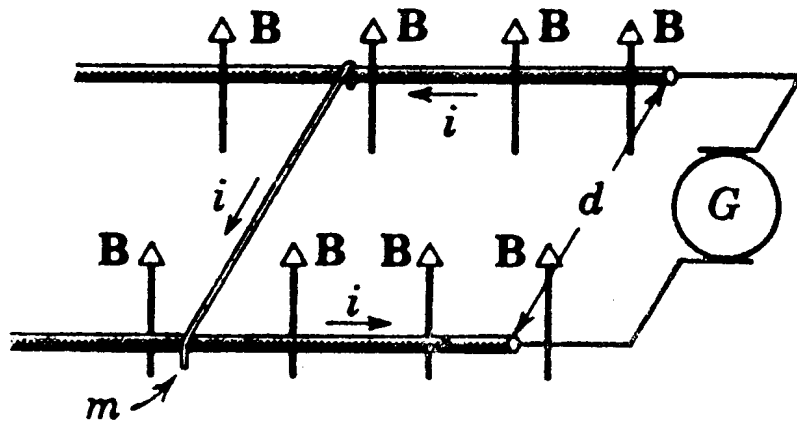
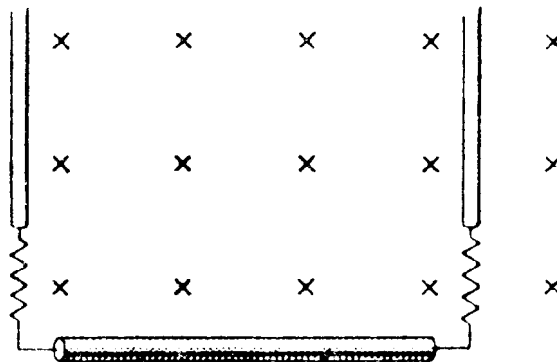


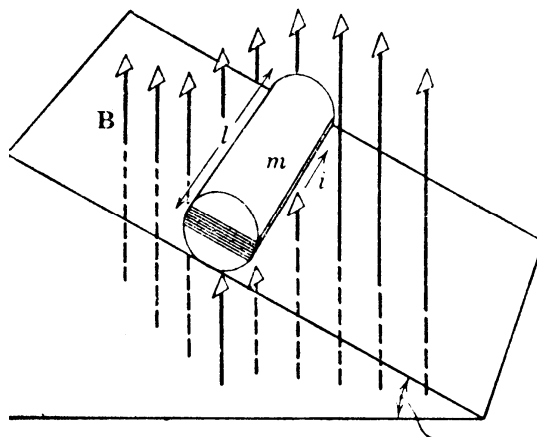
- Elektrony płynące w lampie telewizyjnej mają energię  $E = 12 \text{ keV}$ . Lampa jest tak zorientowana, że elektrony poruszają się poziomo z południa na północ. Ziemskie pole magnetyczne skierowane jest do dołu i ma indukcję  $B = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ . (a) W jakim kierunku będzie odchylany strumień? (b) Jakie jest przyspieszenie elektronów? (c) O ile odchylił się strumień po przebyciu 20 cm drogi w lampie?
- Drut metalowy o masie  $m$  ślizga się bez tarcia po dwóch poziomych szynach odległych od siebie o  $d$  (rys). Całość umieszczona jest w pionowym, jednorodnym polu magnetycznym o indukcji  $B$ . Stały prąd  $i$  płynie z generatora  $G$  przez jedną szynę, następnie przez drut i wraca przez drugą szynę. Znaleźć zależność prędkości (wielkość i kierunek), z jaką porusza się drut, od czasu, zakładając, że w chwili  $t=0$  był on w spoczynku.



