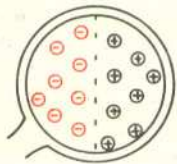


A JEDNAK PRZEWODZI!... ALBO BIEG Z PRZESZKODAMI DLA ELEKTRONÓW

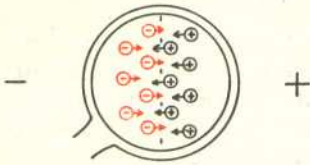
Należy wyjaśnić, że obiektem naszego zainteresowania będzie dioda półprzewodnikowa. No to co z tego, że przewodzi? — zapytacie. Taka natura diod, że przewodzą, i to w dodatku w jedną stronę, a w drugą nie. **Praktycznie nie** — powiedzą ostrożniejsi. Otóż to właśnie. Tytuł świadczy, że chciałbym tym razem być niepraktyczny i zająć się właśnie prądem, który dioda półprzewodnikowa mimo wszystko przewodzi „do tyłu”, to znaczy w kierunku zaporowym. Słyszę już dwa (w zależności od postawy życiowej ich autorów) pytania: **dlaczego** (przewodzi)? oraz **czy warto** (się zająć)? Na drugie pytanie odpowie sam sobie każdy, kto przeczyta ten artykuł do końca; na pierwsze spróbuję dać coś w rodzaju odpowiedzi, zastrzegam się jednak, że charakter miejsca zmusza mnie do podania jej w wielkim uproszczeniu. Zastanówmy się więc,



Rys. 1

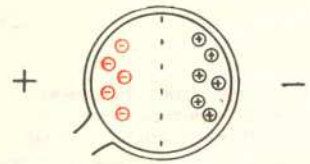


Rys. 2



Rys. 3

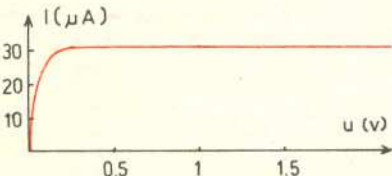
Nośnikami prądu w półprzewodnikach są swobodne elektrony i dziury.



Rys. 4

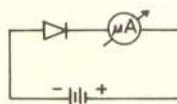
CO SIĘ DZIEJE W DIODZIE?

Dioda półprzewodnikowa jest, jak wiemy, połączeniem dwóch rodzajów półprzewodnika: typu **n** i typu **p** (rys. 1). Obszar typu **n** zawiera **elektrony swobodne** (a więc zdolne do przewodzenia prądu), w obszarze typu **p** dominują **dziury**, czyli luki po elektronach w wiązaniach międzyatomowych (rys. 2). Dziura może też się poruszać dzięki przeskakiwaniu do niej elektronów sąsiednich wiązań, a więc przewodzi prąd tak, jak cząstka o ładunku dodatnim (porusza się w kierunku przeciwnym do ruchu elektronów). Każdy, kto próbował doświadczeń z dyfuzją, wie, że pozycje dwóch stojących naprzeciw siebie armii z rysunku 2 są nie do utrzymania; poruszające się chaotycznie ruchem cieplnym elektrony zaczną przenikać do obszaru **p**, a dziury do obszaru **n** — żołnierze dwóch armii zaczną się bratać lub, jeśli wolicie, zmieszają się w walce wręcz. Niestety obraz militarystyczny jest bardziej adekwatny: wrogowie będą wybijać się wzajemnie — elektrony będą **rekombinować** z dziurami zapełniając luki w wiązaniach. Ubywanie elektronów z obszaru **n** ładuje go dodatnio, dziury opuszczając obszar **p** ładują go ujemnie. Ładunki te narastają, dopóki powstająca różnica potencjałów nie zahamuje przepływu **nośników**. Mówimy, że powstała bariera potencjału. Teraz pora na wkroczenie do akcji dowódców. Jeżeli będą oni dysponować stale nowymi posiłkami, będą mogli w nieskończoność posyłać na rzeź swoich żołnierzy, co w diodzie odpowiada dołączeniu bateryjki plusem do obszaru **p**, a minusem do **n**: będzie ona dostarczać stale nowych nośników do obu obszarów i prąd będzie płynąć bez przeszkód (rys. 3). Może też paść rozkaz wycofania się. Armie opuszczą plac boju i wszelki ruch na nim ustanie — przykładając plus do obszaru **n**, a minus do obszaru **p** spowodujemy cofnięcie się nośników, każdego w stronę swojego obszaru, i prąd nie popłynie; bo co by go miało przewodzić (rys. 4)? Oj, zagalopowałem się. Jednak troszkę popłynie w temperaturze różnej od zera bezwzględnej zawsze istnieje jakieś prawdopodobieństwo, że pobudzony drganiami cieplnymi elektron „wyskoczy” z wiązania, stanie się swobodny i utworzy jednocześnie dziurę. Takie, jak mówimy, **generowane termicznie** elektrony i dziury dadzą jednak pewien prąd w kierunku zaporowym. Jak wykazują szczegółowsze rozważania, a także pomiary, natężenie tego prądu jest praktycznie niezależne od napięcia (rys. 5). Łatwo się też domyślić, że ze względu na przyczynę prądu jego natężenie w bardzo znacznym stopniu zależy od temperatury. Powstaje pytanie:



