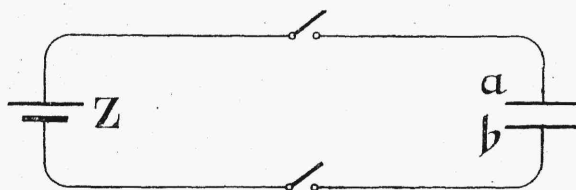


## ROZDZIAŁ XXIV.

### Powstanie energii pola elektrycznego skutkiem pracy prądu i wykonywanie pracy przez prąd elektryczny kosztem energii pola elektrycznego.

W rozdziale IX podane zostały warunki, w jakich prąd może przepływać przez izolatory. W izolatorach powstają wtedy przesunięcia elektryczności, które odbywają się skutkiem pracy prądu elektrycznego, a więc stanowią zapas energii, tak zwaną energję pola elektrycznego. Gdy w miejscu izolatora jest próżnia, nie zawierająca żadnych ładunków elektrycznych, to sprawa przedstawia się nieco inaczej. Pole elektryczne, jak to wskazuje doświadczenie, może powstać równie dobrze w próżni, jak i w izolatorze. Wyobrażamy sobie wtedy, podobnie jak w izolatorze przesunięcia elektryczne w eterze. Dla wytworzenia pola elektrycznego w próżni potrzebna jest również pewna ilość energii, która przenosi się do eteru i znajduje się tam w postaci energii pola elektrycznego. Jednak gdy izolatora nie ma, ilość energii w polu elektrycznym przy tem samym natężeniu jest mniejsza.

Pole elektryczne mamy we wszystkich przypadkach przepływu prądu elektrycznego, ponieważ przewodniki prowadzące prąd zawsze są naładowane elektrycznością. Zaznaczyć jednak należy, że tylko w szczególnych przypadkach mamy przewodniki o dużej powierzchni, bardzo blisko względem siebie umieszczone, ze znaczną na nich różnicą potencjałów. Pole elektryczne ma wtedy dość duże natężenie, a więc i zapas energii w nim zawarty jest znaczny. Mówimy wtedy że przewodniki tworzą kondensator.



Rys. 252.

Rozważmy np. obwód, przedstawiony na rys. 252, gdzie  $Z$  oznacza źródło prądu,  $a$  i  $b$  — przewodniki w postaci płytek, tworzące kondensa-

tor. Po zamknięciu wyłączników, w obwodzie będzie płynął prąd dotąd, dopóki napięcie pomiędzy płytkami kondensatora  $a b$  nie stanie się równem sile elektromotorycznej źródła prądu. W kondensatorze mamy siłę elektromotoryczną przeciwną prądowi ładującemu. Oznaczamy przez  $E$  siłę elektromotoryczną źródła prądu, przez  $E_{ct}$  — siłę elektromotoryczną kondensatora, przez  $i_t$  — prąd w obwodzie, a przez  $r$  — oporność omową obwodu. Według prawa Ohma mamy wzór:

$$i_t = \frac{E - E_{ct}}{r},$$

skąd: 
$$E = i_t \cdot r + E_{ct}.$$

Mnożąc obie strony przez  $i_t \cdot dt$ , otrzymamy:

$$E \cdot i_t \cdot dt = i_t^2 \cdot r \cdot dt + E_{ct} \cdot i_t \cdot dt,$$

gdzie  $E \cdot i_t \cdot dt$  oznacza pracę dostarczoną przez źródło prądu, a  $i_t^2 \cdot r \cdot dt$  — pracę, przetwarzającą się w obwodzie w ciepło Joule'a,  $E_{ct} \cdot i_t \cdot dt$  — pracę, przetwarzającą się w energję pola elektrycznego kondensatora.