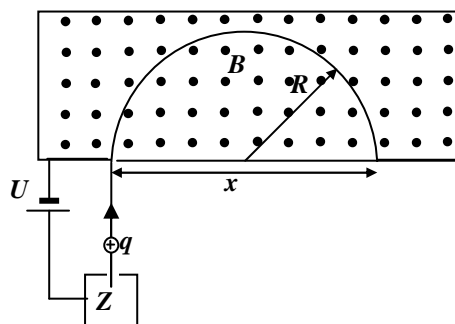
- Drut o długości  $l = 50 \text{ cm}$  w którym płynie prąd  $i = 10 \text{ A}$ , tworzy kąt  $\alpha = 30^\circ$  z jednorodnym polem magnetycznym o indukcji  $B = 1,5 \text{ T}$ . Znaleźć wielkość i kierunek siły działającej na drut.
- Drut o długości  $l = 60 \text{ cm}$  i masie  $m = 10 \text{ g}$  jest zawieszony na dwóch sprężystych przewodach w poziomym polu magnetycznym o indukcji  $B = 0,4 \text{ T}$ . Jaka powinna być wielkość i kierunek prądu, aby siły magnetyczne zrównoważyły napięcie przewodów?



5. Na rysunku przedstawiony jest drewniany walec o masie  $m = 0,25$  kg, promieniu  $R$  i długości  $l = 0,1$  m. Na walcu nawinięte jest  $N=10$  zwojów drutu w ten sposób, że oś walca leży w płaszczyźnie zwojów. Jaki najmniejszy prąd musi płynąć przez obwód, aby walec nie toczył się w dół, jeśli umieścimy go na pochyłej płaszczyźnie tworzącej z poziomem kąt  $\alpha$ , w skierowanym pionowo do góry polu magnetycznym o indukcji  $B = 0,5$  T. Zakładamy, że płaszczyzna zwojów jest równoległa do płaszczyzny, na której umieszczamy walec.



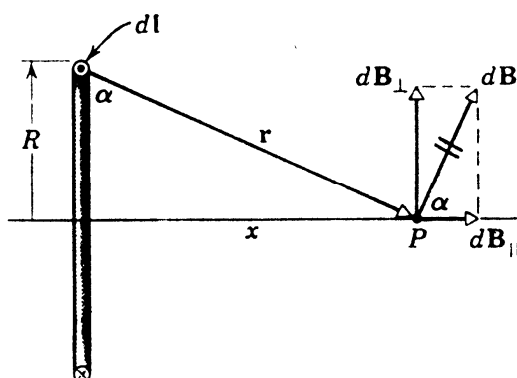
6. W doświadczeniu wywołującym efekt Halla prąd o natężeniu  $i = 3,0$  A płynie wzdłuż przewodnika o szerokości  $a = 1,0$  cm, długości  $b = 4,0$  cm i grubości  $c = 10^{-3}$  cm. Obliczyć poprzeczne napięcie Halla (przez szerokość), gdy pole magnetyczne  $B = 1,5$  T przechodziło prostopadłe przez cienki przewodnik. Prędkość unoszenia elektronów wynosi  $v = 0,06$  cm/s.
7. Elektron przyspieszamy w polu o różnicy potencjałów  $U = 15000$  V, a następnie pozwalamy mu krążyć w płaszczyźnie prostopadłej do jednorodnego pola magnetycznego o indukcji  $B = 0,4$  T. Jaki jest promień orbity tego elektronu ?
8. Cząstka  $\alpha$  porusza się po torze kołowym o promieniu  $R = 0,45$  m w polu magnetycznym o indukcji  $B = 1,2$  T. Obliczyć: (a) prędkość cząstki, (b) okres jej obrotu, (c) energię kinetyczną.
9. Rysunek przedstawia spektrometr masowy używany do pomiaru masy jonów. Jony o masie  $M$  i ładunku  $+q$  wytwarzane są w źródle Z znajdującym się w komorze, w której następuje wyładowanie gazu. Znajdujące się początkowo w spoczynku jony są następnie przyspieszane w polu o różnicy potencjałów  $U$  i wchodzi do pola magnetycznego o indukcji  $B$ . W polu tym jony poruszają się po półokręgu i na końcu uderzają w kliszę fotograficzną, w odległości  $x$  od szczeliny wejściowej, gdzie zostają pochłonięte. Obliczyć masę jonów  $M$ .



