ROZDZIAŁ V

INDUKCYA ELEKTROMAGNETYCZNA

62. — Uważając Ziemię za magnes kulisty, jednorodny, wyznaczyć jaką byłaby w woltach siła elektromotoryczna, wzbudzona w przewodniku łączącym biegun z równikiem, a nie biorącym udziału w obrocie dziennym. Przyjmując na biegunach natężenie pola magnetycznego równe 0,66 gausa?

Oznaczmy przez $\mathfrak{N}$ potok magnetyczny półkuli południowej, przez ω prędkość kątową ruchu dziennego Ziemi. Ilość linii sił przeciętych przez przewodnik stały podczas obrotu Ziemi około swej osi o kąt równy jednemu radyanowi, wynosi $\mathfrak{N}/2\pi$, zaś wzbudzona siła elektromotoryczna

$$E = \frac{\omega \mathfrak{N}}{2\pi}.$$

Indukcyę magnetyczną $\mathfrak{B}$ magnesu kulistego jednorodnego, wraz z jego natężeniem $\mathfrak{J}$ łączy zależność

$$\mathfrak{B} = -\frac{4}{3}\pi\mathfrak{J} + 4\pi\mathfrak{J} = \frac{8}{3}\pi\mathfrak{J},$$

gdzie $^4/_3\pi\mathfrak{J}$ oznacza siłę rozmagnesowującą biegunów.

Jeżeli przez $2r$ oznaczymy średnicę Ziemi, wówczas

$$\mathfrak{N} = \frac{8}{3}\pi\mathfrak{J}\,.\,\pi r^2 = \frac{8}{3}\pi^2 r^2 \mathfrak{J}.$$

Wiemy (zadanie 9), że magnes kulisty jednorodny można rozważać jako utworzony przez złożenie dwuch kul fikcyjnych, wypełnionych jedna masą magnetyczną dodatnią, druga ujemną, i oddalonych jedna od drugiej wzdłuż kierunku namagnesowania o wielkość nieskończenie małą ε tak dobraną, że oznaczając przez δ gęstość objętościową mas magnetycznych, moglibyśmy napisać $\delta\varepsilon = \mathfrak{I}$. W jakimkolwiek punkcie, leżącym na osi magnetycznej magnesu, po jego stronie północnej, w odległości a od środka odcinka łączącego środki naszych kul fikcyjnych, natężenie pola, wytworzonego przez magnes wynosi (zad. 9)

$$\mathcal{H} = \frac{4}{3}\pi r^3 \delta \left[\frac{1}{\left(a - \frac{\varepsilon}{2}\right)^2} - \frac{1}{\left(a + \frac{\varepsilon}{2}\right)^2}\right] = \frac{4}{3}\pi r^3 \delta \frac{2a\varepsilon}{\left(a^2 - \frac{\varepsilon^2}{4}\right)^2} =$$

$$= \frac{8}{3}\pi r^3 \delta \frac{\varepsilon}{a^3} = \frac{8}{3}\pi \frac{r^3 \mathfrak{I}}{a^3},$$

pomijając nieskończenie małą wyższego rzędu $\frac{\varepsilon^2}{4}$.

Przy północnym zakończeniu osi magnetycznej, gdzie $a = r$, mamy

$$\mathcal{H} = \frac{8}{3}\pi \mathfrak{I}.$$

W ten sposób wyraziłoby się natężenie ziemskiego pola magnetycznego przy biegunie południowym. Można byłoby więc napisać

$$\mathfrak{I} = \frac{3}{8\pi}\mathcal{H},$$

$$\mathfrak{M} = \frac{8}{3}\pi^2 r^2 . \frac{3}{8\pi}\mathcal{H} = \pi r^2 \mathcal{H},$$

$$E = \frac{\omega}{2\pi} . \pi r^2 \mathcal{H} = \frac{\omega r^2 \mathcal{H}}{2}.$$

Ponieważ

$$\omega = \frac{2\pi}{24 . 3600} = 7{,}27 . 10^{-5} \text{ radyana na sekundę,}$$

$$r = \frac{4 . 10^9}{2\pi} = 6{,}37 . 10^8\ cm; \quad \mathcal{H} = 0{,}66 \text{ gausa,}$$

