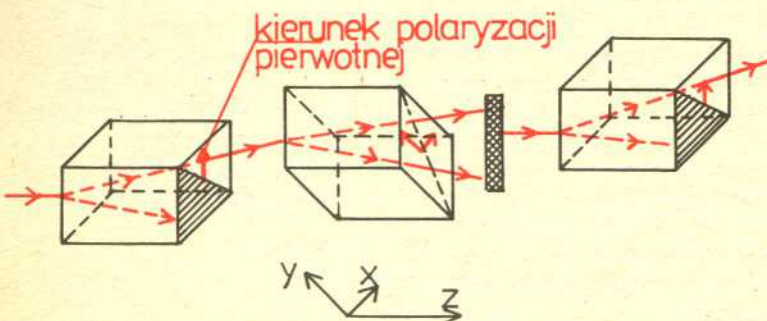


Czy cząstki elementarne zachowują swoją tożsamość? Oczywiście nie. Wiadomo, że większość cząstek rozpada się po pewnym czasie, a przy zderzeniach jedne cząstki giną, a na ich miejsce rodzą się nowe. Zajmiemy się tu innego jeszcze rodzaju przemianą jednych cząstek w drugie — przemianą stosunkowo mało znaną, choć być może najbardziej interesującą. Polega ona na tym, że w miarę upływu czasu jedne cząstki przechodzą na inne, następnie proces odwraca się i tak bez końca. Co najbardziej w tym wszystkim uderzające, to fakt, że oscylacje te (bo proces jest periodyczny) zachodzą w próżni bez udziału jakiegokolwiek czynnika zewnętrznego. To któreś już z rzędu dziwactwo mechaniki kwantowej rzeczywiście obserwuje się w doświadczeniu.



Rozważmy na wstępie znane zjawisko pojawiania się wielu różnych rodzajów polaryzacji światła: liniowych, kołowych i eliptycznych. Niech wiązka światła monochromatycznego o długości fali λ , czyli o określonej częstotliwości ω , porusza się w kierunku osi z . Światło to może być spolaryzowane np. w wyniku przepuszczenia go przez pryzmat Nicol'a. Będzie to oczywiście polaryzacja liniowa. Wektor natężenia pola elektrycznego i prostopadły doń wektor indukcji pola magnetycznego drgają wtedy w jednej z płaszczyzn zawierających oś z . Kierunek drgań zwany kierunkiem polaryzacji jest prostopadły do tej osi. Niech, dla uproszczenia, będzie to kierunek tworzący z osią x kąt $\pi/4$ (patrz rysunek). Ustawmy na drodze naszej wiązki światła

jednorodny kryształ szpatu islandzkiego (z niego właśnie robimy pryzmaty Nicol'a), ale tym razem nie eliminujemy z gry drugiego promienia spolaryzowanego. Z kryształu wychodzą więc dwa różne promienie o wzajemnie prostopadłych kierunkach polaryzacji. Niech te kierunki pokrywają się odpowiednio z osiami x oraz y . Ponieważ wiązka pierwotna była spolaryzowana w kierunku tworzącym jednakowy kąt z obiema tymi osiami, więc po przejściu przez kryształ otrzymamy dwie identyczne wiązki o tym samym natężeniu, tyle tylko, że inaczej spolaryzowane. Jedna w kierunku x , druga — y . Gdybyśmy teraz umieścili za kryształem układ zbierający nasze dwie wiązki w jedną, to wydawałoby się, że znów otrzymamy wiązkę spolaryzowaną liniowo w kierunku polaryzacji pierwotnej. Tak jednak nie jest. Badając polaryzację liniową wiązki końcowej przekonujemy się, że nie jest ona całkowita. Dokładniejsze badania mogą być przeprowadzone jedynie za pomocą przyrządów znacznie bardziej czułych niż pryzmat Nicol'a. Okazuje się wtedy, że koniec wektora polaryzacji zatacza koło w miarę upływu czasu. Wektor natężenia pola elektrycznego drga w płaszczyźnie, która obraca się wokół osi z . Taką polaryzację nazywamy kołową lub eliptyczną, w zależności od krzywej, jaką zakreśla w swym ruchu koniec wektora polaryzacji.



