

O elektrycznym „napięciu“.

(Notatki do lekcji w szkole średniej).

1. Uderzy to zapewne nawet młodocianego fizyka, eksperymentującego z elektroforem własnego wyrobu i butelką lejdejską, że przewodnik naelektryzowany znajduje się w stanie niezwykłym, nienaturalnym — w stanie, od którego usiłuje się uwolnić, w którym trwa dopóty tylko, dopóki zagradzać mu będziemy drogę do tego uwolnienia się — słowem, w stanie „napięcia“.

Jest to wyraz bardzo pospolity, używany w mowie potocznej do określenia najrozmaitszych stanów materji niezwykłych, przymusowych: mówi się o napięciu struny, sprężyny, łuku; o napięciu, albo prężności pary w kotle parowym — nawet o napięciu uwagi. Mimo tę różnorodność zastosowań tkwić musi w obejmowanych tą nazwą stanach coś wspólnego, co należy uwydatnić, wyłuskać. Istotnie, każdy czuje to dobrze, że, czy chodzi o napięcie łuku, czy ciała naelektryzowanego, napięcie oznacza zazajoną gotowość do działania, to, co fizyk nazywa „statyczną” formą energii. Wystarczy spuścić palec z cięciwy łuku, żeby energia ta wyładowała się w postaci ruchu strzały. Wystarczy zbliżyć się za bardzo do izolowanej elektrody nabitej butelki, żeby zazajona w niej energia przekonała dotkliwie nieostrożnego eksperymentatora o swym istnieniu, jako też o poprzednim istnieniu elektrycznego w butelce napięcia.

2. Właściwością każdego napięcia jest, że nie zdradza ono na zewnątrz swej obecności, dopóki trwa. W chwili wyzwolenia spada znowu natychmiast. Jakże tedy ocenić wielkość napięcia — sprężyny, dajmy na to — ale w taki sposób, żeby napięcia tego nie uronić. Pozwólmy sprężynie tej zluźnić się, ale tylko o niezmiernie mały kawałeczek $= \epsilon$ centymetrów. Zyskamy przytym małą ilość pracy L jednostek, proporcjonalną widocznie do ϵ , ale zależną też od napięcia sprężyny. Jeśli to napięcie wynosi s , będzie oczywiście $L = s\epsilon$, skąd $s = \frac{L}{\epsilon}$. Na-

pięcie sprężyny można tedy ocenić przez skutecznienie malutkiego, próbnego jej zluźnienia (albo naprężenia); nie inaczej postępuje się też próbując napięcia sprężyny ręką.

3. Zupełnie podobnym postępowaniem można też ocenić wysokość elektrycznego napięcia np. butelki lejdejskiej.

Przyłożmy do elektrody, połączonej z wewnętrzną, izolowaną jej okładką, malutką metalową kuleczkę, trzymaną na trzonku szklanym. Kuleczka zbierze z niej odrobinę naboju elektrycznego, bez widocznego uszczerbku dla zapasu, nagromadzonego w butelce. Odrazu też będzie przez tę elektrodę odpychana elektrycznie. Skoro ją wtedy przeniesiemy do okładki zewnętrznej, siły elektryczne będą nam w tym pomagały. Zyskamy widocznie znowu pewną ilość L jednostek pracy, tym większą, im większy jest nabój próbny ϵ nagromadzony na kuleczce¹⁾, a zarazem im większe jest „napięcie” butelki. Napiszemy znowu $L = s\epsilon$ i nazwiemy s napięciem elektrycznym butelki.

Gdyby nabój pierwotny butelki był tak obfity, iżby ujęcie całej nawet jednostki elektryczności nie uczyniło znacniejszego uszczerbku, mielibyśmy $L = s \times 1$ i powiedzielibyśmy: napięcie elektryczne butelki lejdejskiej naelektryzowanej mierzy się liczbą jednostek pracy, jaką możnaby zyskać, rozbrajając w niej jednostkę elektrycznego naboju.

4. Określenie to stosuje się widocznie nietylko do butelki lejdejskiej, lecz do każdego naelektryzowanego przewodnika. Poprawdzie bowiem każdy przewodnik taki może być nazwany okładką czegoś podobnego do butelki lejdejskiej. Po środku sali ustawiam np. metalową, naelektryzowaną kulę, wspartą na izolującej nóżce. Widoczne jest, że kulę tę mogę uważać za okładkę wewnętrzną, izolowaną, dużej butelki lejdejskiej, mającej ściany pokoju za okładkę zewnętrzną—o ile ściany te mają bodaj trochę przewodnictwa elektrycznego, co zresztą zawsze bywa.

5. Energia zamknięta w naelektryzowanej butelce, nie zależy od znaku naboju. Naelektryzowana dodatnio bije równie silnie, jak ujemna, o ile liczba jednostek naboju jest ta sama. Pożądaną jednak jest rzeczą, żeby oceniając jej napięcie, móc zarazem wykazać, jakiego znaku nabojem ona jest nabita. Toć i sprężyna może mieć napięcie, bądź dlatego, że jest zgnieciona, bądź że wyciągnięta.