Oznaczmy pojemność kondensatora przez  $C$ , a ilość elektryczności, która zebrała się na każdej okładce kondensatora od chwili zamknięcia wyłączników, do chwili  $t$  — przez  $q_t$ . Na zasadzie wzorów, podanych w rozdziale IX, otrzymamy:

$$C = \frac{q}{E_{ct}},$$

skąd: 
$$q_t = C \cdot E_{ct},$$

a 
$$d q_t = C \cdot d E_{ct}.$$

Z rozdziału II wiemy, że:

$$i_t = \frac{d q_t}{d t},$$

a więc: 
$$i_t = C \cdot \frac{d E_{ct}}{d t}$$

Uwzględniając wyrażone w ten sposób natężenie prądu, można energję dostarczoną kondensatorowi w ciągu czasu  $t$  przedstawić za pomocą całki:

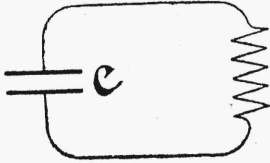
$$\int_0^t E_{ct} \cdot i_t \cdot d t = C \cdot \int_0^t E_{ct} \cdot d E_{ct} = C \cdot \frac{E_{ct}^2}{2}$$

Siła elektromotoryczna kondensatora równa się zawsze napięciu na kondensatorze  $v$ , możemy więc napisać powyższy wzór jeszcze inaczej, mianowicie.

$$C \cdot \frac{v^2}{2}.$$

W ten sposób wyraża się energja, zawarta w polu elektrycznem dowolnego kondensatora o pojemności  $C$ , przy napięciu  $v$  na okładkach.

Jeżeli odłączymy naładowany kondensator od źródła prądu i utworzymy obwód wskazany na rys. 253, to kondensator się wyładowuje. W obwodzie przebiegnie chwilowy prąd i cała energja zawarta w polu elektrycznem wytworzy ciepło Joule'a.



Rys. 253.

W kondensatorze wyładowanym pola elektrycznego niema, a więc niema też żadnego zapasu energii.

Kondensator jest zatem właściwym zbiornikiem energii elektrycznej, której się dokończy w izolatorze pomiędzy okładkami kondensatora.

Stosowane zwykle w praktyce izolatory nie są doskonałe; jakoż odbywają się w nich w mniejszym lub większym stopniu jeszcze inne przemiany energii.

Izolator przepuszcza trochę prądu elektrycznego w ten sam sposób, jak przewodnik, powstaje więc w nim pewna ilość ciepła Joule'a, oczywiście kosztem pracy prądu. Nadto polaryzacja dielektryczna w cząsteczkach izolatora (p. rozdz. IX) odbywa się zawsze z opóźnieniem, w ten sposób mamy tak zwaną histerezę dielektryczną izolatora, przez co pewna ilość energii dostarczonej kondensatorowi również przetwarza się na ciepło.

Dla dokładniejszego uprzytomnienia sobie energii pola elektrycznego wprowadzimy dla tej energii wzór jeszcze inny.

W rozdziale IX (str. 93) dla pojemności kondensatora płaskiego znaleźliśmy wzór:

$$C = \frac{S \cdot \epsilon}{4\pi \cdot d}.$$

Jeżeli więc kondensator płaski naładujemy do napięcia  $v$ , to energja w nim zawarta będzie:

$$C \cdot \frac{v^2}{2} = \frac{v^2 \cdot S \cdot \epsilon}{8\pi \cdot d}.$$

Objętość izolatora w tym kondensatorze wynosi  $S \cdot d$ ; ilość więc energii w jednym centymetrze sześciennym pola będzie:

$$\frac{v^2 \cdot S \cdot \varepsilon}{8 \pi \cdot d \cdot S \cdot d} = \left( \frac{v}{d} \right)^2 \cdot \frac{\varepsilon}{8 \pi}.$$

Napięcie na płytkach, czyli różnica potencjałów podzielona przez odległość płytek wyraża spadek potencjału na 1 *cm* odległości pomiędzy płytkami, jest to więc natężenie pola elektrycznego  $F$ .<sup>1)</sup> Mając to na uwadze, wyrażamy energję pola elektrycznego zawartą w jednym centymetrze sześciennym wzorem:

$$\frac{F^2 \cdot \varepsilon}{8 \pi}.$$

Ponieważ  $\varepsilon$  jest dla wszystkich ciał większe niż dla eteru, przeto energja pola w próżni będzie przy danem natężeniu najmniejsza.

