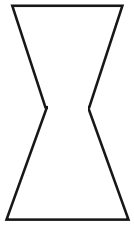
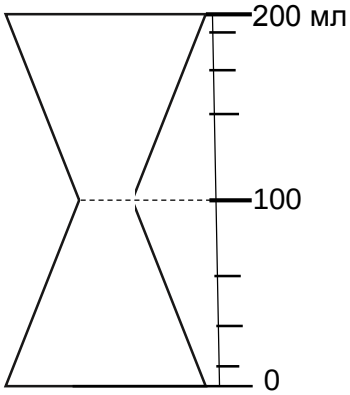
Відповіді завдань II етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики

Задача 1 (7 клас)



Для приготування страви мамі необхідно використати 200 мл молока. Але вдома не виявилося мірного стакану. Артем вирішив допомогти мамі й виготовив мірний стакан з посудини, форма якої зображена на малюнку. Якою буде шкала цього приладу? Перенесіть малюнок на аркуш паперу, в якому Ви виконуєте завдання олімпіади, схематично намалюйте на ньому шкалу та обгрунтуйте свої дії.

Розв’язок



Задача 2 (7 клас)

Спеліологи – вчені, які досліджують природні печери (їх походження, еволюцію, вік, склад мінералів, рух підземних вод, тваринний та рослинний світ, залишки давніх матеріальних культур, тощо).

Дослідники можуть спускатися в печери в два рази швидше й підійматися в два рази повільніше, ніж коли рухаються по горизонтальній ділянці печери з швидкістю 0,9 км/год. Зазвичай керівник спеліологів наймає серед місцевих жителів провідника, який повинен довести дослідників до входу в печеру, зустріти на її виході та повернути назад до місця зустрічі.

Одного разу спеліологи досліджували печеру в горах, яка мала план, зображений на малюнку. Поки спеліологи перебували в печері, провідник зі швидкістю 4 км/год перейшов від входу до виходу печери. Скільки часу він чекав дослідників на виході?

