delta

SPIS TREŚCI

NUMERU 4 (88)

W następnym numerze:
Spójność światła

„Delta”
matematyczno-fizyczno-astronomiczny
miesięcznik popularny
Polskiego Towarzystwa
Matematycznego, Polskiego
Towarzystwa Fizycznego i Polskiego
Towarzystwa Astronomicznego
wydawany przy poparciu
Ministerstwa Oświaty i Wychowania

Komitet Redakcyjny:
doc. dr Jerzy Bartke
doc. dr Andrzej Bączyński
doc. dr Bolesław Gleichgewicht
prof. dr Kazimierz Goebel
doc. dr Bolesław Grabowski
dr Jan Hanasz
doc. dr Bolesław Iwaszkiewicz
doc. dr Tadeusz Iwiński
doc. dr Andrzej Januszajtis
doc. dr Tadeusz Jarzębowski
prof. dr Leon Jeśmanowicz
dr Henryk Kaczorek
prof. dr Marek Kuczma
mgr Andrzej Mąkowski
prof. dr Bohdan Paczyński
prof. dr Zdzisław Pawlak
prof. dr Arkadiusz Piekara
doc. dr Sławomir Ruciński
prof. dr Konrad Rudnicki
prof. dr Zbigniew Semadeni
doc. dr Grzegorz Sitarski
prof. dr Józef Smak
prof. dr Jan Stankowski
doc. dr Kazimierz Stępień
prof. dr Mieczysław Subotowicz
doc. dr Stefan Turnau
prof. dr Jerzy Wdowczyk
doc. dr Andrzej Woszczyk
prof. dr Janusz Zakrzewski — wiceprzewodniczący
prof. dr Wojciech Żakowski — przewodniczący

Redaguje Kolegium w składzie:
mgr Tomasz Chlebowski
mgr Maciej Jędrzejczak
dr Marek Kordos — red. nacz.
dr Krzysztof Prażmowski — red. techn. graf.
dr Michał Szurek
mgr inż. arch. Kamila Staszko — ilustracje
mgr Krystyna Szypcio — sekr. red.
doc. dr Michał Święcki — z-ca red. nacz.

Adres Redakcji
ul. Hoża 69 pok. 151,
00-681 Warszawa

Zakład Narodowy im. Ossolińskich — Wydawnictwo
Wrocław, Oddział w Warszawie
Nakład 20 000 egz. Objętość 2 ark. wyd.; 2,50 ark. druk.;
papier offsetowy III kl. 80 g. 61 × 86
Wydrukowano w Drukarni im. Rewolucji Październikowej
Warszawa, ul. Mińska 65
Nr zam. 98/12/81 L-7

Wydano z pomocą finansową Polskiej Akademii Nauk

WARUNKI PRENUMERATY Cena prenumeraty rocznej zł 60—, cena prenumeraty półrocznej zł 30—
Prenumeratę na kraj przyjmują Oddziały RSW „Prasa—Książka—Ruch” oraz urzędy pocztowe i doręczyciele — w terminach:
— do 25 listopada na styczeń, I kwartał, I półrocze roku następnego i cały rok następny
— do dnia 10 miesiąca, poprzedzającego okres prenumeraty na pozostałe okresy roku bieżącego.
Jednostki gospodarki uspołecznionej, instytucje i organizacje społeczno-polityczne składają zamówienie w miejscowych Oddziałach RSW „Prasa—Książka—Ruch”.
Zakłady pracy i instytucje w miejscowościach, w których nie ma Oddziałów RSW, oraz prenumeratorzy indywidualni zamawiają prenumeratę w urzędach pocztowych lub u doręczycieli.
Prenumeratę ze zleceniem wysyłki za granicę, która jest o 50% droższa od prenumeraty krajowej, przyjmuje RSW „Prasa—Książka—Ruch”, Centrala Kolportażu Prasy i Wydawnictw, ul. Towarowa 28, 00-958 Warszawa, konto NBP XVOI W-wa 1153-201045-139-11 w terminach podanych dla prenumeraty krajowej

Sprzedaż numerów bieżących i uprzednich

Instytucje państwowe i społeczne, zakłady pracy, szkoły i czytelnicy indywidualni mogą nabywać „DELTĘ”:

w Księgarni Ośrodka Rozpowszechniania Wydawnictw Naukowych PAN.
Sprzedaż gotówkowa i wysyłkowa, numerów bieżących i archiwalnych; płatność gotówką, przelewem lub za zaliczeniem pocztowym.
Adres: ORPAN 00-901 Warszawa, Pałac Kultury i Nauki, Konto PKO I OM W-wa 1531-912

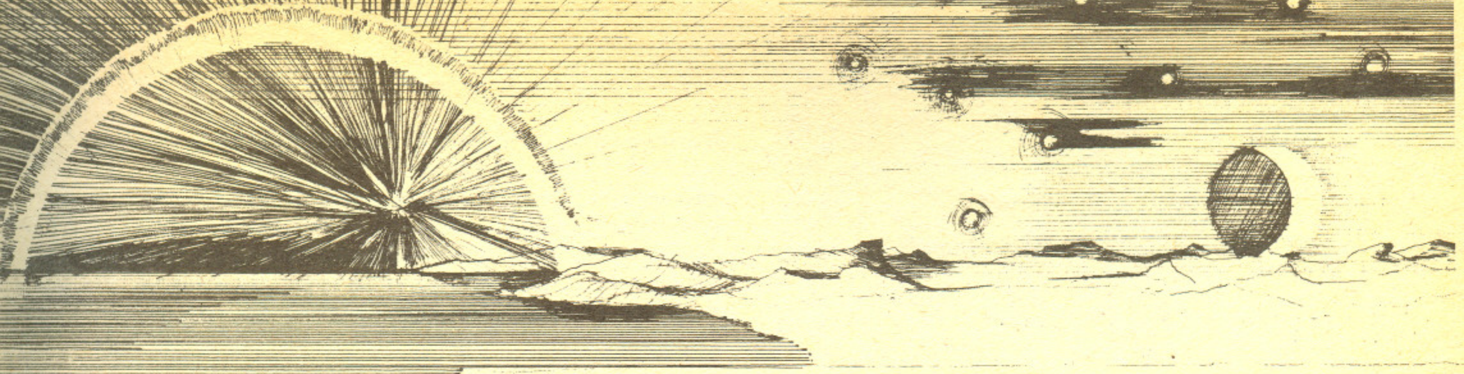
w Księgarni Ossolineum, Rynek 8, 50-106 Wrocław

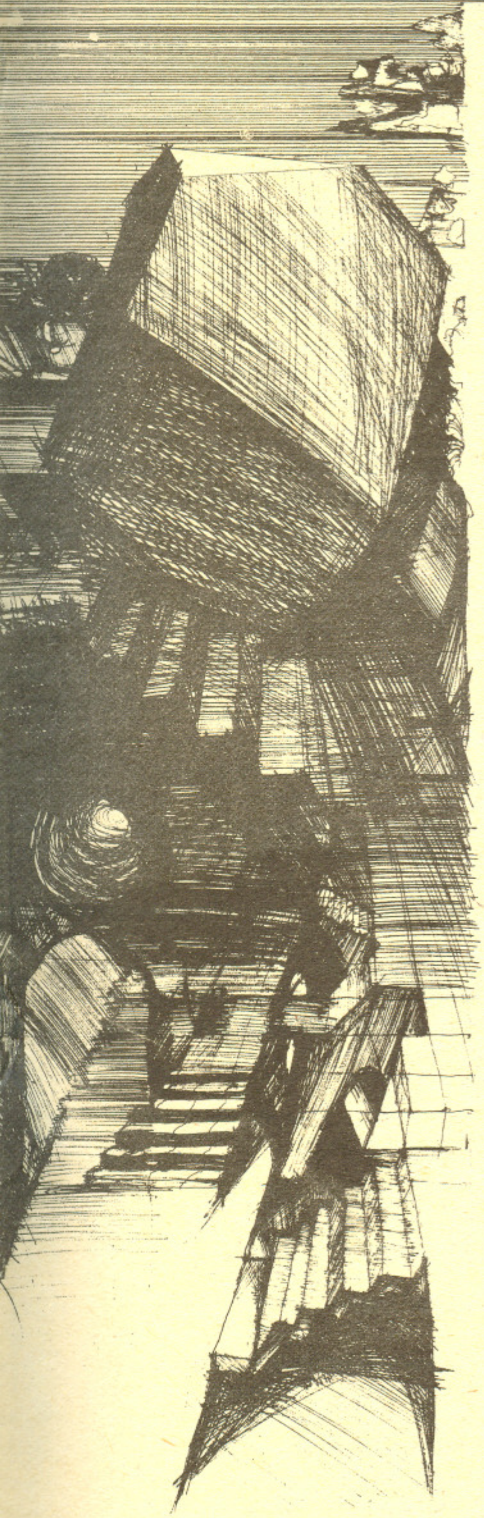
w Głównej Księgarni Naukowej, Krakowskie Przedmieście 7, 00-068 Warszawa

w Księgarni Naukowej, ul. Podwale 6, 31-118 Kraków

Orders for this periodical from abroad can be placed with „Ars Polona” Krakowskie Przedmieście 00-068 Warszawa, Poland or with
— Kubon & Sagner, Inhaber Otto Sagner, D8 Munchen 34, Postfach 68, Bundesrepublik Deutschland.
— Earlscourt Publications Ltd., 130 Shephard Bush Centre, London W 12, Great Britain,
— Licosa Commissionaria Sansoni, Via Lamarmora 45, 50 121 Firenze, Italia

Cena 1 egzemplarza zł 5— nr indeksu 35723/35550





W dawnych wiekach ludzie mieli mocniejsze poglądy. Ich obraz świata zawierał niewiele luk, walczący rycerze, wojska, politycy czy całe narody — wszyscy byli absolutnie przekonani o słuszności swoich właśnie racji, a przeciwników traktowali jak ,,psy niewierne". Uczeni potrafili (albo zdawało im się, że potrafią) wyjaśnić większość zjawisk, nieledwie dotykali absolutnych granic poznania. Nie należał pod tym względem do wyjątków i wiek XIX, owo stulecie pary i elektryczności. Oto prezes amerykańskiego urzędu patentowego oświadczył w 1888 roku: ,,Niewielu wynalazków możemy się spodziewać w przyszłości, gdyż właściwie wszystko już zostało wynalezione". Chemik niemiecki Kekule współczuł chemikom przyszłych czasów, że jego pokolenie nie zostawi im już wiele do roboty. Matematyk Ernest Edward Kummer pisał w liście do Liouville'a:
,,Wykazałem, że wielkie twierdzenie Fermata jest spełnione dla tych wykładników, które mają ową własność, o której Panu już wspomniałem. Teraz wystarczy mi tylko sprawdzić, czy przysługuje ona wszystkim liczbom pierwszym".

Bo i jasne. Czego można było chcieć więcej? Stalowe konie pędziły z zawrotną szybkością przez przełęcze Gór Skalistych i dżungle Indii, telegraf przenosił momentalnie wiadomości znad jednego oceanu nad drugi, człowiek w balonie szybował po przestworzach i potrafił objechać świat w 80 dni. Poznaliśmy prawie wszystkie pierwiastki chemiczne, nareszcie zrozumieliśmy naprawdę ,,*Elementy*" Euklidesa, padły trzy najbardziej znane nie rozwiązane od 2000 lat problemy greckich matematyków, a podstawy całej matematyki zyskiwały — ku przekonaniu wszystkich — trwałe i solidne fundamenty.

Dziś coraz rzadziej mówimy ,,jest tak a tak", szepcząc skromnie ,,no, na ten temat jest taka teoria ..." i coraz częściej jest to skromność uzasadniona.

CZEGO ZATEM NIE WIEMY?

Przyrównajmy — jak to czyni wielu — uprawianie matematyki i fizyki do eksploracji nieznanych gór. Wtedy jasno zobaczymy, że nasze problemy są takie oto:

1) jak pokonać wprawdzie niewielką, ale ,,niemożliwą do przejścia", ściankę, rysę, komin czy przewieszkę,

2) którędy poprowadzić drogę na widoczną przed nami górę,

3) skąd wyjść (podjechawszy samochodem dokąd się da), aby dostać się na oddalony szczyt,

4) jak wyczuć właściwą drogę we mgle, w lesie, na nudnym podejściu,

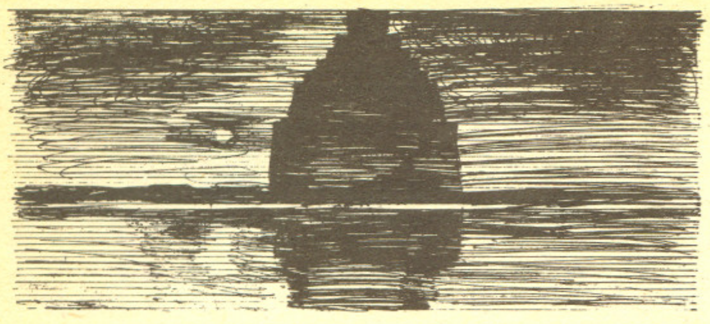
5) co jest warte zwiedzenia i przydatne w tej dolinie, do której właśnie doszliśmy, wreszcie

6) co zabrać na wyprawę;

(niektórzy postawią jeszcze pytanie: po co tam iść, ale ten głos zignorujemy).

Pierwsze z tych pytań to w matematyce oddzielne trudne zadania. Ich rozwiązania obfitują w błyskotliwe pomysły i niecodzienne skojarzenia. Drugie prowadzi do tworzenia teorii i aparatury do obsługi wąskiego zagadnienia. Trzecie możemy sobie przeformułować: a może można z innej strony? Czwarte błądzi po podstawach matematyki, dotyka zagadnień definiowalności, dobrej aksjomatyki i .... Piąte, ciekawe i może najważniejsze, jest często zaniedbywane, a wiedza tego typu lekceważona. Wreszcie ostatnie dręczy zwykle wszystkich wykładowców.

Chcemy Wam pokazać w tym numerze Delty trochę problemów z każdego z tych typów w matematyce, fizyce i astronomii. Nie będziemy wskazywać, jakie numerki przy nich postawić. Pomyślcie o tym sami.



