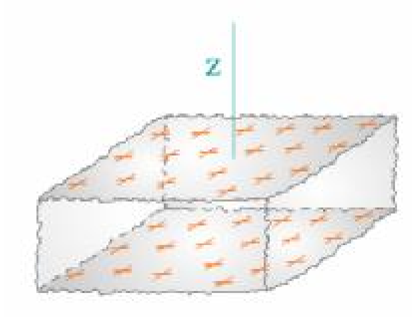


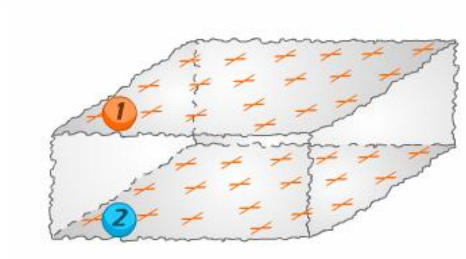
مثال ۱:

میدان الکتریکی حاصل از یک صفحه نازک بی نهایت هادی به چگالی σ را در فاصله z از آن محاسبه نمایید.

حل

روش اول:

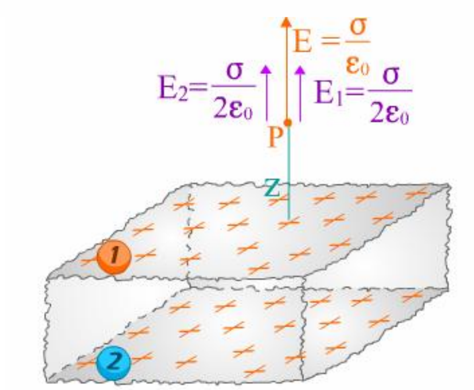
با استفاده از میدان یک صفحهٔ بی نهایت ریاضی با چگالی بار یکنواخت σ صفحه هادی بی نهایت از دو صفحه بی نهایت ریاضی تشکیل شده است مطابق شکل ، که ما آنها را وجه ۱ و وجه ۲ می نامیم.



(الف)- نقاط خارج

نقطه P را در فاصله z از صفحه بی نهایت مطابق شکل در نظر بگیرید. میدان در نقطهٔ P برابر است با حاصل جمع میادین وجوه ۱و۲ یعنی

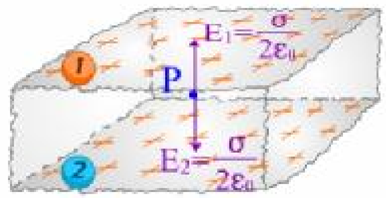
$$E = E_1 + E_2 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$



(ب)- نقاط داخل

نقطه P یک نقطهٔ دلخواه داخل هادی فرض شود. میدان الکتریکی برابر جمع میادین حاصل از وجوه ۱ و۲ در نقطه P است.

$$E = E_1 + E_2 = 0$$



این نتیجه در توافق با خاصیت شماره (۱) هادی‌هاست که میدان در داخل هادی‌ها در الکترو استاتیک صفر است.

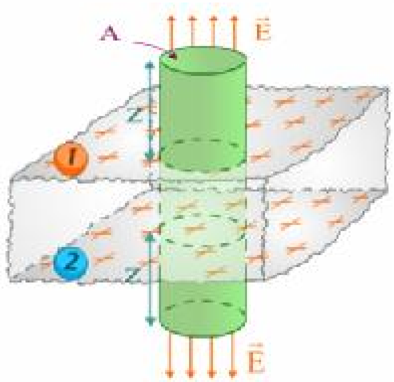
روش دوم: قانون گوس

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

سطوح گوس برای این مسأله یک استوانه به سطح قاعدهٔ A اختیار می شود.

به علت تقارن‌های موجود در این مسأله E به سطوح قاعدهٔ استوانه گوس عمود است.

لذا از قانون گوس داریم



$$EA + EA = \frac{\sigma A + \sigma A}{\varepsilon_0} \Longrightarrow \quad 2EA = \frac{2\sigma A}{\varepsilon_0} \Longrightarrow \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

$$\boxed{\vec{E} = \hat{n}\,\frac{\sigma}{\varepsilon_0}}$$

که در آن $\hat{n}$ بردار یکه عمود به سطح هادی است.

مثال ۳ :

دو کره به شعاع های r_1 و r_2 توسط یک سیم رابط نازک به یکدیگر متصل شده‌اند
اگر بار q روی یکی از کرات قرار گیرد نحوه توزیع بار را به دست آورید.
فرض کنید که کرات از یکدیگر بسیار دور هستند.

حل :

جریان برقرار می شود تا تعادل ایجاد شود بطوریکه
توزیع بار روی کرات یکنواخت است.

