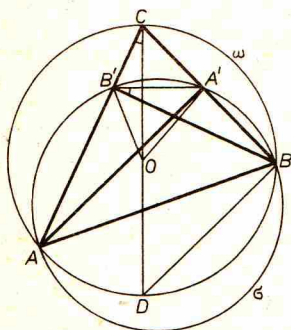


Nowy detektor neutrin

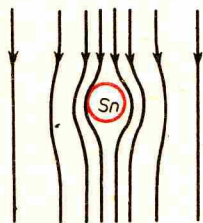
Dr Andrzej KOTLICKI



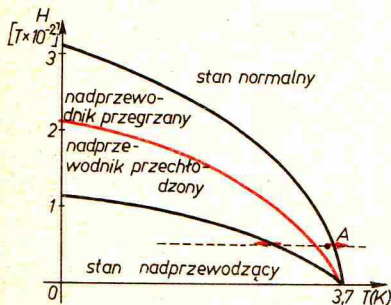
Rozwiązanie zadania M 494. Niech
 $T = \triangle ABC$, $T' = \triangle A'B'C'$
 $(AA', BB', CC' —$ wysokości trójkąta $T)$,
 $\omega —$ okrąg opisany na trójkącie T ,
 $\sigma —$ okrąg o średnicy AB ;
 $CD —$ średnica, $O —$ środek okręgu ω .



$|\sphericalangle A'B'B| = |\sphericalangle A'AB| = |\sphericalangle ABD| =$
 $= |\sphericalangle ACD| (*)$
 (kąty wpisane w σ , kąty naprzemianległe,
 kąty wpisane w ω).
 $(BB' \perp AC)$ i $(*) \Rightarrow (A'B' \perp CD)$.
 Zatem: pole $(OA'CB') = (R/2) \cdot A'B'$.
 Także: pole $(OB'AC') = (R/2) \cdot B'C'$,
 pole $(OC'BA') = (R/2) \cdot C'A'$
 i w sumie: $S =$ pole $(ABC) = Rp'$.
 Jednocześnie $S = rp$. Stąd teza.



Rys. 1. Linie pola magnetycznego w pobliżu nadprzewodzącej kuli.

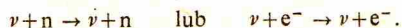


Rys. 2. Diagram fazowy dla małej kuleczki cyny.
 Strzałkami zaznaczono przejścia fazowe przy ogrzewaniu i oziębianiu kuleczki dla ustalonej wartości pola magnetycznego.

Jednym z najbardziej interesujących problemów współczesnej fizyki jest problem detekcji neutrin. Obserwacja tych niezwykle słabo oddziałujących cząstek elementarnych (prawie wszystkie padające na Ziemię neutrina przechodzą przez nią bez jakichkolwiek zmian) wymaga stosowania bardzo wyrafinowanych detektorów. Wielotonowe, umieszczone na dnie kopalń urzędzenia rejestrują zaledwie kilkanaście neutrin miesięcznie przy 10 milionach padających ze Słońca na każdy centymetr kwadratowy w ciągu sekundy. Ich działanie opiera się na obserwacji reakcji jądrowych wywołanych przez pochłonięcie neutrina przez jeden z nukleonów jądra atomowego. Najprostszą reakcją tego typu jest odwrotny rozpad β (przekrój czynny około 10^{-43} cm²):



Do końca lat sześćdziesiątych sądzono, iż każda reakcja wywołana przez neutrina prowadzi do jego pochłonięcia, tj. nie odnajdujemy neutrina wśród produktów reakcji. Uważano to za jedną z podstawowych własności oddziaływań słabych. Dopiero próby sformułowania jednolitej teorii oddziaływań słabych i elektromagnetycznych wskazały na możliwość zderzeń elastycznych neutrina, tj. reakcji typu



Procesy takie zostały zaobserwowane po raz pierwszy w 1973 roku w CERNie i były uważane za pierwsze potwierdzenie słuszności wspomnianych jednolitych teorii.

Z obliczeń teoretycznych wynika, że przekrój czynny na oddziaływanie elastyczne może być w pewnych warunkach znacznie większy (około 10 tysięcy razy) niż przekrój czynny na reakcję z pochłonięciem neutrina. Tak jest, gdy neutrina „odbija się” od dużego jądra niewiele zmieniając swój pęd; oddziałuje wtedy nie z pojedynczym nukleonem, lecz z całym jądrem.