O pewności w matematyce i hipotezie continuum

Słyszy się często: „to pewne, jak $2+2 = 4$". Zdania matematyczne bywają podawane za wzór niewzruszonej i absolutnej prawdy. Pytanie, jakie zdania? Niewątpliwie pewniki, czyli aksjomaty („przez dwa punkty przechodzi dokładnie jedna prosta") oraz twierdzenia, choćby tak łatwe, jak to zacytowane na początku.

Istnieją jednak w matematyce zdania o zupełnie innym charakterze. Należy do nich słynna hipoteza continuum, którą można sformułować następująco: Każdy nieskończony zbiór liczb rzeczywistych jest równoliczny bądź ze zbiorem wszystkich liczb rzeczywistych, bądź ze zbiorem liczb naturalnych.

Hipoteza continuum jest niezależna od powszechnie przyjmowanych w matematyce aksjomatów. Formalnie oznacza to, że o ile matematyka bez hipotezy continuum jest niesprzeczna, to nie stanie się sprzeczna po dodaniu tej hipotezy lub jej zaprzeczenia. Można to inaczej sformułować mówiąc, że ani hipotezy continuum, ani jej negacji nie zdołamy udowodnić używając powszechnie używanej aksjomatyki.

No tak, zdarza się słyszeć, zwłaszcza od osób po raz pierwszy stykających się z tym dziwolągiem matematycznym, ale przecież jakoś to jest. My, być może, nie potrafimy udowodnić ani obalić hipotezy continuum, ale demon wiedzący wszystko o świecie mógłby po prostu sprawdzić, czy istnieją te pośrednie zbiory nierównoliczne ani ze zbiorem liczb naturalnych ani rzeczywistych, czy też nie. Rozumowanie to opiera się na błędnym przypuszczeniu, że zbiór liczb rzeczywistych jest takim przedmiotem, jak stojące przede mną pudełko, które wystarczy otworzyć, by przekonać się, czy jest puste; no bo albo jest puste, albo nie. Może to być co najwyżej dobrze zamknięte pudełko, tak dobrze, że nie mamy możności sprawdzić tego faktu.

Prędzej zaś zbiór liczb rzeczywistych można by przyrównać do pudełka opisanego w książce. Przypuśćmy, że autor powieści wspomniał, iż Jan dostał od wujka piękne drewniane puzderko ... i nie dodał już na ten temat ani słowa. Można zapytać, czy opisana szkatułka była pusta, czy nie: jest to pytanie nie do rozstrzygnięcia. Nasza wiedza o tym fikcyjnym przedmiocie jest za mała, podobnie, jak informacje czerpane z aksjomatów nie opisują zbioru liczb rzeczywistych na tyle dokładnie, by rozstrzygnąć hipotezę continuum. Badaczy, którzy wykazali niezależność hipotezy, można porównać do uważnego czytelnika, który przewertowawszy powieść stwierdzi: nie ma tam ani słowa o zawartości pudełka.

Tak więc żaden demon nie pomoże. Za to każdy ma prawo fantazjować: jeden z czytelników „czuje", że wujek podarował pudełko pełne złotych monet, inny, że stary skąpiec wykpił się pustą szkatułką. Tak samo matematycy: są tacy, którzy „lubią" hipotezę continuum, inni odżegnują się od niej. Pamiętajmy jednak, że w czytanej przez nich pilnie powieści —— matematyce ze zwykłą aksjomatyką — nie napisano o tym ani słowa ...

Andrzej PELC

Hipoteza Riemanna

Liczby pierwsze trafiają się wśród naturalnych jak kąkol wśród zboża i posuwając się po osi liczbowej trudno zgadnąć, czy następna napotkana liczba będzie pierwsza, czy nie. A jednak, tak jak wielokrotne nakładanie się zjawisk przypadkowych prowadzi do bardzo regularnych prawidłowości, tak i pozornie bezładnym rozmieszczeniem liczb pierwszych na osi liczbowej rządzą zdumiewająco ścisłe reguły. Oto bodajże najprostsza.

Niech $\pi(x)$ będzie liczbą liczb pierwszych nie przekraczających x. Oto tabelka wzrostu funkcji $\pi(x)$ i porównanie jej z funkcją $x/\ln x$

x	$\pi(x)$	$x/\ln x$
10	4	4,3
100	25	21,7
1000	168	144,8
10000	1229	1085,7
100000	9592	8685,9
1000000	78498	72382,4
10000000	664579	620420,7
100000000	5761455	5428681,0
1000000000	50847534	48254942,4
10000000000	455052512	434294477,9

Zgodność dwu ostatnich kolumn nie najgorsza, ale można i szukać lepszych przybliżeń funkcji $\pi(x)$, opisującej rozmieszczenie liczb pierwszych. Bardzo dobrze nadaje się do tych celów funkcja Riemanna

$$R(x) = \mathrm{Li}(x) - \frac{1}{2}\mathrm{Li}(\sqrt{x}) - \frac{1}{3}\mathrm{Li}(\sqrt[3]{x}) - \ldots,$$

gdzie $\mathrm{Li}(x) = \int_2^x (1/\log t)\, dt$.

Przykładowo, dla $x = 10^8$ mamy $R(x) = 5761552$.
Dla $x = 10^9$ zgodność jest jeszcze lepsza: $R(x) = 50847455$.

Już Riemann znał pewien dokładny wzór na $\pi(x)$. Wspomnijmy tu, że szereg

$$\text{dzeta } (s) = \zeta(s) = 1 + \frac{1}{2^s} + \frac{1}{3^s} + \frac{1}{4^s} + \ldots$$

jest zbieżny dla $s > 1$, ale dość skomplikowaną techniką funkcji analitycznych można funkcję $\zeta(s)$ przedłużyć tak, by była określona dla dowolnego zespolonego $s = \sigma + it$.
Wspomniany wzór Riemanna jest taki

$$\pi(x) = R(x) - \sum_p R(x^p),$$

gdzie sumować należy po wszystkich zerach funkcji dzeta, tj. pierwiastkach równania $\zeta(s) = 0$. Co wiemy o tych pierwiastkach? Poza tzw. pierwiastkami trywialnymi: $-2, -4, -6, -8, \ldots$ wszystkie inne znane (81 milionów) leżą na prostej $\sigma = \frac{1}{2}$; innymi słowy: ich część rzeczywista wynosi $\frac{1}{2}$. Słynna **hipoteza Riemanna** powiada, że tak jest dla wszystkich pierwiastków.

Pozytywne rozwiązanie hipotezy Riemanna miałoby olbrzymie znaczenie dla lepszego poznania funkcji $\pi(x)$, pozwalając ją obliczać z niemal dowolną dokładnością. Nic więc dziwnego, że wielu uczonych nazywa ją najpoważniejszą hipotezą współczesnej teorii liczb.

Michał SZUREK

Co to jest dowód?

Co to znaczy *udowodnić twierdzenie matematyczne*? Logicy dawno już odpowiedzieli na to pytanie, podając definicję *dowodu formalnego* jako ciągu zdań kończącego się dowodzonym twierdzeniem i o tej własności, że następne zdanie ciągu powstaje z poprzedniego w myśl prostych, ustalonych reguł.
Początkiem ciągu muszą zaś być aksjomaty.
No tak, to wszystko pięknie, tylko że takich dowodów nikt nie pisze. Byłyby za długie, niezrozumiałe przez szczegółowość, a nade wszystko ... piekielnie nudne. Powstające w rzeczywistości dowody matematyczne to jakby szkice rozumowań, opisy, jak coś tam można udowodnić. Autorzy pomijają wiele kroków, pozostawiając je domyślności czytelników, co czasem prowadzi do złych skutków, gdy ci są mniej domyślni niż to zakładali twórcy dowodów. Na ogół jednak przyjmuje się za ,,dobry" dowód, który jest zrozumiały dla tzw. przeciętnie wykształconego specjalisty.
Przy takim, bardzo pragmatycznym podejściu do pojęcia dowodu budzi się od razu szereg wątpliwości. Czy np. rozumowanie spisane na 10 tysiącach stron druku można nazwać dowodem? Żaden człowiek nie byłby w stanie tego zrozumieć, zakładając nawet, że taki gigant zostałby wydrukowany. Podobne kontrowersje budzi dowód słynnego twierdzenia o czterech barwach. Większą część tekstu stanowi tam wydruk z komputera tak długi, że nikt nie jest w stanie sprawdzić poprawności obliczeń bez użycia ... innego komputera. A jeśli maszyna popełniła błąd? Poza tym dla kogo robimy dowody: dla ludzi, czy dla komputerów?
Wśród matematyków istnieje zwyczaj wyznaczania nagród za rozwiązanie szczególnie trudnych problemów. Stawia się wówczas na ogół pytanie: ,,czy jest tak a tak?" i wypłaca okrągłą sumę temu, kto odpowie na nie twierdząco lub przecząco i poda dowód. Słynnym fundatorem takich nagród i jednocześnie twórcą problemów jest węgierski matematyk Pál Erdös, a premie sięgają niekiedy trzech tysięcy dolarów. Zdarza się czasem, zwłaszcza przy pytaniach z teorii mnogości, topologii ogólnej czy teorii funkcji rzeczywistych, że jakiś niesforny matematyk wykręci się sianem i zamiast odpowiedzieć *tak* lub *nie*, udowodni, że dana hipoteza jest nierozstrzygalna, tzn. nie można jej ani udowodnić, ani obalić. Z formalnego punktu widzenia wszystko jest w porządku, problem zostaje zamknięty. W odczuciu jednak niektórych matematyków dowód niezależności hipotezy daje mniej informacji niż ,,zwykły" dowód jej lub jej zaprzeczenia. Czy autor takiego rozwiązania powinien zainkasować nagrodę w walucie wymienialnej? Zdania co do tego są podzielone, zwłaszcza że warunki konkursu nie bywają ustalane precyzyjnie. A co o tym sądzą Czytelnicy?

Andrzej PELC

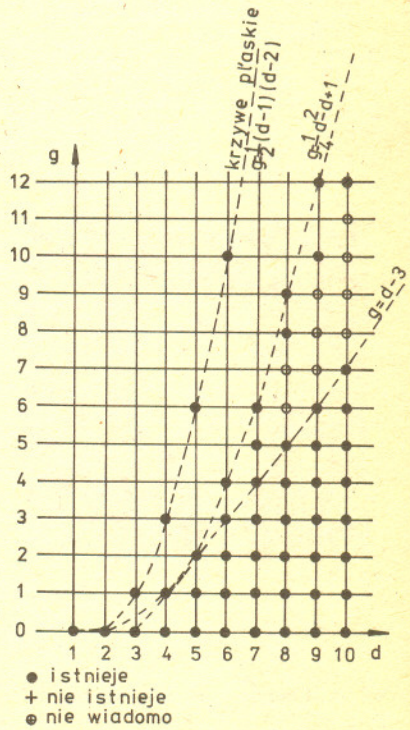
Stopień i rodzaj powierzchni

Chociaż równanie takie jak $x^5+19x^3y-4y^{23}-x+1=0$ wygląda na bardzo skomplikowane, z jednym faktem można się zgodzić od razu — opisuje ono pewną krzywą na płaszczyźnie. Ta krzywa jest *algebraiczna* — bo po lewej stronie równania stoi wielomian.
Powierzchnie algebraiczne można opisywać różnie, a jednym ze sposobów jest rozpatrywanie równań z niewiadomymi zespolonymi. Równanie takie jak $z_1^5+19z_1^3z_2-4z_2^{23}-z_1+1=0$ (gdzie rozwiązań z_1 i z_2 szukamy wśród liczb zespolonych) stanowi w gruncie rzeczy parę równań: część rzeczywista $=0$ oraz część urojona $=0$. W równaniach tych mamy ukryte cztery zmienne rzeczywiste: części rzeczywiste z_1 i z_2 oraz ich części urojone. A zatem równanie takie opisuje twór $4-2=2$-wymiarowy, tj. powierzchnię.
Powierzchnię opisaną przez przyrównanie do zera pewnego wielomianu zespolonego nazywamy powierzchnią algebraiczną w dwuwymiarowej przestrzeni zespolonej.
W trójwymiarowej przestrzeni zespolonej do opisania powierzchni potrzeba już dwóch zespolonych równań wielomianowych (= czterech rzeczywistych).
Powierzchnie możemy sobie jako-tako wyobrażać, a zagadnienie ich topologicznej klasyfikacji jest od dawna rozstrzygnięte.
Każda z interesujących nas tu powierzchni algebraicznych jest homeomorficzna ze sferą (powierzchnią kuli), do której
a) doklejono pewną liczbę rączek-uch
b) usunięto pewną liczbę izolowanych punktów
c) sklejono ze sobą kilka (-naście, -dziesiąt, -set ...) innych punktów.
Liczba owych ,,rączek" z punktu *a*) to *rodzaj* powierzchni (Delta 1/1981). Jest to jej niezmiennik topologiczny. Podstawowym zaś geometrycznym niezmiennikiem jest *stopień*. Dla powierzchni opisanej jednym równaniem zespolonym jest to po prostu stopień tego równania, ale można podać bardziej geometryczne określenie: to największa skończona liczba punktów, jakie uzyskujemy przecinając naszą powierzchnię płaszczyznami $az_1+bz_2=c$. Dla powierzchni algebraicznych położonych w trójwymiarowej przestrzeni zespolonej należy badać przecięcia z dwiema hiperpłaszczyznami itd.
Czy między tym geometrycznym niezmiennikiem, jakim jest stopień d, a topologicznym, jakim jest rodzaj g, jest jakiś związek? Owszem, dla powierzchni ,,bez dziobków" położonej w dwuwymiarowej przestrzeni zespolonej wiemy, że

$$g=\frac{1}{2}(d-1)(d-2) \text{ — liczba sklejeń, o których mowa w } c).$$

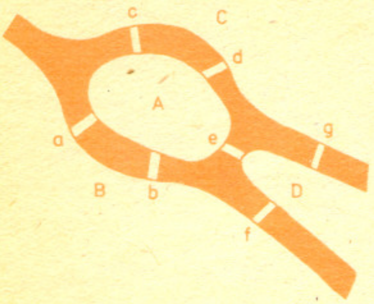
Natomiast dla powierzchni w trójwymiarowej przestrzeni zespolonej rzecz się od razu komplikuje i o związku między stopniem i rodzajem wiemy tyle co nic.
To dość irytujące, że nie umiemy do końca zbadać związku pomiędzy dwiema zupełnie podstawowymi liczbami przypisanymi każdej powierzchni algebraicznej.