Żądaniu temu uczynimy natychmiast zadość, skoro umówimy się

¹⁾ Wynika to z prawa Coulomba, które, jak przyjmuję, było już wcześniej wyłożone. Uczeń wie też, jakby można było ocenić wielkość naboju ϵ , czy to ważką Coulomba, czy inną jaką równoważną metodą. Mierząc pracę na joule, naboje na kulomby, otrzyma napięcie wyrażone w woltach.

raz na zawsze, żeby owa jednostka naboju $\epsilon=1$, której spuszczenie z jednej okładki do drugiej daje pracę $L=s$, miała zawsze znak „dodatni”. Biorę kuleczkę próbną, na izolującej rączce, opatrzoną nabojem dodatnim (dla uproszczenia np. $\epsilon=1$), prowadzę ją od naelektryzowanego przewodnika do ściany pokoju i przyjmuję, że w ten, lub ów sposób zdołałem wymierzyć zyskaną przy tym pracę L .

Jeśli przewodnik był dodatni zyskałem pracę istotnie i powiadam, że napięcie jego jest dodatnie: $s=+L$.

Jeśli zaś on będzie naelektryzowany ujemnie, a wskutek tego przyciągać będzie ku sobie kuleczkę próbną, wtedy nie tylko nie „otrzymam” żadnej pracy, lecz przeciwnie, zmuszony będę sam pracę „wykonać”. Pracę tę liczyć będę tedy ze znakiem ujemnym; ujemnym będzie zarazem, według tej rachuby, napięcie elektryczne przewodnika: $s=-L$.

Należy zwrócić uwagę na to, że nie powiedziano w powyższym określeniu nic o tym, po jakiej linii, prostej, czy krzywej, najkrótszej, czy długiej, należy prowadzić kuleczkę próbną od przewodnika do ściany. I nie potrzeba tego wcale przepisywać. Wszystkie drogi muszą być równie dobre i muszą prowadzić do tego samego wyniku. Gdyby bowiem jedna z nich dawała mniejszą pracę L , niż którakolwiek inna, moglibyśmy natychmiast sporządzić „perpetuum mobile”, spuszczać kuleczkę po drodze trudniejszej, a cofając ją z powrotem po łatwiejszej.

6. Napięcie elektryczne s jest wyrazem i miarą tego faktu, że nabój elektryczny usiłuje uciec, rozbroić się z izolowanego przewodnika ku przewodnikom otaczającym, np. ku ziemi. Jakież wobec tego znaczenie mieć może „ujemna” jego wartość?

Do wypróbowania wartości napięcia przewodnika naelektryzowanego, np. względem ścian pokoju, umówiliśmy się, raz na zawsze, pośliskować się „dodatnim” nabojem próbnym. Dodatnia wartość napięcia daje nam na tym naboju dodatnią pracę. Mierzy zatem dążność, jaką dodatnie naelektryzowanie przewodnika okazuje do rozbrojenia się ku ścianie pokoju. Ujemna wartość napięcia dałaby na tym samym naboju próbnym pracę ujemną, gdybyśmy go prowadzili od przewodnika do ściany. Natomiast dodatnią zyskalibyśmy pracę, prowadząc go wstecz od ściany do przewodnika. Znaczy to, że w tym przypadku dodatnia elektryczność okazuje dążność do rozbrojenia się od ściany do przewodnika. Jednocześnie zaś ujemna dąży od przewodnika do ściany.

W obu razach tedy wielkość i znak napięcia pouczają nas, jak wielka istnieje dążność do ruchu elektryczności dodatniej i w jakim kierunku. Dodatnia elektryczność usiłuje tedy zawsze przejść od przewodnika mającego wyższe napięcie, do przewodnika o napięciu niższym.

7. Dążność ta trwać będzie dopóty, dopóki dostateczna izolacja

zapobiegać będzie rozbrojeniu się elektryczności. Połączmy jednak przewodnik ze ścianą drutem metalowym. Wytworzy się natychmiast ruch elektryczności, prąd elektryczny, którego wynikiem będzie zniesienie różnic napięcia. Przewodniki, połączone ze sobą metalicznie, nie mogą tedy wykazywać trwale różnych napięć, o ile nie będą wciąż zasilane elektrycznością skądkolwiek, z maszyny elektrycznej, albo z baterji galwanicznej. W stanie statycznym tedy wszystkie przewodniki połączone ze sobą drutami metalowymi i wszystkie części tego samego przewodnika muszą mieć napięcie jednakowe.

