

## Prosto z nieba: Nuklearny makaron



### Rozwiązanie zadania M 1592.

Oznaczmy  $p = 2n + 1$  i rozważmy dowolne liczby całkowite  $a_1 > a_2 > \dots > a_n > 0$ . Zauważmy, że jeśli te liczby mają wspólny dzielnik większy od 1, to możemy każdą z nich przezeń podzielić, zachowując postać tezy zadania. Wobec tego możemy bez straty ogólności założyć, że  $\text{NWD}(a_1, \dots, a_n) = 1$ .

Jeżeli istnieje  $i$  o tej własności, że  $p \mid a_i$ , to dla pewnego  $j$  mamy  $p \nmid a_j$ . Wówczas  $p \nmid \text{NWD}(a_i, a_j)$ , więc

$$\frac{a_i + a_j}{\text{NWD}(a_i, a_j)} \geq \frac{a_i}{\text{NWD}(a_i, a_j)} \geq p.$$

Jeżeli żadna z liczb  $a_i$  nie jest podzielna przez  $p$ , to reszty z dzielenia przez  $p$  pewnych dwóch z nich należą do tego samego spośród  $n$  zbiorów

$$\{1, p-1\}, \{2, p-2\}, \dots, \left\{\frac{p-1}{2}, \frac{p+1}{2}\right\}.$$

Innymi słowy, istnieją takie  $i < j$ , że  $p \nmid \text{NWD}(a_i, a_j)$  oraz  $p \mid a_i - a_j$  lub  $p \mid a_i + a_j$ . W pierwszym przypadku mamy

$$\frac{a_i + a_j}{\text{NWD}(a_i, a_j)} \geq \frac{a_i - a_j}{\text{NWD}(a_i, a_j)} \geq p,$$

w drugim zaś bezpośrednio

$$\frac{a_i + a_j}{\text{NWD}(a_i, a_j)} \geq p.$$

## Niebo w lutym

W lutym Słońce przejdzie od środka gwiazdozbioru Koziorożca do środka gwiazdozbioru Wodnika, przecinając dzielącą je granicę około 17 lutego. Przez miesiąc Słońce zwiększy deklinację od  $-17^\circ$  do  $-8^\circ$ , zwiększając tym samym wysokość górowania w środkowej Polsce z 21 do  $30^\circ$ , a czas jego przebywania nad widnokregiem wrośnie o prawie 2 godziny, do około 11 godzin.

Podobnie jak w styczniu, ciekawie będzie na niebie porannym, gdzie swoje pętle kreślą planety Jowisz, Wenus i Saturn. Jowisz powoli dąży do czerwcowej opozycji i przez miesiąc przesunie się  $4^\circ$  na wschód,

Kiedy odpowiednio masywne gwiazdy ( $M > 8-10 M_\odot$ ) osiągną dojrzały wiek, eksplodują. Wybuch zaczyna się w rzeczywistości od zapadnięcia się niestabilnego centrum gwiazdy. Jądro, składające się z żelaza, niklu i lżejszych pierwiastków, zostaje zgniecione do ogromnych gęstości, a jego rozmiar zmienia się od kilku tysięcy do kilkunastu kilometrów. W tak dużym ciśnieniu większość protonów zamienia się w neutrony, a energia ucieka w postaci promieniowania i neutrin. W gęstym centrum wybuchającej *supernowej* powstaje *gwiazda neutronowa*.

Powierzchnię gwiazdy neutronowej pokrywa, w zależności od historii obiektu, wodór lub hel. Możliwe jest też, że składa się ona po prostu z żelaza. Grawitacja na powierzchni jest ogromna – setki miliardów większa od tej na Ziemi. Oznacza to, że już na powierzchni materiał gwiazdy podlega ogromnej kompresji. Na głębokości około kilometra gęstość materii jest porównywalna z gęstością jąder atomowych,  $10^{14}$  g/cm<sup>3</sup>. Co znajduje się jeszcze głębiej? Tego właściwie nie wiemy, ponieważ nie istnieje kompletna teoria opisująca oddziaływania silne wielu ciał (nukleonów, kwarków) w tak ekstremalnych warunkach, a eksperymenty na Ziemi nie dają możliwości odtworzenia takiego stanu materii.

O wiele lepiej potrafimy natomiast opisać materię o gęstościach nieco mniejszych od gęstości jądrowej. Warstwy powierzchniowe *skorupy* gwiazdy neutronowej składają się z sieci krystalicznej atomów żelaza i niklu. Głębiej sieć krystaliczna jest coraz ciaśniejsza, i w wyniku różnych procesów – w szczególności oddziaływania z elektronami przemieszczającymi się w sieci – jądra stają się coraz bardziej *neutronadmiarowe* (protony w jądrach zamieniane są na neutrony). Przy gęstości nieco powyżej  $10^{11}$  g/cm<sup>3</sup> neutronów jest tak wiele, że „wyciekają” z jąder na zewnątrz. Materia gwiazdy przy tych gęstościach jest opisywana przez sieć krystaliczną zanurzoną w swobodnym „gazie” neutronów. Tego typu konfiguracja jest energetycznie preferowana – system minimalizuje w ten sposób energię.

Mieszanka kryształ + swobodne neutrony nie musi być jednorodna. Wręcz przeciwnie, z komputerowych symulacji takich układów wynika, że w zależności od gęstości (od  $10^{11}$  do  $10^{14}$  g/cm<sup>3</sup>) swobodne neutrony preferują skupianie się w formie kul, prętów bądź płyt, tworząc tytułowy makaron: *gnocchi*, *spaghetti*, *lazanie*. Możliwe są też konfiguracje odwrotne – skupiska sieci krystalicznej zawieszane w gazie neutronów. Z oszacowań wynika, że taka materia jest dziesiątki miliardów razy bardziej wytrzymała na złamanie niż stal, jest zatem (teoretycznie) najtwardszą znaną naukowcom formą materii. Z astrofizycznego punktu widzenia różne rodzaje „makaronu” w skorupie gwiazd neutronowych są interesujące między innymi dlatego, że tak trudna do deformacji materia może wytrzymać długotrwałe odkształcenia, co jest niezbędne do emisji fal grawitacyjnych, np. z rotujących gwiazd neutronowych.

Michał BEJGER

kończąc luty  $2,5^\circ$  na północ od gwiazdy  $\theta$  Ophiuchi. W tym czasie jego jasność przekroczy  $-2^m$ , tarcza zaś zwiększy średnicę do  $36''$ . Około godziny 5 Jowisz świeci na wysokości jakichś  $10^\circ$  nad południową częścią nieboskłonu.

Druga planeta od Słońca przez miesiąc przemierzy cały gwiazdozbiór Strzelca, zaczynając luty  $9^\circ$  na wschód od Jowisza ( $6^\circ$  na lewo od niej pokaże się Księżyc w fazie 11%), 5 lutego Wenus przejdzie odpowiednio  $3$  i  $2^\circ$  na północ od pary mgławic M8 i M20, obok których w zeszłym sezonie znajdował się Saturn z Węstą. 6 dni później w podobnej odległości Wenus