Michał SZUREK



Powyższa tabelka zestawia, co wiemy o istnieniu gładkich powierzchni stopnia d i rodzaju g w trójwymiarowej zespolonej przestrzeni rzutowej P^3 dla $d \leq 10$ i $g \leq 12$

Mosty królewieckie: dwieście lat później



Rys. 1

„W Królewcu (w Prusach) jest wyspa zwana Kneiphof ...” — oto początek zdania z pracy Eulera „*Solutio problematis ad geometriam situs pertinetis*”, Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae 8 (1736), 128—140, w której formułuje on słynne zdanie o mostach królewieckich: czy można przejść po siedmiu mostach na Pregole (mapka obok), przechodząc po każdym moście jeden raz. Odpowiedź Eulera brzmiała: nie; bo jeśliby to było możliwe, to można by bez odrywania ołówka nakreślić figurę zamieszczoną na rys. 2 przechodząc po każdym odcinku tej figury jeden raz, tj. wykazać, że ta figura jest unikursalna; figura ta jest grafem, tj. sumą skończonej ilości odcinków łączących się końcami; punkty $A, \ldots, D$ symbolizują wyspy na Pregole, mostom odpowiadają odcinki $a, \ldots, g$. Euler dowiódł, że graf jest unikursalny wtedy i tylko wtedy, gdy nie ma w nim punktów rzędu nieparzystego, lub jeśli są na nim dwa takie punkty; graf mostów królewieckich ma ich trzy; znana dobrze już dzieciom koperta (rys. 3) ma dwa takie punkty.

Unikursalność figury można przeformułować równoważnie tak: istnieje odwzorowanie ciągłe odcinka $0 \leqslant t \leqslant 1$ na figurę, które jest nieprzywiedlne w tym znaczeniu, że po usunięciu z odcinka jakiegokolwiek przedziału otwartego, obraz pozostałości nie jest już całą figurą.

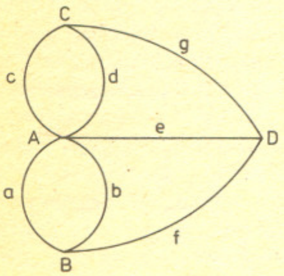
Kwadrat jest figurą unikursalną: pokazał to (być może nie zamierzając) Peano (1890); odwzorowanie ciągłe odcinka na kwadrat które zbudował (patrz np. Delta 7/1977), jest nieprzywiedlne: jeśli z odcinka usuniemy jakiś przedział, to usuniemy tym samym pewien odcinek któregoś z podziałów służących do opisu odwzorowania, a wtedy obraz pozostałości nie będzie zawierał odpowiadającego temu odcinkowi kwadratu z odpowiedniego podziału (rys. 4).

O. G. Harrold w pracy „*A note on a strongly irreducible image of an interval*”, Duke Mathematical Journal 6 (1940), 750—752, dowiódł, że jeśli w figurze będącej obrazem ciągłym odcinka zbiór punktów nie rozcinających jej lokalnie jest w niej gęsty, to ta figura jest unikursalna; potwierdza to m.in. unikursalność kwadratu.

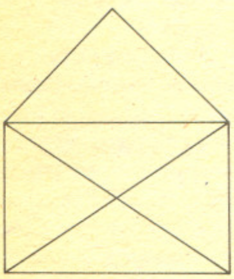
Krzywa trójkątowa Sierpińskiego (patrz np. Delta 6/1978) jest unikursalna; dendryt (z rys. 5), którego końce tworzą zbiór w nim gęsty, jest unikursalny (końce nie rozspajają dendrytu lokalnie). Figura z rys. 6 jest unikursalna, ale nie jest unikursalną figura z rys. 7.

Choć blisko dwieście pięćdziesiąt lat temu Euler scharakteryzował topologicznie unikursalność w zakresie grafów, to nie wiadomo dotąd (autor może powołać się tu na wzmiankę w pracy L. E. Warda, „*An irreducible Hahn-Mazurkiewicz theorem*”, Houston Journal of Mathematics 3 (1977), 291—299), które z figur będących obrazami ciągłymi odcinka (tj. figur dających narysować się bez odrywania ołówka) są unikursalne, a które nie, czyli nie znana jest dotychczas charakteryzacja topologiczna figur unikursalnych w tak ogólnym zakresie.

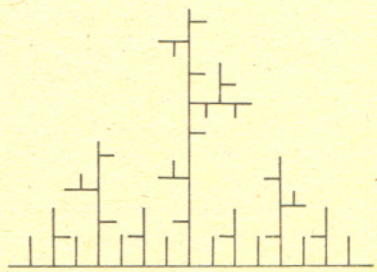
Jerzy MIODUSZEWSKI



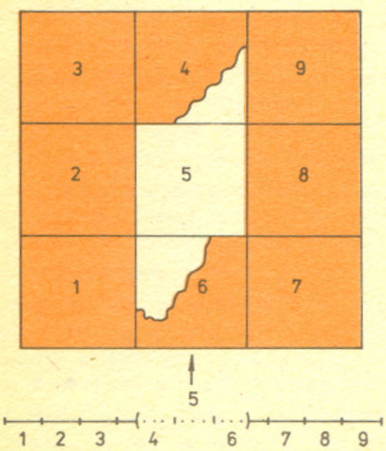
Rys. 2. Graf mostów królewieckich



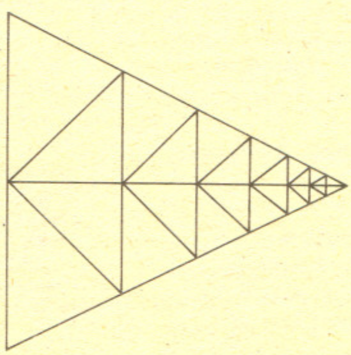
Rys. 3



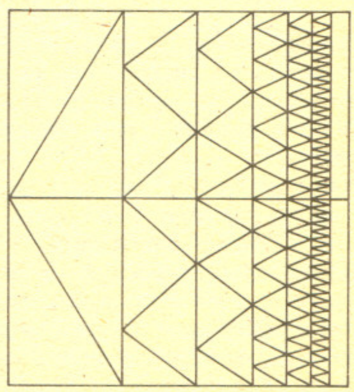
Rys. 5. Dendryt z gęstym w nim zbiorem końców.



Rys. 4. Nieprzywiedlność odwzorowania Peany

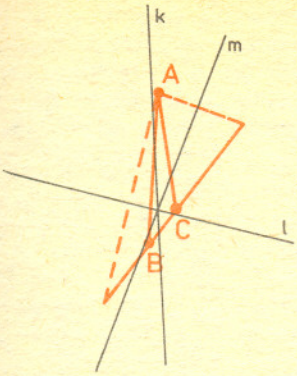


Rys. 6



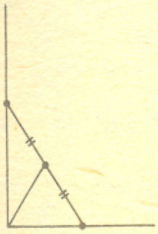
Rys. 7

Czy można prościej?



Jak znaleźć trójkąt, gdy dane są dwusieczne k, l, m jego kątów? Ano tak: weźmy dowolny punkt A jednej z nich (np. k) nie leżący na pozostałych i odbijmy go symetrycznie względem nich (tj. względem l i m). Połączmy otrzymane obrazy prostą n. Jej przecięcia B i C z l i m tworzą wraz z A żądany trójkąt. Inne rozwiązania są jednokładne do otrzymanego — względem punktu przecięcia k, l i m. Spróbujcie teraz rozwiązać to zadanie analitycznie, mając dane równania prostych k, l i m.

Bywa i odwrotnie. Np. gdy poszukujemy krzywej utworzonej przez punkty, w których może się znaleźć środek odcinka, którego końce ślizgają się po ramionach kąta prostego. Biorąc ten kąt za osie układu współrzędnych stwierdzamy, że ma on końce $(x, 0)$ i $(0, y)$, przy czym $x^2+y^2 = a$, gdzie a jest długością odcinka. Środek zaś, to punkt $\left(\frac{x}{2}, \frac{y}{2}\right)$, a więc spełnia równanie $x^2+y^2 = \frac{a^2}{4}$, czyli okręgu. Spróbujcie teraz bez rachunków. Choć właściwie, gdy spojrzeć na rysunek ...



Spróbujmy jednak wykazać, że

Jeżeli w dowolnym sześciokącie ABCDEF połączymy środki (ciężkości) kolejnych trójkątów ABC, BCD, CDE, DEF, EFA, FAB, to w otrzymanym sześciokącie przeciwległe boki będą równoległe.

Jeśli przypomnimy sobie, że współrzędne środka ciężkości układu punktów są średnimi arytmetycznymi współrzędnych punktów, to dowód będzie prosty. Jak to zrobić, nie posługując się geometrią analityczną?

Wybór drogi często przesądza, czy zagadnienie staje się łatwe czy trudne. Sprawa „czystości metod" pojawia się w wielu działach matematyki, szczególnie tych związanych z geometrią. Geometrzy uważają się bowiem za niezależnych i samorządnych i nie bardzo lubią, gdy ktoś z zewnątrz proponuje im własne rozwiązanie.

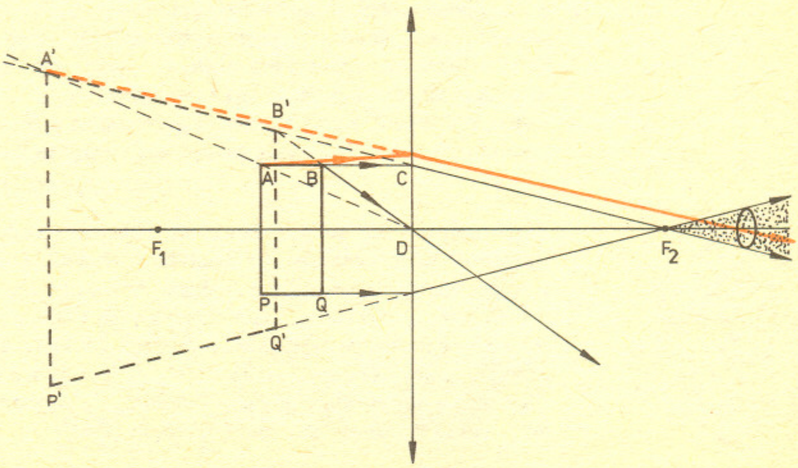
Trochę hałasu wywołało ostatnio rozwiązanie tzw. **problemu Hartshorne'a** z geometrii algebraicznej. Nie wdając się w szczegóły powiemy tylko, że treścią tej hipotezy było przypuszczenie, że pewna własność pól stycznych przysługuje wyłącznie przestrzeniom rzutowym (oto bardziej dokładne sformułowanie: pewna potęga wiązki stycznej wyznacza wszędzie określone odwzorowanie algebraiczne). Kilku bardzo szczególnych przypadków tej hipotezy dowodzono (nie zawsze poprawnie) wielkim nakładem sił i środków oraz metodami, na które prawdziwi geometrzy algebraiczni nieco się krzywią i przyjmują jako zło konieczne: a to teoria potencjału, a to całki po konturach, a to tensory krzywizny ... Wreszcie młody Japończyk Shigefumi Mori zdenerwował się i machnął (1980) dowód wymagający tylko znajomości podstawowych pojęć i faktów geometrii algebraicznej. Stało się jasne, że w poprzednich dowodach większość energii szła na obsługę adaptacji stosowanych metod do w miarę prostej sytuacji. Celowanie armatą we wróbla jest bowiem trudne — choć efekty ewentualnego trafienia bezsprzecznie efektowne!

Michał SZUREK

Rozwiązanie zadania F 93. Przy typowym dla lupy położeniu przedmiotu, obrazem jest w danym przypadku stożek ścięty. Rysunek pokazuje przekrój nakrętki *ABQP* i jego obraz *A' B' Q' P'*. Do konstrukcji obrazu odcinka *AB* użyto rzeczywiście promieni: $ABCF_2$ i *BO* oraz promienia pomocniczego *AO*. Obraz podstawy walca *BQ* „rysują" promienie padające na całą powierzchnię soczewki, odcinek *AB* (bez punktu *B*) tylko te, które trafiają na soczewkę powyżej punktu *C*. Z symetrii wynika, iż całą powierzchnię boczną walca można zobaczyć, gdy oko znajdzie się w obrębie stożka, któremu na rysunku odpowiada zakropkowany obszar. Pokazano dodatkowo (kolorem) rzeczywisty bieg jednego z promieni opuszczających punkt *A*. Z powyższego wynikają poszukiwane warunki:

a) Soczewka powinna mieć większą średnicę niż nakrętka.

b) Oko należy umieścić w odległości większej niż wynosi ogniskowa soczewki. W rozważaniach pomijaliśmy wymiary źrenicy. Wskutek jej skończonych rozmiarów odległość może być nieco mniejsza niż wynika to z warunku *b*), lecz następuje wtedy strata ostrości widzenia.



Pierścień (niekoniecznie przemienny) to taki układ składający się ze zbioru A i dwóch działań $+$ i $\cdot$ w nim określonych, że spełnione są dla dowolnych elementów a, b, c z A warunki

1) $a+b = b+a$
2.) $(a+b)+c = a+(b+c)$
3.) istnieje d takie, że $a+d = b$
4.) $a\cdot(b\cdot c) = (a\cdot b)\cdot c$
5.) $a\cdot(b+c) = a\cdot b+a\cdot c$
6.) $(b+c)\cdot a = b\cdot a+c\cdot a$

Dowód czy nie dowód?