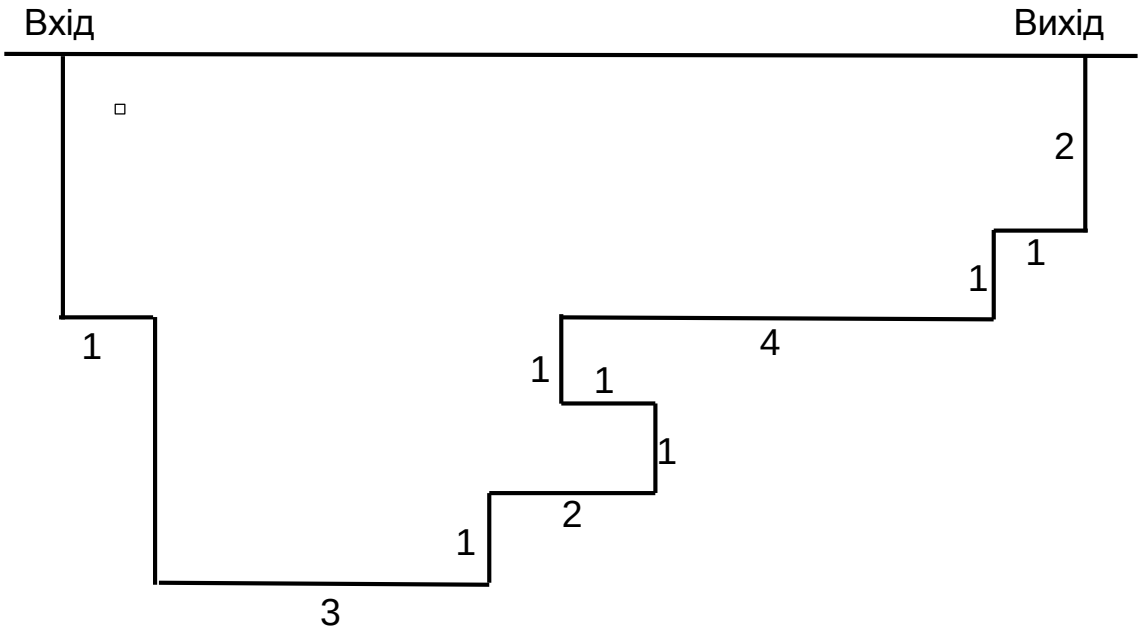


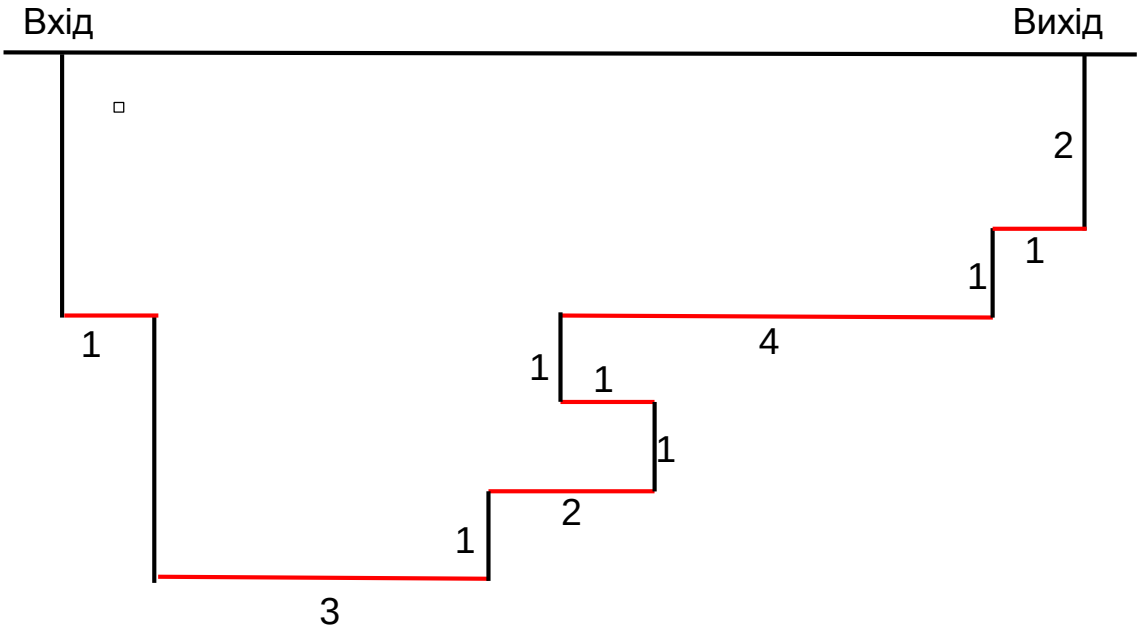
Схема печери:

Ділянки 1 мають протяжність 100 м, 2 – 200 м, 3 – 300 м, 4 – 400 м.

Розв’язок

Переміщення провідника, це довжина горизонтальних ділянок печери у напрямку від входу до виходу печери

$S = 100\text{ м} + 300\text{ м} + 200\text{ м} - 100\text{ м} + 400\text{ м} + 100\text{ м} = 1000\text{м} = 1\text{ км}.$



Цю відстань провідник проходить за час

$t_{\text{пр}} = \frac{S}{v} = \frac{1\text{ км}}{4\,\frac{\text{км}}{\text{год}}} = 0{,}25\text{ год} = 15\text{ хв}.$

Щоб визначити час перебування спеліологів у печері, необхідно просумувати час їх спуску, підйому та руху по горизонтальних діяльних:

$$t_{\text{сп}} = \frac{S_{\text{спуск}}}{2v_{\text{гор}}} + \frac{S_{\text{підйому}}}{\frac{v_{\text{гор}}}{2}} + \frac{S_{\text{гор}}}{v_{\text{гор}}} = \frac{S_{\text{спуск}}}{2v_{\text{гор}}} + \frac{2S_{\text{підйому}}}{v_{\text{гор}}} + \frac{S_{\text{гор}}}{v_{\text{гор}}};$$

$$t_{\text{сп}} = \frac{600\text{ м}}{2v_{\text{гор}}} + \frac{2\cdot 600\text{ м}}{v_{\text{гор}}} + \frac{1300\text{ м}}{v_{\text{гор}}} = \frac{2100\text{ м}}{v_{\text{гор}}} = \frac{2{,}1\text{ км}}{0{,}9\text{ км/год}} = 3\text{ год.}$$

Отже, провідник чекав спеліологів 2 години 45 хвилин.