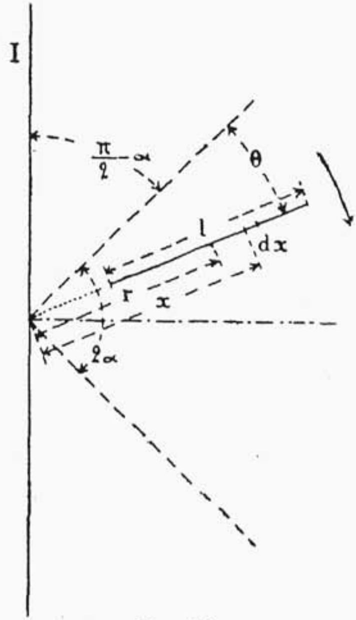
otrzymamy

$$E = \frac{7{,}27 . 10^{-5} . \overline{6{,}37}^2 . 10^{16} . 0{,}66}{2} =$$

$= 9{,}73 . 10^{12}$ jednostkom c. g. s. elektromagnetycznym,

czyli $9{,}73 . 10^{12} . 10^{-8} = 97300$ woltom.

63. — Mamy prąd stały (rys. 46) prostolinijny i nieskończenie długi o natężeniu $I = 1000$ amp. W płaszczyźnie przechodzącej przez przewodnik z naszym prądem, waha się z szybkością kątową $\omega = 2\pi$ radyanom na sekundę, prosty kawałek drutu metalowego długości $l = 50$ *cm* w ten sposób, że jego końce zakreślają, około punktu leżącego na przewodniku z prądem, łuki odpowiadające kątowi 2α, którego dwusieczna jest prostopadłą do kierunku prądu. Wyznaczyć w mikrowoltach wartość czynną siły elektromotorycznej, wzbudzonej w tym kawałku drutu przez jego ruch wahadłowy.



Rys. 46.

Rozpatrzmy drut w położeniu pośredniem, określonem kątem θ, tworzącym ze swem położeniem początkowem, nachylonem o kąt $\frac{\pi}{2} - \alpha$ do przewodnika z prądem, od którego się oddala. Oznaczmy przez dx element drutu w odległości x od środka obrotu.

W miejscu gdzie się znajduje element, pole magnetyczne, wytworzone przez prąd nieskończenie długi, wyniesie

$$\mathcal{H} = \frac{2I}{x \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha + \theta\right)} = \frac{2I}{x \cos(\alpha - \theta)}.$$

Potok przecięty przez element przy obrocie drutu o kąt $d\theta$

$$d\mathfrak{N} = \mathcal{H}\,.\,dx\,.\,x\,d\theta = \frac{2I}{\cos(\alpha - \theta)}\,dx\,d\theta,$$

oznaczając przez dt czas odpowiadający temu obrotowi, otrzymamy jako wartość siły elektromotorycznej

$$de = \frac{d\mathfrak{N}}{dt} = \frac{2I}{\cos(\alpha - \theta)}\,dx\,\frac{d\theta}{dt} = \frac{2I\omega}{\cos(\alpha - \theta)}\,dx.$$

Gdy środek drutu zakreśli łuk o promieniu r, całkowita siła elektromotoryczna dla danego momentu będzie

$$e = \frac{2I\omega}{\cos(\alpha - \theta)}\int\limits_{r-\frac{l}{2}}^{r+\frac{l}{2}} dx = \frac{2I\omega}{\cos(\alpha - \theta)}\,l = \frac{2I\omega l}{\cos(\alpha - \omega t)},$$

gdzie t oznacza czas, w którym przewodnik zakreśla kąt θ.