W jednej z olimpiad matematycznych znalazło się takie **zadanie**:
Wykazać, że dla każdego czworościanu istnieje taka jego ściana, że rzut środka ciężkości czworościanu na zawierającą ją płaszczyznę należy do tej ściany.
Jeden z uczestników zawodów zaproponował następujące rozwiązanie.
Przypuśćmy, że rzuty środka ciężkości na każdą z czterech płaszczyzn podstaw padają na zewnątrz tych podstaw. Wtedy dowolnie postawiony czworościan przewróciłby się, ale z tych samych powodów nie ustałby i w nowym położeniu itd.
Otrzymalibyśmy perpetuum mobile. Jak wiadomo, jest to niemożliwe, co dowodzi naszego twierdzenia.
Komitet Główny Olimpiady stanął przed poważnym dylematem: uznać to za dowód, czy nie? No, bo do tego, że fizycy do dowodów swoich twierdzeń stosują matematykę wszyscy już się przyzwyczaili. Ale żeby odwrotnie?
Fe!
Nie powiemy, jaka była decyzja Komitetu w tej sprawie.

Problem Köthe

W ubiegłym roku obchodził jubileusz pięćdziesięciolecia tzw. *problem Köthe* z algebry nieprzemiennej. W tej dyscyplinie matematycznej badamy pierścienie, tj. systemy algebraiczne, w których elementy można ,,dodawać" i ,,mnożyć", przy czym działanie przyjęte za mnożenie ma być łączne i rozdzielne względem dodawania. Nie musi być za to przemienne. Tak ogólne ,,mnożenie" może mieć z pozoru dziwne własności. Jeżeli na przykład wielomiany będziemy dodawać w zwyczajny sposób, a mnożyć tak

$$(a_nx^n+a_{n-1}x^{n-1}+\ldots+a_0)\cdot(b_mx^m+b_{m-1}x^{m-1}+\ldots+b_0) = (a_1b_0+a_0b_1)x+a_0b_0,$$

to od razu obliczymy, że $x^2 = 0$, choć sam wielomian x nie jest zerowy. Elementy, których pewna potęga jest zerem, nazywają się nilpotentnymi. Występują one często w pierścieniach skończonych, na przykład ,,modulo 12" mamy $6^2 = 12$ czyli 0.
Jednym z podstawowych i najbardziej naturalnych pierścieni w algebrze jest pierścień macierzy (wystarczy nam rozpatrywać macierze 2×2). Macierze mnoży się tak

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e & f \\ g & h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ae+bg & af+bh \\ ce+dg & cf+dh \end{bmatrix}$$

Problem Köthe sprowadza się do następującego niewinnie wyglądającego pytania:
Przypuśćmy, że każdy element pierścienia A jest nilpotentny. Czy pierścień macierzy 2×2 *o elementach z A też ma tę własność*?
Z pozoru nic trudnego. Co najwyżej będą długie i nieprzyjemne rachunki … . Proszę jednak, oto wzór na czwartą potęgę macierzy.

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}^4 = \begin{bmatrix} a^4+bca^2+abda+bd^2a+a^2bc+bcbc+abdc+bd^2c, & a^3b+bcab+abdb+bd^2b+a^2bd+bcbd+abd^2+bd^3 \\ ca^3+ada^2+cbca+d^2ca+cadc+dcbc+cbdc+d^3c, & ca^2b+cdab+cbcb+d^2cb+cad^2+dcbd+cbd^2+d^4 \end{bmatrix}$$

a dalej? Brr …
Trudno może uwierzyć, że tak nieciekawie wyglądające zagadnienie może spędzać sen z oczu wybitnym matematykom. Jego rola w algebrze jednak przypomina dość dobrze rolę, jaką hipoteza Poincarégo gra w topologii — leży jak głaz na środku szerokiej drogi prowadzącej do pełniejszej klasyfikacji algebr nieprzemiennych. Jedno ze sformułowań (w rzeczywistości: nieznaczne uogólnienie) problemu Köthe jest dosłownym przetłumaczeniem na język algebry nieprzemiennej tzw. twierdzenia Hilberta o zerach — zupełnie podstawowego twierdzenia geometrii algebraicznej.
W 1971 Jan Krempa wykazał, że spora liczba dobrze znanych zagadnień algebry nieprzemiennej jest bądź równoważna problemowi Köthe, bądź bardzo ściśle z nim związana. Ubiegły rok (praca radzieckich matematyków Markowa i Bejdara nie jest jeszcze opublikowana) przyniósł prawie kompletne rozwiązanie powyżej wzmiankowanego drobnego uogólnienia hipotezy Köthe. Dla algebr nad ciałem nieprzeliczalnym odpowiedź jest pozytywna, nad skończonym bądź przeliczalnym — negatywna. Aby uporać się z hipotezą Köthe, wystarczy ją więc ,,przerachować" dla pierścieni macierzy o współczynnikach z ciał o przeliczalnej lub skończonej liczbie elementów. Ale to wygląda na tak samo trudne, jak ogólny przypadek.

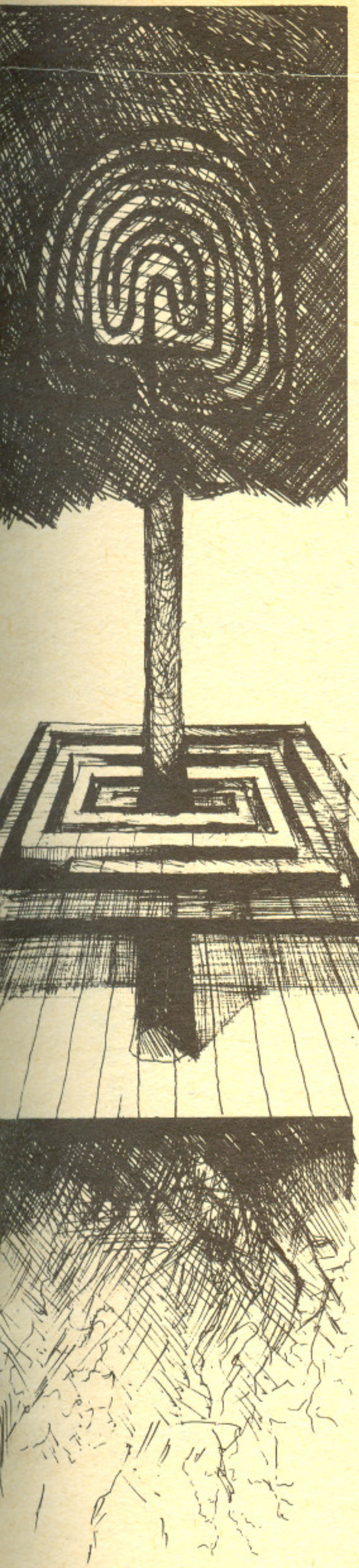
Hipoteza Poincaré

Klasyfikacja wszystkich powierzchni zwartych jest dobrze znana topologom (w Delcie pisał o tym J. Olędzki w nr 1/1981). Każda taka powierzchnia jest homeomorficzna ze sferą, z której wycięto pewną liczbę otworów, które następnie połączono rączkami-uszkami. Ich liczba jest rodzajem powierzchni. Prócz tego jeden otworek mógł zostać zaklejony wstęgą Möbiusa — i wtedy powierzchnia była nieorientowalna.
Nie jest znana pełna klasyfikacja rozmaitości trójwymiarowych (rozmaitość to przestrzeń lokalnie homeomorficzna z przestrzenią euklidesową). Jedną z przeszkód tej niewiedzy jest nieznajomość, czy prawdziwą jest następująca
Hipoteza Poincaré. Każda zamknięta jednospójna rozmaitość trójwymiarowa jest homeomorficzna z ,,trójwymiarową powierzchnią" kuli czterowymiarowej

$$x_1^2+x_2^2+x_3^2+x_4^2 = 1.$$

W pierwotnej wersji hipotezy Poincarému chodziło o odpowiedź na pytanie, czy zamknięta rozmaitość wielościenna mająca identyczne własności homologiczne co S^3 jest z S^3 topologicznie równoważna. Sam jednak szybko zorientował się, że odpowiedź na tak postawione pytanie jest negatywna. W latach trzydziestych Whitehead pokazał, że w hipotezie Poincarégo sfery S^3 nie można zastąpić przez przestrzeń euklidesową E^3 — skonstruował mianowicie otwarty, spójny i ściągalny podzbiór $W \subset E^3$, który nie jest topologicznie równoważny z E^3.
Ciekawe, że odpowiednik hipotezy Poincarégo dla wymiarów $\geqslant 5$ ma odpowiedź pozytywną. Wykazali to Smale (w 1961 roku) i Zeeman (1962).

Sławomir NOWAK



Czego nie wiedzieliśmy

W sierpniu 1900 r. w Paryżu zebrał się II Międzynarodowy Kongres Matematyków. Było tam 226 uczestników, a kogóż tam nie było! Dziś oglądając listę dziwimy się, że można było w jednym miejscu zgromadzić tylu ,,klasyków".

Na Kongresie wygłoszono równo 50 wykładów. Jeden z nich — Dawida Hilberta ,,*Problemy matematyczne*" — w dalszej historii matematyki odegrał chyba największą rolę. Hilbert — niekwestionowany dziś lider matematyki początku XX wieku, spróbował odpowiedzieć na pytanie, jakie konkretne zadania należałoby rozwiązać, aby usunąć tamy na drodze rozwoju matematyki, ówczesnej matematyki. Wymienił je w 23 punktach. Pierwszy z nich to omówiona w tym numerze hipoteza continuum. Dalej: niesprzeczność arytmetyki (+), elementarny dowód, że czworościany o równych polach podstawy i równych wysokościach mają równą objętość (o dziwo, nie da się bez całkowania!), metryzacje płaszczyzny zgodne z jej strukturą liniową (wszystkie znalazł Hamel już w r. 1905), problem dotyczący grup Lie (rozwiązany za pomocą równania Cauchy'ego — patrz Delta 1/1977), aksjomatyzacja rachunku prawdopodobieństwa i mechaniki (+ i −, choć niektórzy wierzą, że + i +), metoda sprawdzania niewymierności i niealgebraiczności liczb (−, choć dla liczb postaci α^{β}+), hipoteza Riemanna (znów opisana w tym numerze), pytanie o możliwe położenia względem siebie oddzielnych gałęzi płaskiej krzywej algebraicznej ustalonego stopnia (−) i tak dalej. Trafiają się tam mocno zawiłe pytania dotyczące rachunku wariacyjnego i zupełnie elementarne, jak problem parkietaży przestrzennych (jakimi przystającymi wielościanami można wypełnić przestrzeń — np. sześcianami, no a jakimi jeszcze?).

Hilbert jako uzasadnienie swojego wystąpienia podał chęć zapobieżenia podziałowi matematyki na poszczególne, odseparowane dyscypliny. Sądził — jak się okazało — słusznie, że nie sposób przewidzieć, jakim narzędziem uda się otworzyć te czy inne niedostępne drzwi. Że miał rację, może przekonać choćby fakt, iż rachunek prawdopodobieństwa umieszczany za czasów Hilberta w fizyce (!) został zaksjomatyzowany i rozwinięty w ramach teorii miary (Kołmogorow Ale specjalizacji nie zdołał zapobiec. I z tego powodu nie mieliśmy kogo poprosić o zestawienie analogicznej listy w 80 lat później.

Zadania

Redaguje mgr Krzysztof S. NOWIŃSKI

M256. K półprostych o wspólnym początku wyznacza $K(K-1) = K^2-K$ różnych kątów. Możemy próbować dobrać te półproste w ten sposób, by miary utworzonych kątów były równe

$$\frac{2\pi}{K^2-K+1},\quad 2\cdot\frac{2\pi}{K^2-K+1},\ \ldots,\ (K^2-K)\frac{2\pi}{K^2-K+1}$$

uzyskując w ten sposób ,,najoszczędniejszy kątomierz".
Czy można to uczynić dla $K = 3$?
Rozwiązanie na str. 16

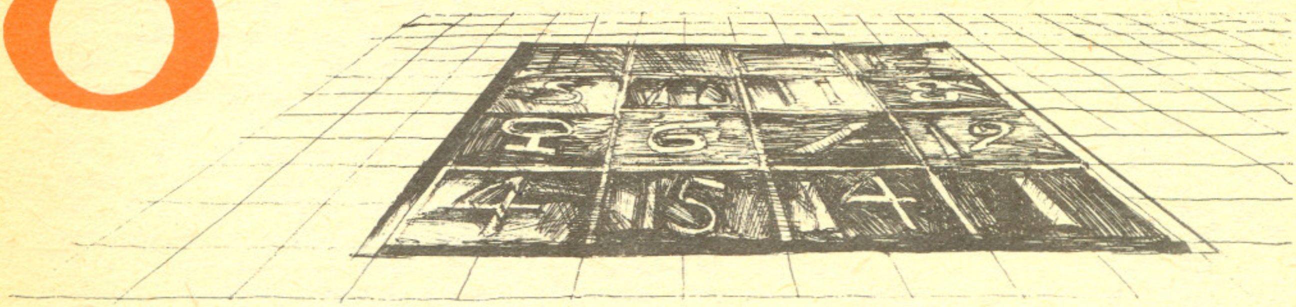
M257. A dla $K = 4$?
Rozwiązanie na str. 16

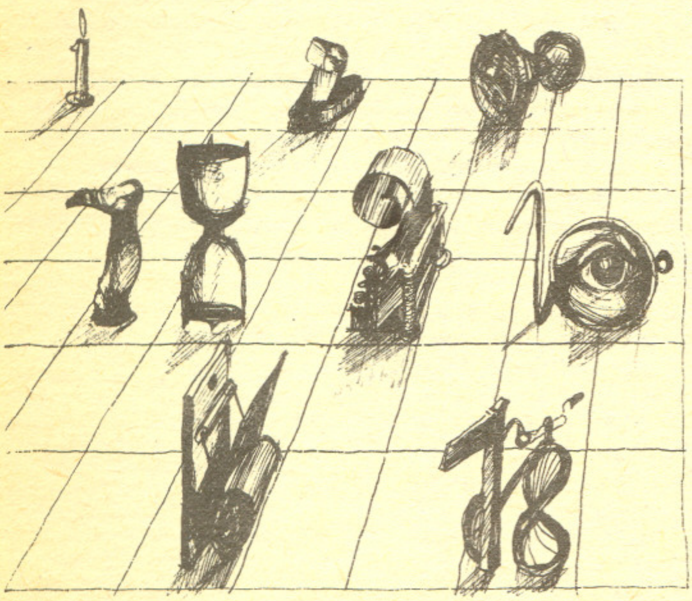
M258. A dla dowolnego K?
Rozwiązanie na str. 15

Redaguje mgr Tomasz TRATKIEWICZ

F 92. Czy zwierciadło płaskie może dać obrazy rzeczywiste?
Rozwiązanie na str. 13

F 93. Pod lupą oglądana jest walcowa nakrętka od tubki z kremem. Główna oś optyczna soczewki pokrywa się z osią walca. Jakie warunki muszą być spełnione, by patrząc wzdłuż osi widziało się całą powierzchnię boczną nakrętki?
Rozwiązanie na str. 5





Jak się odkrywa nowe twierdzenie matematyczne?