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$$

$$\varphi = \frac{kq_1}{r_1} = \frac{kq_2}{r_2}$$

$$q_1 + q_2 = q$$

از حل دو معادله

$$\begin{cases} \frac{q_1}{r_1} = \frac{q_2}{r_2} \\ q_1 + q_2 = q \end{cases}$$

می توان q_1 و q_2 بار هر کره را بر حسب داده‌های مسأله q ، r_1 و r_2 به‌دست آورد.

$$q_1 = \frac{qr_1}{r_1 + r_2} \Rightarrow \sigma_1 = \frac{q}{4\pi r_1(r_1 + r_2)}$$

$$q_2 = \frac{qr_2}{r_1 + r_2} \Rightarrow \sigma_2 = \frac{q}{4\pi r_2(r_1 + r_2)}$$

$$\boxed{\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{r_2}{r_1}}$$

از طرفی می دانیم که:

$$E_1 = \frac{kq_1}{r_1^2} = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_0}$$

$$E_2 = \frac{kq_2}{r_2^2} = \frac{\sigma_2}{\varepsilon_0}$$

$$\Longrightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

$$\boxed{\frac{E_1}{E_2} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{r_2}{r_1}}$$

✓ شدت میدان الکتریکی روی سطح هادی در تیزترین نقاط بیشترین است.

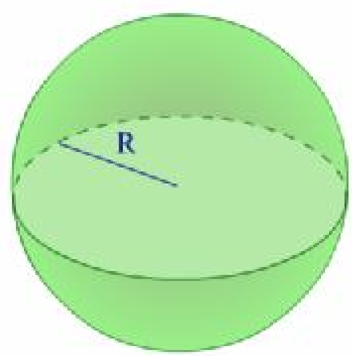
مثال ۴:

اگر حداکثر میدان الکتریکی که قبل از آن هوا عایق و بعد از آن هوا هادی است

برابر $\frac{N}{C} = \frac{V}{m}$ 3×10^6 باشد .

a - ماکزیمم باری که کره ای به شعاع R می تواند نگه دارد چه مقدار است ؟

b - ماکزیمم پتانسیل کره ای به شعاع R چه مقدار است ؟



حل :

میدان الکتریکی خارج از سطح کره

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

$$E = E_{max} = 3 \times 10^6 = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon_0}$$

ماکزیمم بار q از σ_{max} به‌دست می آید .

$$q = 4\pi R^2 \sigma_{max} = 4\pi R^2 (\varepsilon_0 E_{max})$$

$$= 4\pi R^2 (8.85 \times 10^{-12}) (3 \times 10^6)$$

$$= 0.33 \times 10^{-3} \times R^2 \quad C$$

به‌طور مثال اگر $R = 2m$ باشد .

$$q = 1.33 \times 10^{-3} \quad C$$

با بکار گرفتن بار ماکزیمم q پتانسیل ماکزیمم کره محاسبه می شود .

$$\varphi_{max} = \frac{kq}{R} = \frac{(8.99 \times 10^{9})(0.33 \times 10^{-3} R^{2})}{R}$$

$$\varphi_{max} = 2.96 \times 10^{6} R$$

برای کره ای به شعاع $R = 2m$

$$\varphi_{max} = 2.96 \times 2 \times 10^{6} = 5.93 \times 10^{6} \quad V$$

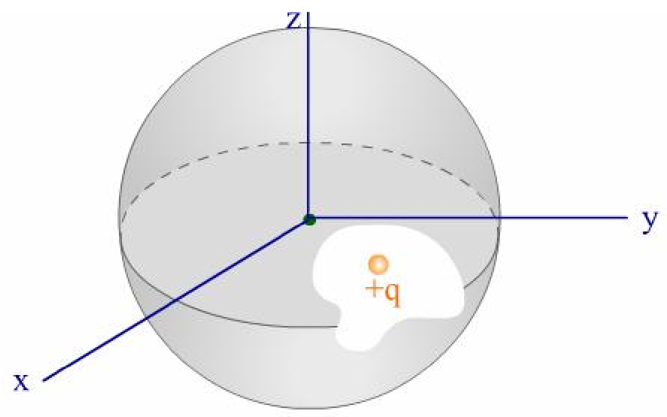
مثال ۵:

یک کره هادی بدون بار که مرکز آن بر مبدا منطبق است ، دارای حفره ای به شعاع دلخواه است که از آن بیرون آورده شده است (مطابق شکل) .

در جایی در داخل حفره بار $+q$ را قرار داده ایم

a- میدان خارج کره چیست ؟

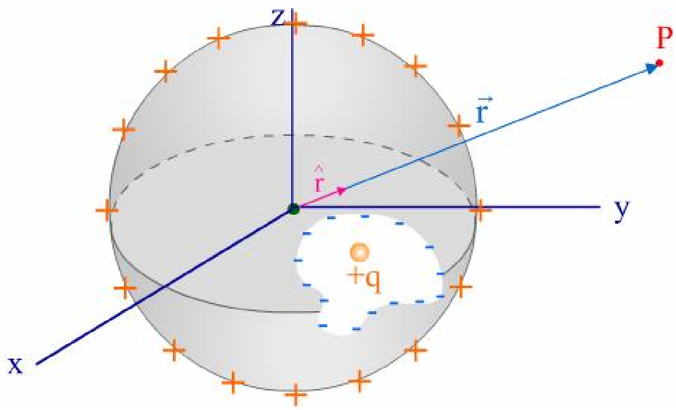
b- اختلاف پتانسیل یک نقطه در خارج کره با یک نقطه در داخل آن به دست آورید .



