 = (P_1V_1-P_2V_2)=(P1-P2)V$$

معادلة برنولى

يتحول العمل الكلي W المطبق على مساحة المقطعين (خلال الفاصل الزمني Δt) إلى تغير فى الطاقة حركية ΔK+ تغير فى الطاقة الكامنة ΔU لجزيئات السائل المارة عبر مساحة المقطعين

$m = \rho . V$

$W=(P_1-P_2)V$

العمل W

$\frac{1}{2} m(v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} \rho V (v_2^2 - v_1^2)$ تغير الطاقة الحركية ΔK

$mgy_2-mgy_1=\rho gVy_2-\rho gVy_1=\rho gV(y_2-y_1)$ تغير الطاقة الكامنة ΔU

بعد التقسيم على V

$W=\Delta K+\Delta U$ ⇒ $P_1-P_2 =1/2\rho v_2^2 - 1/2\rho v_1^2 + \rho g y_2-\rho g y_1$

معادلة برنولي

$$P_1+ 1/2\rho v_1^2+ \rho g y_1 = P_2 +1/2\rho v_2^2 +\rho g y_2$$

$$P+ 1/2\rho v^2+ \rho g y = const$$

تطبيق (معادلة تورشيللي)

ماهو معدل الماء المتدفق في الدقيقة الواحدة من خزان مفتوح من الأعلى (كما هو مبين في الشكل) خلال فتحة صغيرة قطرها (3cm) وتقع على عمق 5m أسفل مستوى الماء في الخزان؟

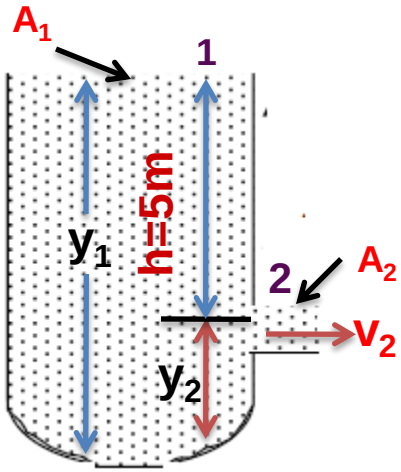
النقطتان 1 و 2 معرضتان للهواء $\Leftarrow$ $P_1=P_2=Pa$

نقطة1: $P_1=Pa$، الارتفاع y_1، السرعة v_1 مهملة لأن مساحة السطح A_1 أكبر من مساحة السطح A_1

نقطة 2: $P2=Pa$، الارتفاع y_2، السرعة v_2

تطبق معادلة بيرنولي بين النقطتين 1 و 2

معادلة تورشيللي $v_2=\sqrt{2g(y_1-y_2)}$ $\Leftarrow$ $P_0+\rho g y_1 = P_0+1/2\rho v_2^2+\rho g y_2$



$y_1-y_2=h=5m$

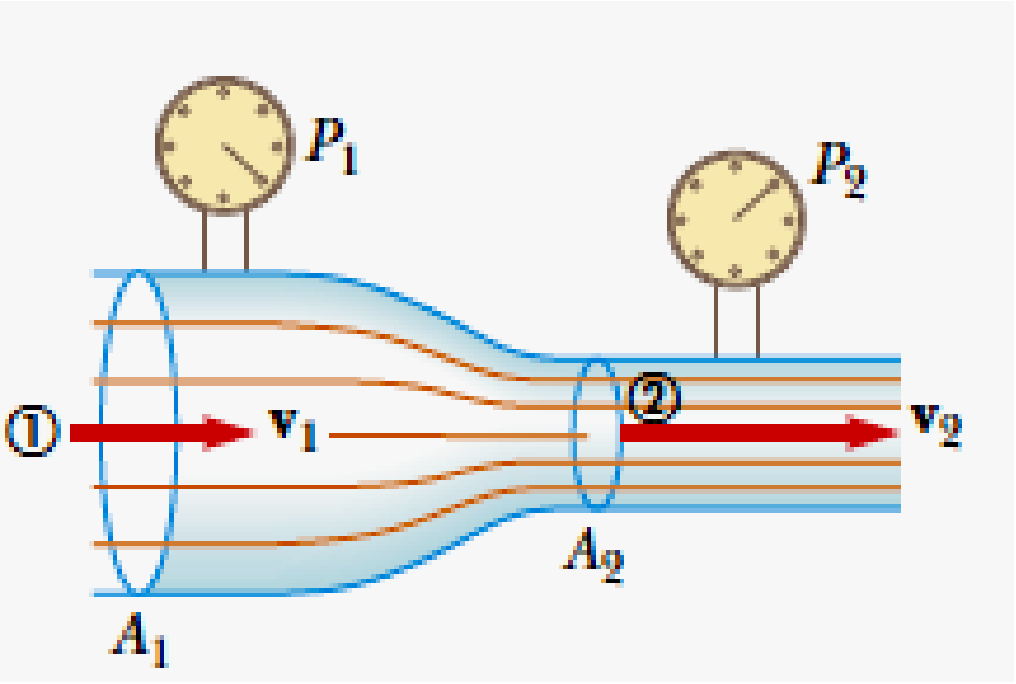
$$v_2=\sqrt{2(9.8)(5)}=9.9m/s$$

معدل الماء المتدفق Q $Q=\pi r^2 v$

$$Q=(3.14)(1.5x10^{-2}m)^2(9.9m/s)$$

معدل الماء المتدفق في الدقيقة الواحدة $Q=7x10^{-3}m^3/s=0.42m^3/\min$

أنبوب فينتوري



في حالة خاصة من أنبوب برنولي يكون الأنبوب الأفقي (كالموضح في الشكل)

$$y_1=y_2=y$$

تصبح معادلة برنولي بالشكل:

$$P_1+ 1/2\rho v_1^2 = P_2 +1/2\rho v_2^2$$

يمكننا أنبوب فينتوري من حساب سرعة سائل غير قابل للانضغاط من خلال الاستعانة بمعادلة الاستمرارية