Jednakowe jest napięcie wszystkich punktów ściany pokoju i wszystkich punktów ziemi. Dlatego właśnie, określając napięcie przewodnika, zawieszono w pokoju, względem ścian, nie potrzebowaliśmy wcale dodawać, do którego mianowicie punktu ściany nabój próbny ma być doprowadzony. Wszystkie jej miejsca dadzą nam ten sam wynik. Przeprowadzenie naboju tego od jednego z nich do drugiego nie dałoby nam już żadnej pracy: one wszystkie mają jednakie napięcie.

8. Właściwością napięcia elektrycznego jest to, że ono mierzy dążność do rozbrojenia się elektryczności od jednego przewodnika do drugiego. Wszakże, wyznaczając je, prowadzimy nabój próbny od powierzchni przewodnika badanego, do ściany pokoju, do ziemi i t. p. Napięcie jest tedy pojęciem bardzo względnym, zależy od tego, do jakiego drugiego przewodnika je odnosimy. Butelka lejdejska np. może mieć ogromną dążność do rozbrojenia się ku ziemi, a nie okazywać jej wcale względem drugiej butelki, równie silnie naelektryzowanej.

Przykład wyjaśni to lepiej. Na słupach, podtrzymujących drut zasilający miejskich tramwajów elektrycznych, czytamy ostrzeżenie „dotknięcie drutu grozi śmiercią“. Napis ten, przeznaczony dla osób nieobitych z pojęciami naukowemi, orzeka w istocie, że drut ów posiada ogromne napięcie elektryczne (paruset woltów) i mógłby rozbroić przez ciało dotykającego, ku ziemi, znaczną ilość elektryczności. Gdybyśmy jednak posadzili człowieka na stołku o szklanych nogach, izolowanym starannie od ziemi i naelektryzowali go, maszyną elektryczną, do takiego napięcia, jakie posiada drut, wówczas dotknięcie się drutu nietylko przestałoby być groźne, lecz człowiek ów nie odczułby przytym najlżejszego nawet wstrząśnienia elektrycznego.

Ażeby zapobiec nieporozumieniom, które, jak wskazuje powyższy przykład, mogłyby mieć niekiedy smutne następstwa, odnosi się napięcia ciał naelektryzowanych pospolicie do ziemi. Napięcie, odniesione do ziemi, nazywa się także „potencjałem elektrycznym“ przewodnika.

Potencjał ziemi przyjmuje się tedy jako zero potencjałów. Do-

tknąwszy się ziemi ręką nie dostrzeżemy ani iskry elektrycznej, ani też nie doznamy wstrząśnienia. Nie wynika stąd jednak, jakoby ziemia nie była wcale naelektryzowana. Jako bryła unosząca się w próżni, a więc doskonale izolowana, ona posiada prawdopodobnie naelektryzowanie własne, być może, że nawet bardzo znaczne. Gdyby się zbliżyła do innej jakiej planety, rzucałyby może na nią pioruny. My wszakże, chodząc po ziemi w nieizolującym obuwiu, nie odczuwamy nigdy działań tego naelektryzowania, gdyż posiadamy ten sam, co ziemia, potencjał.

9. Na zakończenie jeszcze jedno pytanie: od czego zależy napięcie, albo potencjał jakiego przewodnika względem ziemi. Widocznie nie tylko od tego, czy przewodnik ten posiada jaki nabój elektryczny, czy go nie posiada. Wszakże my sami, chodząc po ziemi, jesteśmy niewątpliwie naelektryzowani, a napięcie elektryczne naszego ciała jest przecież zero. Podobnież nakrywa metalowa, położona na potartym, żywicznym krążku elektroforu i połączona na chwilę z ziemią dotknięciem ręki, zawiera w sobie nabój elektryczny, nawet znaczny. Napięcie jej jednak (względem ziemi) jest żadne. Nie można ani iskry z niej wydobyć, ani też naelektryzować czegokolwiek z jej pomocą.

Napięcie jest przecież wyrazem zdolności do działania, energii nagromadzonej. Ażeby energję tę nakrywa zyskała, potrzeba energję w nią włożyć. Istotnie też, nie zmieniając wcale zawartego w niej naboju, wystarczy ująć ją za izolujący trzonek i unieść w górę, odciągnąć przemocą od krążka żywicznego, który, naelektryzowany przeciwnie, przyciąga ją. Odrazu pojawi się w niej napięcie: rzucać będzie iskiereki elektryczne do zbliżonej ręki, może służyć do nabicia butelki lejdejskiej. Stworzyliśmy tedy napięcie, przez wykonanie „pracy mechanicznej” ¹⁾.

Kraków.

A. Witkowski.

¹⁾ Jako nawiązanie do dalszego wykładu, do nauki o elektrometrach, przyda się proste doświadczenie, polegające na połączeniu nakrywy elektroforu, cienkim drutem z dwoma paskami papieru, zawieszonemi obok siebie na kawałku laku. Za podjęciem lub spuszczeniem nakrywy paski rozchylają się, lub opadają; widomy znak zmian napięcia.