Czas trwania zmiany 2α kąta θ wynosi $\frac{2\alpha}{\omega}$ (okres). Znajdziemy więc kwadrat wartości czynnej, całkowitej siły elektromotorycznej

$$E^2 = \frac{1}{\left(\frac{2\alpha}{\omega}\right)}\int\limits_0^{\frac{2\alpha}{\omega}} e^2\,dt = \frac{\omega}{2\alpha}\,.\,4I^2\omega^2 l^2\int\limits_0^{\frac{2\alpha}{\omega}}\frac{dt}{\cos^2(\alpha - \omega t)} =$$

$$= \frac{2I^2\omega^3 l^2}{\alpha}\left\{-\frac{1}{\omega}\Big[\operatorname{tg}(\alpha - \omega t\Big]_0^{\frac{2\alpha}{\omega}}\right\} = \frac{4I^2\omega^2 l^2}{\alpha}\operatorname{tg}\alpha,$$

skąd

$$E = 2I\omega l\sqrt{\frac{\operatorname{tg}\alpha}{\alpha}}.$$

Kładąc

$I = 1000\,.\,10^{-1} = 100$ jednostkom c. g. s. elektromagnetycznym,

$\omega = 2\pi$ radyanom na sekundę,

$l = 50\ cm$; $\alpha = \frac{\pi}{4}$ oraz $\operatorname{tg}\alpha = 1$,

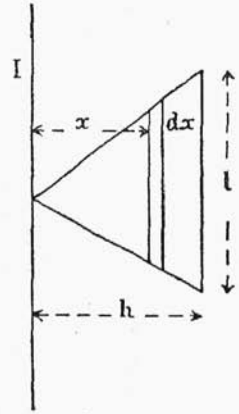
otrzymamy

$$E = 2\,.\,100\,.\,2\,.\,3{,}14\,.\,50\,.\sqrt{\frac{4}{3{,}14}} =$$

$= 70\,900$ jednostkom c. g. s. elektromagnetycznym,

czyli $70\,900\,.\,10^{-8}\,.\,10^{6} = 709$ mikrowoltom.

64. — Pętlica zamknięta w kształcie trójkąta (rys. 47), posiadająca opór $R = 0{,}05$ oma znajduje się w płaszczyźnie, w której leży przewodnik prostolinijny w ten sposób, że jej wierzchołek znajduje się na tym przewodniku, zaś bok przeciwległy jest do niego równoległy (długości $l = 1\ m$). Wyznaczyć w mikrokulombach ilość elektryczności wzbudzonej w pętlicy, gdy natężenie prądu stałego przez przewodnik prostolinijny przechodzącego zmniejszył się o 100 amperów.



Rys. 47.

Oznaczmy przez h odległość przewodnika z prądem od boku trójkąta do niego równoległego.

W odległości x od przewodnika, przez który przepływa prąd o natężeniu I, natężenie pola magnetycznego wynosi $\frac{2I}{x}$, zaś potok przechodzący przez element pola trójkąta, szeroki dx, a długi $\frac{x}{h}l$, wynosi

$$d\mathfrak{N} = \frac{2I}{x} \cdot \frac{x}{h} l \,.\, dx = 2I \frac{l}{h}\, dx,$$

zaś całkowita wartość potoku magnetycznego objętego polem trójkąta

$$\mathfrak{N} = 2I \frac{l}{h} \int_0^h dx = 2Il.$$

Oznaczając przez i chwilowe natężenie prądu wzbudzonego w trójkątnej pętlicy (której współczynnik samoindukcyi oznaczamy przez $\mathfrak{L}$) gdy prąd I z wielkości stałej I_1 przechodzi do wielkości również stałej I_2, otrzymamy

$$i = \frac{-\frac{d\mathfrak{N}}{dt} - \mathfrak{L}\frac{di}{dt}}{R}$$

lub
$$idt = -\frac{2l}{R}\,dI - \frac{\mathfrak{L}}{R}\,di,$$

zaś jako wyrażenie na ilość elektryczności $q = \int i\,dt$ przesuniętej w obwodzie mamy

$$q = -\frac{2l}{R}\int_{I_1}^{I_2} dI - \frac{\mathfrak{L}}{R}\int_{o}^{o} di = \frac{2l}{R}\,(I_1 - I_2),$$

(prąd wzbudzony staje się równym zeru gdy wzbudzający przyjmie wartość stałą).

