

Uwięzienie kwarków

Stanisław MRÓWCZYŃSKI

zasadą ruchu. Prowadząc dalej rozważania stawiamy pytanie, od czego zależy prędkość (v) poruszającego się ciała? Zgodzimy się zapewne bez trudu, że im większa działa siła, tym szybciej obiekt się porusza. Proszę mi tu wybaczyć, że mówię nieścisłe, a nawet wręcz błędnie, ale staram się odtworzyć tok rozumowania w tej dziedzinie myślicieli starożytnych, którzy opierali się, czasem nawet nieświadomie, na doświadczeniach dnia codziennego. Idąc tą drogą również zapewne zgodzimy się, że im większe opory ruchu, tym mniejsza jest prędkość. Zapisując to, co powiedziałem, wzorem matematycznym otrzymamy zależność zwaną czasem prawem ruchu Arystotelesa. To nic, że jest ona nieprawdziwa, ale za to jest zgodna z powierzchownymi obserwacjami. Prowadźmy więc dalej nasze rozważania i zajmijmy się wspomnianym już rzutem kamieniem. Dopóki kamień styka się z ruszającą ręką, nie widać większych problemów. Na kamień działa siła ręki. Kamień porusza się coraz szybciej w miarę samachu ręką, ale w pewnej chwili odrywa się od dłoni. I co wtedy? Na kamień nie działa już żadna siła, a jednak się porusza. Co lub kto powoduje ten ruch? Przez wiele wieków ze zmiennym powodzeniem usiłowano zrozumieć, dlaczego kamień rzucony porusza się, chociaż każdy wiedział, że można rzucić kamieniem. Rzut taki wydawał się być sprzeczny ze zdrowym rozsądkiem i próbowano uratować sytuację tworząc, między innymi, teorię wirów powietrza, które popychały kamień.

W początkach 1630 roku uczony włoski Galileo Galilei ukończył dzieło *Dialog o dwu najważniejszych układach świata: ptolemeuszowym i kopernikowym*, które to dzieło, ogólnie mówiąc, miało mu przynieść wiele kłopotów. Rozmowy *Dialogu* toczą się w Wenecji, w pałacu Sagrada. W usta Filipa Salvatego kładzie Galileusz własne poglądy. Przedstawicielem starych poglądów jest Simplicio, który dziedzicząc imię znanego komentatora Arystotelesa z VI wieku po Chrystusie usiłuje wytrwale bronić straconych pozycji. W jednym z dialogów znajdujemy próbę dawnego wyjaśnienia, dlaczego rzucone ciało porusza się po oderwaniu od ręki.

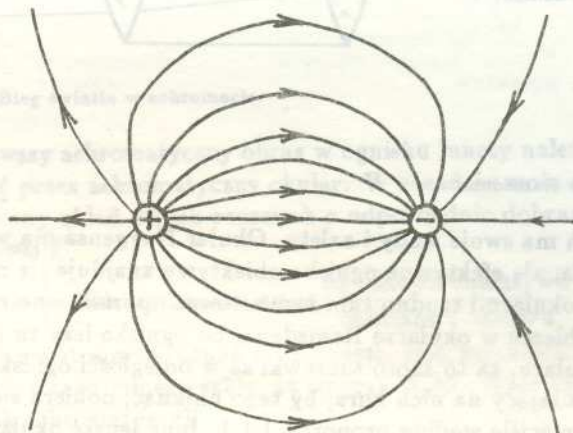
Simplicio:[...] *W całym waszym wywodzie wprowadziliście założenie, z którym w szkole perypatetyków* (tu dodam od siebie, że tak nazywano uczniów Arystotelesa, a potem powstały stąd cały kierunek filozoficzny)

Kwarki to składniki cząstek elementarnych należących do grupy *hadronów*. Wspólną cechą hadronów jest to, że podlegają tzw. *oddziaływaniom silnym jądrowym* lub krócej *oddziaływaniom silnym*. Przykładami hadronów są protony i neutrony tworzące jądra atomowe oraz liczne spośród cząstek produkowanych w zderzeniach dostatecznie szybkich jąder. Kwarki obdarzone są ładunkami kolorowymi, analogicznymi do ładunków elektrycznych. Hipoteza uwięzienia stwierdza, że w przyrodzie istnieją tylko takie układy kwarkowe, które są kolorowo neutralne lub inaczej – białe. Z hipotezy tej w szczególności wynika, że nie można wyizolować z hadronu pojedynczego kwarka, gdyż jest on kolorowy. Zauważmy, że nieco zbliżona sytuacja zachodzi i w przypadku układów rządzonych oddziaływaniami elektromagnetycznymi. Obiekty obdarzone ładunkami elektrycznymi dążą do tworzenia systemów elektrycznie obojętnych, takich jak atomy czy molekuly. Jednak w przypadku elektrodynamiki tworzenie się układów neutralnych wyraża tylko pewną tendencję, natomiast istnienie tylko obiektów neutralnych kolorowo wydaje się być ścisłą zasadą.