ملاحظات توضيحية عن خواص السائل المثالي و أنواع الجريان

السائل المثالي عديم اللزوجة : تعد قوة اللزوجة (قوة الاحتكاك الداخلية في السائل) مقياسا لمقاومة طبقات السائل للحركة بالنسبة لبعضها البعض (إعاقة الحركة) وفق سرعات مختلفة

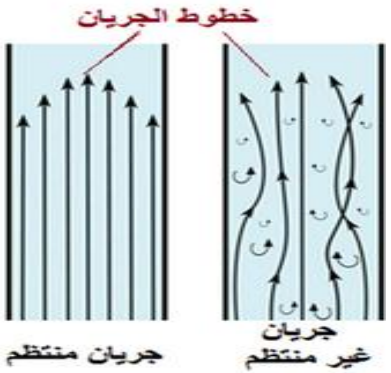
لزوجة ↑ قابلية جريان ↓ سرعة جريان السائل ↓

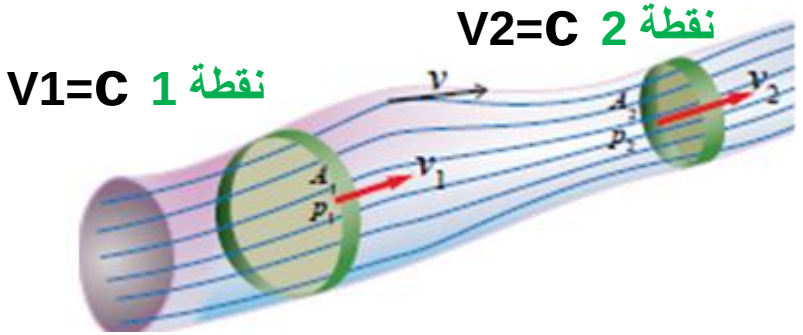
لزوجة ↓ قابلية جريان ↑ سرعة جريان السائل ↑

السائل المثالي غير قابل للانضغاط : حجم السائل المار عبر الأنبوب ثابت في جميع نقاطه (الكثافة ثابتة) و المتغير هو مساحة المقطع العرضي و سرعة الجسم

تدفق السائل المنتظم : سرعة جزيئات السائل ثابتة مع الزمن عند نقطة معينة ولكنها تتغير من نقطة لأخرى و تتحرك جزيئات السائل في مسارات منتظمة لا تتقاطع مع بعضها البعض

تدفق السائل غير المنتظم (الاضطرابي): تتغير سرعة جزيئات السائل عند نقطة معينة مع الزمن وتتقاطع خطوط تدفق السائل مع بعضها البعض





خصائص السوائل/ التوتر السطحي

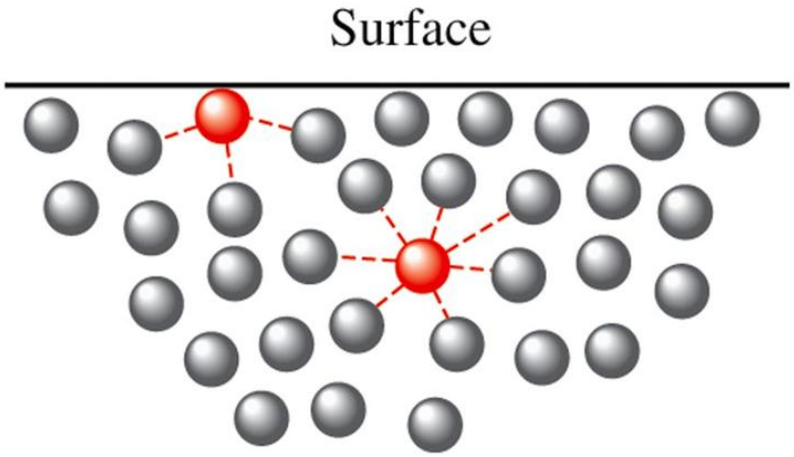
الفرق بين جزيئات الطبقة السطحية و الطبقات العميقة

