

Opisane zjawisko gromadzenia się jednakowych cząstek w jednym stanie fizycznym występuje dla wszystkich cząstek mających spin całkowity (tzw. bozonów od nazwiska fizyka hinduskiego S. N. Bosego). Zjawisko to nosi nazwę kondensacji Bosego-Einsteina i prowadzi do powstawania jednorodnych układów klasycznych złożonych z ogromnej liczby bozonów. Nasuwa się naturalne pytanie: jak zachowują się układy jednakowych cząstek o spinie ułamkowym (fermionów — od nazwiska E. Fermiego). Otóż dla nich we wzorze (\*) pojawia się znak minus zamiast plusa, czyli różnica, a nie suma odpowiednich amplitud. W rezultacie prawdopodobieństwo znalezienia dwóch jednakowych fermionów w tym samym stanie jest po prostu równe zeru. Własność ta jest treścią słynnego zakazu Pauliego obowiązującego na przykład dla elektronów oraz składników jądra atomowego — nukleonów. Widać więc, że zakaz Pauliego pojawia się jako wynik interferencji wygaszającej (destruktywnej) amplitud odpowiadających dwóm nierozróżnialnym sposobom realizacji stanu dwu fermionów.

Ktoś może się zapytać: co to wszystko ma wspólnego z niskimi temperaturami, będącymi przecież przewodnim tematem tego numeru *Delta*? Należy tu zwrócić uwagę na fakt, że opisane wyżej (i wyjaśnione na przykładzie lasera) jednorodne układy wielu bozonów pojawiają się tam, gdzie występuje dobrze określony i odseparowany energetycznie stan pojedynczego bozonu. Układy te są szczególnie ciekawe dla bozonów obdarzonych niezerową masą i zerową wartością spinu (co odpowiada brakowi polaryzacji). Dla takich cząstek ich stan podstawowy jest stanem o zerowej wartości pędu i właśnie obsadzanie tego stanu prowadzi do interesujących zjawisk. Stan podstawowy może być obsadzony jedynie w odpowiednio niskich temperaturach — takich, że ruchy cieplne materii nie mogą doprowadzić do wzbudzeń na jakiegokolwiek inny stan. Tak właśnie pojawia się kondensacja Bosego-Einsteina cząsteczek nadciężkiego helu  $^4\text{He}$  oraz par dwu elektronów (para fermionów jest bozonem) w nadprzewodnikach. Zbyt małe ruchy cieplne nie są w stanie wzbudzić takiego wielobozonego stanu na wyższy energetycznie poziom i dlatego nie mogą w żaden sposób zaburzyć ewentualnych niewielkich ruchów tego układu. Stąd znikanie lepkości dla niezbyt szybkiego ruchu cieczy i oporu elektrycznego dla niezbyt silnego prądu. Temperatura musi oczywiście być wystarczająco niska.



## Zadania

Redaguje mgr Krzysztof S. NOWIŃSKI

**M 349.** Sfera o środku  $O$  wpisana w czworościan  $ABCD$  styka się z jego ścianami w punktach  $K, L, M, N$ .

Wykazać, że punkt  $O$  leży w czworościanie  $KLMN$ .

Rozwiązanie na str. 17

**M 350.** Wykazać, że jeżeli  $k \neq n$ , to liczby  $2^{2^k} + 1$  i  $2^{2^n} + 1$  są względnie pierwsze.

Rozwiązanie na str. 3

**M 351.** Na jednym z nienaroznych pól brzegowych szachownicy  $4 \times 4$  zapisano znak — wypełniając pozostałe pola znakami  $+$ . Jeden ruch polega na zamianie na przeciwne wszystkich znaków w rzędzie poziomym, pionowym lub ukośnym (równoległym do którejś przekątnej).

Wykazać, że po dowolnej liczbie ruchów na szachownicy znajdzie się co najmniej jeden znak —.

Rozwiązanie na str. 5

Redaguje mgr Tomasz TRATKIEWICZ

**F 144.** a) W komunikatach o pogodzie można usłyszeć, że:

„Temperatura w cieniu wynosiła 25 stopni, w słońcu 35°C”. Jaki jest sens takiego stwierdzenia?

b) Badania geofizyczne wykazują, iż na wysokości około 1000 km nad powierzchnią Ziemi temperatura atmosfery waha się od 1000 K (nocą) do 2500 K (w dzień). Czyżby były to wskazania termometrów wystawionych na zewnątrz sztucznych satelitów krążących na danej wysokości?

Rozwiązanie na str. 7

**F 145.** a) Mierząc gorączkę trzymamy termometr pod pachą przez kilka lub nawet kilkanaście minut. Jak to jest możliwe, że termometr daje się „strząsnąć” prawie natychmiast po wyjęciu spod pachy?

b) Jak można by za pomocą termometru lekarskiego zmierzyć temperaturę ciała ludzkiego, gdy temperatura otoczenia wynosi, powiedzmy, 42°C?

Rozwiązanie na str. 11