Nie każdy układ kwarkowy może być kolorowo neutralny. Nie można, na przykład, utworzyć układu białego z dwóch kwarków, choć jest to możliwe w przypadku kwarka i antykwarka. Układ trzech kwarków może być kolorowo neutralny. Okazuje się, że wszystkie dotychczas znane hadrony, a jest ich kilkaset, można podzielić na dwie grupy cząstek – te zbudowane z kwarka i antykwarka, zwane *mezonami* i *barionami*, tworzone przez trzy kwarki. Hipoteza uwięzienia nie wyklucza istnienia hadronów innych niż mezony i bariony, na przykład kolorowo neutralnego układu dwóch kwarków i dwóch antykwarków, jednak takie obiekty nie były obserwowane.

Natura oddziaływań silnych nie jest jeszcze całkiem poznana, więc nie można z całą pewnością stwierdzić, jaki jest mechanizm uwięzienia kwarków. Zaproponowano jednak kilka modeli, za pomocą których można opisać cały szereg własności hadronów. Poniżej opiszę krótko tzw. model strunowy, przy czym ograniczę się do przypadku mezonów.

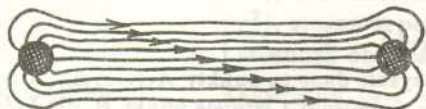
Elektromagnetycznym odpowiednikiem mezonu, czyli układu złożonego z kwarka i antykwarka o dopełniających się (do białego) kolorach, jest układ dwóch przeciwnych, a więc przyciągających się ładunków elektrycznych. Linie pola elektrycznego takiego układu pokazane na rysunku 1 wypełniają całą przestrzeń.



Rys. 1

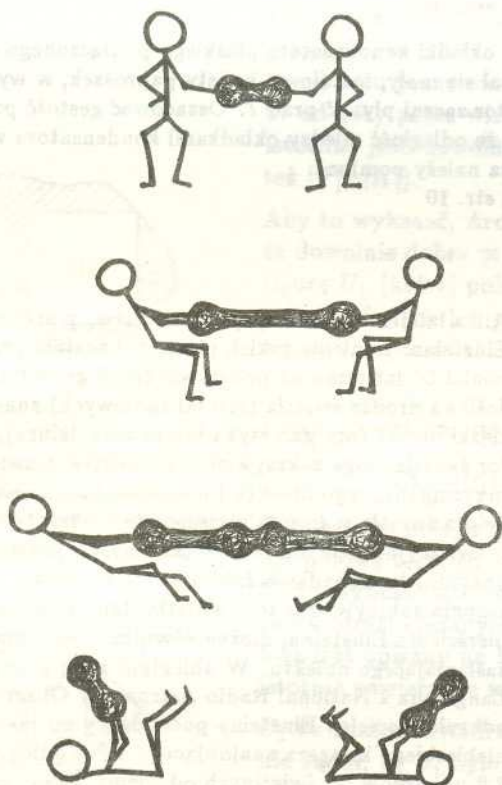
Przypuszcza się, że w przypadku pola wytworzonego przez ładunki kolorowe, zwanego *chromodynamicznym*, próżnia zachowuje się tak jak nadprzewodnik w stosunku do pola magnetycznego, tzn. stara się wypchnąć linie pola poza swój obszar. Jeśli tak dzieje się w istocie, to układ linii pola chromodynamicznego kwarka i antykwarka wygląda jak na rysunku 2, a zatem kwark i antykwark połączone są cienką struną.

Przyjmijmy, że rozmiary poprzeczne struny są wszędzie jednakowe i niezależne od jej długości. Wówczas stwierdzimy, stosując prawo analogiczne do prawa Gaussa z elektrodynamiki, że gęstość strumienia pola chromodynamicznego, a zatem i wielkość pola, nie zależą od długości struny. Z tego wynika, że energia potencjalna oddziaływań między kwarkami wzrasta liniowo z odległością między nimi. Mamy więc tutaj sytuację całkowicie inną niż w elektrodynamice, gdzie, jak pamiętamy, energia potencjalna oddziaływania między ładunkami nie rośnie, lecz zanika odwrotnie proporcjonalnie do ich wzajemnej odległości. Można to wyrazić inaczej mówiąc, że energia oddziaływania kwarków w mezonie jest proporcjonalna do długości struny.