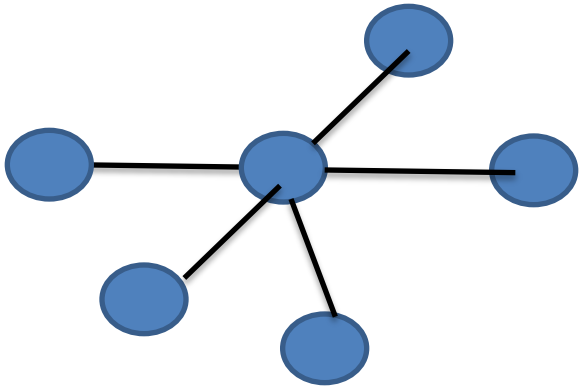
يأخذ السائل شكل كروي

التوتر السطحي للسوائل σ: القوة المؤثرة في وحدة الطول من السائل

$$\sigma = \frac{f}{L}$$

قوى التوتر السطحي : القوى التي تقع في مستوي سطح السائل العلوي





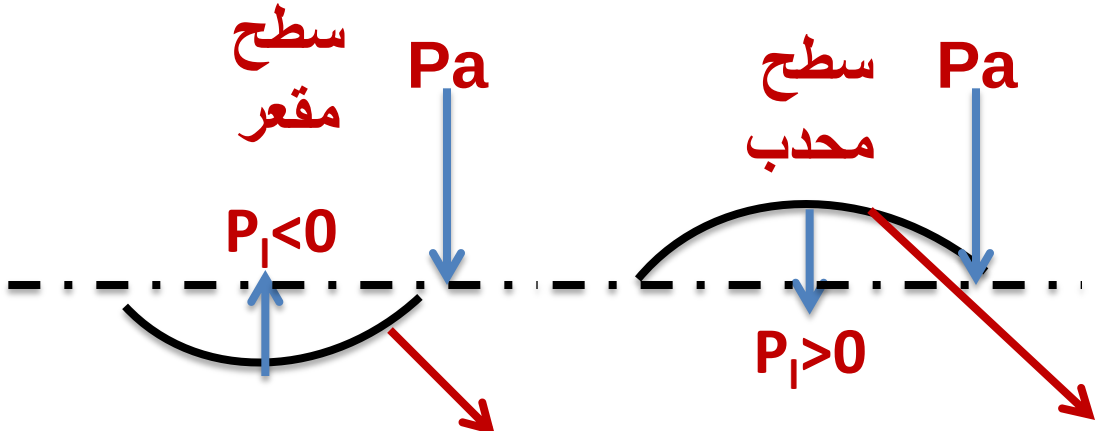
العوامل المؤثرة على التوتر السطحي :

الضغط اللابلاسي P_L

الضغط اللابلاسي P_l: الضغط المشروط بانحناء سطح السائل. و هو ضغط إضافي يزيد أو ينقص من الضغط الذي يعاني منه سطح السائل المستوي (Pa)

يعطى الضغط اللابلاسي بالعلاقة التالية :

$$P_l = -\sigma \frac{dA}{dV}$$



الضغط على سطح السائل المقعر = Pa-Pl

الضغط على سطح السائل المحدب = Pa+Pl

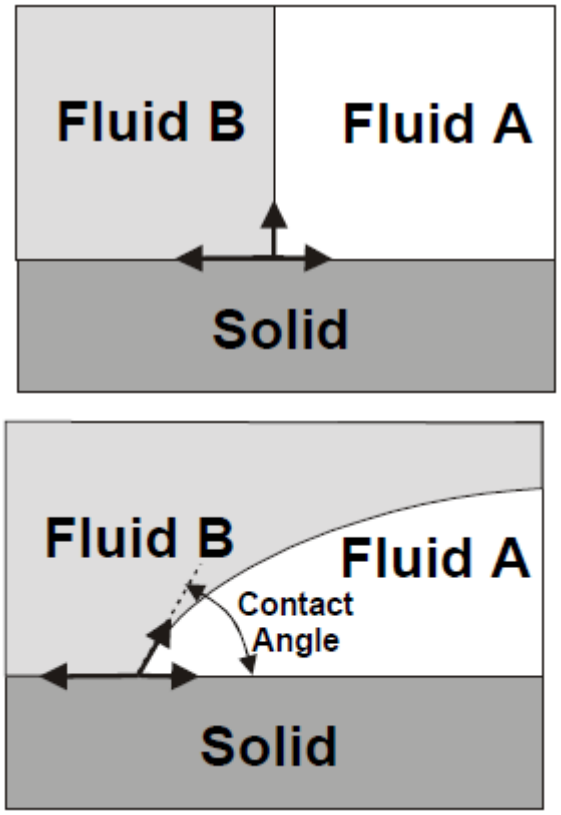
الضغط اللابلاسي في الحالة الكروية

$P_l = -2\sigma / R$

الضغط اللابلاسي في الحالة الأسطوانية

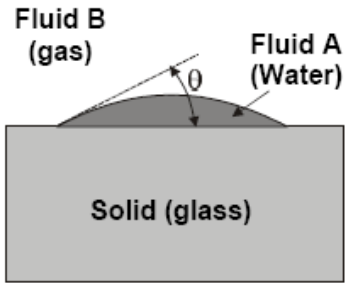
$P_l = -\sigma / R$

- عندما يحد سطح جسم صلب وسطين غير قابلين للامتزاج (سائل ، غاز) نحصل على عدة حالات للتبلل
- تحدد حالة التوازن بين الأوساط الثلاث بزاوية التبلل θ و يمكن من خلالها تحديد حالة التبلل.