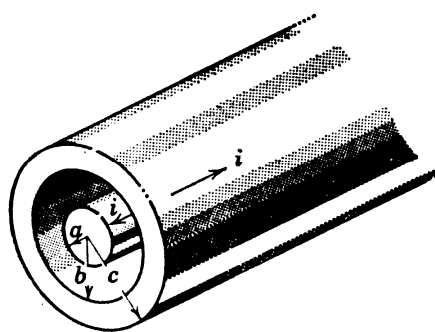
10. Elektron przyspieszony przez różnicę potencjałów  $U = 1000\text{V}$  został skierowany w obszar między dwoma równoległymi okładkami oddalonymi o  $d = 0,02\text{ m}$  z różnicą potencjałów między nimi wynoszącą  $U_0 = 100\text{V}$ . Jeżeli elektron wchodzi w ten obszar poruszając się prostopadłe do pola elektrycznego między okładkami, to jakie pole magnetyczne prostopadłe zarówno do drogi elektronu jak i do pola elektrycznego jest konieczne, aby elektron poruszał się po linii prostej ?

### *Prawa Ampere'a i Biota-Savarta*

11. Na rysunku przedstawiony jest przewodnik w kształcie okręgu o promieniu  $R$ , w którym płynie prąd o natężeniu  $i$ . Obliczyć  $B$  dla punktów leżących na osi tego okręgu.

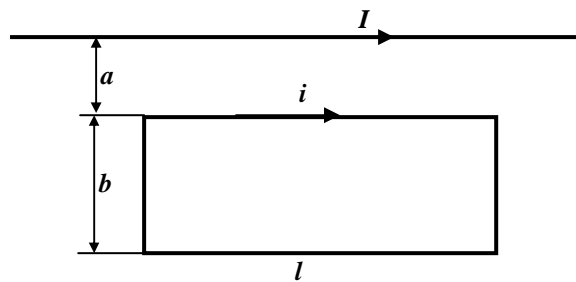


12. Długi współosiowy kabel składa się z dwóch koncentrycznych przewodników o wymiarach podanych na rysunku. W przewodnikach płyną równe, lecz przeciwnie skierowane prądy o natężeniu  $i$ . Wyznaczyć wartości indukcji  $B$ : (a) Wewnątrz środkowego przewodnika ( $r < a$ ), (b) między przewodnikami ( $a < r < b$ ), (c) wewnątrz zewnętrznego przewodnika ( $b < r < c$ ), na zewnątrz kabla ( $r > c$ ).

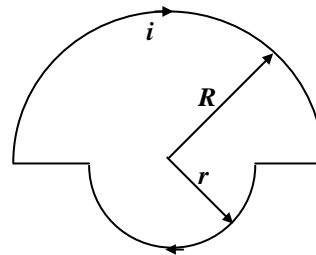
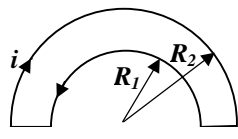
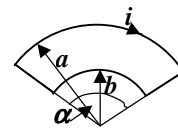
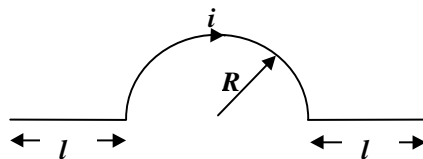


13. Dwa długie, równoległe druty o pomijalnych promieniach znajdują się w odległości  $d$  od siebie. Niech przez każdy z nich płynie prąd (a) w tym samym kierunku, (b) w przeciwnych kierunkach. Niech  $r$  będzie odległością od środka jednego z drutów. Znaleźć wartość  $B$  pola magnetycznego w obszarze między przewodnikami, w punktach leżących na płaszczyźnie przechodzącej przez te druty, jako funkcję  $r$ .

14. Na rysunku przedstawiony jest długi drut przewodzący prąd o natężeniu  $I = 10\text{A}$  oraz prostokątny obwód, w którym płynie prąd o natężeniu  $i = 20\text{A}$ . Obliczyć siłę wypadkową działającą na ten obwód. Przyjąć:  $a = 1,0\text{cm}$ ,  $b = 8,0\text{cm}$ ,  $l = 30\text{cm}$ .



15. Solenoid o 200 zwojach, o długości 25 cm i średnicy 10 cm przewodzi prąd 3,0 A. (a) Jaka jest wartość pola magnetycznego  $B$  w pobliżu środka solenoidu? (b) Jaki strumień magnetyczny przechodzi przez pierścień o wewnętrznej średnicy 2 cm i średnicy zewnętrznej 8 cm, jeżeli płaszczyzna pierścienia jest prostopadła do osi solenoidu?
16. Toroid o przekroju poprzecznym 5cm x 5cm i promieniu wewnętrznym 15cm ma 500 zwojów drutu i przewodzi prąd 0,8A. (a) Jaka jest wartość pola magnetycznego  $B$  w środku toroidu (tzn. w odległości 17,5 cm od osi toroidu)? (b) Jaki jest strumień magnetyczny przechodzący przez przekrój poprzeczny?
17. Policzyc wektor indukcji  $B$  we wspólnym środku łuków dla obwodów przedstawionych na rysunkach.