— Jak się odkrywa nowe twierdzenia matematyczne? — zapytał Adaś.
— No, różnie — odpowiedziałem, ale Adasia nie łatwo było zbyć byle czym.
— Na przykład jak? A czy dużo trzeba myśleć, żeby coś odkryć?
— Tak, tak, oczywiście — odpowiedziałem, rozmyślając jednocześnie, jak nakłonić go do odrobienia lekcji.
— Ale skąd wiadomo, o czym myśleć i co z tego wyniknie?
— A właśnie. W tym cała rzecz, żeby to wiedzieć. Często po nauczeniu się czegoś widzimy, że umiemy to zrobić lepiej, ogólniej, czy coś takiego. W każdym razie trzeba się dużo przedtem uczyć (próbowałem wpływać wychowawczo na niego). Albo...
— Albo co... — Adaś żywo zainteresował się inną możliwością.
— No, patrzymy na figurę lub regułę arytmetyczną i próbujemy zauważyć jej ciekawe własności. Próbujemy na chybił-trafił i bywa, że w końcu trafiamy. Tym łatwiej trafić, im więcej wiemy na dany temat — nie rezygnowałem ze swych zadań wychowawczych.
I trzeba mieć dużo wiary w siebie.
— Rozumiem — powiedział z przekonaniem Adaś — Będę matematykiem. I zanim zdążyłem coś powiedzieć, pobiegł do swojego pokoju, przyniósł zeszyt, ołówek, gumkę, siadł przy stole i zaczął głośno myśleć:
— Najlepszy jestem z arytmetyki (δ nr 9/1978). Wprawdzie nie umiem mnożyć dużych liczb tak, jak każe pani w szkole, ale mam swój sposób (δ nr 4/1978, rysunek obok). Jak by go uogólnić? No, chyba oczywiste. Będę mnożył i dzielił nie przez 2, a przez 3. Obliczę, ile to jest 39 razy 35. Mnożę 39 przez 3, mam 117. Dzielę 35 przez 3, mam 12.
— Nie 12, a trochę mniej, $11\frac{2}{3}$.
— Ile razy mam ci tłumaczyć, że nie wiem, co to znaczy $\frac{2}{3}$! Ale niech ci będzie, napiszę przy tym **m**, co znaczy że, liczba 35 jest trochę za mała. Zadowolony?
— Przemądrzały szczeniak — pomyślałem sobie, ale nic nie powiedziałem, bo to niepedagogicznie.
— Jedziemy dalej — mówił Adaś. — 117 mnożone przez 3 daje 351, 12 dzielone przez 3 daje 4, tym razem już się nie przyczepisz. Dalej, 351 razy 3 to (gdzie mój kalkulator?) 1053, a 4 dzielone przez 3 to 1.
— Trochę więcej niż 1, mianowicie $1\frac{1}{3}$ — zareagowałem.

	39	razy	35	
razy 2	↓		↓	podzielić przez 2
	78		17	
	~~156~~		~~8~~	parzyste się nie liczą
	~~312~~		~~4~~	
	~~624~~		~~2~~	
	1248		1	
suma	1365			

39	razy	35	m
razy 3 ↓		↓ podzielić przez 3	
~~117~~		~~12~~	podzielne przez 3
razy 3 ↓		↓ podzielić przez 3	
351		4	d
razy 3 ↓		↓ podzielić przez 3	
1053		1	d

suma z odpowiednimi znakami:
-39 + 351 + 1053 = 1365

421	×	211	d
1263	×	70	d
3789	×	23	m
11367	×	8	m
34101	×	3	nie liczy się
102303	×	1	d
		0	

wynik 421 + 1263 - 3789 - 11367 + 102303 =
= 88831 = 421×211

— Dobrze, dobrze, baw się tymi swoimi, jak je tam, ułamkami. A ja i tak dostanę dobry wynik. Napiszę z boku **d**, co znaczy, że jest za duża. Dobrze? Co teraz? Tam, gdzie stoją liczby podzielne przez 3, pewnie nie liczy się, podobnie jak przy tamtym moim mnożeniu. Co dalej, co dalej... — tracił wątek.

— Co to znaczyło **d** i **m**? — zapytałem. — Dodać i minus?

— Nie, nie, to znaczyło... Coś ty powiedział? Dodać i minus? Dodać i minus? Mam, mam, hureka!

— Albo „hura", albo „eureka" — sprostowałem, ale Adaś nie słyszał.

— Skoro **m** to minus, a **d** to dodać, to trzeba pierwsze wziąć z minusem a drugie z plusem, słyszałem, to jest suma ambarasująca...

— Alternująca, a poza tym, suma alternująca to taka, w której składniki występują...

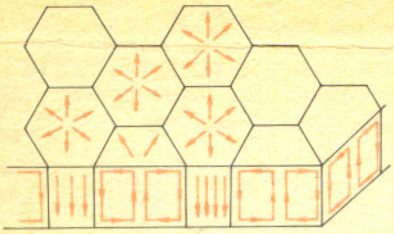
— Ambarasująca, czy almamaterująca, wszystko jedno, trzeba to dodać. Pomógłbyś, $-39+351+1053$ daje 1365. Mam wynik. Mam swój sposób mnożenia. Nie będę się uczył tak, jak każą w szkole.
Trzeba zerwać z nużącą sztampą tradycyjnych metod!

— Coś ty powiedział? — zapytałem, ale w gruncie rzeczy spodobało mi się odkrycie Adasia. Co będzie, kiedy nauczy się mnożyć przez inne liczby jednocyfrowe?

Często w upalny letni dzień ponad rozgrzaną powierzchnią asfaltowej drogi zaobserwować można drżenie powietrza zmniejszające jego przezroczystość i deformujące obraz odległych przedmiotów. Przyczyną tego zjawiska jest różnica temperatur między warstwą gazu stykającą się z rozgrzaną powierzchnią drogi i chłodniejszymi warstwami powyżej. Wszyscy na pewno pamiętacie, że ogrzewany gaz rozszerza się i jego gęstość maleje. Przy powierzchni drogi powietrze będzie najlżejsze, a wyżej coraz cięższe. Ale czy to wystarczy do wywołania jego ruchu?

Oczywiście nie! Wyobraźcie sobie mały „kawałek" powietrza ponad drogą, niech to będzie na przykład mały sześcianik. Dopóki gaz otaczający jego pionowe „ściany" ma taką samą temperaturę (a więc i gęstość) jak gaz wewnątrz, siła wyporu równoważy ciężar „kawałka". Jeśli jednak niewielkie zaburzenie, wywołane na przykład podmuchem wiatru, czy nawet takie zupełnie małe spowodowane chaotycznym ruchem cząsteczek przeniesie nasz „kawałek" wyżej, gdzie gęstość jest większa, równowaga zostanie zachwiana. Siła wyporu będzie teraz większa niż ciężar „kawałka" i zacznie się on unosić, podobnie jak balon wypełniony gorącym powietrzem. Wystarczy więc mała różnica temperatur i niewielkie zaburzenie aby rozpoczął się ruch. W rzeczywistości „kawałek" powietrza to nie taki zwykły kawałek, bo ciągle wymienia czasteczki z otoczeniem.

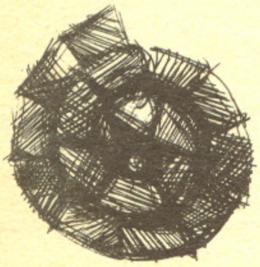
Ciepły „kawałek" w zimnym otoczeniu wymienia cząsteczki szybsze na wolniejsze; temperatury wyrównują się. Jeśli nastąpi to, zanim na dobre rozpocznie się ruch, powietrze pozostanie nieruchome.
Wyżej położone warstwy będą coraz cieplejsze tylko dzięki wymianie cząsteczek. Wyobraźmy sobie teraz, że ciepły „kawałek" przezwyciężył tę trudność i zaczął się unosić. Wszystkie jego cząsteczki poza tym, że poruszają się chaotycznie (jak w spoczywającym gazie) przesuwają się teraz wspólnie do góry.



Wymiana cząsteczek z otoczeniem zmniejsza prędkość tego wspólnego ruchu. Zjawisko to nazywamy lepkością. Podobnie jak wyrównywanie się temperatur przeszkadza ono unoszeniu się powietrza.
Domyślacie się teraz, że „wrzenie" może zacząć się dopiero przy odpowiednio dużej różnicy temperatur.
Unoszący się gaz ulega ochłodzeniu (to już wiecie) i może zacząć „tonąć" jeśli znajdzie się ponad ogrzanym, rzadkim powietrzem. A niżej jest już dla niego miejsce opuszczone przez unoszący się ciepły gaz. W ten sposób cykl się zamyka. Powstają pionowe wiry (rysunek).

A teraz proponuję Wam doświadczenie. Musicie zdobyć płaską, czystą puszkę po konserwach, trochę gliceryny i bardzo drobne opiłki aluminiowe. Żelazko do prasowania przymocujcie do stołu „do góry nogami". Na płaskiej powierzchni postawcie puszkę z kilkumilimetrową warstwą gliceryny wymieszanej z opiłkami. Jeśli nie macie opiłków (obserwacje będą wtedy znacznie trudniejsze) musicie zaczernić glicerynę tuszem i powierzchnię oświetlić silnym bocznym światłem.
Po pewnym czasie (zależnym od temperatury żelazka) pojawiają się wzdłuż brzegu puszki pionowe wiry, które powoli będą się dzielić na wielokątne komórki. Kiedy wszystko się uspokoi, powierzchnia cieczy pocięta będzie na prawie foremne sześciokąty. W środku każdego z nich wypływa ciepła ciecz a na brzegach, po ochłodzeniu — tonie. Efekt ten można też nieraz zaobserwować na powierzchni stygnącej czarnej kawy. Jak wyjaśnić to zjawisko?
Co w tym dziwnego, odpowiecie, że podgrzana ciecz zachowuje się podobnie jak powietrze nad gorącą drogą? Ruch, jak poprzednio, spowodowany jest działaniem siły wyporu.

Tak też wszyscy myśleli przez prawie sześćdziesiąt lat od pierwszej obserwacji tego zjawiska. Dopiero w 1958 roku angielski fizyk A. Pearson zaniepokojony różnicą między wynikami obliczeń i doświadczeniem zwrócił uwagę na inną siłę, która może wywołać podobny ruch cieczy. To siła napięcia powierzchniowego. Okazało się wkrótce, że jest ona dużo ważniejsza od siły wyporu. Najprostsze doświadczenie dowodzące, że tak jest w istocie, polega na podgrzewaniu cieczy od góry. Mimo że teraz ciężar cieczy w dolnych warstwach jest większy niż przy powierzchni, tworzą się podobne komórki jak poprzednio. Doświadczenia przeprowadzone w stanie nieważkości potwierdzają ten zaskakujący wynik.
Do tego, by rozpoczął się ruch cieczy pod wpływem sił napięcia powierzchniowego, potrzebne jest zaburzenie, w wyniku którego niewielki obszar powierzchni zostanie podgrzany. Na każdą cząsteczkę na brzegu tego obszaru będzie działała wtedy pozioma siła skierowana na zewnątrz. Jest ona wypadkową sił działających ze strony cząsteczek cieczy z najbliższego sąsiedztwa; wypadkowa jest skierowana na zewnątrz, bo w obszarze o niższej temperaturze cząsteczki ułożone są gęściej. Pod wpływem tej siły warstwa powierzchniowa zacznie się przesuwać i dzięki lepkości pociągnie za sobą ciecz pod powierzchnią. Na miejsce opuszczone przez odpływającą ciecz napłynie nowa z ciepłych warstw położonych niżej. Natomiast odpływająca ciecz oziębi się i zacznie wypełniać miejsce tej, która unosi się do góry.



Jeśli chcecie się przekonać o tym, że siły napięcia powierzchniowego mogą powodować ruch cieczy, spróbujcie wykonać następujące doświadczenie. Blaszkę z cienką warstwą gliceryny na powierzchni podgrzejcie od spodu na małym obszarze (najlepsza do tego celu jest lutownica). Po chwili ciecz nad ogrzewanym miejscem rozsunie się na boki i pojawi się suche kółko. Czy potraficie wyjaśnić— to zjawisko? Jak się przekonać, że nie jest ono wywołane po prostu parowaniem? Nowe wyjaśnienie ruchu cieczy pozwala też znaleźć przyczynę sześciokątnego podziału powierzchni. Jest nią dążenie do zmniejszenia obszaru o niskiej temperaturze czyli dużym napięciu powierzchniowym (maleje wtedy energia). A, jak wiecie, przy sześciokątnym podziale długość granic (gdzie chłodna ciecz tonie) jest najmniejsza.

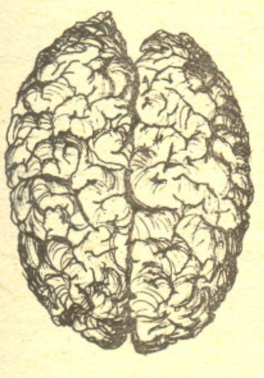
Zaobserwowane przez Was komórki mogą w przyrodzie osiągać znacznie większe rozmiary. Od kilku kilometrów w atmosferze Ziemi, do kilkuset kilometrów na Słońcu. W pierwszym przypadku można je znaleźć na zdjęciach satelitarnych chmur, a w drugim są to granule, które z pewnością widzieliście na zdjęciach powierzchni Słońca.

Małą Deltę przygotowali: Maciej JĘDRZEJCZAK i Michał SZUREK.