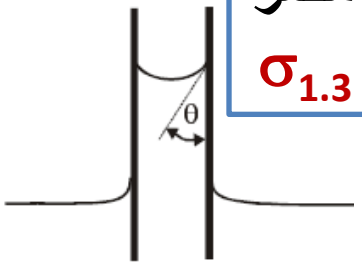
تبلل السطح الصلب

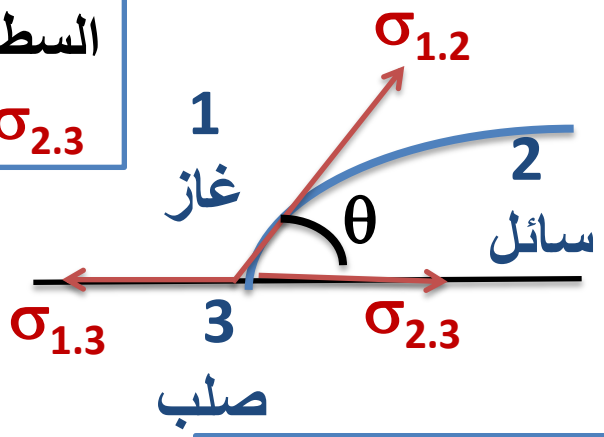
يعبر عن التوتر السطحي للسطح الفاصل بين وسطين من هذه الأوساط بالمقادير $\sigma_{2.3}$(حالة صلب – سائل)، $\sigma_{1.2}$ (حالة سائل ، غاز)، $\sigma_{1.3}$ (حالة غاز- صلب)



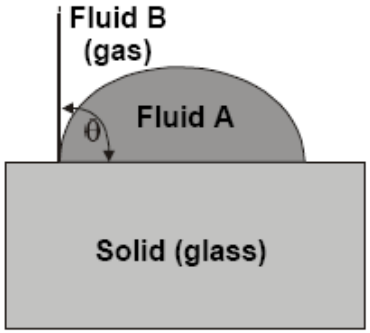
السطح مقعر

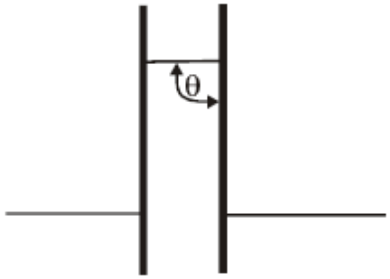
$\sigma_{1.3} > \sigma_{2.3}$



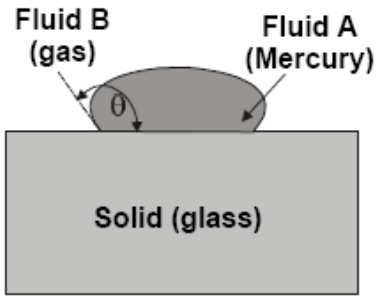


θ:زاوية التبلل





$$\sigma_{1.3} = \sigma_{2.3} + \sigma_{1.2} \cos\theta$$



السطح محدب

$\sigma_{1.3} < \sigma_{2.3}$

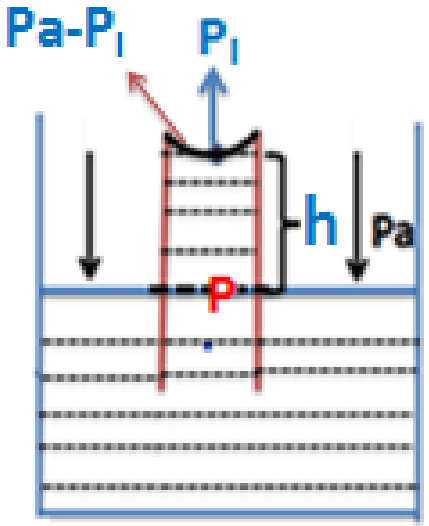
حالات التبلل

$\theta = 0$

$\theta = \frac{\pi}{2}$

$\theta = \pi$

الظاهرة الشعرية



الضغط على سطح السائل = P_a-P_l

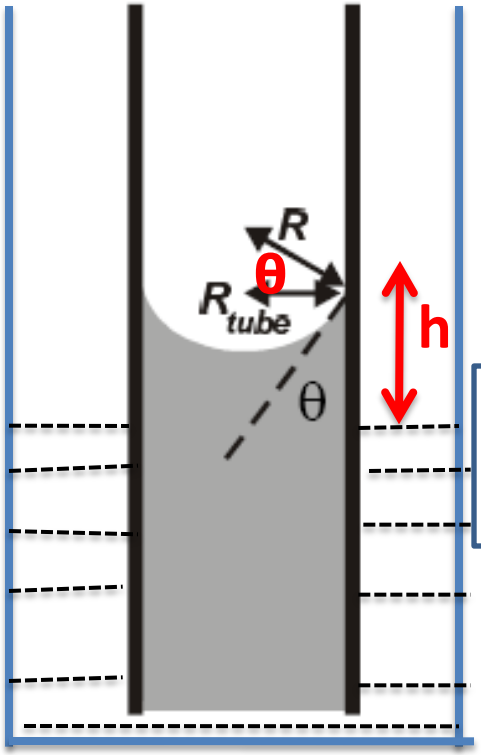
إذا أدخل أنبوب شعري في سائل يرتفع السائل داخل الأنبوب وفقا للضغط اللابلاسي P_l .