Skąd bierze się to zjawisko? Otóż stąd, że przy przechodzeniu przez kryształ szpatu islandzkiego obie wiązki światła przebiegają różne drogi optyczne. Współczynniki załamania obu promieni są różne, czyli różne są ich prędkości w kryształach, a stąd promienie te po wyjściu z kryształu mają różne fazy. Niech drgania wektora elektrycznego w jednym promieniu — tym o polaryzacji x — będą opisywane przez funkcję $\sin \omega t$. Wtedy drgania w drugim promieniu będą przesunięte w fazie o pewną wielkość δ i opisywane funkcją $\sin(\omega t + \delta)$. Jeżeli kryształ wytniemy tak, że $\delta = \pi/2$, to drgania wypadkowe będą odbywały się wzdłuż krzywej, której współrzędna x zmienia się, jak $\sin \omega t$, a współrzędna y , jak $\cos \omega t$, czyli po kole.

Co to wszystko ma wspólnego z cząstkami elementarnymi? Po pierwsze światło jak i każda fala elektromagnetyczna składa się z fotonów. Opisane wyżej zjawisko zachodzi również dla pojedynczych, niepodzielnych fotonów. Taki pojedynczy foton pochodzący ze spolaryzowanej wiązki pierwotnej i przepuszczony przez kryształ dwójłomny oraz układ zbierający dwie wiązki (choć nie mamy tu żadnych dwóch wiązek tylko jeden foton, to jednak układ ten jest konieczny) wykazuje polaryzację kołową. W tym wypadku znaczy to, że w miarę oddalania się od całego układu foton ten będzie spolaryzowany raz w kierunku x , potem y i tak dalej, na przemian. Liniowa polaryzacja fotonu będzie oscylowała między dwoma wzajemnie prostopadłymi kierunkami. Tak więc, w miarę upływu czasu foton spolaryzowany kołowo przechodzi wahadłowo od stanu o polaryzacji x do stanu o polaryzacji y bez żadnej ingerencji z zewnątrz. Każdy powie, że to trywialne, bo przecież wektor polaryzacji fotonu obraca się. Bliższe rozważania nad zasadą zachowania momentu pędu przekonająby nas, że to wcale nie jest trywialne. Zamiast tego rozważmy inny, bardzo zbliżony przykład. Przypomnijmy najpierw, że fotony o częstotliwości ω to nic innego, jak zwykłe cząstki elementarne o energii $E = \hbar \omega$. Wykazują one, jak wiemy, w pewnych warunkach własności falowe. Podobnie, jak wszystkie inne cząstki. Tyle tylko, że nie dysponujemy odpowiednio wielkimi energiami na to, żeby utworzyć tyle cząstek o tej samej energii, ile fotonów produkujemy w laserze (np. 10^{20} fotonów na sekundę). Nie potrafimy więc wytwarzać klasycznych makroskopowych pól cząstek innych niż fotony. Niemniej jednak własności falowe pojedynczych cząstek (w tym i fotonów) zostały stwierdzone doświadczalnie. Odpowiednia częstota fali wiąże się z energią cząstki uniwersalnym wzorem $E = \hbar \omega$. Tak, jak dla fotonów.