18. W pętli kołowej o promieniu  $R = 10\text{cm}$ , wykonanej z drutu miedzianego, płynie prąd o natężeniu  $I = 15\text{A}$ . W jej środku umieszczono drugą pętlę o promieniu  $r = 1,0\text{cm}$  zawierającą  $N = 50$  zwojów, w których płynie prąd o natężeniu  $i = 1,0\text{A}$ . (a) Jaka jest indukcja magnetyczna  $B$  wytwarzana przez dużą pętlę w jej środku? (b) Jaki moment siły działa na małą pętlę? Przyjąć, że płaszczyzny obu pętli są do siebie prostopadłe, a pole magnetyczne wytworzone przez dużą pętlę w obszarze zajęty przez małą pętlę jest w zasadzie jednorodne.
19. Na powierzchni plastikowego dysku o promieniu  $R$  rozłożony jest równomiernie ładunek  $q$ . Pokazać, że gdy dysk obraca się wokół swojej osi z prędkością kątową  $\omega$ ,

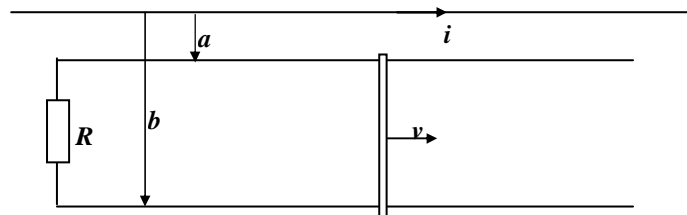
to indukcja w środku dysku wynosi:

$$B = \frac{\mu_0 \omega q}{2\pi R}$$

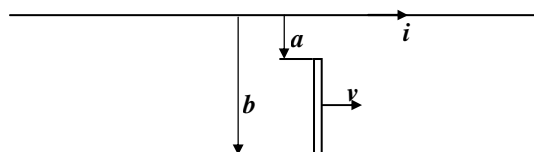
20. W prostoliniowym przewodniku o długości  $l$  płynie prąd o natężeniu  $i$ . (a) Policzyc wartość indukcji  $B$  pola magnetycznego wytworzonego przez ten prąd dla punktów leżących na symetralnej tego przewodnika, w odległości  $R$  od niego.

### Indukcja Faradaya

21. Pole jednorodne o indukcji  $B$  jest prostopadłe do płaszczyzny pierścienia kołowego o średnicy  $D = 10$  cm, wykonanego z drutu miedzianego o średnicy  $r = 2,5$  mm. Z jaką prędkością zmienia się w czasie indukcja  $B$ , jeżeli prąd indukowany w pierścieniu wynosi  $i = 10$  A ?
22. W długim solenoidzie o  $n = 20$  zwojach/cm i promieniu  $r = 1,5$  cm płynie prąd zmieniający się zgodnie z równaniem:  $i(t) = 3t + 1t^2$ , gdzie  $i$  podano w amperach a  $t$  w sekundach. Wewnątrz umieszczamy cewkę o  $N = 100$  zwojach i promieniu  $r_{in} = 1$  cm. Cewka jest ustawiona tak, że linie indukcji  $B$  wewnątrz solenoidu są równoległe do jej osi. (a) Wykreślić SEM zaindukowaną w cewce w przedziale od  $t = 0$  do  $t = 4$  s. (b) Jeżeli opór cewki wynosi  $R = 0,15 \Omega$ , to ile wynosi prąd w cewce w chwili  $t = 2$  s ?
23. Na zewnątrz solenoidu z poprzedniego zadania umieszczamy pojedynczy zwój miedziany o promieniu  $r_{out} = 3$  cm. Jaka SEM się w nim zaindukuje ?
24. Mały obwód o powierzchni  $A$  znajduje się wewnątrz długiego solenoidu o  $n$  zwojach na jednostkę długości i natężeniu  $i$ , a oś obwodu ma ten sam kierunek, co oś solenoidu. Znaleźć SEM zaindukowaną w obwodzie, jeśli  $i = i_0 \sin 5t$ .
25. Rysunek przedstawia miedziany pręt poruszający się na przewodzących szynach z prędkością  $v = 5$  m/s równoległą do długiego, prostego drutu przewodzącego prąd  $i = 100$  A. Obliczyć SEM zaindukowaną w przecie. Przyjąć  $a = 1$  cm,  $b = 20$  cm.