میدان الکتریکی در نقطه P صرف نظر از شکل حفره و نحوه استقرار بار عبارتست از :

$$\vec{E} = \frac{kq}{r^{2}}\hat{r}$$

از آنجا که هادی دارای هیچ بار خالصی نیست بار $+q$ خود را به‌طور یکنواخت بر روی سطح کره پخش می کند. (به این دلیل یکنواخت است که اثر نا متقارنی بار نقطه‌ای $+q$ توسط بار القائی $-q$ بر روی سطح داخلی خنثی می شود .)

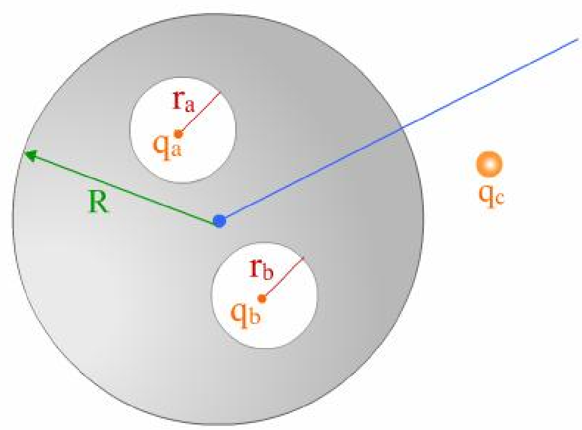


b- اختلاف پتانسیل یک نقطه داخل کره هادی و یک نقطه خارج آن مثلاً نقطه P عبارتست از :

$$\Delta\varphi = \frac{kq}{r} - \frac{kq}{R}$$

مثال۶:

در کره هادی خنثی به شعاع R دو حفرهٔ کروی مطابق شکل ایجاد شده اند.در مرکز هر حفره یک بار نقطه ای قرار می دهیم ، بارها را q_a وq_b بنامید.



(a) چگالی بارهای سطحیσ_a ، σ_b وσ_R را به‌دست آورید.

(b) میدان خارج هادی چیست؟

(c) میدان در داخل هر حفره چیست؟

(d) نیروی وارد بر بارهای q_a وq_b چه مقدار است؟

(e) اگربارسوم q_c را نزدیک هادی بیاوریم،هر یک از این جواب ها چگونه تغییرمی کند؟

حل :

(a)
$$\sigma_a = -\frac{q_a}{4\pi r_a^2} \qquad \sigma_b = -\frac{q_b}{4\pi r_b^2} \qquad \sigma_R = \frac{q_a + q_b}{4\pi R^2}$$

(b)
$$\vec{E} = \hat{r}\,\frac{k(q_a + q_b)}{r^2}$$

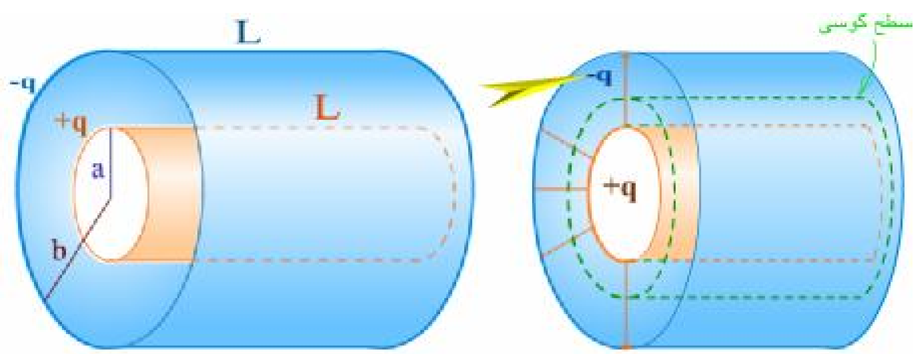
(c)
$$\vec{E}_a = \hat{r}\,\frac{kq_a}{r^2} \qquad \vec{E}_b = \hat{r}\,\frac{kq_b}{r^2}$$

(d) نیروی وارد بر بارهای q_a و q_b هر دو صفراند.

(e) اگر بار q_c را به نزدیکی هادی بیاوریم فقط $\vec{E}$ و σ_R تغییر خواهند کرد.