Rozważmy teraz dwa rodzaje cząstek różniących się jedynie masą i niczym więcej. Znamy wiele takich par cząstek. Najbardziej interesujące są jednak neutralne mezony K, gdyż różnica ich mas jest niesłychanie mała. Mezony te, K^0_L i K^0_S , są więc prawie takie same. Różnią się jednak trochę masą, a w związku z tym i energią, nawet przy tym samym pędzie. Obu gatunkom mezonów o tym samym pędzie odpowiada więc nieco inna częstość związanej z nimi fali. Nie ma w tym na razie nic nadzwyczajnego. Okazuje się jednak, że we wszystkich reakcjach, w których produkowane są neutralne mezony K, nigdy nie otrzymujemy ani mezonów K^0_S , ani K^0_L , ale jedynie ich mieszaninę równo bogatą w oba rodzaje mezonów. Podobnie wszystkie reakcje rozpraszania rozróżniają jedynie takie mieszaniny, a nie ich poszczególne składniki. Podobnie, jak pryzmat Nicola rozróżnia określone polaryzacje liniowe, a nie widzi polaryzacji kołowej. Występują dwie takie mieszaniny różnie zachowujące się w reakcjach rozpraszania i produkcji. W jednej z nich składowa K^0_L jest przesunięta w fazie o π . Pamiętajmy bowiem, że to wszystko fale.

Wyobraźmy sobie teraz, że w jakimś doświadczeniu wyprodukowaliśmy kombinację $K^0_L + K^0_S$ (czy też $K^0_L - K^0_S$). Oba składniki mają, jak wiemy, różne częstości drgań i z upływem czasu narasta między nimi różnica faz. Po pewnym czasie różnica ta osiągnie π i dostaniemy czystą kombinację $K^0_L - K^0_S$ ($K^0_L + K^0_S$), która ma zupełnie inne własności w reakcjach rozpraszania. I tak dalej będą następowały periodyczne zmiany.

Tak więc badania nad wiązką neutralnych mezonów K dają wynik taki, że w małej odległości od miejsca produkcji wiązka tych mezonów prawie zawsze prowadzi do reakcji z produkcją hiperonów, w większej odległości nigdy nie powstają hiperony, w jeszcze większej znów powstają itd. Te dwie kombinacje to są naprawdę dwie różne cząstki (zwane K^0 i \bar{K}^0). Podobnie, jak różne są polaryzacje kołowe fotonu: prawoskrętna i lewoskrętna. A jak wykrywamy składniki, K^0_L i K^0_S , tych kombinacji? Poprzez ich rozpady. Mezon K^0_L ma np. czas życia $\sim 10^{-8}$ s, a mezon $K^0_S \sim 10^{-10}$ s. Takie oscylacyjne zachowanie wiązki neutralnych mezonów K jest jednym z najładniejszych argumentów na rzecz falowej natury cząstek.

Podobne zjawisko może zachodzić w przypadku dwóch rodzajów neutrin: elektronowego i mionowego. Jedno z nich produkowane jest zawsze z elektronem i przy rozpraszaniu przechodzi w elektron. Drugie natomiast zawsze występuje z mionem μ . Masy obu neutrin są bardzo małe, ale niekoniecznie muszą być równe, ani też dokładnie równe zeru. Być może mamy więc taką samą sytuację jak z mezonami K. Wtedy oba rodzaje neutrin byłyby dwiema kombinacjami (o różnych względnych fazach) innych dwóch neutrin i występowałaby podobna oscylacja ich wiązek. I tak pochodzące ze Słońca neutrina elektronowe o z grubsza określonym pędzie mogłyby np. gdzieś w okolicach orbity Ziemi przejść w neutrina mionowe, których nie wykrywa opisywany w poprzednich numerach Delty eksperyment Davisa. Okazuje się, że na to, by pierwsza taka przemiana miała miejsce właśnie w okolicach orbity Ziemi, różnica mas obu neutrin powinna być niesłychanie mała. Należy jednak zdawać sobie sprawę z tego, że neutrina słoneczne mają pewien rozkład pędu, co może znacznie rozmyć miejsce pojawiania się minimum w ich wiązce. Nie jest więc pewne, czy zjawisko oscylacji wiązki neutrin wyjaśnia rzeczywiście negatywny wynik eksperymentu Davisa.