Podstawiając
$l = 100\ cm$; $R = 0{,}05 \,.\, 10^9$ jednostkom c. g. s. elektromagnet., $I_1 - I_2 = 100 \,.\, 10^{-1} = 10$ jednostkom c. g. s. elektromagnetycznym znajdziemy

$q = \frac{2 \,.\, 100}{0{,}05 \,.\, 10^9} \,.\, 10 = 0{,}00004$ jednostce c. g. s. elektromagnetycznej, czyli

$$0{,}00004 \,.\, 10 \,.\, 10^6 = 400 \text{ mikrokulombom.}$$

---

65. — Dokoła rdzenia z miękkiego żelaza, długiego solenoidu, nawinięto $n = 200$ zwoi, których końcówki połączono z galwanometrem poprzez opór $R = 1400$ omom. Opór zwojnicy wynosi $R_1 = 50$ omom, galwanometru $R_2 = 350$ omom. Solenoid posiada $n_1 = 6$ zwojom na centymetr długości, rdzeń przekrój $s = 1\ cm^2$. Stała balistyczna galwanometru $K = 0{,}003$ radyana na mikrokulomb. Wyznaczyć w amperach natężenie prądu przechodzącego przez solenoid, wiedząc, że gdy zmienimy jego kierunek, kreska świetlna galwanometru wychyli się na $k = 200$ działkom na podziałce kolistej, odległej o $l = 1500$ działkom od zwierciadełka ruchomego.

Wychylenie k na kolistej podziałce, odległej o l od zwierciadełka, tworzy między promieniem świetlnym odbitym i padającym kąt $\frac{k}{l}$, z czego wynika, że ruchoma część galwanometru obróciła się o kąt

$$\alpha = \frac{1}{2}\,\frac{k}{l} = \frac{1}{2} \cdot \frac{200}{1500} = 0{,}0666 \text{ radyana,}$$

który odpowiada ilości elektryczności

$$q = \frac{\alpha}{K} = \frac{0{,}0666}{0{,}003} = 22{,}2 \text{ mikrokulombom}$$

czyli

$22{,}2 \,.\, 10^{-6} \,.\, 10^{-1} = 0{,}00000222$ jednostki c. g. s. elektromagnetycznej.

Potok magnetyczny zmienił się z $+\mathfrak{N}$ na $-\mathfrak{N}$ w środkowych częściach rdzenia (gdy zmieniliśmy kierunek prądu w solenoidzie), możemy więc napisać

$$q = \frac{n \,.\, 2\mathfrak{N}}{R_1 + R_2 + R}$$

skąd znajdziemy

$$\mathfrak{N} = \frac{q\,(R_1 + R_2 + R)}{2n} = \frac{0{,}00000222 \,.\, (50+350+1400) \,.\, 10^9}{2 \,.\, 200}$$

$$= 10000 \text{ makswelom.}$$

Indukcya magnetyczna w rdzeniu

$$\mathfrak{B} = \frac{\mathfrak{N}}{s} = \frac{10000}{1} = 10000 \text{ gausom,}$$

odpowiada jej przenikliwość magnetyczna $\mu = 2000$ (żelazo miękkie) i siła magnesująca

$$\mathfrak{H} = \frac{\mathfrak{B}}{\mu} = \frac{10000}{2000} = 5 \text{ gausom.}$$

Aby ją wywołać, przez solenoid należy puścić prąd o natężeniu

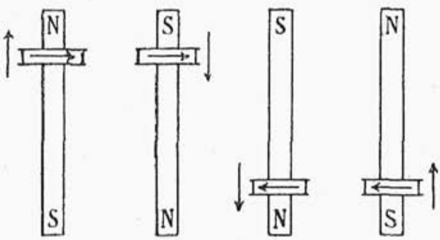
$$I = \frac{\mathfrak{H}}{4\pi n_1} = \frac{5}{4 \,.\, 3{,}14 \,.\, 6} = 0{,}0664 \text{ jednostki c. g. s. elektromagnetycznej, czyli}$$