Задача 3 (7 клас)

Супутники Марса Фобос і Деймос обертаються навколо нього в один бік. Але для спостерігача, що перебуває на Марсі, вони рухаються в протилежні боки. Чим зумовлений цей ефект?

Розв'язок

Період обертання одного із супутників менший за період добового обертання Марса, а період обертання другого супутника – більший.

Задача 4 (8, 9 клас)

Після сильного граду допитливий учень вирішив визначити температуру градин. Для цього він зібрав 1 кг градин, засипав їх у дволітрову пляшку з-під води й долив до заповнення гарячою водою за температури $97°\text{C}$. Після того, як лід розтанув, він знову виміряв температуру. Виявилося, що температура знизилася до $3°\text{C}$. Якою була температура льоду? Теплообміном із довкіллям знехтувати. Питома теплоємність води $\text{c}_\text{В}$ – $4200\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг·С}}$, льоду $\text{c}_\text{Л}$ – $2100\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг·С}}$, питома теплота плавлення льоду λ – $330\ \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$, густина льоду $\rho_\text{Л}$ – $900\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Розв'язок

Між льодом і водою відбувався теплообмін. Гаряча вода охолоджувалася від температури $t_\text{В} = 97°\text{C}$ до температури $t = 3°\text{C}$. Кількість теплоти, яку віддала гаряча вода, дорівнює $Q_\text{В} = \text{c}_\text{В} m_\text{В}(t_\text{В} - t)$ [1].

Масу гарячої води, яку долив хлопчик у пляшку, визначимо як $m_\text{В} = \rho_\text{В} V_\text{В}$.

Врахуємо, що об'єм долитої води – це різниця між об'ємом пляшки та об'ємом льоду $V_\text{Л} = \frac{m_\text{Л}}{\rho_\text{Л}}$. Тоді $m_\text{В} = \rho_\text{В} V_\text{В} = \rho_\text{В}(V - V_\text{Л}) = \rho_\text{В}(V - \frac{m_\text{Л}}{\rho_\text{Л}})$ [2].

Підставимо вираз [2] у вираз [1] і отримаємо, що

$$Q_\text{В} = \text{c}_\text{В}\rho_\text{В}\left(V - \frac{m_\text{Л}}{\rho_\text{Л}}\right)(t_\text{В} - t);$$

$$Q_\text{В} = 4200\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг·С}} \cdot 1000\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\left(2\cdot 10^{-3}\text{м}^3 - \frac{1\text{ кг}}{900\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}\right)(97°\text{C} - 3°\text{C}) \approx 350933\text{ Дж.}$$

З умови задачі видно, що лід градин розтанув та утворена з нього вода нагрілася від $t_0 = 0°\text{C}$ до $t = 3°\text{C}$. Загальна кількість теплоти для цих процесів:

$$Q = Q_\text{пл} + Q_\text{Л} = \lambda m_\text{Л} + \text{c}_\text{В} m_\text{Л}(t - t_0);$$

$$Q = 330\cdot 10^3\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 1\text{кг} + 4200\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг·С}} \cdot 1\text{ кг} \cdot (3°\text{C} - 0°\text{C}) = 342600\text{ Дж.}$$

Порівнявши $Q_\text{В}$ та Q, стає очевидно, що лід отримав іще додаткову кількість теплоти $Q_\text{НЛ} = Q_\text{В} - Q \approx 8333\text{ Дж}$. Отже, лід мав початкову температуру, меншу від температури його плавлення $t_0 = 0°\text{C}$, а кількість теплоти $Q_\text{НЛ}$ витратилася на нагрівання льоду до температури плавлення.

Оскільки $Q_{НЛ} = c_Л m_Л (t_0 - t_1)$, де t_1 – початкова температура льоду, то $t_1 = t_0 - \frac{Q_{НЛ}}{c_Л m_Л} = 0°C - \frac{8333\ Дж}{2100\ \frac{Дж}{кг \cdot C} \cdot 1 кг} \approx -4°C$.

Задача 5 (8, 9 клас)

Підкинувши камінець, маса якого 1 кг, Олег приклав силу 40 Н на шляху 0,5 м. На яку висоту підніметься камінь після того, як відірветься від руки хлопця?