Rozwiązanie zadania F 53

Weźmy pod uwagę dwuwymiarowe „naczynie” o powierzchni S , zawierające N atomów poruszających się we wszystkie strony i zderzających się sprężysto ze „ściankami” naczynia (rys. 1). „Ciśnienie” czyli siłę wywieraną przez gaz na jednostkę obwodu oznaczamy przez p . Źródłem ciśnienia są zderzenia atomów ze ściankami naczynia. Jest oczywiste, że w stanie równowagi takie same są liczby cząstek o określonej prędkości v przechodzących w jedną i w drugą stronę przez dowolną prostą (np. prostą l) w ciągu czasu Δt , niewielkiego w stosunku do okresów czasu spotykanych w zjawiskach makroskopowych, ale znacznie większego od czasu potrzebnego atomom na przebycie drogi porównywalnej z rozmiarami naczynia. Wynika stąd, że wielkość p nie zależy od samego kształtu naczynia.

Weźmy więc pod uwagę najprostszą z nich, pokazaną na rys. 2. Ciśnienie cząstkowe pochodzące od atomów o prędkości v oznaczamy przez p_v , natomiast liczbę takich atomów oznaczamy przez N_v . Gdyby wszystkie rozważane atomy poruszały się w prawo, to z prawą ścianką w jednostce czasu zderzałoby się $v(N_v/S)$ atomów. Każdy atom przy zderzeniu ze ścianką przekazuje jej pęd $2mv$. Zatem ciśnienie p byłoby równe $2mv \cdot v(N_v/S)$. W rzeczywistości ciśnienie p_v powinno być 4 razy mniejsze. Łatwo to wyobrazić sobie, że atomy poruszają się w czterech „podstawowych” kierunkach wzdłuż dwu wzajemnie prostopadłych osi. Możemy więc napisać

$$p_v = \frac{1}{4} \cdot 2mv \cdot v(N_v/S),$$

czyli

$$p_v S = K_v,$$

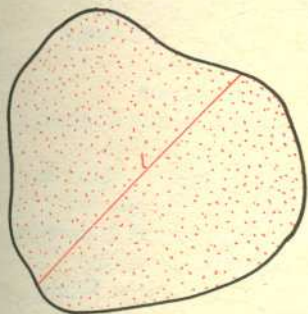
gdzie K_v jest wielkością niezależną od p_v i od S .

Sumując obydwie strony otrzymanej równości po wszystkich możliwych prędkościach v , jakie mogą występować w gazie, otrzymuje się

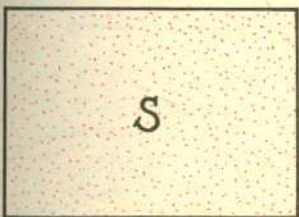
$$pS = \text{const.}$$

Jest to szukany związek, bardzo podobny do prawa obowiązującego w trzech wymiarach $p \cdot V = \text{const.}$

Warto zwrócić uwagę, że rozważania powyższe mają nie tylko akademicki charakter. Gaz dwuwymiarowy nie jest taką fikcją, jak mogłoby się wydawać. Można się o tym samemu przekonać: do czystej miednicy nalejcie czystej wody, na powierzchni wody umieście zapalke, kilka lub kilkanaście centymetrów od zapalke delikatnie wpuście do wody kroplę szamponu. W chwili wpuszczania szamponu na powierzchnię wody powinniście zaobserwować szybki ruch zapalke, jakby ktoś dmuchnął. Chodzi tu rzeczywiście o wiatr. Niektóre związki chemiczne grupują się przede wszystkim na powierzchni. Związkami takimi są m.in. substancje zawarte w szamponie. Po wpuszczeniu do wody szampon rozchodzi się przede wszystkim po powierzchni, dając „dzwuwymiarowy” powiew przesuwający zapalke. Roztwory dwuwymiarowe odgrywają rolę w tworzeniu się piany, błonek mydlanych itp. Ciekawe, że wielu zagadnień dotyczących takich roztworów nie udało się do tej pory rozwiązać.



Rys. 1



Rys. 2