Rys. 2

Jak wspominałem powyżej, hipoteza uwięzienia kwarków wyklucza w szczególności istnienie pojedynczych kwarków. W modelu struny przyczyna tego faktu wygląda następująco. Wyobraźmy sobie, że próbujemy, jak ludziki na rysunku 3, rozerwać połączone struną kwark i antykwark. Praca przy tym wykonywana będzie zamieniać się w energię wydłużającej się struny. Jeśli energia ta przekroczy wartość energii potrzebną do wytworzenia pary złożonej z kwarka i antykwarka, struna zostanie rozerwana i powstaną dwa kolorowo neutralne mezony.



Rys. 3

Uwięzienie kwarków w układach kolorowo neutralnych jest obecnie jedynie hipotezą, choć bardzo dobrze ugruntowaną. Rośnie wśród fizyków przekonanie, że sformułowana już około 20 lat temu teoria oddziaływań kwarków – *chromodynamika kwantowa*, wcześniej czy później dostarczy dowodu poprawności tej hipotezy. Można również oczekiwać, że dowód wart będzie Nagrody Nobla.

trudno się pogodzić, gdyż jest ono najzupełniej sprzeczne z Arystotelesem, a mianowicie przyjmujecie jako rzecz znaną i oczywistą, że ciało oddzielone od tego, które je wyrzucało, porusza się w dalszym ciągu ruchem udzielonym mu przez ciało wyrzucające. To pojęcie udzielonej siły jest równie dalekie od filozofii perypatetycznej, jak przenoszenie właściwości jednego przedmiotu na drugi. Filozofia ta, jak wam zapewne wiadomo, uczy, że ciało wyrzucone jest przenoszone przez otaczający je ośrodek, a w danym przypadku byłoby nim powietrze [...]

Simplicio miałby dzisiaj kłopoty z wyjaśnieniem ruchu satelitów w próżni okołozemskiej, chociaż może zdołałby się wybronić stwierdzeniem, że satelity należą już do świata nadkieszyńcowego, gdzie obowiązuje inna fizyka, bo planety i ciała niebieskie krążą po kolistych orbitach. Nie musimy jednak wyrećzać Galileusza, bowiem przez wypowiedzi Salvatiego zbija on wywody Simplicia. Przytaczam wywody Simplicia nie po to, aby się z nich natrzasać, ale po to, aby uzmysłowić Państwu, że nawet w najprostszym, wydawałoby się, przypadku można było mieć wątpliwości, czy aby rzut kamieniem nie przeczy zdrowemu rozsądkowi.

Podobne trudności napotymano chcąc wykazać, że Ziemia obraca się wokół osi raz na dobę. W dziele *O niebie (Peri Uranu)* Arystoteles wspomina, że są tacy, którzy utrzymują, iż Ziemia się obraca, ale zaraz uzasadnia, dlaczego jest to niemożliwe. Warto poznać argumenty uzasadniające, dlaczego Ziemia nie może się obracać. Są to przecież argumenty wykazujące, że rzeczony obrót jest sprzeczny ze zdrowym rozsądkiem. Arystoteles zauważa bowiem, że wszystkie ciała w swobodnym spadku dążą po liniach prostych ku środkowi Ziemi. A to, oczywiście, jest nie do pogodzenia z ruchem obrotowym naszego globu. Wyraźnie pisze o tym Ptolemeusz w klasycznej pracy *Almagest* poświęconej astronomii geocentrycznej. Zgodnie z zasadami Arystotelesa: gdyby Ziemia była w ruchu *wyprzedzałaby wszystkie spadające ciała, a biorąc pod uwagę jej ogromne rozmiary, wszystkie zwierzęta i obiekty byłyby pozostawione w tyle pływając w powietrzu, a sama Ziemia z powodu znacznej prędkości wypadłaby ze Wszechświata*. Widać wyraźnie, że koncepcje, dziś dla nas oczywiste, kłóciły się ze zdrowym rozsądkiem starożytnych do tego stopnia, że albo



Zadania

negowali istnienie zjawisk, które dały się negować (ruch obrotowy Ziemi), albo starali się znaleźć dla nich takie wytłumaczenie, które nie naruszało raz przyjętych poglądów. Zastanówmy się nad tymi przykładami. Czy czasami nie jesteśmy i dzisiaj w podobnej sytuacji, gdy mówimy, że coś jest niemożliwe. Nim się o czymś wyrokuję, warto przedtem odwołać się do doświadczenia. A może niemożliwe jest możliwe?

W następnym wykładzie zastanowimy się nad tym, jak można przyspieszać nie zwiększając prędkości.