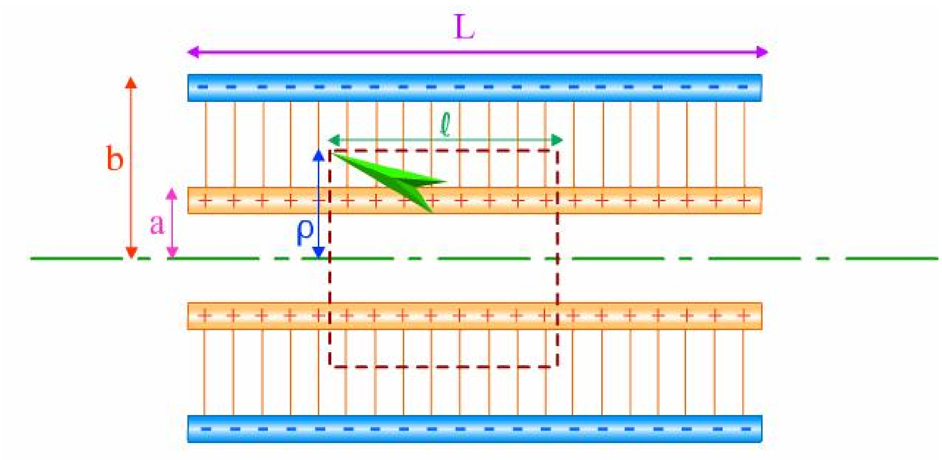
خازن استوانه ای

خازن استوانه ای متشکل از دو استوانهٔ متحدالمحوربه شعاع های داخلی a و خارجی b در نظر بگیرید طول هر دو استوانه L است که بسیار بزرگتر از b - a فاصله دو استوانه است لذا از اثر لبه می توان صرف نظر کرد. بار استوانهٔ داخلی +q و استوانه خارجی -q ظرفیت این خازن چه مقدار است؟



حل :

برای محاسبه ظرفیت میدان الکتریکی که فقط در فاصله $a<\rho<b$ غیر صفر است باید محاسبه شود. با توجه به تقارن استوانه ای سیستم سطح گوسی یک استوانهٔ کوآکسیال با طول $\ell<L$ و شعاع ρ در فاصله $a<\rho<b$ در نظر می گیریم .



$$\oint \vec{E} \cdot \vec{ds} = EA = E(2\pi\rho\ell) = \frac{\lambda\ell}{\varepsilon_0} \Rightarrow E = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0\rho}$$

که در آن $\lambda = \frac{q}{L}$ بار بر واحد طول است.

توجه دارید که میدان الکتریکی فقط در فاصله $a<\rho<b$ غیر صفر است. برای $\rho<0$ بار محصور شده q_{inc} صفر است. چون هر بار خالصی در هادی باید روی سطح آن جای گیرد. مشابهاً برای $\rho>b$, $q_{inc} = \lambda\ell - \lambda\ell = 0$ چون سطح گوس مقادیر مساوی ومختلف العلامهٔ بار از دو هادی را دربرمی‌گیرد.

اختلاف پتانسیل

$$V = \Delta\varphi = -\int_b^a \vec{E} \cdot \vec{d\ell} = -\int_b^a \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0\rho}\, \hat{\rho} \cdot \hat{\rho} d\rho$$

$$= -\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\, \ell n\rho \Big|_b^a = -\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0} \ell n\, \frac{a}{b} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\, \ell n\, \frac{b}{a}$$

که در آن مسیر انتگرال گیری در جهت شعاعی و از استوانه خارجی به داخلی گرفته شده است.(مطابق شکل). پس ظرفیت:

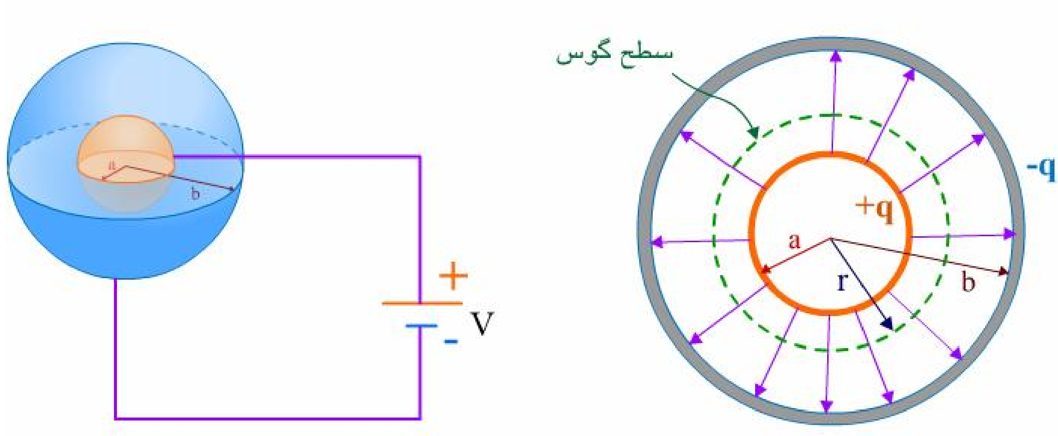
$$C = \frac{q}{V} = \frac{2\pi\varepsilon_0 L}{\ell n \frac{b}{a}}$$

یک بار دیگر مشاهده می شود که ظرفیت C فقط به فاکتورهای هندسی L, a و b بستگی دارد.

خازن کروی

خازن کروی را در نظر می گیریم که شامل دو پوسته کروی به شعاعهای a و b مطابق شکل است . پوسته داخلی دارای بار +q که به طور یکنواخت روی سطح آن توزیع شده است و پوسته خارجی دارای بار مساوی و مختلف العلامه -q است .

