

• Миликенов оглед

• Након открића електрона (1897.) било је логично да се одреде његове особине. Томсон је већ одредио $\frac{e}{m}$ и показао да је то однос сталн. Али једна од ових величина не може да се мери независно од друге. (електрон се може обрзати само електричним или магнетним пољем) ...

Како микроскопских величина (особина атома, масе електрона) повезати са макроскопским појавима и својинама материје које можемо да опипамо ђулима или уредбама.

• Експериментално одређивање наелектрисања електрона

Први је успешно обавио Миликен 1911. године и добио Нобелову награду 1923. године

Генизалин оглед у којем се посматрао кретање наелектрисаних катчица уља у ваздуху под утицајем електричног поља и Земљине теже.

• Под утицајем Земљине теже ($V=0$)

$$m_k \vec{a}_k = \vec{F}_g + \vec{F}_p + \vec{F}_{br}$$

$$\vec{F}_g = m_k \vec{g}$$

$$\vec{F}_p = -m_v \vec{g}$$

$$\vec{F}_{br} = -6\pi\eta r_k \vec{v}$$

При граничној брзини $\vec{v}_{kr,g}$ успоставља се РАВНОТЕЖА:

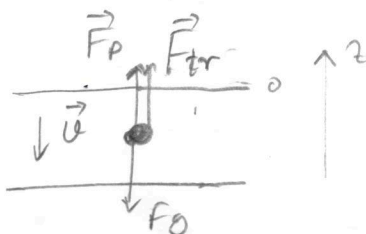
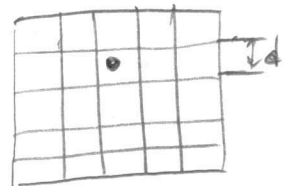
$$0 = \vec{F}_g + \vec{F}_p + \vec{F}_{br}$$

$$0 = -m_k g + m_v g + 6\pi\eta r_k v_{kr,g}$$



• Штоперца

↓
Време за које катчица пређе



$$U_{kr,g} = \frac{(m_k - m_v) g}{6\pi\eta r_k} = \frac{(\rho_k - \rho_v) V_k g}{6\pi\eta r_k} = \frac{(\rho_k - \rho_v) \frac{4}{3}\pi r_k^3 g}{6\pi\eta r_k \cdot 3}$$

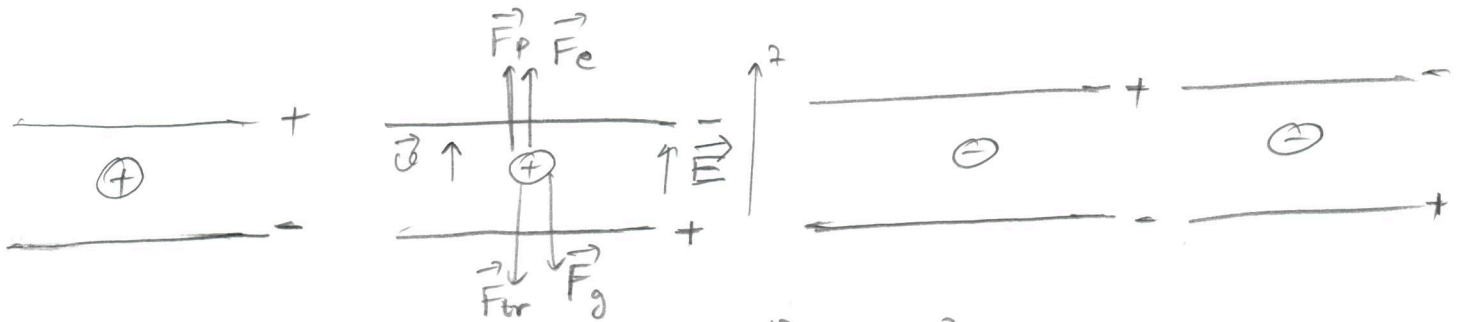
$$= \frac{(\rho_k - \rho_v) r_k^2 g}{9\eta}$$

$$r_k = \sqrt{\frac{9\eta U_{kr,g}}{2(\rho_k - \rho_v) g}}$$

← Димензије катбице су тако мале да се не могу одредити непосредним путем,

$$(10^{-6} \text{ м})$$

• Кретање катбице која носи наelekтрисање q у електричном пољу јачине E .