$P_l=2\sigma/R$ (حالة كروية) ⇐ الضغط على سطح السائل داخل الأنبوب Pa - Pl =

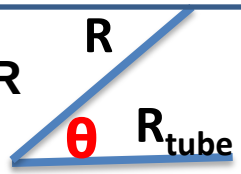
يرتفع الماء داخل الأنبوب لارتفاع h عن النقطة p (سطح السائل)

ضغط السائل عند النقطة p : $P(p)=Ps+\rho gh=(Pa-Pl)+\rho gh$

يتوقف السائل عن الصعود عندما يكون الضغط داخل الأنبوب = الضغط خارج الأنبوب



$\cos\theta=R_{tube}/R$



P (عند النقطة p) = p على سطح السائل خارج الأنبوب pa

$(Pa-pl)+\rho gh=Pa$

$P_l=\rho gh$

$2\sigma/R=\rho gh$

$h= 2\sigma/\rho g R$

$h= 2\sigma\cos\theta/\rho g R_{tube}$

ارتفاع السائل داخل الأنابيب الشعرية

خطورة الظاهرة الشعرية على الأبنية البيتونية

أوجد الارتفاع h الذي يمكن أن يصل إليه الماء داخل المسامات الإسمنتية إذا افترضنا أن المسامات الإسمنتية على شكل أنابيب قطرها من رتبة الميكرومتر؟

نطبق علاقة h من أجل حالة التبلل الكلي (cosθ=1)

$$h=2\sigma \cos\theta/\rho g R_{tube}$$

حيث σ (ماء)= 0.073N/m، ρ=1000kg/m^3 قطر المسامات الإسمنتية ~ 1μm Rtube ~10^{-6} m

h~15m

وصول الماء داخل المادة الاسمنتية لمثل هذه الارتفاعات العالية يؤدي إلى آثار سلبية و خطورة على المباني يمكن أن نلخصها في النقاط التالية:

- تبلل المادة الإسمنتية يجعلها هشة و غير مقاومة
- وصول الماء للحديد يؤدي لتأكسد الحديد وتآكله
- وصول الماء لكسوة البناء يؤثر على حالة الدهانات الداخلية للأبنية
- يؤدي وصول الماء للجدران الداخلية إلى تشكل الرطوبة الدائمة داخل المبنى مما يؤثر على صحة الأشخاص القاطنين في المبنى

نتيجة خطورة الظاهرة الشعرية على المباني الإسمنتية يتم العمل على عزل الأساسات و المباني عن مصادر المياه القادمة من الأرض و التربة باستخدام مواد معينة (مثل البيتومين)تعمل على سد المسامات الإسمنتية من خلال تسخين المواد بشكل جيد حتى تتسرب داخل الاسمنت و تسد المسامات الإسمنتية

الكهرباء الساكنة

أنواع الشحنة و القوى الكهربائية

- المادة (الذرة) معتدلة كهربائيا أي عدد الشحنات الموجبة (البروتونات)= عدد الشحنات السالبة (الالكترونات)

- عدد الالكترونات > عدد البروتونات ⇐ الشحنة سالبة
- عدد البروتونات > عدد الالكترونات ⇐ الشحنة موجبة

- ينشأ بالتالي نوعان من القوى الكهربائية : قوى تنافرية بين الأجسام المشحونة بشحنات متماثلة (+,+) أو (-,-)و قوى تجاذبية بين الأجسام المشحونة بشحنات مختلفة(-,+)

قانون كولون

إذا تم وضع شحنتين q_1 q_2 على بعد r بينهما فإن القوة الكهربائية الناتجة بينهما تعطى بالعلاقة :

$$F = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

حيث K ثابت التناسب و يتعلق بنوعية الوسط بين الشحنتين ويساوي في حالة الخلاء (في الجملة الدولية)

$K=9x10^9$ $N.m^2/coul^2$

يعطى الثابت K بالعلاقة :

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

❖ثابت السماحية الكهربائية للخلاء

$\varepsilon_0 = 8.85X10^{-12}\ coul^2/N.m^2$

❖يعطى قانون K بالحالة العامة بالشكل:

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon} = \frac{1}{4\pi\ \varepsilon_0 \varepsilon_r}$$

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

❖ε ثابت سماحية الوسط ، εr ثابت السماحية النسبي ويساوي إلى 1 في حالة الخلاء

قواعد عامة في توجيه القوى و الإشارات

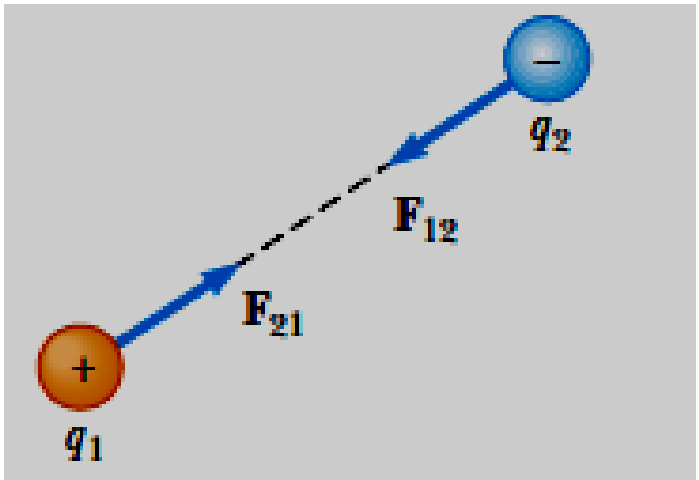
1- يرمز للقوة التي تؤثر بها الشحنة q_1 على الشحنة q_2 بالرمز F_{12} و تكون نقطة تأثيرها عند الشحنة q_2