Розв'язок

Підкидаючи камінь, Олег виконав механічну роботу $A = FS$ [1], яка надала каменю повну механічну енергію рівну його кінетичній енергії:

$$A = W_к = \frac{mv^2}{2}.$$

Після відриву від руки Олега повна механічна енергія каменя зберігається, оскільки його швидкість не велика й силою опору повітря можна знехтувати. На висоті h повна механічна енергія каменя дорівнює потенціальній енергій $W_п = mgh$[2].

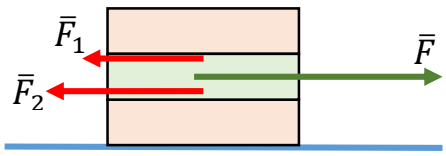
Прирівняємо вирази [1] та [2]: $FS = mgh$. Звідси $h = \frac{FS}{mg}$.

Задача 6 (8 клас)

На робочому столі Івана гіркою лежали три книги, маса кожної з яких 200 г. Щоб витягнути другу книгу, Іван прикладав до неї силу 1,8 Н, не притискав і не підіймав верхню книгу, а лише її притримував. Який повинен бути мінімальний коефіцієнт тертя стола, щоб нижня книга не зрушила з місця? Усі поверхні книг однакові.

Розв'язок

Розглянемо сили, які діють на другу книгу, коли Іван витягує її з гірки (мал. 1): $\bar{F}$ – сила, з якою Іван витягував другу книгу, $\bar{F}_1$ – сила тертя ковзання, між поверхнями першої та другої книг, $\bar{F}_2$ – сила тертя ковзання, між поверхнями третьої та другої книг.



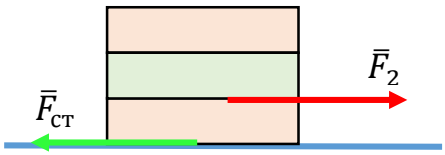
Мал. 1

Оскільки рух книги рівномірний, то $F = F_1 + F_2$.

Врахуємо, що $F_1 = \mu N_1 = \mu mg$, $F_2 = \mu N_2 = 2\mu mg$.

Тоді $F = \mu mg + 2\mu mg = 3\mu mg$. Звідси $\mu = \frac{F}{3mg}$ [1].

Розглянемо сили, які діють на третю книгу. Відповідно до III закону Ньютона на верхню поверхню третьої сили діє сила тертя ковзання F_2, але її напрямок протилежний, ніж при дії на нижню поверхню другої книги. Також на третю книгу буде діяти сила тертя спокою столу $F_{ст}$ (мал.2).



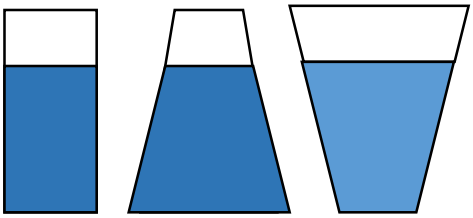
Мал. 2

Ці дві сили урівноважені, оскільки третя книга зберігає стан спокою: $F_{\text{ст}} = F_2$.

Врахуємо, що $F_2 = \mu N_2 = 2\mu mg$, $F_{\text{ст}} = \mu N_{\text{ст}} = 3\mu_{\text{ст}} mg$. Тоді $2\mu mg = 3\mu_{\text{ст}} mg$ або $\mu_{\text{ст}} = \frac{2\mu}{3}$ [2].

Підставимо вираз [1] у вираз [2] та отримаємо, що $\mu_{\text{ст}} = \frac{2F}{9mg} = \frac{2 \cdot 1{,}8\ \text{Н}}{9 \cdot 0{,}2\ \text{кг} \cdot 9{,}8\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 0{,}2$.