$$0 = \vec{F}_g + \vec{F}_p + \vec{F}_{fr} + \vec{F}_e \quad \vec{F}_e = q \vec{E}$$

$$0 = -m_k g + m_v g - 6\pi\eta r_k U_{kr,e} + qE \quad \left| \begin{array}{l} \text{на доле} \\ 0 = -6\pi\eta r_k U_{kr,g} + 6\pi\eta r_k U_{kr,e} + qE \\ -6\pi\eta r_k (U_{kr,g} - U_{kr,e}) = +qE \\ U_{kr,g} - U_{kr,e} = \frac{qE}{6\pi\eta r_k} \end{array} \right.$$

$$6\pi\eta r_k (U_{kr,g} + U_{kr,e}) = qE$$

$$q = 6\pi\eta r_k \frac{U_{kr,g} + U_{kr,e}}{E}$$

$$q' = 6\pi\eta r_k \frac{U_{kr,g} + U_{kr,e}'}{E}$$

$$> \Delta q = C (U_{kr,e}' - U_{kr,e})$$

$$U_{kr \uparrow} = -U_{kr,g} + \frac{qE}{6\pi\eta r_k} \quad U_{kr \downarrow} = U_{kr,g} + \frac{qE}{6\pi\eta r_k}$$

$$q = \frac{6\pi\eta r_k}{2E} (U_{kr \uparrow} + U_{kr \downarrow})$$

• Изводен брое от ед. е преелектроизвања карбид, или или
 се пронајдо, да се преелектроизвања од вида скоковито
 При тоа се утврдило да се свако прее. може изразит
 као целобројни множител дефинице наелектрисања е
 која износи

$$e = 1.592 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$q_{\text{електрон}} = -e$$

$$\text{Почина вредност } e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

ГРЕШКА (0.6%)

• Сва наелектрисања могу да се изразе као целобројни
 множител на мање калитице наелектрисања - елемента-
 рно наелектрисање (Апсолутно наелектрисање електрона)
 јони, електрон, протон, α -честичка
 e - основни квант (Атомска единица) наелектрисања

НАПОМЕНА: кога извора слике биде оставити честичу
 без знака наелектрисања, па онда на основу рачуна

← ← ← $\text{нар. } v_{\text{kor},g} < v_{\text{kor},e}$ види $g = 6\pi\eta r_k \frac{v_{\text{kor},g} - v_{\text{kor},e}}{E}$ да се
 Честича негативна) за позитивн се добива $g = 6\pi\eta r_k \frac{v_{\text{kor},g} + v_{\text{kor},e}}{E}$

• Корекција СТОКОВОГ ЗАКОНА

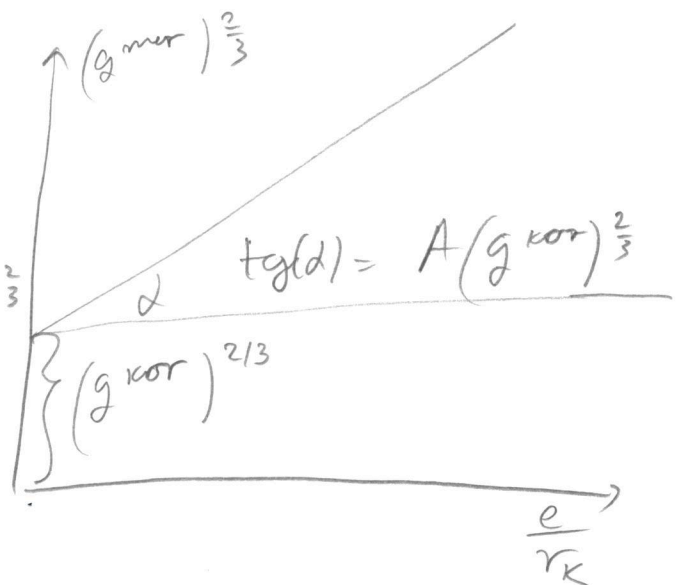
$$F_{\text{tr}} = - \frac{6\pi\eta r_k e}{f} \quad f \geq 1 \quad f = f\left(\frac{e}{r_k}\right) = 1 + A\left(\frac{e}{r_k}\right) + B\left(\frac{e}{r_k}\right)^2 + \dots$$

$$v_{\text{kor},g}^{\text{mer}} = \frac{(m_k - m_v)g}{6\pi\eta r_k} \quad f = v_{\text{kor},g} f$$

$$v_{\text{kor},e}^{\text{mer}} = v_{\text{kor},e} f$$

$$g_{\text{kor}} = \frac{g^{\text{mer}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$(g^{\text{mer}})^{\frac{2}{3}} = (g^{\text{kor}})^{\frac{2}{3}} + A \frac{e}{r_k} (g^{\text{kor}})^{\frac{2}{3}}$$