Redaguje Rafał SZTENCEL

M 607. Udowodnić, że pole wielokąta o średnicy 1 nie przekracza $\pi/4$ (średnicą zbioru nazywamy kres górny odległości punktów należących do zbioru).

Rozwiązanie na str. 16

M 608. Przypuśćmy, że n chłopców ma dziewczyny, ponadto każda grupa k chłopców (gdzie $1 \leq k \leq n$) ma co najmniej k dziewczyn (tzn. każda z nich ma co najmniej jednego przyjaciela w wymienionej grupie chłopców). Udowodnić, że każdy chłopiec może ożenić się ze swoją dziewczyną.

Rozwiązanie na str. 13

M 609. Na płaszczyźnie dane są punkty A_1, \dots, A_n . Udowodnić, że na dowolnym okręgu o promieniu 1 istnieje punkt B , dla którego

$$A_1B + \dots + A_nB \geq n.$$

Rozwiązanie na str. 11

Redagują Jarosław i Krzysztof KULPA

F 317. Metalową rurkę o promieniu r_1 zanurzono pionowo w oleju o gęstości ρ i względnej przenikalności elektrycznej ϵ_r . Do rurki i pręta o promieniu r_2 znajdującego się w środku rurki przyłożono napięcie U . O ile podniesie się poziom oleju w rurce?

Wskazówka: Pojemność kondensatora walcowego wynosi $C = \frac{2\pi h \epsilon_0 \epsilon_r}{\ln \frac{r_1}{r_2}}$,

gdzie h oznacza długość kondensatora.

Rozwiązanie na str. 10

F 318. Między okładki kondensatora płaskiego podłączonego do napięcia U dostał się mały, metalowy, kulisty paproszek, w wyniku czego przez kondensator zaczął płynąć prąd I . Oszacować gęstość paproszka, jeżeli wiadomo, że odległość między okładkami kondensatora wynosi d . Opory powietrza należy pominąć.

Rozwiązanie na str. 10



Korespondencja komputerowa

Kilka miesięcy temu Centrum Informatyczne UW zostało podłączone do sieci komputerowej EARN umożliwiającej prawie natychmiastową łączność z użytkownikami komputerów niemal na całym świecie. Redakcja *Delty* również z tej sieci korzysta i, jak uważny Czytelnik być może spostrzegł, w redakcyjnej stopce pojawił się adres komputerowy. Właśnie dzięki owej sieci otrzymaliśmy dwie zamieszczone niżej notatki.

Sonda badawcza Magellan wysłana z Ziemi w maju 1989 krąży od sierpnia roku 1990 wokół planety Wenus. Orbita rakiety jest silnie wydłużoną elipsą, tak że odległość Magellana od Wenus waha się od 300 do 8500 km. Sonda wyposażona jest w radar umożliwiający „fotografowanie” powierzchni planety poprzez gęste chmury pokrywające Wenus. I rzeczywiście, „zdjęcia” przesłane przez Magellana na Ziemię wyglądają tak, jakby żadnych chmur nie było. W trakcie obecnej misji zostanie przebadane około 80% powierzchni planety, a następne podróże uzupełnią sporządzoną mapę Wenus.

Jacek TUSZYŃSKI, Pasadena, Kalifornia, USA

Kilka lat temu astrofizycy odkryli tzw. pierścienie Einsteina. Istnienie takich pierścieni zostało przewidziane ponad 50 lat temu na podstawie teorii grawitacji Einsteina. Jeśli na drodze światła (lub fal radiowych) znajduje się ciężki obiekt (np. galaktyka lub czarna dziura), wtedy tor światła ulega zakrzywieniu na skutek grawitacyjnego przyciągania tego obiektu i na niebie tworzy się obraz źródła światła w formie pierścienia. To tzw. soczewkowanie grawitacyjne daje obraz powiększony, co pozwala na dokładniejsze zbadanie źródła światła. Ale na podstawie stopnia zakrzywienia toru światła, tzn. wielkości pierścienia Einsteina, można również ocenić masę zasłaniającego obiektu. W ubiegłym roku grupa Glenna Langstona z National Radio Astronomy Observatory odkryła pierścień Einsteina pochodzący od jasnego, niebieskiego kwazara znajdującego się w odległości około 2,8 miliardów lat świetlnych od Ziemi. Mierząc jego rozmiary oszacowano masę zasłaniającej galaktyki na około 300 miliardów mas Słońca. Jest to około 8 - 16 razy więcej niż wynika to z bezpośredniej obserwacji gwiazd tej galaktyki. Odkrywczy pierścienia Einsteina sugerują więc, że zasłaniająca galaktyka musi zawierać tzw. ciemną materię - czyli materię nie emitującą obserwowalnego promieniowania.

Jan KALINOWSKI, Monachium, RFN