ظرفیت این پیکر بندی چه مقدار است ؟



حل:

میدان الکتریکی فقط در ناحیه $a < r < b$ غیر صفر است.

$$\oint \vec{E}\cdot d\vec{s} = E4\pi r^2 = \frac{q}{\varepsilon_0} \Rightarrow E = \frac{kq}{r^2}\hat{r}$$

$$V = \Delta\varphi = -\int_b^a \vec{E}\cdot d\vec{\ell} = -\int_b^a \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\ \hat{r}\cdot\hat{r}\, dr$$

حل:

$$= -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{-1}{r}\ \Big|_b^a\right)$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)$$

$$C = \frac{q}{V} = 4\pi\varepsilon_0\left(\frac{ab}{b-a}\right)$$ ظرفیت

دوباره ، ظرفیت فقط به ابعاد هندسی a و b بستگی دارد.

نکته :

ظرفیت یک کره هادی ایزوله به شعاع a (وقتی که دومین کره در بی نهایت باشد) را می توان به دست آورد. در حد وقتی که $b \to \infty$ معادله فوق به صورت $C = 4\pi\varepsilon_0 a$ در می آید .

این رابطه را می توان به طور مستقیم نیز به دست آورد. یک کره هادی به شعاع R که بار q روی‌آن به طور یکنواخت توزیع شده است دارای پتانسیل $V = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 R}$ است.

بی نهایت را به عنوان نقطه مرجع که دارای پتانسیل صفر است در نظر گرفته ایم.

$$V(\infty) = 0$$

$$C = \frac{q}{V} = \frac{q}{\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R}} = 4\pi\varepsilon_0 R$$

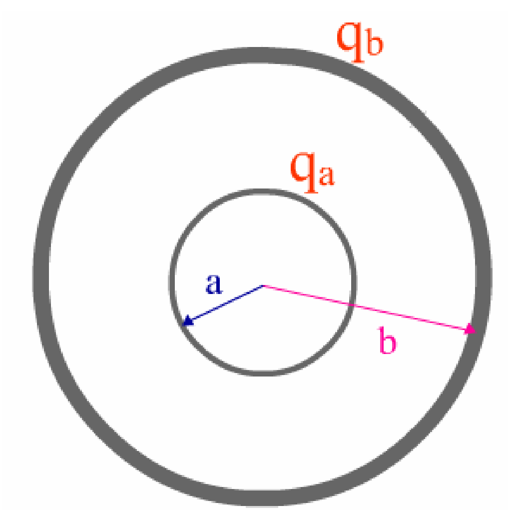
همان طور که انتظار می رفت ظرفیت یک خازن ایزوله فقط به هندسه آن یعنی‌شعاع R بستگی دارد.

مثال ۹:

دوپوسته کروی هادی به شعاع های a و b را مطابق شکل در نظر بگیرید . روی پوسته کروی داخلی بار q_a وروی پوسته کروی خارجی بارq_b را قرار می دهیم.

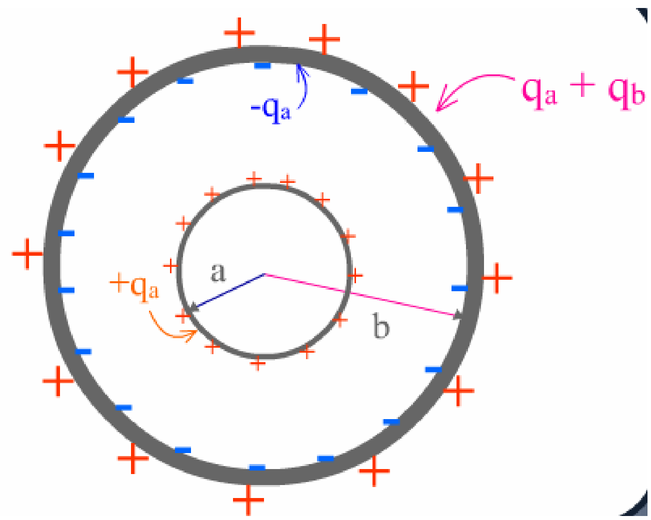
a- نحوه توزیع بار الکتریکی را روی پوسته های کروی تعیین کنید.

b- پتانسیل الکتریکی سطح پوسته کروی داخلی را محاسبه کنید.



حل :

بار q_a روی سطح کره داخلی $r = a$ به‌طور یکنواخت توزیع می‌شود. بار $-q_a$ روی سطح داخلی‌پوستهٔ کروی در $r = b$ و بار $q_a + q_b$ روی سطح خارجی پوستهٔ کروی به شعاع $r = b$



پتانسیل کره داخلی:

$$\varphi_a = -\int_{\infty}^{a} \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$= -\int_{\infty}^{b} \frac{k(q_a+q_b)}{r^2}\,\hat{r}\cdot\hat{r}dr - \int_{b}^{a} \frac{kq_a}{r^2}\,\hat{r}\cdot\hat{r}dr$$

$$= \frac{k(q_a+q_b)}{r}\Big|_{\infty}^{b} + \frac{kq_a}{r}\Big|_{b}^{a} = \frac{k(q_a+q_b)}{b} + \frac{kq_a}{a} - \frac{kq_a}{b}$$