Czego nie wiemy o neutrinach? (I)

Nadzieje i utrapienia astronomii neutrinowej

Neutrina reliktowe są (podobnie jak zarejestrowane przed 15 laty reliktowe promieniowanie elektromagnetyczne) pozostałością po wczesnych etapach ekspansji Wszechświata, gdy stanowił on gęstą i gorącą mieszaninę materii i promieniowania.



Teoria wybuchów gwiazd supernowych jest w chwili obecnej daleka od doskonałości, wiemy jednak prawie na pewno, że takim wybuchem kończą swoje istnienie gwiazdy o masach rzędu 10 mas Słońca, które wypaliły cały zapas energii jądrowej, tworząc żelazne jądro. Z punktu widzenia możliwości uzyskiwania energii na drodze syntezy termojądrowej jądro takie stanowi ,,kupę żużlu", bowiem żelazo jest pierwiastkiem o maksymalnej energii wiązania, przypadającej na jeden nukleon. Ciśnienie w centralnych częściach takiej gwiazdy nie może już zrównoważyć sił grawitacji. Jądro gwiazdy ulega gwałtownemu procesowi kurczenia, w którym cała zmagazynowana w nim energia grawitacyjna zostaje uwolniona w postaci potężnego strumienia neutrin. Jednocześnie dochodzi do rozbłysku optycznego i odrzucenia w przestrzeń zewnętrznych warstw gwiazdy.

Neutrino jest elektrycznie obojętną cząstką elementarną, która nie odczuwa ani oddziaływań silnych (które utrzymują protony i neutrony wewnątrz jądra atomowego), ani elektromagnetycznych (które utrzymują elektron wewnątrz atomu). Neutrina reagują jedynie na siły grawitacyjne oraz na tzw. oddziaływania słabe, które wywołują procesy takie, jak rozpad neutronu

(1) $$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$

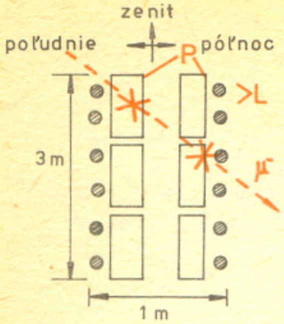
lub reakcja, zamieniająca protony na neutrony

(2) $$p \rightarrow n + \nu_e + e^+,$$

gdzie ν_e i $\bar{\nu}_e$ oznaczają odpowiednio neutrino i antyneutrino elektronowe. Prócz $\bar{\nu}_e$ i ν_e, które we wszystkich reakcjach występują wspólnie z elektronami e^- i pozytonami e^+, istnieją jeszcze neutrina mionowe ν_μ i $\bar{\nu}_\mu$, związane z mionami μ^+ i μ^-. Prawdopodobnie istnieją również neutrina ν_τ i $\bar{\nu}_\tau$ związane z tzw. ciężkim leptonem τ^+ i jego antycząstką τ^-. Siły rządzące oddziaływaniem neutrin z materią są najsłabsze spośród wszystkich poznanych dotąd rodzajów oddziaływań występujących w przyrodzie.

Zdaniem kosmologów cały Wszechświat wypełniony jest neutrinami reliktowymi i w każdym centymetrze sześciennym jest ich średnio 450. Oddziaływanie neutrin z materią jest jednak tak słabe, że możemy wraz z naszą planetą poruszać się w gęstym strumieniu neutrin reliktowych, zupełnie tego nie zauważając. Jednak wpływ oddziaływań słabych na bieg wypadków we Wszechświecie wcale nie jest ,,słaby". Gdyby oddziaływania te wyłączyły się nagle, zgasłoby Słońce i inne gwiazdy. Energia w gwiazdach produkowana jest dzięki reakcjom jądrowym, w których wodór spalany jest na hel. Jądro helu składa się z dwóch neutronów i dwóch protonów, więc aby reakcja ta mogła zajść, trzeba, aby połowa protonów (jąder atomów wodoru) przekształciła się w neutrony, co można osiągnąć tylko dzięki procesom takim, jak reakcja (2). Wskutek silnego oddziaływania promieniowania ze zjonizowaną materią średnia droga swobodna fotonów (tj. średnia długość drogi, po przebyciu której foton zostanie rozproszony lub pochłonięty) jest rzędu kilku centymetrów, co stanowi 10^{-10} promienia typowej gwiazdy. Dzięki temu fotony powstające we wnętrzach gwiazd nie mają żadnych szans na wydostanie się na zewnątrz. Całe promieniowanie docierające do nas ze Słońca pochodzi z zewnętrznych warstw jego atmosfery. Zupełnie inaczej zachowują się neutrina, wyprodukowane w jego wnętrzu w wyniku reakcji termojądrowej. Średnia droga swobodna takich cząstek w zjonizowanym wodorze o gęstości odpowiadającej gęstościom występującym we wnętrzach gwiazd sięga kilku lat świetlnych. Słońce jest więc dla neutrin bardziej przejrzyste niż najlepsze szkło optyczne dla światła. Badając neutrina słoneczne można byłoby uzyskać informacje o tym, co dzieje się w środku ,,typowej gwiazdy w średnim wieku", jaką jest nasze Słońce. Pozwoliłoby to na bezpośrednie przetestowanie modeli takich gwiazd. Systematyczne poszukiwania prowadzone są przez R. Davisa przy pomocy detektora, zawierającego 600 ton ciekłego chlorku węgla (C_2Cl_4), umieszczonego na głębokości 1,5 kilometra pod ziemią w porzuconej kopalni w Południowej Dakocie. Tak gruba warstwa ziemi pełni rolę filtra przepuszczającego neutrina i pochłaniającego inne cząstki, docierające do nas z kosmosu, które mogłyby wprowadzić zakłócenia. Metoda detekcji sprowadza się do rejestracji atomów radioaktywnego izotopu argonu ^{37}Ar, powstających w wyniku zderzeń neutrin elektronowych z jądrami atomów chloru ^{37}Cl. Prędkość powstawania ^{37}Ar, zmierzona przez Davisa, wynosi 0,3—0,4 atomu dziennie w porównaniu z 0,9 atomu dziennie, przewidywanymi przez model budowy wewnętrznej Słońca. Przyczyna tej rozbieżności jest nieznana. Być może należy skorygować model Słońca. Strumień neutrin zależy bardzo silnie od temperatury panującej we wnętrzu gwiazdy: wystarczyłoby zmniejszenie tej temperatury od modelowej wartości $1{,}5 \times 10^7$K do $1{,}3 \times 10^7$K, aby otrzymać wynik zgodny z obserwacjami. Innym wytłumaczeniem byłyby tzw. oscylacje neutrin, o których będzie mowa w drugiej części tego artykułu.

Energia unoszona przez neutrina wyemitowane przez gwiazdę ,,zwyczajną" nie przekracza kilku procent energii emitowanej przez nią w postaci fal elektromagnetycznych i dlatego jest wysoce prawdopodobne, że Słońce jest jedyną ,,zwyczajną" gwiazdą, którą będzie można badać metodami astronomii neutrinowej — inne gwiazdy są po prostu za daleko. Zupełnie inaczej przedstawiają się możliwości obserwowania neutrin emitowanych w czasie wybuchu gwiazd supernowych w naszej Galaktyce. Gwiazda supernowa wytwarza w ciągu kilku dni taką ilość energii, jaką Słońce wypromieniowuje w ciągu miliarda lat (supernowa, która eksplodowała w roku 1054 w naszej Galaktyce, była dobrze widoczna na niebie nawet w dzień!). Energia ta uwalniana jest w postaci promieniowania elektromagnetycznego, strumienia neutrin oraz energii kinetycznej zewnętrznej otoczki gwiazdy, która zostaje odrzucona w czasie wybuchu. Wartości energii, uwalnianej tymi trzema sposobami, są tego samego rzędu wielkości, wybuchom supernowych powinny więc towarzyszyć silne rozbłyski neutrinowe. Badając takie rozbłyski można byłoby sprawdzić poprawność naszych wyobrażeń o przebiegu końcowych etapów ewolucji gwiazd.



Teleskop neutrinowy, stanowi układ pojemników *P*, wypełnionych scyntylatorem tj. cieczą, która pobudzana jest do świecenia przez przechodzące miony. Każdy pojemnik ze scyntylatorem wyposażony jest w parę liczników fotonów *L*. Rejestrowane są wyłącznie miony, przychodzące pod małymi kątami do płaszczyzny horyzontu, tj. tylko takie, które uruchamiają jednocześnie dwie pary liczników (dowolną parę po lewej i dowolną parę po prawej).

Źródłem rozbłysków neutrinowych mogą być również procesy gwałtownego zapadania się jąder galaktyk. Pierwsze neutrina wysokoenergetyczne, pochodzące prawdopodobnie od supernowych, zarejestrowali w roku 1965 fizycy amerykańscy w kopalni złota w Afryce Południowej na głębokości 3 km. Następnie doświadczenie to zostało powtórzone w Indiach. W obu przypadkach rejestrowano miony wyprodukowane w wyniku reakcji

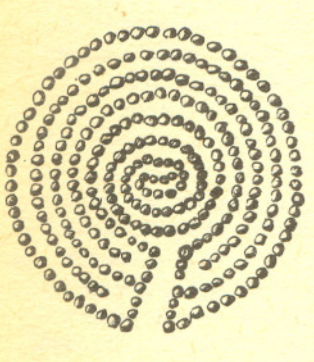
$$\nu_\mu + n \rightarrow p + \mu^-.$$

Rejestrowane były tylko te cząstki, które trafiły do detektora pod małymi kątami do płaszczyzny horyzontu, tj. wyłącznie miony wyprodukowane przez neutrina, które przeszły przez grubą warstwę ziemi. W ten sposób pozbyto się mionów, wyprodukowanych w atmosferze przez promienie kosmiczne (bowiem takie miony wpadałyby do detektora pod kątami bliskimi 90°). Taki detektor pozwalał również na przybliżone ustalenie kierunku, z którego zostały wyemitowane neutrina, będąc tym samym rodzajem prymitywnego teleskopu. W roku 1978 dwa podobne teleskopy zostały uruchomione w Związku Radzieckim. Niestety, czułość wszystkich istniejących teleskopów neutrinowych jest ciągle jeszcze niewielka, a wyniki osiągnięte do tej pory — nadal skromne (od roku 1965 do 1979 zarejestrowano zaledwie kilkaset mionów). Istnieją również niezwykle ambitne (i kosztowne) projekty detektorów neutrin wysokich energii, które prawdopodobnie zostaną zrealizowane w najbliższej przyszłości. Jeden z takich projektów oparty jest na fakcie, że wysokoenergetyczne cząstki naładowane, wyprodukowane przez neutrina, poruszając się w wodzie powinny wywołać gwałtowny wzrost temperatury w wąskich obszarach, przylegających do ich torów (i mających postać ,,rurek"), co z kolei powoduje powstanie fali akustycznej. Rolę detektora w omawianym doświadczeniu pełni woda morska wypełniająca obszar oceanu o objętości około 100 km³. Fale akustyczne rejestrowane są przez mikrofony umieszczone co 100 m w sześcianie o boku 4,5 km.

Najtrudniejszym i jednocześnie najbardziej interesującym zadaniem astronomii neutrinowej jest rejestracja neutrin reliktowych. Rejestrując te cząstki, zyskalibyśmy możliwość odtworzenia warunków, jakie panowały we Wszechświecie od chwili, gdy od ,,wielkiego wybuchu" upłynęła zaledwie sekunda, bowiem od tej chwili Wszechświat stał się całkowicie przezroczysty dla neutrin. Warto przy tym zdawać sobie sprawę z tego, że fotony reliktowe przestały oddziaływać z materią znacznie później, niż neutrina, bo dopiero po upływie około miliona lat od ,,wielkiego wybuchu", gdy Wszechświat rozszerzył się na tyle, aby temperatura zmalała do 3000 K i elektrony (będące zresztą główną przyczyną nieprzezroczystości gwiazd) połączyły się z protonami, tworząc neutralny wodór. Niestety, niskoenergetyczne neutrina reliktowe tak słabo oddziałują ze zwykłą materią, że nikt nie jest w stanie wymyślić metody pozwalającej na rejestrowanie tych cząstek.

Widać z powyższego, że perspektywy badawcze otwierające się przed astronomią neutrinową przedstawiają się niezwykle kusząco — neutrina prześwietlają bowiem ,,na wylot" niemal cały Wszechświat (mogłyby stanowić doskonałą falę nośną do przesyłania informacji na dowolnie wielkie odległości bez najmniejszych zakłóceń, jak słusznie zauważył Stanisław Lem w ,,Głosie Pana"). Jednak słabe oddziaływanie neutrin z materią — cecha, dla której wiążemy tak wielkie nadzieje z astronomią neutrinową — jest jednocześnie głównym źródłem jej kłopotów. Przezroczysty dla neutrin jest bowiem nie tylko Wszechświat, ale i nasze przyrządy pomiarowe.

Roman JUSZKIEWICZ



Jądra atomowe o egzotycznym składzie

Najtrwalsze są jądra atomowe o określonym stosunku liczby neutronów do liczby protonów. Jądra te tworzą na mapie nuklidów tzw. ścieżkę trwałości β. Jądro, które nie leży na tej ścieżce, ulega przemianie β i w rezultacie, poprzez zmianę składu, zostaje na nią sprowadzone. Jądra spoza ścieżki trwałości są w większości wytwarzane sztucznie w reakcjach jądrowych. Tylko stosunkowo mała ich część powstaje przez rozpad jąder ciężkich występujących w przyrodzie. Obecnie potrafimy wytwarzać i badać jądra położone daleko od ścieżki trwałości. Mają one do ok. 20 neutronów mniej (albo więcej) niż jądro tego samego pierwiastka położone na ścieżce. Stąd też i własności takiego jądra są często bardzo różne od własności odpowiedniego jądra na ścieżce, a czasy życia bardzo krótkie, rzędu drobnych części sekundy.