Detektor zdolny do rejestrowania takich zderzeń mógłby mieć znacznie większą wydajność, nawet przy mniejszych rozmiarach, niż detektory dotychczas konstruowane. Podstawowy problem przy próbie konstrukcji nowego detektora to konieczność zaobserwowania skutków zderzenia elastycznego z małym przekazem pędu. Trzeba bowiem zarejestrować zmianę energii ciężkiego jądra zaledwie o 100 eV (przy energii neutrina 10 MeV).

Jeden z proponowanych detektorów, którego przydatność jest obecnie badana doświadczalnie, oparto na następującej zasadzie.

Wyobraźmy sobie kuleczkę, np. cyny o średnicy 1 μm oziębioną do temperatury 1 K. Cyna w tej temperaturze jest w stanie nadprzewodzącym. Umieścimy tę kuleczkę w polu magnetycznym. W czasie włączania pola w nadprzewodniku indukują się prądy wirowe, które są dodatkowym źródłem pola magnetycznego. Okazuje się, że niezależnie od sposobu włączenia to dodatkowe pole zawsze dokładnie kompensuje w nadprzewodniku pole zewnętrzne (zjawisko Meissnera). W efekcie pole magnetyczne nigdy nie może wniknąć do wnętrza nadprzewodnika. Linie pola na zewnątrz kulki w stanie nadprzewodzącym przedstawione są na rysunku 1.

Istnieją dwa sposoby zniszczenia stanu nadprzewodzącego. Można zwiększyć temperaturę do wartości większej od temperatury krytycznej lub zwiększyć zewnętrzne pole magnetyczne. Typowa zależność temperatury krytycznej od wartości pola (tzw. diagram fazowy) przedstawiona jest na rysunku 2. Okazuje się, że dla małych kulek (promień mniejszy niż 50 μm) lub cienkich warstw przejście ze stanu nadprzewodzącego do normalnego nie zachodzi dla tych samych wartości temperatury i pola magnetycznego co przejście odwrotne. Występują tzw. stany przegrzane i przechłodzone.

Jeżeli tak ustalimy pole magnetyczne, że stan kuleczki będzie odpowiadał punktowi A na diagramie z rysunku 2 (stan nadprzewodzący przegrzany), to wystarczy niewielki wzrost temperatury nawet w bardzo małym fragmencie kuleczki, by stan nadprzewodzący uległ zniszczeniu w całej objętości.

Wyobraźmy sobie teraz, że na kuleczkę padają neutrina i jedno z nich „odbija się” elastycznie od jądra atomu cyny przekazując mu energię 100 eV (około 10^{-17} J). Ta znikoma energia wystarczy do podgrzania kuleczki o kilkadziesiąt milikelwinów, co może wywołać przejście ze stanu nadprzewodzącego przegrzanego do stanu normalnego. Jak zarejestrować takie przejście?

Nadprzewodząca kuleczka zaburza zewnętrzne pole magnetyczne (rys. 1). Zaburzenie to jest w dużej odległości od kuleczki identyczne jak zaburzenie wprowadzane przez mały magnes o momencie magnetycznym proporcjonalnym do zewnętrznego pola i objętości kuleczki. Po przejściu cyny w stan normalny zaburzenie znika, co wywołuje taki sam efekt jak usunięcie magnesu. Jedynym magnetometrem, który jest w stanie zarejestrować tak małe zmiany strumienia pola magnetycznego, jest Magnetyczny Interferometr Kwantowy, tzw. SQUID (od angielskiej nazwy *Superconducting QUantum Interference Device*). Pozwala on na wykrycie zmian strumienia rzędu 10^{-18} Wb. Oznacza to, że za pomocą SQUIDu można zarejestrować pole magnetyczne igły kompasu z odległości 40 metrów. Dla porównania — strumień ziemskiego pola magnetycznego przez powierzchnię 1 cm² wynosi około $0,5 \cdot 10^{-8}$ Wb. Magnetyczne interferometry kwantowe stosuje się obecnie do pomiarów przenikalności magnetycznej w słabych polach, a także w biologii i medycynie do badania pól magnetycznych wywołanych przez bioprądy związane np. z pracą mięśni lub mózgu.