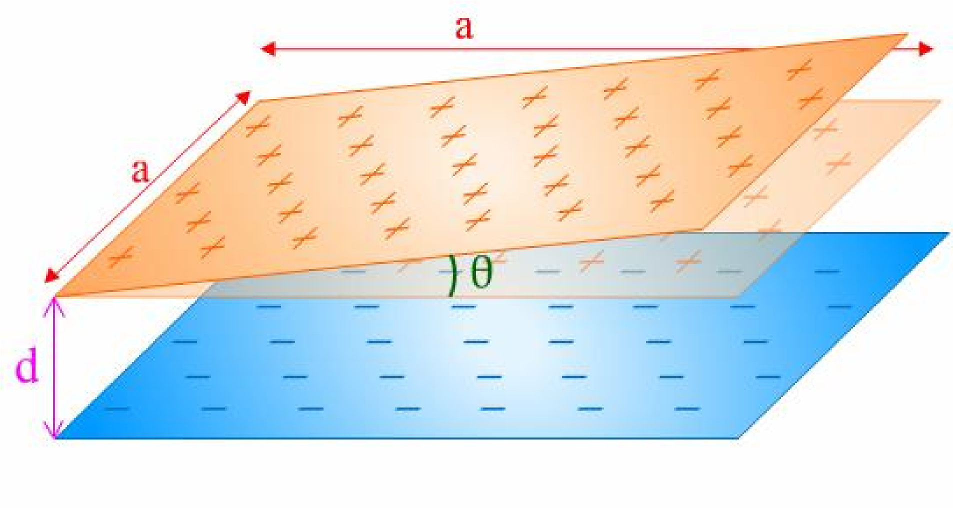
$$= \cancel{\frac{kq_a}{b}} + \frac{kq_b}{b} + \frac{kq_a}{a} - \cancel{\frac{kq_a}{b}}$$

$$\boxed{= \frac{kq_a}{a} + \frac{kq_b}{b}}$$

مثال ۱۰ :

خازن مسطحی با جوشن‌های مربعی به ضلع a مفروض است این خازن شارژ شده و سپس از منبع تغذیه جدا می شود. اگر صفحه بالایی خازن را به اندازه زاویه کوچک θ بچرخانیم (مطابق شکل).

تغییر نسبی انرژی پتانسیل الکتریکی را محاسبه نمایید.



قبل از چرخاندن صفحه

ظرفیت خازن
$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 a^2}{d}$$

انرژی پتانسیل خازن
$$W_1 = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C_1^2} = \frac{1}{2}\frac{q^2 d}{\varepsilon_0 a^2}$$

بعد از چرخاندن صفحه به اندازه زاویه θ:

$$dC_2 = \frac{\varepsilon_0 a dx}{d + x\tan\theta}$$

$$C_2 = \int_0^a \frac{\varepsilon_0 a dx}{d + x\tan\theta} = \frac{\varepsilon_0 a}{\tan\theta} \ell n (d + x \tan\theta) \Big|_0^a$$

$$= \frac{\varepsilon_0 a}{\tan\theta} \ell n \frac{d + a\tan\theta}{d}$$

$$W_2 = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C_2^2} = \frac{q^2 \tan\theta}{2\varepsilon_0 a \, \ell n (\frac{d + a\tan\theta}{d})}$$

$$\frac{W_2 - W_1}{W_1} = \frac{a\tan\theta}{d \ell n (\frac{d + a\tan\theta}{d})}$$

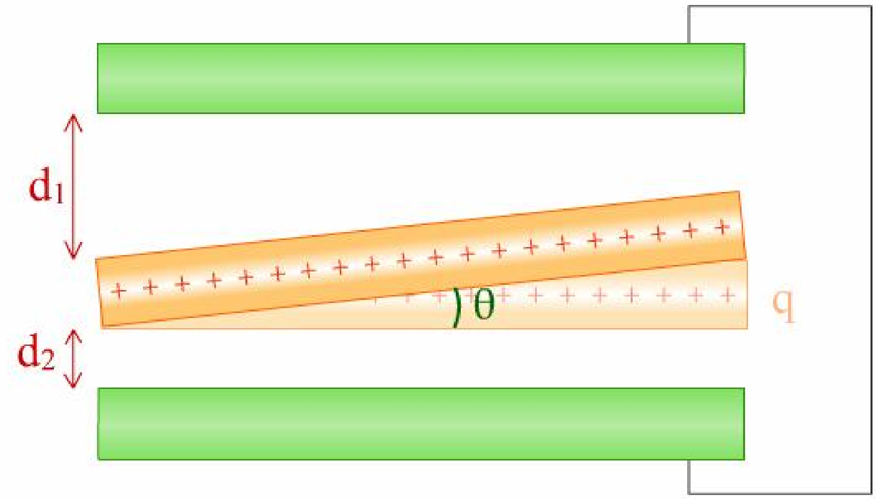
اگر θ کوچک باشد: $\tan\theta \approx \theta$

$$\frac{W_2 - W_1}{W_1} = \frac{a\theta}{d \ell n (\frac{d + a\theta}{d})}$$

مثال ۱۱:

سه صفحه موازی هادی مطابق شکل در نظر بگیرید. بار q را روی صفحه وسط قرار می دهیم (دو صفحه خارجی توسط سیم رابط به هم متصلند).