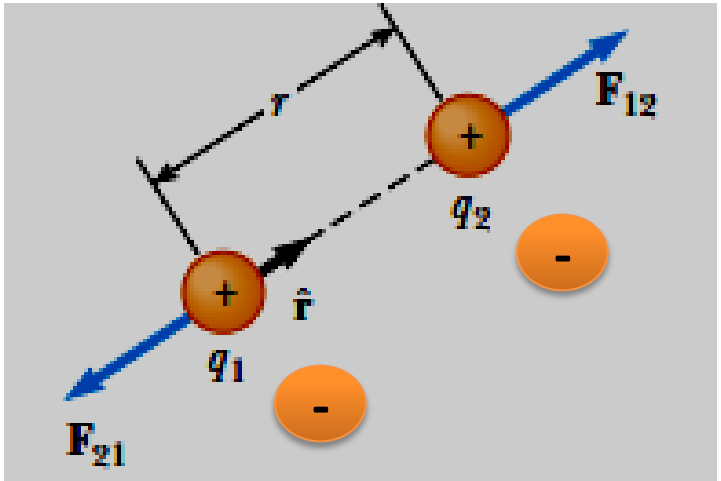
2- يرمز للقوة التي تؤثر بها الشحنة q_2 على الشحنة q_1 بالرمز F_{21} و تكون نقطة تأثيرها عند الشحنة q_1

3- تكون القوتان $F_{12}=F_{21}$

$$F_{12}=F_{21}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2} \quad -4$$

5- تكون جهة القوة للخارج (تنافر) إذا كانت الشحنتان متماثلتين (+,+)،(-,-) أو قوى تجاذب إذا كانت الشحنتان مختلفتين(-,+).





الحقل الكهربائي

الحقل الكهربائي : هو حيز من الفراغ إذا وضعت فيه شحنة نقطية q' تخضع لقوة دفع أو جذب ، و ينشأ الحقل عن شحنة نقطية q (مولدة لهذا الحقل)

$$E = \frac{F}{q'} = \frac{\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q\,q'}{r^2}}{q'} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}$$

واحدة الحقل الكهربائي

واحدة الحقل :

N/coul

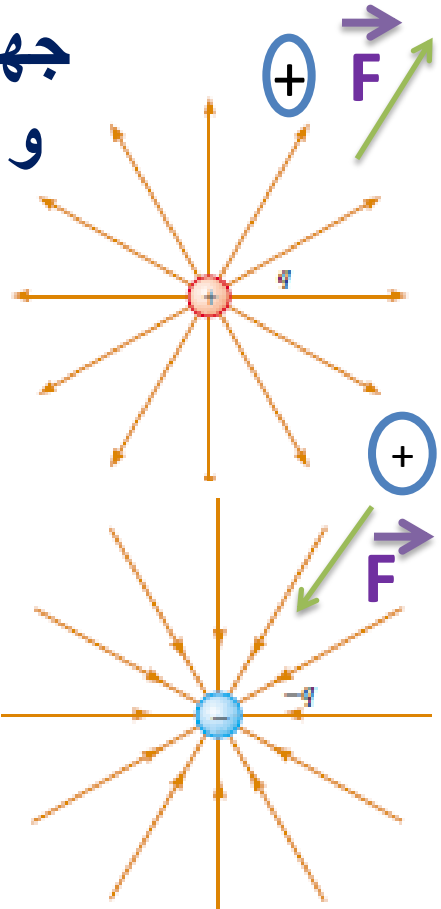
$$[E] = \frac{[F]}{[q']}$$

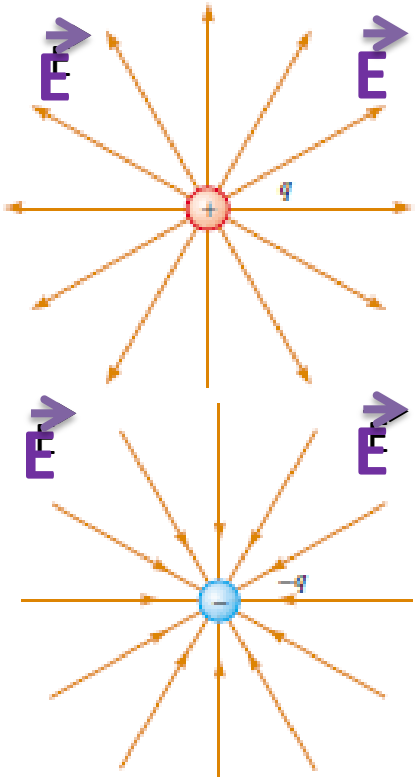
جهة الحقل الكهربائي

تحدد جهة الحقل الكهربائي بوضع واحدة الشحنة الموجبة $q'=+1$ في حقل الشحنة q وهنا نميز حالتين:

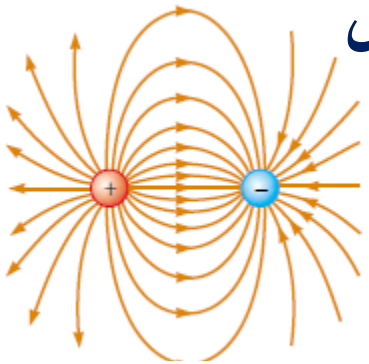
- الشحنة q موجبة ⇐ الحقل ينتشر من الشحنة إلى الخارج
- الشحنة q سالبة ⇐ الحقل ينتشر من الخارج باتجاه الشحنة

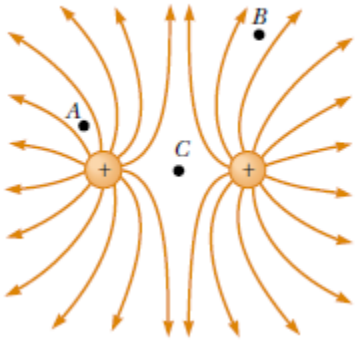
جهة القوة و الحقل





خطوط الحقل الكهربائي لشحنتين كهربائيتين





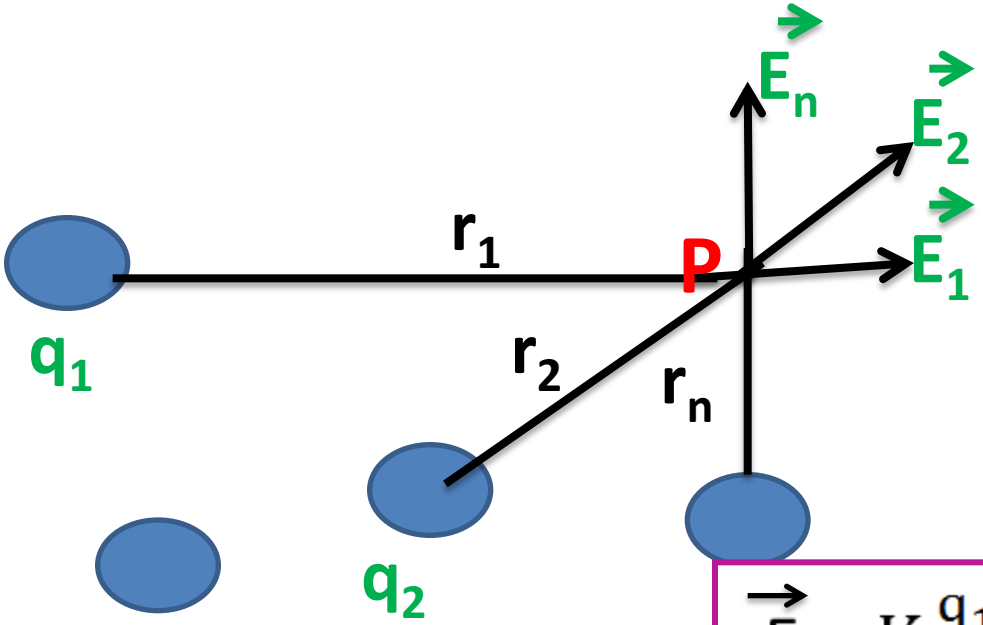
الحقل الكهربائي الناشىء عن عدة شحنات نقطية منفصلة

ليكن لدينا عدة شحنات نقطية منفصلة عن بعضها البعض q_1، q_2،....

q_n تبعد عن النقطة P أبعاد r_1 ، r_2، .. r_n

يعطى الحقل الكلي E الناتج عن الشحنات بالعلاقة :

$$\vec{E}=\vec{E_1}+\vec{E_2}+...\vec{E_n}$$



$$\vec{E}= K\frac{q_1}{r_1^2}\vec{er_1} +K\frac{q_2}{r_2^2}\vec{er_2}+..K\frac{q_n}{r_n^2}\vec{er_n}$$

الكثافة الخطية و الكثافة السطحية و الكثافة الحجمية

إذا كانت الشحنات الكهربائية كبيرة بالنسبة للمسافة فلابد من إدخال مفهوم الكثافة الخطية أو السطحية أو الحجمية خلال دراسة قانون كولون.

الكثافة الخطية : قيمة الشحنة المتوضعة في واحدة الطول من الجسم المشحون

$$\lambda = \lim_{\Delta l \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta l} = \frac{dq}{dl}$$

الكثافة السطحية : قيمة الشحنة المتوضعة في واحدة السطح من الجسم المشحون

$$\sigma = \lim_{\Delta s \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta s} = \frac{dq}{ds}$$

الكثافة الحجمية : قيمة الشحنة المتوضعة في واحدة الحجم من الجسم المشحون

$$\tau = \lim_{\Delta v \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta V} = \frac{dq}{dV}$$

يحسب الحقل العنصري الناتج عن الشحنات العنصرية الموزعة على الطول العنصري و السطح العنصري و الحجم العنصري ثم تتم المكاملة وفق علاقات الكثافة الخطية أو الخطية أو الحجمية حسب الحالة المدروسة(سلك ، قرص...).