Spróbujmy teraz wyobrazić sobie detektor neutrin wykorzystujący opisane wyżej zjawiska. Żeby uzyskać wydajność detektora rzędu kilku neutrin dziennie, należy zawiesić w postaci koloidu w materiale izolacyjnym i diamagnetycznym około 1 kg kuleczek cynowych o średnicy około 1 μm . Następnie należy ochłodzić koloid do temperatury 1 K i umieścić w odpowiednim polu magnetycznym tak, by kuleczki były w stanie nadprzewodzącym przegrzanym tuż poniżej temperatury krytycznej. Obserwując zmiany pola magnetycznego za pomocą SQUIDu moglibyśmy rejestrować oddziaływania elastyczne neutrin w koloidzie. Tak będzie, być może, działał lekki i wydajny detektor neutrin. Niestety, nie został jeszcze skonstruowany. Na przeszkodzie stoi szereg trudności technicznych.



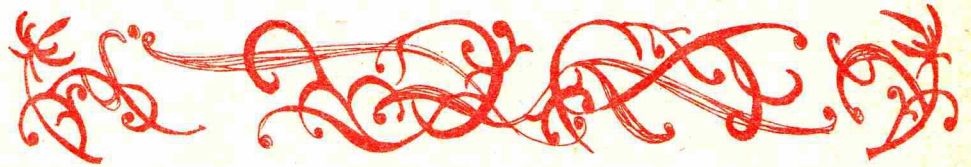
Rozwiązanie zadania M 493. Oznaczenie:
 $(xQ'y) \equiv$ (nie zachodzi xQy);
 $(xR'y) \equiv$ (nie zachodzi xRy).
 Zaprzeczamy tezę: istnieją $a, b, c, d \in X$
 takie, że $aQ'b, cR'd$.
 Zatem $dR'c, cQd, dQc, aRb, bRa$.
 Jeśli aRc , to $aR'd, dR'b$, więc
 aQd, dQb , skąd aQb — sprzeczność.
 Jeśli $aR'c$, to $cR'b$, więc aQc, cQb ,
 skąd aQb — sprzeczność.

Jak łatwo zauważyć, wypełnienie izolatora kuleczkami nie może być zbyt duże, bo pole magnetyczne każdej kuleczki wpływa na inne i, ze względu na przypadkowe ułożenie kuleczek, każda z nich wymaga nieco innej energii do przeniesienia, jej w stan normalny. Można byłoby uniknąć tego problemu układając kuleczki w uporządkowaną sześcienną sieć. Wtedy każda kuleczka znajdowałaby się w takim samym polu magnetycznym. Jest to jednak niezwykle trudne do zrealizowania.

Inny problem to stabilizacja zewnętrznego pola magnetycznego, która powinna być, oczywiście, lepsza niż czułość SQUIDu.

Wreszcie istnieje problem ekranowania całego urządzenia od zewnętrznych zakłóceń magnetycznych i drgań mechanicznych; nawet niewielkie zmiany kształtu pętli odbiorczej SQUIDu w polu magnetycznym powodują zmiany strumienia zaburzające pomiar.

Do tej pory zbudowano detektory zawierające tylko kilkanaście miligramów kuleczek. Testowano je za pomocą strumieni fotonów, które oddziałują z materią znacznie silniej niż neutrino. Wyniki są obiecujące.



Patrz w niebo

Niedawny powrót komety Halleya w bliskie Ziemi okolice Układu Słonecznego sprawił miłośnikom astronomii wiele zadowolenia. Dziś to już sprawa przebrzmiała, przypomnijmy jednak, że ta reklamowana w wielu czasopiśmiech kometa była w Polsce praktycznie niewidoczna gołym okiem, choć w okresie najlepszej widzialności miała jasność 4 mag. To wcale nie jest mało w przypadku wielu obiektów — gwiazdy tej wielkości są zupełnie dobrze widoczne. Komety nie są jednak, jak gwiazdy, punktowymi źródłami światła. Widać je na niebie w postaci rozmytych plamek, a podawane jasności odnoszą się do ich całkowitego blasku pochodzącego od całej powierzchni.