26. Pręt miedziany o długości  $l$  wiruje wokół jednego ze swoich końców w jednorodnym polu magnetycznym o indukcji  $B$  w płaszczyźnie prostopadłej do linii sił pola. Wylczyć SEM pojawiającą się między końcami pręta.
27. Na rysunku pokazano pręt miedziany poruszający się z prędkością  $v = 5$  m/s równoległą do długiego, prostego drutu przewodzącego prąd  $i = 100$  A. Obliczyć SEM zaindukowaną w przecie. Przyjąć  $a = 1$  cm,  $b = 20$  cm.

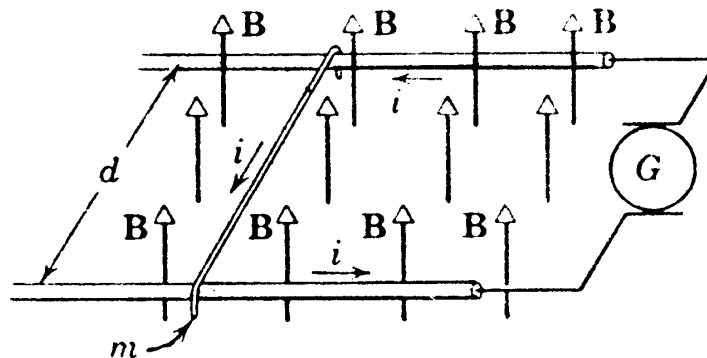


28. Wielkość jednorodnego pola o indukcji  $B$  zmienia się ze stałą prędkością  $dB/dt$ . Z kawałka miedzi o masie  $m$  wykonano drut o promieniu  $r$ , z którego utworzono pętlę kołową o promieniu  $R$ . Udowodnić, że prąd indukowany w pętli nie zależy od wymiarów  $r$  i  $R$ . Przyjmując, że  $B$  jest prostopadłe do pętli, wykazać, że prąd indukowany dany jest wzorem:

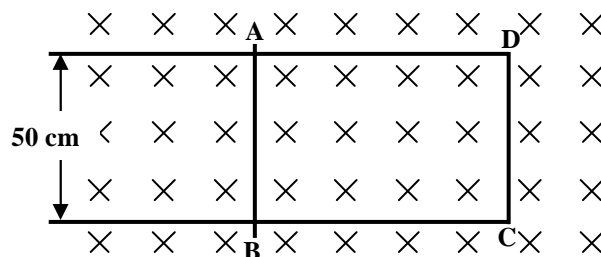
$$i = \frac{m}{4\pi\rho\delta} \frac{dB}{dt}$$

gdzie  $\rho$  jest oporem właściwym, a  $\delta$  gęstością miedzi.

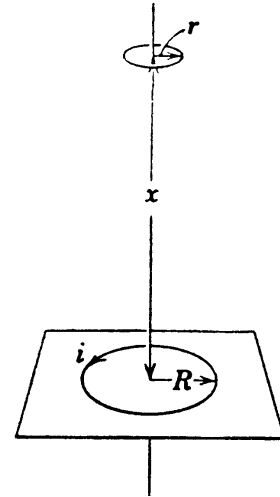
29. Drut metalowy o masie  $m$  ślizga się bez tarcia po dwóch szynach położonych w odległości wzajemnej  $d$  (rysunek). Całość umieszczona jest w jednorodnym pionowym polu o indukcji  $B$ . (a) Prąd stały o natężeniu  $i$  płynie z generatora  $G$  wzdłuż jednej z szyn, następnie przez drut i wraca wzdłuż drugiej szyny. Znaleźć prędkość (wartość bezwzględna i kierunek) drutu jako funkcję czasu przyjmując, że w chwili początkowej ( $t = 0$ ) drut jest w spoczynku. (b) Zamiast generatora włączamy baterię o stałej sile elektromotorycznej  $\mathcal{E}$ . Prędkość drutu osiąga pewną stałą wartość graniczną. Jaka jest ta graniczna wartość prędkości? (c) Jaki prąd będzie płynął w przypadku (b), kiedy drut osiągnie prędkość graniczną?