$$0{,}0664 \,.\, 10 = 0{,}664 \text{ ampera.}$$

---

66. — Pośrodku namagnesowanej sztabki, której długość wynosi $l = 2$ *dcm*, a moment magnetyczny $\mathfrak{A} = 2000$ jednostkom c. g. s., jest nawinięta zwojnica o $n = 1000$ zwojów, której końcówki są przyłączone przez przełącznik, zmieniający kierunek prądu, do elektrod miedzianych woltametru z siarczanem miedzi. Zwojnica posiada ruch zmienny wzdłuż magnesu o amplitudzie większej od jego długości, w ten sposób, że za każdym razem, gdy opuści jeden lub drugi koniec magnesu, przekręcamy go końcami, oraz gdy przechodzi przez środek magnesu przekładamy przełącznik. Ile całkowitych okresów wychylenia powinna wykonać zwojnica, aby o jeden miligram zmienić ciężar elektrod? Całkowity opór woltametru i zwojnicy wynosi $R = 50$ omom.

Przekręcanie magnesu oraz działanie przełącznikiem, zmieniającym połączenie końcówek z woltametrem, mają na celu przepuszczanie przezeń prądu wzbudzonego zawsze w jednym kierunku (rys. 48).



Rys. 48.

Oznaczmy przez $\mathfrak{M}$ potok magnetyczny magnesu. Zmienia się on w zwojnicy cztery razy podczas całkowitego okresu wykonywanych przesunięć. Te zmiany powodują przejście przez woltametr, nie posiadający siły przeciwelektromotorycznej (polaryzacyi), ilości elektryczności wzbudzonej

$$q = n \frac{4\,\mathfrak{M}}{R}.$$

Pomijając reakcyę biegunów o masie $\mathfrak{A}/l$, którą w części środkowej magnesu przyjmujemy za jednostajną, mamy

$$\mathfrak{M} = 4\pi \frac{\mathfrak{A}}{l},$$

skąd

$$q = \frac{4n}{R} \cdot \frac{4\pi\mathfrak{A}}{l} = \frac{16 \,.\, 3{,}14 \,.\, 1000 \,.\, 2000}{50 \,.\, 10^9 \,.\, 20}$$

$= 0{,}0001$ jednostki c. g. s. elektromagnetycznej,

czyli

$$0{,}0001 \,.\, 10 = 0{,}001 \text{ kulomba.}$$

Ponieważ równoważnik elektrochemiczny miedzi wynosi 0,327 miligramów na kulomb, więc aby uwolnić z roztworu jeden miligram tego metalu potrzeba $\frac{1}{0{,}327} = 3{,}06$ kulomby. Zwojnica powinna więc wykonać

$$\frac{3{,}06}{0{,}001} = 3060 \text{ okresów wychylenia.}$$

67. — Tarcza, zrobiona z przewodnika, o średnicy $D = 25\ cm$, porusza się dokoła swej osi w polu magnetycznem jednostajnem o natężeniu $\mathcal{H} = 3000$ gausów i kierunku prostopadłym do płaszczyzny tarczy. Wiedząc, że przez tarczę płynie od jej środka ku obwodowi prąd o natężeniu 10 amperów, otrzymywany ze źródła rozwijającego siłę elektromotoryczną $E=2$ woltom, i że opór całkowity obwodu wynosi $R = 0{,}196$ oma, wyznaczyć prędkość obrotu tarczy, oraz moc zużywaną na pokonanie tarcia.

Obracając się, tarcza wywołuje siłę przeciwelektromotoryczną

$$E' = E - IR = 2 - 10 . 0{,}196 = 0{,}04 \text{ wolta},$$

którą wiąże z ilością obrotów na sekundę N wyrażenie

$$E' . 10^8 = \mathcal{H} . \pi \frac{D^2}{4} . N,$$

z którego znajdziemy

$$N = \frac{4E' . 10^8}{\pi D^2 \mathcal{H}} = \frac{4 . 0{,}04 . 10^8}{3{,}14 . 25^2 . 3000} = 2{,}71 \text{ obrotom na sekundę.}$$

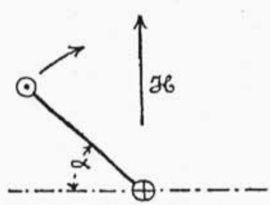
Moc zużywana na pokonanie tarcia

$$EI = 0{,}04 . 10 = 0{,}4 \text{ wata.}$$

---

68. — Wyznaczyć w mikrodżaulach pracę potrzebną do podtrzymania ruchu obrotowego, z prędkością 2π radyanów na sekundę, zwoju kołowego dokoła stycznej do niego pionowej osi w polu magnetycznem jednostajnem, poziomem, o natężeniu równem 150 gausom, podczas ćwierci obrotu, licząc od położenia w którem płaszczyzna zwoju jest prostopadłą do kierunku pola. Odrzucamy jako małe wpływ samoindukcyi i tarcia. Średnica zwoju wynosi 3 *dcm*, jego opór 20000 mikroomów.