الكمون الكهربائي V

يعطى كمون النقطة التي تبعد مسافة r عن الشحنة q بالعلاقة

$$V = K\frac{q}{r}$$

واحدة الكمون الفولط (V) kV mV μV

الكمون الكهربائي مقدار سلمي بعكس الحقل الكهربائي

الكمون الكهربائي لمجموعة شحنات q_1,
q_2,..q_n في نقطة تبعد عنهم مسافات
r_1,r_2,.....r_n: المجموع الجبري للكمونات =:
الناتجة عن الشحنات في هذه النقطة

$$V = V_1 + V_2 + \cdots V_n = K\sum_{i=1}^{i=n}\frac{q_i}{r_i}$$

فرق الكمون بين نقطتين

يعطى الكمون الكهربائي لنقطتين A و B تبعدان عن الشحنة Q المسافتين ra rb على الترتيب بالعلاقتين :

$$V_A = K\frac{Q}{r_a} \qquad V_B = K\frac{Q}{r_b}$$

فرق الكمون بين النقطتين A وB:

$$V_A - V_B = K\frac{Q}{r_a} - K\frac{Q}{r_b}$$

العلاقة بين الحقل و الكمون

يعطى الكمون الكهربائي V الناتج عن الشحنة Q بالعلاقة:

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r}$$

نشتق علاقة الكمون بالنسبة لـ r

$$\frac{dV}{dr} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}$$

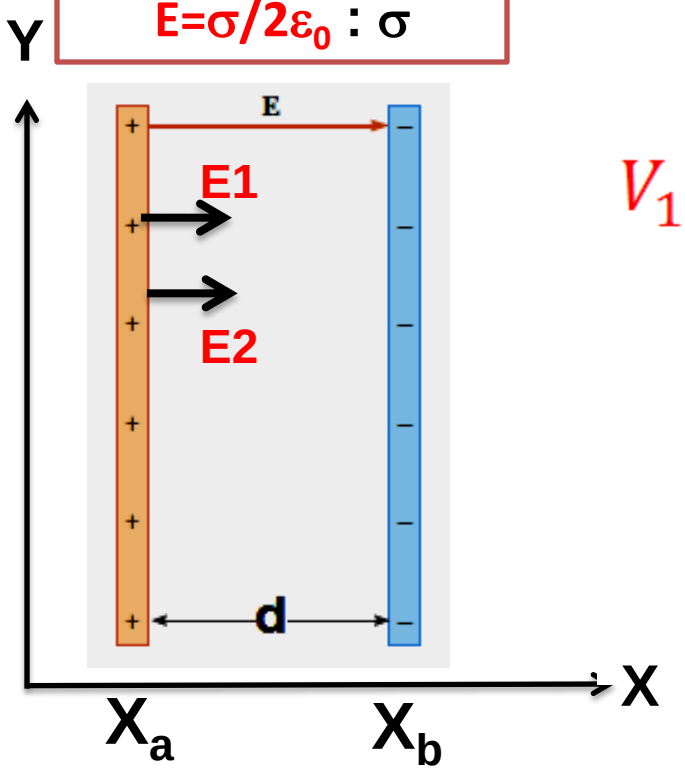
E

$$V_1 - V_2 = \int \vec{E}.\vec{dr} \quad \Leftarrow \quad E = -\frac{dV}{dr}$$

حساب الحقل الكهربائي بين صفيحتين مشحونتين بشحنتين مختلفتين تبعدان عن بعضهما مسافة d

الحقل الكهربائي الناشىء عن صفيحة مشحونة بكثافة سطحية σ : $E=\sigma/2\varepsilon_0$

يتولد حقل كهربائي بين الصفيحتين جهته من الشحنة الموجبة إلى الشحنة السالبة



$$V_1 - V_2 = \int \vec{E}.\vec{ds}$$

ds(أو dr)الموضع العنصري

$$= \int E.ds\cos\theta$$

$$= E\int_{x_a}^{x_b} ds = E(x_b - x_a)$$

$\Leftarrow V_1-V_2=E.d$

الحقل الكهربائي داخل صفيحتين مشحونتين بشحنتين مختلفتين يعطى بالعلاقة :

$$E=E1+E2=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}+\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}=\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

$$V_1 - V_2 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\,d \quad \Leftarrow \quad E=\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

الطاقة الكامنة الكهربائية

إذا وضعت الشحنة q في حقل الشحنة Q فإنها تتأثر بالحقل الكهربائي المتولد عن الشحنة Q بقوة F تؤدي لتغير موضع الشحنة q من الوضع P_1 إلى الوضع P_2 مما ينتج طاقة كامنة كهربائية تعطى بالعلاقة:

$$E_P(W_{el}) = K\frac{qQ}{r}$$

العلاقة بين الطاقة الكامنة الكهربائية والكمون الكهربائي

يعطى الكمون الناتج عن الشحنة Q عند النقطة p بالعلاقة:

$$K\frac{Q}{r}$$

$$E_P = q\left(K\frac{Q}{r}\right) = qV \Leftarrow$$

واحدة الطاقة الكامنة :
جول ، آرغة

العلاقة بين المقادير الكهربائية

q الشحنة المولدة (المؤثرة)
q' الشحنة المتأثرة

$E_P = K\frac{qq'}{r}$

$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$

$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}$

$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q\,q'}{r^2}$

$E_P = q' V$

$E = -\frac{dV}{dr}$

$F = q' E$