30. Na rysunku poniżej przewodzący pręt  $AB$  kontaktuje z szynami metalowymi  $AD$  i  $BC$ , które leżą w odległości  $50\text{cm}$  od siebie. Całość znajduje się w jednorodnym polu magnetycznym o indukcji  $1\text{T}$ , prostopadłym do płaszczyzny rysunku. Całkowity opór obwodu  $ABCD$  wynosi  $0,4\Omega$  (zakładamy, że jest on stały). (a) Jaka jest wielkość i kierunek SEM indukowanej w pręcie, kiedy porusza się on w lewą stronę z prędkością  $8\text{ m/s}$ ? (b) Jaka siła jest potrzebna, aby utrzymać pręt w ruchu? (c) Porównać szybkość, z jaką siła  $F$  wykonuje pracę mechaniczną, z szybkością wydzielenia się energii cieplnej w obwodzie.



31. Długi solenoid o promieniu  $r = 2,5$  cm i  $n$  zwojach na jednostkę długości (100/cm) przewodzi prąd początkowy  $i_0$  (1A). Pojedyncze uzwojenie drutu o średnicy  $D = 10$  cm otacza ów solenoid współosiowo. Prąd w solenoidzie jest redukowany jednostajnie do  $i = 0,5$ A w przedziale czasu  $T = 0,01$ s. Ile wynosi indukowana SEM w otaczającym uzwojeniu, gdy prąd się zmienia ?
32. Rysunek przedstawia dwa współosiowe zwoje drutu. Mniejszy zwój znajduje się nad większym w odległości  $x$ , dużej w porównaniu z promieniem  $R$  większego zwoju. A więc, gdy prąd  $i$  płynie przez zwój większy zgodnie ze strzałką na rysunku, powstałe pole magnetyczne jest prawie stałe na obszarze  $\pi r^2$  otoczonym przez zwój mniejszy. Przypuśćmy, że  $x$  zmienia się ze stałą szybkością  $v = dx/dt$  ( $x$  wzrasta). (a) Ustalić strumień magnetyczny przechodzący przez obszar otoczony przez mniejszy zwój jako funkcję  $x$ . (b) Obliczyć SEM zaindukowaną w mniejszym zwoju w chwili gdy  $x = NR$ .
33. Na rysunku w zadaniu 14 przedstawiony jest długi drut przewodzący prąd o natężeniu  $I = 10\sin 5t$  obok którego leży prostokątna ramka. Obliczyć siłę elektromotoryczną zaindukowaną w tej ramce. Przyjąć:  $a = 1,0$ cm,  $b = 8,0$  cm,  $l = 30$  cm.



### Indukcyjność

34. Dwie krótkie cylindryczne cewki połączone w szereg. Cewki te umieszczone są blisko siebie wzdłuż tej samej osi. Wykazać, że wypadkowa indukcyjność takiego układu wynosi:

$$L = L_1 + L_2 \pm 2M$$

Jakie jest znaczenie podwójnego znaku  $\pm$  ?

35. Dwie cewki  $L_1$  i  $L_2$  połączone równolegle znajdują się w dużej odległości. Policzyc indukcyjność zastępczą tego układu.
36. Dwa długie równoległe druty o promieniu  $a$ , których środki znajdują się w odległości wzajemnej  $d$ , przewodzą jednakowe prądy w przeciwnych kierunkach. Wykazać, pomijając strumień przechodzący przez druty, że indukcyjność takiej pary przewodów dla odcinka o długości  $l$  wyraża się wzorem:

$$L = \frac{\mu_0 l}{\pi} \ln \frac{d-a}{a}$$

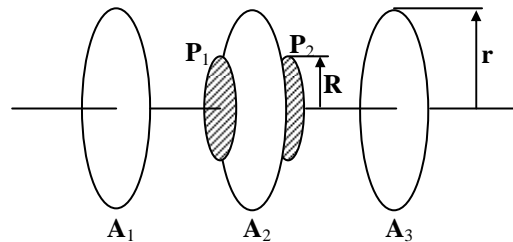
37. Daną cewkę połączone w szereg z oporem  $R = 10000\Omega$ . Kiedy do tego układu podłączono baterię o napięciu  $\mathcal{E} = 50$ V, to prąd w obwodzie osiągnął wartość  $i = 2,0$ mA po czasie  $t_0 = 5$ ms. (a) Znaleźć indukcyjność cewki, (b) energię zgromadzoną w cewce w rozpatrywanym momencie.