Задача 7 (8 клас)



Як буде змінюватися тиск на дно трьох посудин різної форми за нагрівання води? Відповідь поясніть

Розв'язок

Гідростатичний тиск визначається висотою стовпчика рідини та її густиною. Якщо знехтувати тепловим розширенням посудини, тиск на дно першої посудини змінюватися не буде, незалежно від того, нагрівають воду чи охолоджують, оскільки вплив на тиск підвищення стовпчика води при нагріванні компенсується зменшенням її густини. У другій та третій посудинах у вертикальному напряму на рідину крім сили тяжіння та сили реакції опори зі сторони дна, будуть діяти сили реакції опори зі сторони стінок посудини. У другій посудині стінки ніби підтримують воду, а у третій – навпаки, немов притискають її до дна. Якщо вважати, що початкова температура води перевищує $4°$, то під час нагрівання рівень води збільшиться за рахунок зменшення її густини. У другій посудині додатковий об'єм води розподілиться по більшій площі, ніж площа дна, тому тиск на її дно зменшиться; у третій посудині, навпаки, додатковий об'єм розподілиться по меншій площі, що приведе до значного підвищення рівня води й збільшення тиску на дно посудини.

Задача 9 (9, 10 клас)

Дві електричні лампи, які розраховані на однакову напругу, потужністю $\text{P}_1 = 25\ \text{Вт}$ і $\text{P}_2 = 200\ \text{Вт}$ увімкнуті послідовно в електричне коло. Яка з ламп горітиме яскравіше?

Розв'язок

Потужніша лампа має менший опір $\left(R_2 = \frac{U^2}{P_2}\right)$, а сила струму, що проходить через лампи, однакова. Із закону Джоуля-Ленца слідує, що $P_1' = I^2 R_1$, $P_2' = I^2 R_2$. Тому менш потужна лампа горітиме яскравіше.

Задача 10 (10 клас)

На аркуш картону рівномірно насипані металеві ошурки. Цей аркуш вносять у магнітне поле. Якщо легенько постукати по картону, то ошурки

розмістяться в ланцюжки в напрямку силових ліній поля. Для чого необхідно постукувати по картону? Чому ошурки не просто орієнтуються по полю, а з'єднуються в ланцюжки?

Розв'язок

Постукувати треба, щоб змусити частинки рухатися. Поки частинки перебувають у спокої, магнітні сили не можуть подолати сили тертя спокою. За рахунок намагнічування частинки в повздовжньому напрямі, поле біля її кінців зростає. Це створює умови для з'єднання частинок в ланцюжок.

Задача 11 (10 клас)

З якою швидкістю треба кинути вертикально вгору тіло, щоб воно пройшло шлях 100 м за час 6 с?

Розв'язок

Умова передбачає можливість трьох випадків руху.

По-перше, якщо тілу надана така початкова швидкість v_0, що воно пройде шлях S, не досягнувши максимальної висоти підйому H.

По-друге, тіло досягне максимальної висоти H, яка буде співпадати з шляхом S.

По-третє, тіло досягне максимальної висоти H, яка менша шляху S. Тоді $S = H + S_1$, де S_1 – шлях, пройдений тілом при русі вниз.

Оцінимо другий випадок. Визначимо початкову швидкість тіла:

$v = v_0 - \mathrm{g}t$;

$0 = v_0 - \mathrm{g}t \Rightarrow v_0 = \mathrm{g}t \approx 10\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 6\text{ с} = 60\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Зясуємо, якою повинна бути висота при такій початковій швидкості:

$S = v_0 t - \frac{\mathrm{g}t^2}{2} \approx 60\,\frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 6\text{ с} - \frac{10\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\cdot(6\text{ с})^2}{2} = 180\text{ м}$. Отже, для другого випадку умови задачі не виконуються.

Тоді повинні реалізуватися перший та третій випадки.

Для першого – $v_0 = \frac{S}{t} + \frac{\mathrm{g}t}{2} = 47$ м.

Для третого, $H = v_0 t_1 - \frac{\mathrm{g}{t_1}^2}{2}$, де t_1 – час підйому тіла, який можна розрахувати з формули швидкості $0 = v_0 - \mathrm{g}t_1 \Rightarrow v_0 = \mathrm{g}t_1 \Rightarrow t_1 = \frac{v_0}{\mathrm{g}}$

$S_1 = \frac{\mathrm{g}t_2^2}{2}$, де t_2 – час падіння тіла. Також $t_1 + t_2 = t$.