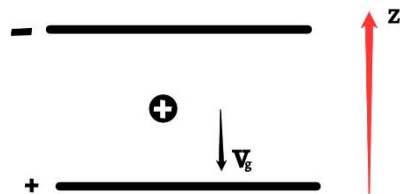


Решења задатака за 1. колоквијум

Задатак 1. Између хоризонталних плоча равног кондензатора капљица уља пређе, под дејством сопствене тежине, униформном брзином пут $s = 2$ cm за време $t = 100$ s. Одредити интензитет, правац и смер брзине, уколико капљица носи 8 позитивних елементарних наелектрисања, и на њу делује поље интензитета 900 kV/m, чији је вектор супротног смера у односу вектор силе Земљине теже. Коефицијент вискозности ваздуха износи $\eta = 1,827 \cdot 10^{-5}$ Pa · s, густина уља $\rho_k = 860$ kg/m³, а густина ваздуха $\rho_v = 1,22$ kg/m³.

Први начин:

У изразима који следе интензитет брзине $\vec{v}_g$ означавамо са $|\vec{v}_g| = v_g$, и то је дакле позитивна величина. Међутим, важно је узети у обзир оријентацију вектора $\vec{v}_g$ у односу на изабрану z осу. На слици десно видимо да вектор $\vec{v}_g$ има супротан смер од изабране z осе. Стога, ван електричног поља имамо једначине:



$$m\vec{a} = \vec{F}_g + \vec{F}_p + \vec{F}_{tr}$$

$$0 = m_k \vec{g} - m_v \vec{g} - 6\pi\eta r_k \vec{v}_g$$

Како су вектори $\vec{v}_g$ и $\vec{g}$ супротни од z осе у скаларном облику добијамо (сада узимамо у обзир оријентацију вектора $\vec{v}_g$):

$$0 = -m_k g + m_v g + 6\pi\eta r_k v_g$$

Након сређивања добијамо:

$$0 = -\rho_k \frac{4}{3} r_k^3 \pi g + \rho_v \frac{4}{3} r_k^3 \pi g + 6\pi\eta r_k v_g \Rightarrow 0 = \left(-\rho_k \frac{4}{3} g + \rho_v \frac{4}{3} r_k^2 g \right) r_k^2 + 6\eta v_g$$

$$|\vec{v}_g| = v_g = \left| \frac{s}{t} \right| = \frac{0.02 \text{ m}}{100 \text{ s}} = 0.0002 \text{ m/s} \quad (\text{сетите се } v_g \text{ је позитивно})$$

$$\rho_v = 1,22 \text{ kg/m}^3, \quad \rho_k = 860 \text{ kg/m}^3, \quad \eta = 1,827 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s} \quad \text{и} \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2:$$

$$r_k = \sqrt{\frac{-9\eta v_g}{2g(\rho_v - \rho_k)}} = 1,397 \times 10^{-6} \text{ m}$$

У електричном пољу на основу 2. Њутновог закона:

$$m\vec{a} = \vec{F}_g + \vec{F}_p + \vec{F}_{tr} + \vec{F}_e \Rightarrow 0 = m_k \vec{g} + m_v \vec{g} - 6\pi\eta r_k \vec{v}_e + q\vec{E}$$

У скаларном облику добијамо (за брзина $\vec{v}_e$ претпостављамо да је у смеру поља, и у овом случају за изабрану осу у смеру z осе)

$$0 = -m_k g + m_v g - 6\pi\eta r_k v_e + qE$$

$$\text{На основу: } -m_k g + m_v g = -6\pi\eta r_k v_q$$

Добијамо:

$$0 = -6\pi\eta r_k v_q - 6\pi\eta r_k v_e + qE$$

Коначно, уз $v_g = 0.0002$ m/s, $q = 11e = 11 \cdot 1,602 \times 10^{-19}$ C и $E = 900$ kV/m:

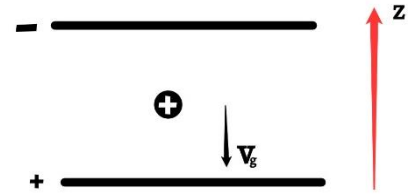
$$v = -v_g + \frac{qE}{6\pi\eta r_k} = 0.003096 \text{ m/s} = 3.086 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

Други начин:

Наравно крајњи резултат ће бити исти.