### Równania Maxwella

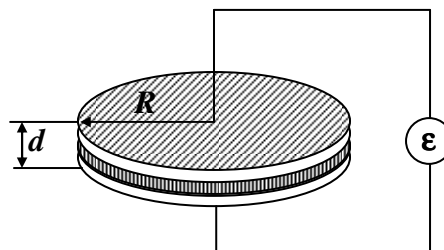
38. Udowodnić, że prąd przesunięcia w kondensatorze o równoległych okładkach możemy zapisać w następujący sposób:

$$i_p = C \frac{dV}{dt}$$

39. Na rysunku przedstawione są okładki  $P_1$  i  $P_2$  kołowego kondensatora płaskiego o promieniu płyty  $R$ . Są one połączone z długimi prostymi drutami, przez które płynie stały prąd przewodzenia o wartości  $i$ .  $A_1$ ,  $A_2$  i  $A_3$  są hipotetycznymi kołami o promieniach  $r$ , z których dwa znajdują się na zewnątrz kondensatora, a jedno pomiędzy okładkami. Napisać wzory na pole magnetyczne  $B$  na obwodzie każdego z tych kół.



40. Płaski kondensator ma kwadratowe okładki o krawędzi  $a = 1\text{m}$ . Prąd ładowania dopływający do (i odpływający z) kondensatora wynosi  $i = 2\text{A}$ . (a) Jaki jest prąd przesunięcia w obszarze między okładkami? (b) Jaka jest wartość  $dE/dt$  w tym obszarze? (c) Jaki jest prąd przesunięcia przez mniejszy (i współosiowy i równoległy) kwadrat o boku  $b = 50\text{cm}$ ?
41. Kondensator z rysunku składający się z dwóch kołowych płyt o powierzchni  $A = 0,1\text{m}^2$  podłączono do źródła napięcia  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin \omega t$ , przy czym  $\mathcal{E}_m = 200\text{V}$  oraz  $\omega = 100\text{rad/s}$ . Maksymalna wartość prądu przesunięcia  $i_p = 8,9 \cdot 10^{-6}\text{A}$ . Zaniedbać rozproszenie pola elektrycznego na krawędziach płyt. (a) Jaka jest maksymalna wartość prądu  $i$ ? (b) Jaka jest maksymalna wartość  $d\Phi_E/dt$ , gdzie  $\Phi_E$  jest strumieniem elektrycznym w obszarze między płytami? (c) Jaka jest odległość  $d$  między płytami? (d) Obliczyć maksymalną wartość  $B$  między płytami w odległości  $R = 0,1\text{m}$  od osi.



42. Długi cylindryczny pręt przewodzący o promieniu  $a$  ma oś pokrywającą się z osią  $x$ . Pręt przecięto cieką piłą w miejscu  $x = b$ . W kierunku na prawo od szczeliny przepływa prąd przewodzenia  $i$ , rosnący w czasie zgodnie z zależnością  $i = \alpha t$ , gdzie  $\alpha$  jest dodatnią stałą proporcjonalności. W chwili  $t = 0$  nie ma żadnych ładunków na płaszczyznach cięcia w pobliżu  $x = b$ . (a) Znajdź wartość ładunku na tych płaszczyznach w funkcji czasu, (b) Posługując się prawem Gaussa dla elektryczności znajdź zależność od czasu pola  $E$  w szczelinie, (c) Narysuj linie pola  $B$  dla  $r < a$  gdzie  $r$  jest odległością od osi, (d) Korzystając z prawa Ampere'a znajdź zależność  $B(r)$  w szczelinie dla  $r < a$ , (e) Porównaj powyższy wynik z zależnością  $B(r)$  w przecie dla  $r < a$ .