Із записаних рівнянь знайдемо, що

$$v_{01} = \frac{\mathrm{g}t + \sqrt{4gs - g^2t^2}}{2} = 40\text{ м},\ v_{02} = \frac{\mathrm{g}t - \sqrt{4gs - g^2t^2}}{2} = 20\text{ м}.$$

Друга відповідь відповідає випадку, коли тіло в кінці шляху опиниться нижче точки кидання.

Задача 12 (10, 11 клас)

Автомобіль, маса якого дорівнює 5 т, рушає з місця на підйомі з нахилом 0,02 і, рухаючись рівноприскорено, за 40 с проходить 200 м. Скільки

бензину він витратить на цьому шляху, якщо ККД двигуна – 25 %, коефіцієнт опору – 0,02?

Розв'язок

ККД двигуна $\eta = \frac{A_к}{A_п} = \frac{FS}{qm}$, звідси $m = \frac{FS}{q\eta}$. Сила тяги двигуна $F = Ma + Mg\sin\alpha + kMg\cos\alpha$, де $\alpha = \frac{2S}{t^2}$ – прискорення автомобіля. Тоді $m = \frac{M(\frac{2S}{t^2} + g\sin\alpha + kg\cos\alpha)S}{q\eta} = 0{,}057$ кг.

Задача 13 (10 клас)

Чи перебуватиме в стані невагомості космонавт, який здійснює міжпланетний переліт, рухаючись з другою космічною швидкістю?

Розв'язок

Так, якщо будуть вимкнені двигуни, оскільки в цей час корабель рухатиметься тільки під дією гравітації?

Задача 14 (11 клас)

Рибалка, сидячи в човні, кидає камінь під кутом $\alpha = 60°$ до горизонту. Маса каменя $m = 1$ кг, маса рибалки й човна M =150 кг, початкова швидкість каменя $v_0 = 10\,\frac{м}{с}$. Визначити відстань між точкою падіння каменя та човном у момент, коли камінь доторкнувся до води. Тертя човна об воду не враховувати.

Розв'язок

Горизонтальна складова швидкості каменя дорівнює $v_к = v_0\cos\alpha = 5\,\frac{м}{с}$. Оскільки горизонтальна складова імпульсу системи зберігається, то $Mv_ч = mv_к$, де $v_ч$ – швидкість човна. Отже, $v_ч = \frac{mv_к}{M} \approx 0{,}033\,\frac{м}{с}$. Час польоту каменя $t = \frac{2v_0\cos\alpha}{g} \approx 1{,}73$ с. Відстань між точкою падіння каменя і човном у момент падіння складається зі шляху, пройденого човном, та горизонтального переміщення каменя:

$S = S_к + S_ч = (v_к + v_ч)t \approx 8{,}71$ м.

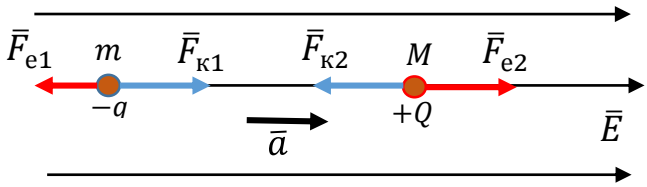
Задача 15 (11 клас)

Точкові заряди $-q$ та $+Q$, маси яких відповідно дорівнюють m і M, як одне ціле рухаються в однорідному електричному полі, напруженість якого E і направлена вздовж прямої, що сполучає заряди. Визначте відстань між зарядами.

Розв’язок

Заряди рухаються як одне ціле, якщо мають однакове прискорення $a_1 = a_2 = a$.

На кожен заряд діють сили сила однорідного електричного поля та сила Кулона



Оскільки $F_{к1} = F_{к2} = \frac{kqQ}{r^2}$, то за другим законом Ньютона для кожного з зарядів:

$$ma = \frac{kqQ}{r^2} - qE;\ Ma = QE - \frac{kqQ}{r^2}.$$

Звідси, $r = \sqrt{\frac{kqQ(M+m)}{E(Mq+mQ)}}$.

Задача 16 (11 клас)

У який спосіб заряджений провідник може віддати весь свій заряд іншому провіднику?

Розв’язок

Необхідно заряджений провідник помістити всередину незарядженого провідника й доторкнутися до його внутрішньої стінки. Весь заряд перейде на зовнішню поверхню спершу незарядженого провідника.