Natężenie prądu zaporowego diody jako funkcja napięcia

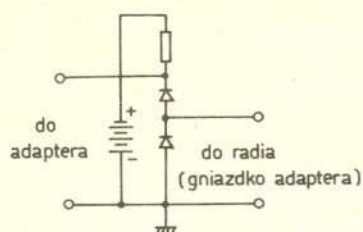
Rys. 5



Rys. 6

JAK TO SPRAWDZIĆ DOŚWIADCZALNIE?

Niestety trzeba mieć miernik natężenia prądu, i to czuły. Kto nie ma możliwości skorzystania z miernika (w szkole, w klubie radioamatorskim), może go zrobić sam według przepisu podanego w «Delcie», 1975, 5. Następnym problemem to dioda. Musi być germanowa i niezbyt mała, na przykład typu DZG. Łączymy miernik szeregowo z diodą i dołączamy źródło prądu — baterijkę (uwaga na bieguny!), jak na rys. 6. Dołączając jedno, dwa lub trzy ogniwa możemy zauważyć, że natężenie prądu jest za każdym razem praktycznie takie samo, o ile dioda jest dobra.



Rys. 7

Weźmy teraz diodę do ręki: wyraźnie widać, że nawet pod wpływem tak niewielkiego ogrzania natężenie prądu wzrasta. Na tej zasadzie można „mierzyć” temperament znajomych, nie wtajemniczając ich w konstrukcję przyrządu. Dioda z precyzyjnym miernikiem umożliwi Wam bardzo dokładny pomiar temperatury. Po wyskalowaniu można nawet używać zestawu jako termometru lekarskiego. Jeżeli ktoś w żaden, ale to w żaden sposób nie może zaopatrzyć się w miernik, może jakościowo badać te zjawiska przy użyciu adaptera i radia. Trzeba jednak mieć dwie diody (najlepiej DZG 7) i opornik o oporze rzędu 100 K Ω . Łączymy obwód według rys. 7 (obie diody w kierunku zaporowym). Ogrzewając lub oziębiając raz jedną diodę, raz drugą, zaobserwujemy duże zmiany natężenia dźwięku z głośnika radia. Dlaczego? Spróbujcie zastanowić się sami. Charakterystyka prądowo-napięciowa z rys. 5 powinna Wam w tym pomóc. Jeszcze uwaga praktyczna: jeśli chcecie uniknąć niemiłego buczenia, musicie ekranować przewody i elementy między adapterem a radiem. Przed dotknięciem ręką diody należy także siebie połączyć z masą całego układu. Oczywiście wszelkie osłony ekranujące muszą też być z nią połączone. W razie braku przewodów ekranowanych można owinąć przewody i elementy (odpowiednio izolowane) folią aluminiową. Można takie dwie diody dać do rąk dwum osobom, żeby sprawdzić, czy wszystko „gra” w ich wspólnych sprawach.