Сада брзину v_g посматрамо као величину која може имати позитиван или негативан знак, опет у зависности како је вектор $\vec{v}_g$ оријентисан у односу на изабрану z осу.

Поново на слици десно видимо да вектор $\vec{v}_g$ има супротан смер од изабране z осе. Стога, ван електричног поља имамо једначине:



$$m\vec{a} = \vec{F}_g + \vec{F}_p + \vec{F}_{tr}$$

$$0 = m_k \vec{g} - m_v \vec{g} - 6\pi\eta r_k \vec{v}_g$$

Вектор $\vec{g}$ је супротан од z осе (као и раније), међутим сада је v_g негативно па у скаларном облику добијамо (без промене знака код $-6\pi\eta r_k \vec{v}_g$, јер ће се за то побринути знак v_g):

$$0 = -m_k g + m_v g - 6\pi\eta r_k v_g$$

Напомена: овај корак је чест извор грешке при решавању овог типа задатака. Дакле или узимамо да је v_g позитивно и мењамо знак код $-6\pi\eta r_k \vec{v}_g \rightarrow +6\pi\eta r_k \vec{v}_g$ или дозвољавамо да v_g буде и негативно (што зависи од нашег избора смера осе) и знак код $-6\pi\eta r_k \vec{v}_g$ остаје исти, а даље v_g користимо као величину са одређеним предзнаком.

Након сређивања добијамо:

$$0 = -\rho_k \frac{4}{3} r_k^3 \pi g + \rho_v \frac{4}{3} r_k^3 \pi g - 6\pi\eta r_k v_g \Rightarrow 0 = \left(-\rho_k \frac{4}{3} g + \rho_v \frac{4}{3} r_k^2 g \right) r_k^2 - 6\eta v_g$$

$$v_g = -\frac{s}{t} = -\frac{0.02 \text{ m}}{100 \text{ s}} = -0.0002 \text{ m/s} \quad (\text{сада је } v_g \text{ негативно јер је вектор } \vec{v}_g \text{ супротан од } z \text{ осе})$$

$$\rho_v = 1,22 \text{ kg/m}^3, \rho_k = 860 \text{ kg/m}^3, \eta = 1,827 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s} \text{ и } g = 9,81 \text{ m/s}^2:$$

$$r_k = \sqrt{\frac{9\eta v_g}{2g(\rho_v - \rho_k)}} = 1,397 \times 10^{-6} \text{ m}$$

У електричном пољу на основу 2. Њутновог закона:

$$m\vec{a} = \vec{F}_g + \vec{F}_p + \vec{F}_{tr} + \vec{F}_e \Rightarrow 0 = m_k \vec{g} + m_v \vec{g} - 6\pi\eta r_k \vec{v}_e + q\vec{E}$$

У скаларном облику добијамо (за брзина $\vec{v}_e$ претпостављамо да је у смеру поља, и у овом случају за изабрану осу у смеру z осе)

$$0 = -m_k g + m_v g - 6\pi\eta r_k v_e + qE$$

На основу: $-m_k g + m_v g = 6\pi\eta r_k v_q$ (сада је с десне стране $+6\pi\eta r_k v_q$)

Добијамо:

$$0 = 6\pi\eta r_k v_q - 6\pi\eta r_k v_e + qE$$

Коначно, уз $v_g = -0.0002 \text{ m/s}$, $q = 11e = 11 \cdot 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$ и $E = 900 \text{ kV/m}$:

$$v = v_g + \frac{qE}{6\pi\eta r_k} = 0.003096 \text{ m/s} = 3.086 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

Задатак 2. Протон почетне кинетичке енергије 5 keV улази у раван кондензатор по средини паралелно његовим плочама између којих је успостављено поље $\vec{E} = E_y \vec{j}$, $E_y = 1000 \text{ V/m}$. Након времена 50 ns угаси се електрично поље кондензатора. Израчунати скретање на крају кондензатора ако су плоче дуге 10 cm.