Oznaczmy kąt, który w chwili t tworzy płaszczyzna zwoju ze swojem położeniem prostopadłem do linii sił magnetycznych przez α (rys. 49); $\mathcal{H}$ natężenie pola, s — powierzchnia zwoju, R — jego opór, ω — prędkość kątowa ruchu obrotowego.



Rys. 49.

W rozpatrywanej chwili, zwój obejmuje potok magnetyczny

$$\mathfrak{N} = \mathcal{H}\, s \cos \alpha.$$

Jest więc siedliskiem indukcyjnej siły elektromotorycznej

$$e = -\frac{d\mathfrak{N}}{dt} = \mathfrak{H}\, s \sin\alpha \frac{d\alpha}{dt} = \mathfrak{H}\, s\, \omega \sin\alpha,$$

dającej prąd o natężeniu

$$i = \frac{e}{R} = \frac{\mathfrak{H}\, s\, \omega}{R} \sin\alpha.$$

Gdy zwój obróci się o kąt $d\alpha$, jego energia potencyalna w polu zmieni się o

$$dW = -i\, d\mathfrak{N} = -\frac{\mathfrak{H}\, s\, \omega}{R} \sin\alpha \,.\, (-\mathfrak{H}\, s \sin\alpha\, d\alpha) =$$

$$= \frac{\mathfrak{H}^2 s^2 \omega}{R} \sin^2\alpha\, d\alpha.$$

Praca sił elektromagnetycznych, podczas tego przesunięcia

$$dT = -dW = -\frac{\mathfrak{H}^2 s^2 \omega}{R} \sin^2\alpha\, d\alpha,$$

praca zaś odpowiadająca obrotowi między położeniami $\alpha = 0$ oraz $\alpha = 90^0$ wyrazi się

$$T = -\frac{\mathfrak{H}^2 s^2 \omega}{R} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^2\alpha\, d\alpha = -\frac{\mathfrak{H}^2 s^2 \omega}{R} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}\, d\alpha =$$

$$= -\frac{\pi \mathfrak{H}^2 s^2 \omega}{4R}.$$

T jest ujemne, gdyż ruch zwoju wymaga wkładu energii mechanicznej w celu pokonania hamującego działania pola magnetycznego na prąd wzbudzony.

Podstawiając $\mathfrak{H} = 150$ gausom,

$s = \frac{3{,}14 \,.\, 30^2}{4} = 706\ cm^2$; $\omega = 2 \,.\, 3{,}14$ radyanom na sekundę; $R = 20000 \,.\, 10^{-6} \,.\, 10^9 = 2 \,.\, 10^7$ jednostkom c. g. s. elektromagnetycznym, otrzymujemy, jako wartość liczbową pobranej pracy

$$\frac{3{,}14 \,.\, \overline{150}^2 . \overline{706}^2 \,.\, 6{,}28}{4 \,.\, 2 \,.\, 10^7} = 2765\ erg$$

czyli $2765 \,.\, 10^{-7} \,.\, 10^6 = 276{,}5$ mikrodżaulom.

69. — Tarcza miedziana, której gęstość $\delta = 8{,}8\ gr/cm^3$, grubość $e = 2\ mm$, obraca się w płaszczyźnie poziomej dokoła swej osi z prędkością kątową ω_0, w jednostajnem polu magnetycznem, pionowem o natężeniu $\mathcal{H} = 3000$ gausów. Środek i obwód tarczy są połączone przy pomocy szczotek z przewodnikiem bezindukcyjnym, tak iż tworzy się obwód zamknięty o oporze $R = 0{,}3$ oma. Po upływie jakiego czasu od usunięcia siły obracającej tarczę, ostatnia straci połowę swej prędkości obrotowej? Wpływy tarcia pomijamy.