Mam nadzieję, że wszystko będzie „grało” w Waszych doświadczeniach.

Ciekawe, i nie tylko

W wieku XIX dzięki teoriom Jamesa Clarka Maxwella udało się wykazać, że takie zjawiska, jak elektryczność, magnetyzm, światło i fale radiowe, mają wspólną pochodzenie — wspólną naturę. Wygląda na to, że w naszym wieku uda się znaleźć wspólną naturę czterech znanych obecnie fundamentalnych oddziaływań fizycznych: grawitacyjnego, elektro-magnetycznego, silnego i słabego. Nadzieje takie pozwala snuć niedawne odkrycie tzw. słabych prądów neutralnych. Jest to klasa takich oddziaływań słabych pomiędzy cząstkami elementarnymi, które wykazują bardzo silne analogie z oddziaływaniami elektromagnetycznymi. Tak więc pierwszy „most” — pomiędzy oddziaływaniami słabymi i elektromagnetycznymi — zarysowuje się nader wyraźnie. Píše o tym szerzej «Scientific American», 1974, 10. W teorii oddziaływań grawitacyjnych duże nadzieje budzi odkrycie bardzo interesującego pulsara PSR 1913+16, znajdującego się w związanym systemie gwiazdy podwójnej z jakąś inną gwiazdą o dużej masie i małych rozmiarach. Właśnie to, że pulsar ten występuje w tak egzotycznym, a jednocześnie interesującym z punktu widzenia teoretycznego układzie pozwoli sprawdzić, która z istniejących obecnie teorii grawitacji najlepiej opisuje ten obiekt, czyli która z nich jest aktualnie najlepsza. Doniesienie na ten temat znaleźć można w «Physics Today», 1974, 12. Także «Physics Today», 1974, 11, przynosi bardzo interesujący wywiad z dwoma wybitnymi fizykami doby współczesnej: Edoardo Amaldimem i Victorem F. Weisskopfem na temat osiągnięć fizyki europejskiej w okresie po II wojnie światowej. Wywiad jest jeszcze jednym przykładem na to, że wielcy przedstawiciele nauk ścisłych doskonale zdają sobie sprawę ze społecznych uwarunkowań i implikacji współczesnej nauki. Dla nas bardzo przyjemnym momentem jest zaliczenie powstania fizyki hiperjader — ze wskazaniem prof. Jerzego Pniewskiego jako jej współtwórcy — do rzędu faktów o dużym znaczeniu dla fizyki.

Wśród artykułów o metodach i narzędziach współczesnej fizyki interesujący opis tzw. metody cieni badania struktury kryształów i pomiarów bardzo krótkich czasów przynosi «Priroda», 1974, 10. Metoda ta oparta na analizie oddziaływania protonów i elektronów ze strukturą kryształu dostarcza informacji na temat jego budowy, zaś w zastosowaniu do pomiaru czasów trwania procesów jądrowych pozwala śledzić zjawiska rzędu 10^{-19} sek.



Rozwiązanie zadania M60.

Zalóżmy, że punkty $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$ należą do rozważanego koła i że każda odległość $A_i A_j$ ($i \neq j$) jest większa od 1. Żaden z punktów A_i nie jest wówczas oczywiście środkiem koła i żadne dwa spośród tych punktów nie należą do tego samego promienia. Punkty A_i leżą więc na sześciu różnych promieniach. Wśród tych promieni istnieją dwa tworzące kąt $\leq 60^\circ$. Wówczas odległość punktów leżących na tych promieniach jest ≤ 1 (dlaczego?). Otrzymaliśmy sprzeczność z założeniem, a więc jest ono fałszywe.