اگر صفحه وسطی به اندازه زاویه θ (θ کوچک) بچرخد، مطلوب است محاسبهٔ مقدار بار روی هر وجه صفحه وسطی. ابعاد صفحات را a×a بگیرید.



$$dC_1 = \frac{\varepsilon_0\, a\, dx}{d_1 + x\tan\theta} = \frac{\varepsilon_0\, a}{d_1}(1 - x\theta)\, dx$$

$$dC_2 = \frac{\varepsilon_0\, a\, dx}{d_2 - x\tan\theta} = \frac{\varepsilon_0\, a}{d_2}(1 + x\theta)\, dx$$

$$C_1 = \int_0^a \frac{\varepsilon_0\, a}{d_1}(1 - x\theta)\, dx = \frac{\varepsilon_0\, a^2}{d_1}\left(1 - \frac{1}{2}a\theta\right)$$

$$C_2 = \int_0^a \frac{\varepsilon_0\, a}{d_2}(1 + x\theta)\, dx = \frac{\varepsilon_0\, a^2}{d_2}\left(1 + \frac{1}{2}a\theta\right)$$

نحوه توزیع بار

$$q_1 + q_2 = q$$

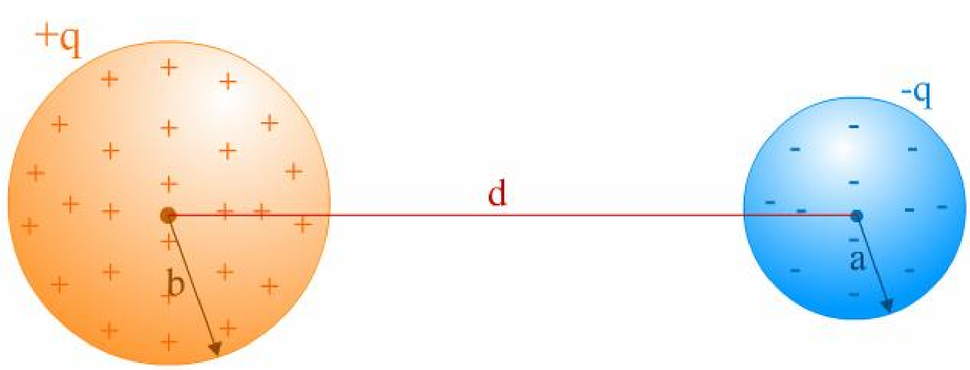
$$\frac{q_1}{C_1} = \frac{q_2}{C_2}$$

$$\Rightarrow \quad q_1 + \frac{q_1 C_2}{C_1} = q \quad \Rightarrow q_1(C_1 + C_2) = q\, C_1$$

$$\begin{cases} q_1 + q_2 = q \\ q_1(C_1 + C_2) = q\,C_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} q_1 = \dfrac{q\,C_1}{C_1 + C_2} \\ q_2 = \dfrac{q\,C_2}{C_1 + C_2} \end{cases}$$

مثال ۱۲ :

دو کره هادی به شعاع a و b و با فاصله d از یکدیگر در نظر بگیرید.
بطوریکه $d >> a,b$. ظرفیت این سیستم را محاسبه کنید.



حل :

پتانسیل کره با بار مثبت

$$\varphi_+ = \frac{kq}{b} + \frac{-kq}{d-b}$$

پتانسیل کره با بار منفی

$$\varphi_- = \frac{-kq}{a} + \frac{kq}{d-a}$$

حل :

اختلاف پتانسیل دو کره

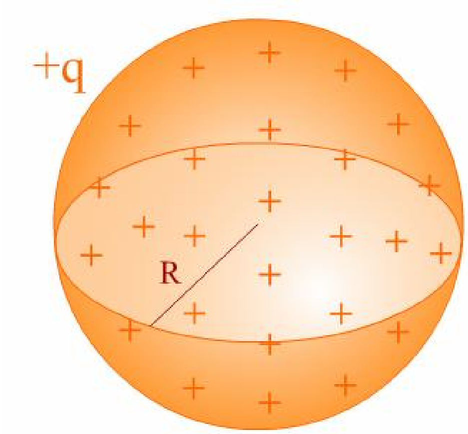
$$V = \Delta\varphi = \varphi_+ - \varphi_- = \frac{kq}{b} - \frac{kq}{d-b} + \frac{kq}{a} - \frac{kq}{d-a}$$

$$\approx kq\left(\frac{1}{b} - \frac{2}{d} + \frac{1}{a}\right)$$

$$\boxed{C = \frac{q}{V} = \frac{4\pi\varepsilon_0}{\frac{1}{b} - \frac{2}{d} + \frac{1}{a}}}$$

مثال ۱۳:

کره ای به شعاع R دارای بار +q است انرژی پتانسیل کره چه مقدار است ؟
(انرژی تشکیل بار +q روی کره)



حل :

ظرفیت یک کره منفرد به شعاع R

$$C = 4\pi\varepsilon_0 R$$

$$W = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} = \frac{1}{2}\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 R} = \frac{1}{8}\frac{q^2}{\pi\varepsilon_0 R}$$

انرژی تشکیل از رابطه $W = \frac{\varepsilon_0}{2}\int_{\text{تمام فضا}} E^2\,dv$ نیز قابل محاسبه است

چون میدان الکتریکی داخل کره هادی صفر است و خارج آن:

$$\vec{E} = \frac{kq}{r^2}\hat{r}$$

$$W = \frac{\varepsilon_0}{2}\int_0^{\pi}\int_0^{2\pi}\int_R^{\infty}\frac{k^2q^2}{r^4}\,r^2\sin\theta\,dr\,d\theta\,d\varphi$$

$$= \frac{\varepsilon_0}{2}4\pi\left(-\frac{1}{r}\right)\Big|_R^{\infty} k^2q^2 = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 R}$$

نکته :

با استفاده از نتیجه فوق می توان ظرفیت در مثال ۱۲ را از طریق انرژی بدست آورد.