На основу датих података и слике (изабраћемо најповољнији координатни систем):

$$T_0 = \frac{mv_0^2}{2} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2T}{m}} = v_{0x} = 9,786 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$v_{0y} = v_{0z} = 0, \quad x_0 = y_0 = z_0 = 0$$

$$\text{Интензитет поља је: } E_y = 1000 \frac{\text{V}}{\text{m}},$$

Постављамо и решавамо Њутнове једначине:

$$ma_x = 0 \Rightarrow v_x = v_{0x} \Rightarrow x = v_{0x}t$$

$$ma_y = qE_y \Rightarrow v_y = \frac{qE_y}{m}t \Rightarrow y = \frac{qE_y}{2m}t^2$$

$$ma_z = 0 \Rightarrow v_z = v_0 \Rightarrow z = 0 \quad (\text{нема кретања дуж } z\text{-осе})$$

Можемо проверити да ли је протон за дато време $t = 50 \times 10^{-9} \text{ s}$ већ изашао из кондензатора:

$$x = v_{0x}t = 9,786 \times 10^6 \text{ m/s} \cdot 50 \times 10^{-9} \text{ s} = 0.0489 \text{ m} = 4.89 \text{ cm}$$

Како је x координата за $t = 50 \times 10^{-9} \text{ s}$ мања од дужине кондензатора $x = 10 \text{ cm}$ можемо закључити да је протон био у кондензатору када је поље искључено.

До тог тренутка протон се кретао по параболи, а након тог тренутка почиње да се креће по правој линији. Да бисмо нашли скретање на крају кондензатора морамо најпре наћи једначину те праве линије (јер је то путања честице кроз тачку која нас интересује).

Једначина праве је:

$$y - y_t = k(x - x_t)$$

Где су x_t и y_t координате честице када је поље искључено, а k коефицијент правца праве.

$$x_t \text{ смо већ израчунали: } x_t = v_{0x}t = 9,786 \times 10^6 \text{ m/s} \cdot 50 \times 10^{-9} \text{ s} = 0.0489 \text{ m}$$

$$y_t \text{ рачунамо заменом } t = 50 \times 10^{-9} \text{ s} \text{ у израз } y = \frac{qE_y}{2m}t^2: y_t = \frac{qE_y}{2m}t^2 = 0,0001197 \text{ m}$$

Коефицијент правца налазимо елиминацијом времена из једначина $x = v_{0x}t$ и $y = \frac{qE_y}{2m}t^2$, затим налажењем првог извода по x и заменом вредности $x_t = 0.0489 \text{ m}$:

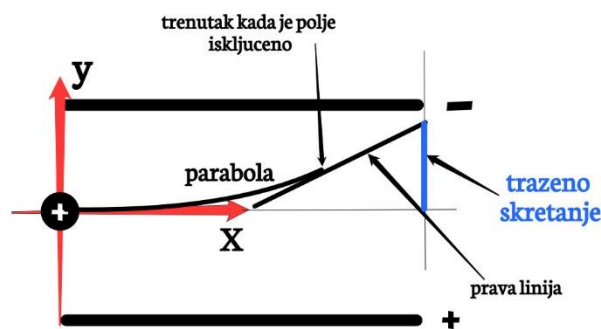
$$y = \frac{qE_y}{2m} \frac{x^2}{v_{0x}^2}, \quad \frac{dy}{dx} = \frac{qE_y}{m} \frac{x}{v_{0x}^2} \Rightarrow k = \frac{dy}{dx} = \frac{qE_y}{m} \frac{x_t}{v_{0x}^2} = 0,004893$$

Једначина праве је сада:

$$y - 0,0001197 = 0,004893(x - 0.0489)$$

Коначно, скретање добијамо заменом $x = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$ у последњу једначину:

$$y = 0,004893(0.1 - 0.0489) + 0,0001197 = 0.0003696 \text{ m} = 3,70 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$



Још неколико техничких детаља:

*Напомена: Унети резултат са 3 значајне цифре у децималном запису или у научној нотацији, са јединицом. Нпр. за резултат 0,24434 m треба унети 0,244 m или 2,44E-1 m.

У броју 0,0024434 значајне цифре су све цифре различите од нуле (24434), уколико се тражи резултат на 3 значајне цифре, значи да резултат треба представити као 0,00244.

За децимални знак треба користити зарез (не тачку).

У научној нотацији овај број је $0,00244343=2,44345 \cdot 10^{-3}$, и на тестовима се записује као 2,4434E-3, а заокружен на три значајне цифре као 2,44E-3. Свеједно је да ли се користи мало или велико „Е“ и да ли има размака.

Јединица се пише после бројне вредности и свеједно је да ли има или нема размака. За количник у јединицама треба користити косу црту „/“. Уколико је тачан резултат наведен без јединица одузима се 10% од укупног броја поена за задатке.