Podług tego wzoru łatwo wyznaczyć siłę wzajemnego przyciągania płytek kondensatora.

Oznaczmy tę siłę przez  $-f$  i założmy, że za pomocą siły równej i odwrotnej płytki te zostały rozsunięte na odległość  $d + dx$ , przy zachowaniu tych samych ładunków.

Praca wykonana przez siłę  $f$  będzie:

$$f \cdot dx.$$

Koszttem tej pracy przybędzie pewna ilość energii zawarta w tem polu, które wytworzyło się w objętości  $S \cdot dx$ ; ilość ta wyniesie:

$$\frac{F^2 \cdot \varepsilon}{8 \pi} \cdot S \cdot dx.$$

Na zasadzie prawa zachowania energii otrzymamy:

$$f \cdot dx = \frac{F^2 \cdot \varepsilon}{8 \pi} \cdot S \cdot dx,$$

a więc:

$$f = \frac{F^2 \cdot S}{8 \pi} \cdot \varepsilon,$$

czyli:

$$f = \frac{v^2 \cdot S}{8 \pi \cdot d^2} \cdot \varepsilon.$$

Zestawiając otrzymane powyżej wzory z wyprowadzonymi poprzednio w rozdziale XXII dla sił magnetycznych, łatwo spostrzeżemy, że są to wyrażenia zupełnie analogiczne. Możemy więc i tutaj posilkować się wyobrażeniem Faraday'a o siłach skracających linje i ciśnieniach, rozpychających je na boki. Znając układ linii sił elektrycznych pomiędzy rozważanymi ciałami, możemy na podstawie tych wyobrażeń przewidzieć, jakie ruchy mogą odbywać się w danym układzie.

<sup>1)</sup> Patrz rozdział IX.

Przykład. Mamy kondensator, w którym powierzchnia każdej płytki wynosi  $20 \text{ cm}^2$ , napięcie pomiędzy płytami  $v = 1000 \text{ V}$ , a odległość pomiędzy nimi  $d = 1 \text{ mm}$ . Stała dielektryczna izolatora  $\epsilon = 2$ . Obliczyć energię, zawartą w polu kondensatora i siłę, z jaką przyciągają się płytki.

Dla obliczenia energii określamy naprzód pojemność kondensatora:

$$C = \frac{S \cdot \epsilon}{4\pi \cdot d} = \frac{20 \cdot 2}{4\pi \cdot 0,1} = 31,85 \text{ cm},$$

albo:

$$\frac{31,85}{9 \cdot 10^{11}} \text{ faradów} = 3,54 \cdot 10^{-11} \text{ faradów. } ^1)$$

Energja zawarta w kondensatorze będzie:

$$C \cdot \frac{v^2}{2} = 3,54 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{1000^2}{2} = 1,77 \cdot 10^{-5} \text{ dżaulów.}$$

Siłę zaś szukaną otrzymamy ze wzoru:

$$f = \frac{v^2 \cdot S}{8\pi \cdot d^2} \cdot \epsilon.$$

W tym wzorze musimy wyrazić napięcie w jednostkach bezwzględnych elektrostatycznych. Wiadomo zaś, że 1 bezwzględna jednostka elektrostatyczna wynosi 300 woltów. <sup>1)</sup> Wtedy.

$$f = \left(\frac{1000}{300}\right)^2 \cdot \frac{20}{8\pi \cdot (0,1)^2} \cdot 2 = 1770 \text{ dyn} = 1,805 \text{ Gr.}$$

---

<sup>1)</sup> Patrz rozdział XXX.