روشی که گاهی برای محاسبه ظرفیت بکار گرفته می شود.

$$W = W_a + W_b + W_{ab}$$

$$W = W_a + W_b + \underbrace{W_{ab}}_{\text{انرژی اندرکنش دو کره}}$$

در حقیقت W_{ab} مقدار کاریست که باید انجام شود تا کره a و b در کنار هم در فاصله d قرار گیرند.

$$W_a = \frac{1}{2}\frac{q_a^2}{4\pi\varepsilon_0 a} \quad , \quad W_b = \frac{1}{2}\frac{q_b^2}{4\pi\varepsilon_0 b} \quad , \quad W_{ab} = \frac{-k\, q_a\, q_b}{d}$$

با جایگزینی مقادیر $q_a = -q$ ، $q_b = +q$

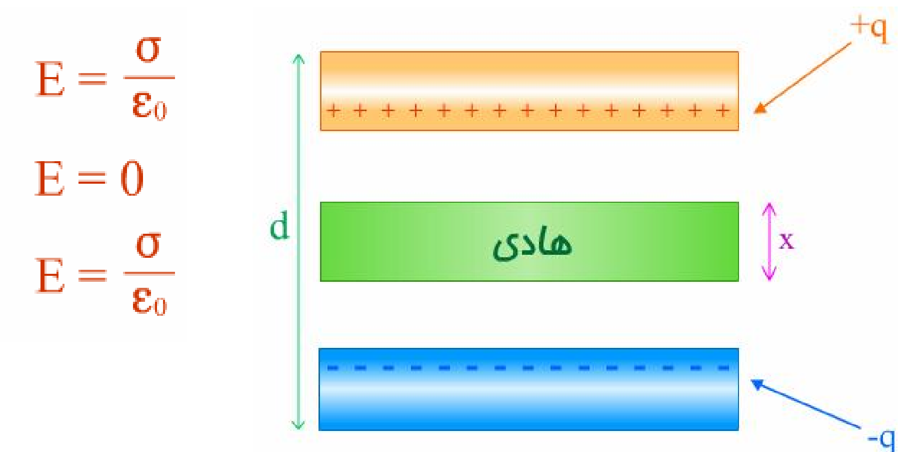
$$W = \frac{1}{2}\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 a} + \frac{1}{2}\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 b} - \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 d}$$

از مقایسه رابطه فوق با $W = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$

$$C = \frac{4\pi\varepsilon_0}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} - \frac{2}{d}}$$

مثال ۱۴ :

هادی به ضخامت x را مطابق شکل بین دو صفحه یک خازن مسطح قرار می دهیم. فاصله دو صفحه خازن d ومساحت صفحات آن را A بگیرید. ظرفیت خازن را در دو حالت ایزوله وغیر ایزوله به دست آورید.



حل:

خازن ایزوله:

فرض کنید خازن را به باطری به اختلاف پتانسیل Vوصل و پس از شارژ شدن خازن و باطری از یکدیگر جدا می شوند بار خازن در حالت شارژ q است . پس از ورود هادی بارخازن ثابت باقی می ماند ولی پتانسیل بین دو صفحه خازن کاهش پیدا می کند.

$$V = \Delta\varphi = -\int_a^b \vec{E}.\vec{dl} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}(d - x) + (0)(x)$$

زیرا میدان الکتریکی در نواحی خلا $\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ ودر هادی صفر است.

$$C_c = \frac{q}{V} = \frac{\cancel{q}}{\frac{\cancel{q}}{\varepsilon_0 A}(d - x)} = \frac{\varepsilon_0 A}{d - x}$$

نکته ۱ :

در صورتی که $d >> x$ باشد ، یعنی هادی خیلی نازک باشد عملاً ظرفیت خازن تغییر نخواهد کرد یعنی:

$$C_c = \frac{\varepsilon_0 A}{d-x} = \frac{\varepsilon_0 A}{d} = C$$

نکته ۲ :

برای محاسبه ظرفیت می توان از خازن های سری نیز استفاده نمود. یعنی

$$\frac{1}{C_c} = \frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{\frac{\varepsilon_0 A}{d_1}} + \frac{1}{\frac{\varepsilon_0 A}{d_2}} = \frac{d_1 + d_2}{\varepsilon_0 A} = \frac{d - x}{\varepsilon_0 A}$$

$$\boxed{C_c = \frac{\varepsilon_0 A}{d - x}}$$