Ścieżka trwałości nie jest nieskończenie długa. Urywa się ona na jądrze $^{209}_{83}Bi$, które jest najcięższym jądrem trwałym. Wszystkie jądra cięższe rozpadają się przez rozszczepienie lub rozpad α. Przyczyną jest tu wzrost odpychania kulombowskiego naładowanych elektrycznie protonów, przy wzroście ich liczby (liczba atomowa Z) w jądrze. Jeszcze tylko trzy nuklidy: $^{232}_{90}Th$, $^{235}_{92}U$ i $^{238}_{92}U$ mają dostatecznie długie czasy życia, rzędu miliardów lat, by przetrwać na Ziemi od czasu jej powstania. Wszystkie inne jądra nietrwałe, występujące w sposób naturalny na Ziemi, są produktami rozpadu tych trzech. W sposób sztuczny udało się dokonać syntezy jąder aż do $Z = 106$, (wytworzone ostatnio pierwiastki nie mają jeszcze uzgodnionej, oficjalnej nazwy).

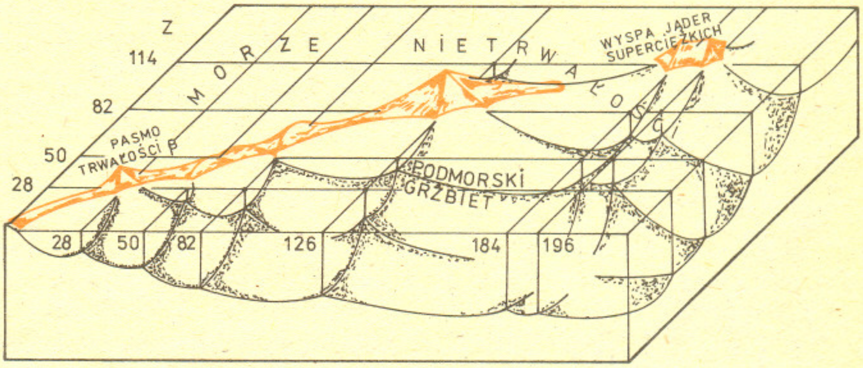
Rozwiązanie zadania F 92. Obraz rzeczywisty przedmiotu punktowego powstaje w punkcie przecięcia wiązki promieni zbieżnych. Jeśli na zwierciadło płaskie pada wiązka zbieżna, której punkt zbieżności leży za powierzchnią odbijającą (jest to wtedy, jak mówimy, przedmiot pozorny), wtedy po odbiciu powstaje obraz rzeczywisty. Sytuacja taka ma miejsce w układach optycznych. Chcąc potraktować problem bardziej formalnie zauważmy, że dla zwierciadła płaskiego obowiązuje równanie prostego przyrządu optycznego: $\frac{1}{x}+\frac{1}{y}=\frac{1}{f}$ przy $f\to\infty$. Równanie zwierciadła płaskiego ma więc postać: $y=-x$. Gdy $y>0$ (obraz rzeczywisty), to $x<0$ (przedmiot pozorny).

Synteza taka jest bardzo kosztowna i trudna. Jądra najcięższe wytwarzane są w niesłychanie małych ilościach, często rzędu jednego jądra na godzinę pracy akceleratora. Biorąc pod uwagę, że czasy ich życia są rzędu ułamka sekundy, widać, że badane są oddzielnie pojedyncze jądra. Z drugiej jednak strony, egzotyka aktualnych granic poznania jest na tyle pociągająca, że te kosztowne i trudne badania są prowadzone.

Jednym z głównych pytań jest tutaj kwestia, jak daleko możemy w ogóle dojść. Ekstrapolacja własności poznanych już jąder najcięższych prowadzi do wniosku, że możemy posunąć się już tylko bardzo niedaleko, dwa, może trzy pierwiastki dalej. Jeśli jednak uwzględnić strukturę powłokową jądra, to okazuje się, że jest szansa na istnienie jąder znacznie cięższych, tzw. jąder superciężkich.

Przy pewnych liczbach protonów Z lub neutronów N (zwanych historycznie, z czasów, gdy nie potrafiliśmy ich jeszcze objaśnić, liczbami ,,magicznymi") jądra są szczególnie trwałe. Odpowiada to zamkniętym powłokom jądrowym, podobnie do zamkniętych powłok atomowych (elektronowych), którym odpowiadają pierwiastki szczególnie trwałe chemicznie (gazy szlachetne). Otóż gdyby wśród jąder bardzo ciężkich wystąpiło jądro magiczne (a przewidywania teoretyczne wskazują na to), a szczególnie podwójnie magiczne (tzn. i Z, i N magiczne), to jądro takie i sąsiednie do niego mogłyby być dostatecznie trwałe, by je zaobserwować.

Skala ilości poznanych dotychczas jąder: Trwałych jąder jest 264. Znamy je wszystkie. Razem z nietrwałymi, poznaliśmy dotychczas ok. 2000 różnych jąder. Liczbę wszystkich jąder (tj. układów nukleonów, które są w stanie związać się na czas dostatecznie długi, rzędu $10^{-19}-10^{-16}$ s, by zdążyły stworzyć pewną całość o charakterystycznych dla niej własnościach), ocenia się na ok. 6000.



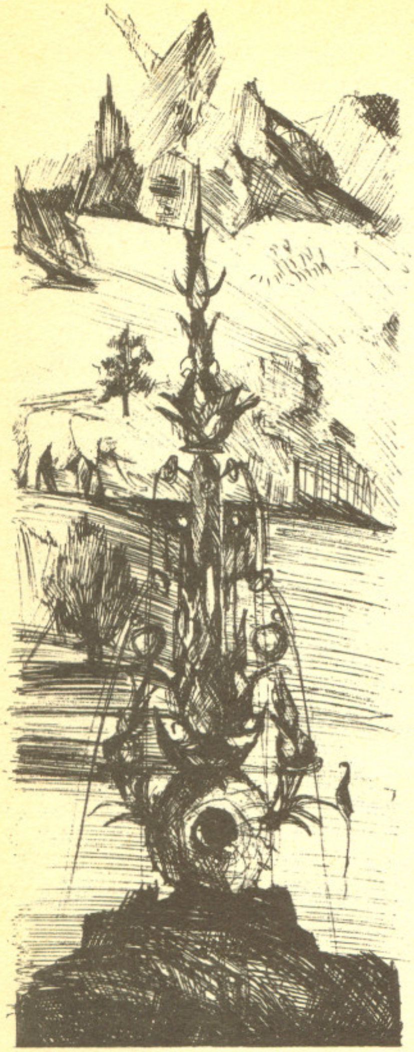
Ilustruje to zamieszczona poglądowa mapa. Jądra najtrwalsze odpowiadają punktom wznoszącym się najwyżej ponad poziom ,,morza nietrwałości". Jądra ze ścieżki trwałości β tworzą półwysep, który po przejściu wierzchołka trwałego jądra podwójnie magicznego $^{208}_{82}$Pb ($Z = 82$ i $N = 126$; jest to najcięższe znane jądro podwójnie magiczne) dosyć szybko zaczyna się pogrążać (wskutek wzrostu odpychania kulombowskiego) w morzu nietrwałości.

Przewidywane jednak teoretycznie podwójnie magiczne jądro $^{298}_{114}$X ($Z = 114$, $N = 184$) [lub, jak przewidują niektórzy, $^{310}_{114}$X ($Z = 114$, $N = 196$)] pozwala wynurzyć się lądowi jeszcze raz ponad morze w postaci wyspy jąder stosunkowo trwałych. Jest to właśnie hipotetyczna wyspa jąder superciężkich. Przewidywania czasów życia tych jąder dają wartości w bardzo szerokim zakresie. Niektóre są tak duże, że jądra te można by znaleźć na Ziemi ($T \geqslant 5 \cdot 10^9$ lat, tzn. porównywalne lub większe od wieku Ziemi). Inne są mniejsze, ale wciąż wystarczające, by szukać ich wśród jąder przychodzących do nas z Kosmosu w postaci pierwotnego promieniowania kosmicznego ($T \geqslant 10^8$ lat). Jeszcze inne dają czasy znacznie mniejsze, które jednak wystarczają, by poszukiwać ich wśród produktów syntezy jądrowej dokonywanej w laboratoriach.

Poszukiwania jąder superciężkich prowadzone są od ok. 15 lat. Dokonywane są one w próbkach wydobytych z głębi Ziemi i oceanów, w śniegach Arktyki, starych szkłach i witrażach, w meteorytach, próbkach księżycowych, pierwotnym promieniowaniu kosmicznym, a także w produktach zderzenia ciężkich jąder przyspieszanych w akceleratorach. Jak dotąd, są one negatywne. Nie oznacza to jeszcze, że jąder superciężkich nie ma. Mogą one zostać odkryte. Istnieje jednak i inna możliwość. Być może, ani astrofizyczny proces syntezy, w jakim powstały takie jądra ciężkie jak uran (proces szybkiego wychwytu neutronów przez jądra umieszczone w bardzo intensywnym ich strumieniu, np. przy wybuchu supernowej), ani proces syntezy prowadzony w laboratorium przez zderzenie dwóch jąder ciężkich, nie może doprowadzić do osiągnięcia wyspy jąder superciężkich. Jeśli rzeczywiście tak jest, to wyjaśnienie tego faktu będzie równie ciekawe, jak ewentualna synteza jąder superciężkich. Odkryje bowiem także ważną część prawdy.

Oprócz jąder o egzotycznym składzie jest obecnie w fizyce jądrowej wiele innej egzotyki. Stanowią ją jądra silnie zdeformowane, jądra szybko wirujące oraz egzotyczne procesy jądrowe. Należą do nich głęboko nieelastyczne reakcje jądrowe, które zachodzą przy dostatecznie silnym zderzeniu dwóch ciężkich jąder.

Adam SOBICZEWSKI



Początek Wszechświata

Odkryte w 1965 roku termiczne promieniowanie elektromagnetyczne odpowiadające temperaturze 3K, które wypełnia cały Wszechświat, jest jednym z głównych obserwacyjnych faktów przemawiających za teorią wielkiego wybuchu. Według tej teorii Wszechświat rozpoczął swoją ewolucję od wielkiego wybuchu — materia o nieskończenie dużej gęstości i nieskończenie wysokiej temperaturze zaczęła gwałtownie rozprężać się, dając początek tym wszystkim strukturom, które obecnie obserwujemy. Do takiego wniosku prowadzi też ekstrapolacja równań ogólnej teorii względności, opisujących własności jednorodnego i izotropowego rozkładu materii. Wiadomo, że ekstrapolacji takiej nie można prowadzić aż do nieskończonych wartości gęstości. Po drodze bowiem mijamy granicę gęstości, powyżej której klasycznej ogólnej teorii względności stosować już nie można. Dla większych gęstości dominującą rolę odgrywają efekty kwantowe. Czasoprzestrzeń, którą uważamy za rozmaitość ciągłą, w bardzo silnych polach grawitacyjnych, jakie występowały w pierwszych etapach ewolucji Wszechświata, też może ujawnić dyskretną — kwantową strukturę. Kwantowa teoria grawitacji dopiero powstaje. Obecnie wydaje się, że jesteśmy jeszcze bardzo daleko od zbudowania jej fundamentów. Zatem, tak naprawdę, nic nie jesteśmy w stanie powiedzieć o tym początkowym, ,,kwantowym" etapie ewolucji Wszechświata. Nawet jeżeli zdecydujemy się zapomnieć o tej trudności, to i tak pozostają jeszcze dwie możliwości. Nie jest wykluczone, że początkowy, już ,,klasyczny", Wszechświat był układem bardzo nieregularnym, obrazowo mówiąc znajdował się w stanie totalnego chaosu. Nieregularności uległy jednak bardzo szybkiemu wygładzeniu. Możliwa jest też sytuacja odwrotna. Początkowy Wszechświat mógł być prawie doskonale jednorodny i izotropowy, a obecnie obserwowana struktura powstała w wyniku powolnego narastania niewielkich początkowych niejednorodności. Istniejące obecnie dane obserwacyjne nie pozwalają na jednoznaczną odpowiedź, który z tych dwu wariantów był realizowany.

Marek DEMIAŃSKI

Laser promieni γ — marzenie czy rzeczywistość?

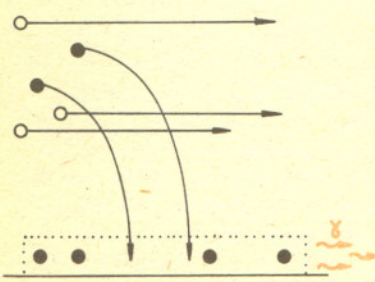
Podstawowa trudność w poznaniu molekularnych podstaw życia wynika stąd, że nie możemy obserwować oddzielnych molekuł w żywej tkance. Wszystkie obecnie dostępne informacje o makromolekułach typu DNA czy RNA pochodzą z chemicznych i rentgenowskich analiz kryształów tych substancji. Jeśli możliwa będzie w przyszłości obserwacja poszczególnych makromolekuł w żywym organizmie, to wiele procesów związanych na przykład z tworzeniem białek czy podziałem DNA przestanie być tajemnicą. Największe nadzieje w tej trudnej dziedzinie wiąże się z konstrukcją laserów promieniowania Roentgena i promieniowania γ. W badaniach, o których mowa, nie można posłużyć się obecnie istniejącymi laserami, gdyż za ich pomocą możemy obserwować tylko struktury o rozmiarach większych niż długość fali świetlnej czyli około 1 μm. Laser promieniowania γ emitujący spójną wiązkę o długości fali rzędu 1 Å (10^{-10} m) czy mniejszej pozwoli na określenie struktury każdej cząsteczki. Teoretycznie możliwe będzie przynajmniej wykonanie trójwymiarowej fotografii (hologramu) cząsteczki i wyznaczenie położeń poszczególnych atomów w przestrzeni.

Akcja laserowa wymaga przygotowania materiału z odpowiednio dużą liczbą atomów wzbudzonych (dla światła) bądź wzbudzonych jąder atomowych (dla promieni γ).