Podobnie jest w przypadku innych obiektów rozciągniętych, takich jak galaktyki, gromady gwiazd czy wszelkiego rodzaju mgławice. Przytaczane w literaturze całkowite jasności tych ciał mogą wprowadzić w błąd początkujących miłośników astronomii. Zwykle w niewielkim stopniu informują o tym, na ile łatwo dany obiekt można odnaleźć na niebie. Może się na przykład zdarzyć, że dwie galaktyki o zupełnie różnych rozmiarach kątowych i jasnościach katalogowych widać jednakowo wyraźnie. W takich przypadkach znacznie bardziej przydatna jest znajomość tzw. jasności powierzchniowej — tj. jasności umownie wybranej jednostki powierzchni. Wielkość ta niesie informację o tym, jak bardzo powierzchnia badanego obiektu jest kontrastowa w stosunku do tła nieba.

Powszechnie znaną galaktyką, dostrzegalną gołym okiem, jest Wielka Mgławica w Andromedzie (M31) o jasności całkowitej 4,8 mag. Trzeba przyznać, że oglądana bez użycia teleskopu nie prezentuje się ona zbyt imponująco. Być może jednak warto spojrzeć na nią przynajmniej raz w życiu, choćby dlatego, aby uprzytomnić sobie, że w czasie obserwacji na siatkówkę oka pada światło, które podróżowało bez przerwy od przeszło dwóch milionów lat, niezmiennie z szybkością 300 000 km/s. Galaktyka w Andromedzie jest, w zasadzie, najdalszym obiektem dostępnym obserwacji bez użycia teleskopu.

W zasadzie, bo podobno niektórzy potrafią dostrzec nieuzbrojonym okiem jeszcze dalszą galaktykę w sąsiadującym z Andromedą gwiazdozbiore Trójkąta, oznaczoną w katalogu Messiera symbolem M33. Odszukanie jej na niebie może stanowić ciekawe, choć dość trudne zadanie. Dla wielu nie lada niespodzianką stanowi identyfikacja obiektu o rozmiarach przewyższających rozmiary Księżyca, choć, rzecz jasna, o nieporównanie mniejszej jasności powierzchniowej. Przy rozmiarach kątowych $62' \times 39'$ galaktyka w Trójkącie ma jasność zaledwie 5,7 mag (dla porównania — taką samą jasność całkowitą ma Uran, którego średnica kątowa jest równa zaledwie $0,66''$), podczas gdy Księżyc w pełni przy rozmiarach $32' \times 32'$ odbija promieniowanie słoneczne o jasności całkowitej — 12,6 mag. W efekcie jasność powierzchniowa galaktyki M33 jest blisko 100 milionów razy mniejsza od jasności powierzchniowej naszego naturalnego satelity. Tym, którym nie uda się odnaleźć M33 gołym okiem, radzimy skorzystać z lunetki o niedużym powiększeniu, za to możliwie dużej światłosile (stosunku średnicy obiektywu do ogniskowej).

Przy tak dużych rozmiarach kątowych galaktyka w Trójkącie stanowi bardzo interesujący przedmiot obserwacji. Już niewielka lunetka umożliwi dostrzeżenie wielu szczegółów jej budowy, niedostępnych w przypadku żadnego innego obiektu pozagalaktycznego na niebie północnym. Galaktyka ta, podobnie jak Wielka Mgławica w Andromedzie, składa się z wielu miliardów gwiazd utrzymywanych siłą ciężenia grawitacyjnego w zwojach olbrzymiej spirali. Wprawdzie tylko dwa ramiona tej spirali mogą być dostrzeżone podczas obserwacji amatorskich, ale w rzeczywistości klasyfikuje się ją jako galaktykę pięcioramienną. Jej centralnie położone jądro widoczne jest jako obiekt gwiazdopodobny 12 wielkości. Warto nadmienić, że jest ono najjaśniejszym zwartym źródłem promieniowania rentgenowskiego w Lokalnej Grupie Galaktyk. Galaktyka w Trójkącie wyróżnia się bogactwem jasnych mgławic emisyjnych zjonizowanego wodoru (tzw. obszary H II), w których znajduje się wiele gorących gwiazd wczesnych typów widmowych O i B.

W zimowe wieczory zarówno Wielka Mgławica w Andromedzie, jak i galaktyka w Trójkącie są usytuowane korzystnie do przeprowadzania obserwacji. W ich odnalezieniu pomocny może być zamieszczony obok rysunek. Obserwacje należy przeprowadzać podczas nocy bezchmurnych i bezksiężycowych (światło Księżyca rozjaśnia tło nieba na dużym obszarze), w miejscu możliwie oddalonym od wszelkiego rodzaju światła.

mgr Joanna UDALSKA