Oznaczmy przez θ moment bezwładności tarczy, przez ω jej prędkość kątową w chwili t, w okresie zwalniania obrotów.

Zmniejszenie się energii cynetycznej tarczy podczas nieskończenie krótkiego czasu dt wynosi

$$-d\left(\frac{1}{2}\theta\omega^2\right) = -\theta\,\omega\,d\omega.$$

Jest ono równe elementarnej pracy elektromagnetycznej, wyrażonej iloczynem z chwilowego natężenia prądu i, wzbudzonego na skutek obrotu tarczy w polu magnetycznem, przez liczbę linii sił $\mathcal{H}\,.\,\frac{1}{2}\,\omega\,r^2\,dt$, którą promień tarczy r przecina w ciągu tego nieskończenie krótkiego czasu.

Ponieważ siła elektromotoryczna indukcyi mierzy się ilością linii sił przeciętych w jednostce czasu, więc

$$i = \frac{1}{R}\,.\,\mathcal{H}\,.\frac{\omega r^2}{2},$$

z czego

$$-\theta\,\omega\,d\omega = i\,.\,\mathcal{H}\frac{1}{2}\,\omega\,r^2\,dt = \frac{\mathcal{H}^2 r^4}{4R}\,\omega^2\,dt.$$

Z ostatniego równania

$$-\int_{\omega_0}^{\omega}\frac{d\omega}{\omega} = \frac{\mathcal{H}^2 r^4}{4R\theta}\int_{0}^{t} dt$$

lub

$$\log_e\frac{\omega_0}{\omega} = \frac{\mathcal{H}^2 r^4}{4R\theta}\,t.$$

Oznaczając przez x długość taką, aby $0 < x < r$, możemy napisać

$$\theta = \int_0^r x^2 . \delta . 2\pi x e dx = 2\pi\delta e \frac{r^4}{4}.$$

otrzymamy więc

$$\log_e \frac{\omega_0}{\omega} = \frac{\mathcal{H}^2}{2\pi\delta e R} t,$$

skąd znajdziemy

$$t = \frac{2\pi\delta e R}{\mathcal{H}^2} \log_e \frac{\omega_0}{\omega}.$$

Kładąc w to równanie

$\delta = 8{,}8\ gr/cm^3$; $e = 0{,}2\ cm$; $\mathcal{H} = 3000$ gausów,

$R = 0{,}3 . 10^9$ jednostkom c. g. s. elektromagnetycznym,

$$\log_e \frac{\omega_0}{\omega} = \log_e 2 = 0{,}693,$$

znajdziemy

$$t = \frac{2 . 3{,}14 . 8{,}8 . 0{,}2 . 0{,}3 . 10^9}{3000^2} . 0{,}693 = 255 \text{ sekundom}$$

czyli 4,25 minutom.

---

70. — Okrągła tarcza metalowa, której ciężar wynosi 500 gr, jest ustawiona w jednostajnem polu magnetycznem pionowem (o natężeniu $\mathcal{H} = 5$ gausom), którego kierunek jest prostopadły do płaszczyzny tarczy. W chwili gdy, na skutek energii cynetycznej, którą jej nadaliśmy, tarcza obraca się z prędkością jednego obrotu na sekundę, łączymy jej środek i obwód za pomocą szczotek z przewodnikiem bezindukcyjnym. Jaką byłaby w amper-godzinach, ilość elektryczności, która przeszła łączącym przewodnikiem do chwili zatrzymania się tarczy, gdyby nie istniały opory tarcia?

Oznaczmy przez $\mathcal{H}$ natężenie pola magnetycznego, przez r promień tarczy, przez θ jej moment bezwładności, oraz przez R całkowity opór obwodu elektrycznego.

Niech w chwili t, licząc od zamknięcia obwodu, ω będzie prędkością kątową tarczy, e siłą elektromotoryczną indukcyi w niej powstałą, oraz i natężeniem prądu.