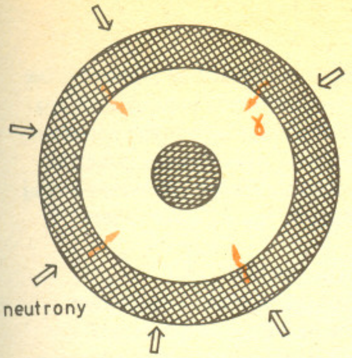
Przechodzące przez taki ośrodek promieniowanie zmusza atomy (jądra) wzbudzone do szybkiego pozbywania się nadmiaru energii w postaci kwantów promieniowania. W efekcie następuje wzmocnienie promieniowania w czasie przejścia przez ośrodek.

Jedynym nie rozwiązanym dla laserów γ problemem jest przygotowanie takiego materiału aktywnego, by wzmocnienie promieniowania γ było w nim większe niż jego pochłanianie. Ośrodkiem aktywnym może być na przykład kryształ. Jądra atomów zawartych w krysztale mogą się znaleźć w określonym stanie wzbudzonym. Przejściu jądra do stanu podstawowego lub innego stanu niżej wzbudzonego często towarzyszy emisja fotonu γ. Elektromagnetyczna natura tego promieniowania pozwala oczekiwać, że możliwa jest również emisja wymuszona fotonu γ, podobnie jak możliwa jest emisja wymuszona światła. Nigdy jeszcze nie obserwowano takiego procesu, wierzymy jednak, że prawa rządzące emisją promieniowania są i tu słuszne.

Wzmocnienie promieniowania jest tym większe im większa jest gęstość jąder wzbudzonych (N) oraz im mniejszy iloczyn szerokości spektralnej linii i czasu życia jądra w stanie wzbudzonym ($\Gamma \cdot \tau$). Wzmocnienie jest też proporcjonalne do kwadratu długości fali promieniowania. Jest to zasadnicza przyczyna, dla której tak trudno zbudować laser γ. Jeśli założymy optymalne warunki $\Gamma\tau = 1$ i $N = 10^{22}$ cm^3, to dla długości fali $\lambda = 1$ Å dostajemy wzmocnienie rzędu 10^4 cm^{-1}. Współczynnik pochłaniania promieniowania jest zwykle rzędu 10—100 cm^{-1}. Dlaczego więc nie istnieją takie lasery? Problem w tym, że nikt nie wie, jak uzyskać te optymalne warunki, a przy tym nie ma żadnej pewności, czy jest to w ogóle możliwe!



Rys. 1 Schemat lasera γ na izomerach długożyciowych.
○ — atomy z jądrami nie wzbudzonymi,
● — atomy z jądrami wzbudzonymi.



Rys. 2 Przekrój przez nić lasera γ na krótkożyciowych izomerach. Strumień neutronów pobudza jądra w zewnętrznym cylindrze. Jądra te emitują fotony γ, które wzbudzają jądra wewnętrznego walca. Akcja laserowa przebiega wzdłuż osi walca.

Zasadnicza trudność polega na tym, że we wszystkich znanych materiałach albo $\Gamma\tau > 1$ albo $N \ll 10^{22}/\mathrm{cm}^3$.

Zaproponowano dwa rozwiązania tego problemu. Pierwsze zakłada wykorzystanie tak zwanych izomerów długożyciowych, czyli jąder o długim czasie życia w stanie wzbudzonym. Takie jądra można po wzbudzeniu łatwo oddzielić od pozostałych i dzięki temu uzyskać dużą gęstość (spełnić warunek $N = 10^{22}/\mathrm{cm}^3$). Okazuje się jednak, że wówczas $\Gamma\tau \gg 1$ i dopóki nie pojawi się nowa idea zmniejszenia Γ, dopóty nie będzie możliwości budowy tak działającego lasera. Drugie rozwiązanie opiera się na wykorzystaniu jąder o krótkim czasie życia ($\tau < 10^{-5}$ s). Wówczas możliwe jest spełnienie warunku $\Gamma\tau \simeq 1$, a problem sprowadza się do efektywnego pobudzania jąder w czasie krótszym od czasu ich życia. Proponowane pierwotnie wzbudzenie przez bombardowanie neutronami jest zbyt mało efektywne, a dodatkowo powoduje nagrzewanie kryształu. Znacznie bardziej realne wydaje się wzbudzanie za pomocą fotonów γ, które powstają w wyniku pobudzania neutronami zewnętrznego płaszcza wykonanego z tego samego materiału. Jednak nawet wówczas potrzeba takiej gęstości strumienia neutronów, jaką obecnie obserwujemy tylko w wybuchach bomb atomowych.

Czesław RADZEWICZ

Piecyk kwarkowy

Reakcja termojądrowa polega na połączeniu dwóch jąder atomowych lekkich pierwiastków — na przykład wodoru — i utworzeniu z nich nowego, cięższego jądra. W procesie tym wyzwala się bardzo dużo energii, znacznie więcej niż przy rozszczepianiu jąder uranu. Biorąc pod uwagę, że odpowiednie paliwo jądrowe jest powszechnie dostępne, a po reakcji nie pozostają żadne odpady promieniotwórcze, trudno się dziwić, że procesy termojądrowe budzą od dawna nadzieję na uzyskanie taniego, bezpiecznego i praktycznie niewyczerpalnego źródła energii.

Na to, by dwa jądra atomowe mogły się połączyć, muszą się znaleźć bardzo blisko siebie — w odległości rzędu ich rozmiarów. Przeszkadzają w tym siły odpychania elektrostatycznego działające między dodatnimi ładunkami obu jąder. Siły te, chociaż znacznie słabsze niż siły przyciągania jądrowego, mają bardzo duży zasięg swego działania. Trzeba więc dostarczyć zderzającym się jądrom stosunkowo dużo energii i pokonać odpowiednią barierę elektrostatyczną. Wtedy dopiero zaczyna działać potężne przyciąganie jądrowe wywołujące reakcję termojądrową. Takie warunki wymagają wstępnego podgrzania gazu wodorowego do temperatury rzędu kilkudziesięciu milionów stopni, co zdarza się jedynie we wnętrzu gwiazd, a także w bombie wodorowej, gdzie zapalnikiem jest zwykła bomba atomowa. Spokojnego i bezpiecznego sposobu zainicjowania procesu termojądrowego jak dotąd nie znamy.

Na pierwszy rzut oka wydaje się, że odpychanie elektrostatyczne jąder atomowych może być skutecznie zrównoważone przez równie silne przyciąganie chemiczne samych atomów, przyciąganie, które na przykład łączy dwa atomy wodoru w cząsteczkę. Siły chemiczne, pojawiające się dzięki tendencji obu elektronów atomowych do zajmowania tego samego miejsca, mają jednak wciąż zbyt duży zasięg działania i utrzymują jądra w bezpiecznej odległości. Powodem tego jest wyjątkowo mała masa elektronów, a więc i mała siła potrzebna do ich uwięzienia w atomie i w konsekwencji stosunkowo duża średnia odległość elektronów od jąder. Co by się jednak stało, gdyby elektrony w atomach zastąpić cząstkami znacznie cięższymi? Takie egzotyczne atomy byłyby oczywiście mniejsze, a działające między nimi siły przyciągania chemicznego miałyby znacznie mniejszy zasięg działania. Mogłyby wystarczyć do pokonania bariery elektrostatycznej i wywołania reakcji termojądrowej. I chociaż trwałych, ujemnie naładowanych cząstek cięższych od elektronu nie znamy, to jednak przypuszczamy, że mogą się one znajdować wewnątrz składników jąder atomowych. Te hipotetyczne cząstki zwane kwarkami mają w swej rodzinie przedstawiciela o ładunku elektrycznym równym 1/3 ładunku elektronu. Jeżeli kwarki w ogóle istnieją, to z pewnością mają masę większą niż dziesięć mas protonowych. Tylko bowiem kwarki bardzo ciężkie mogły dotąd umknąć uwadze naszych przyrządów. Gdyby się okazało, że kwark o ładunku 1/3 jest najlżejszy, to musiałby być trwały — nie miałby się po prostu na co rozpadać. Moglibyśmy wtedy zbudować w każdym domu prawdziwy piecyk kwarkowy z paliwem wodorowym. Do takiego piecyka wrzucalibyśmy odpowiednią porcję kwarków, te chwytałyby protony tworząc maleńkie atomy kwarkowe, atomy wiązałyby się w równie małe cząsteczki i następowałaby reakcja termojądrowa. Co szczególnie ciekawe, po takiej reakcji pozostawałyby znów swobodne kwarki, które wiązałyby nowe protony i proces ciągnąłby się aż do wyczerpania paliwa. Tak właśnie musiałoby być ze względu na zasadę zachowania ładunku. Tylko bowiem kwarki mają ładunki równe 1/3 ładunku elektronu i ta jedna trzecia jest niezniszczalna. Piecyk nasz grzałby praktycznie bez końca i to dowolnie mocno. Wystarczyłoby doń wrzucić odpowiednio dużo kwarków. Może to wszystko okaże się prawdą ...

Michał ŚWIĘCKI

Rozwiązanie zadania **M258.** Oznaczmy przez P_0 nasz „minimalny kątomierz", a przez P_i ($i = 1, 2, \ldots, K^2-K$) zbiór powstały z P_0 przez obrót o $\frac{2\pi}{K^2-K+1}\cdot i$ wokół wspólnego początku półprostych z P_0. Niech teraz $p_0, p_1, \ldots, p_{K^2-K}$ będą półprostymi tworzącymi sumę wszystkich P_i. Łatwo sprawdzić, że

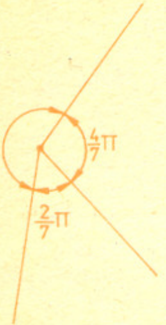
(1) $P_i \cap P_j$ jest jedną półprostą p_K, gdy $i \neq j$,

(2) dla każdej pary p_K, p_L istnieje dokładnie jedno P_i takie, że $p_K, p_L \in P_i$,

(3) nie istnieje P_i zawierające cztery sąsiednie proste p_1, p_2, p_3, p_4.

Zbiór $\{p_0, \ldots, p_{K^2-K}\}$ z wyróżnionymi K-elementowymi podzbiorami $P_0, \ldots, P_{K^2-K}$ spełniającymi warunki (1)—(3) nazywamy kombinatoryczną płaszczyzną rzutową (p_i są prostymi rzutowymi na tej płaszczyźnie). Wiadomo, że płaszczyzny takie istnieją, gdy $K = p^r+1$ (p — liczba pierwsza), nie istnieją, np. gdy $K = 7, 15$. Czy istnieje płaszczyzna rzutowa, gdy $K = 11$ — nie wiadomo.

Rozwiązanie zadania M256.



Kwazary i inne aktywne jądra galaktyk

Co wiemy o kwazarach? Większość astrofizyków jest pewna, że są to najbardziej aktywne jądra galaktyk, najjaśniejsze obiekty Wszechświata. Wiele galaktyk, zwłaszcza tych największych, ma w swym centrum bardzo małe i bardzo jasne jądro. W niektórych galaktykach świeci ono nieco mocniej od najjaśniejszych gwiazd. W innych świeci tak jak wszystkie gwiazdy całej galaktyki razem wzięte. Wreszcie w niektórych przypadkach jądro jest ponad stukrotnie jaśniejsze od całej ogromnej galaktyki złożonej z setek miliardów gwiazd. Takie właśnie jądro nazywane jest kwazarem.

Kwazary wysyłają ogromne ilości promieniowania podczerwonego, widzialnego, ultrafioletowego, rentgenowskiego i gamma, a także w niektórych wypadkach — radiowego. Z wielu kwazarów wyrzucane są wąskie strugi gazu z prędkością bliską prędkości światła. Zderzając się z niesłychanie rozrzedzonym gazem wypełniającym przestrzeń międzygalaktyczną strugi te wytwarzają ogromne obłoki pełne szybkich naładowanych cząstek, głównie elektronów i protonów. Obłoki te są najpotężniejszymi źródłami promieniowania radiowego. Ich rozmiary przekraczają niekiedy milion lat światła. Tymczasem źródło tych ogromnych ilości energii, czyli sam kwazar, ma rozmiary nie większe od naszego układu planetarnego, a więc zaledwie kilka godzin światła, czyli kilka miliardów kilometrów. Wiadomo też, że kwazary mają ogromne masy, co najmniej milion, a być może setki milionów razy większe od masy Słońca. I na tym kończy się nasza wiedza. Nie wiemy, czym są te stosunkowo małe, bardzo masywne i niezwykle jasne kwazary.

Kilkanaście lat temu sądzono, że są to supermasywne pojedyncze gwiazdy, lub bardzo zagęszczone gromady ogromnej ilości zwykłych gwiazd. Dziś najczęściej sądzi się, że są to bardzo masywne czarne dziury, do których wpada nieustannie duża ilość gazu. Gaz ten, zanim zniknie bezpowrotnie w otchłani, rozgrzewa się w silnym polu grawitacyjnym i wypromieniowuje kilkadziesiąt procent swojej masy. Czy tak jest naprawdę? Nie wiadomo. Wielu astrofizyków sądzi, że wpadający do czarnej dziury gaz wiruje tak szybko, że tworzy coś w rodzaju dysku. Prace nad takim właśnie modelem kwazarów prowadzone są między innymi przez pracowników Centrum Astronomicznego PAN w Warszawie.

Bohdan PACZYŃSKI

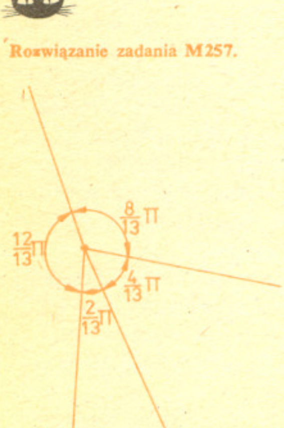
Metaliczny wodór?

Zbliżając atomy dowolnego pierwiastka na odpowiednio małą odległość umożliwiamy powstanie kolektywnego pasma energetycznego elektronów, charakteryzującego stan metaliczny. Czyni to w normalnych warunkach ciśnienia i temperatury szereg pierwiastków, znanych nam jako metale w stanie stałym. Czyni to również rtęć w stanie ciekłym — a nawet ponadkrytycznym stanie gazowym, jeżeli tylko odpowiednio wysokie ciśnienie umożliwi dostateczne zbliżenie wzajemne atomów rtęci.

Czy jednak inne pierwiastki, których własności w normalnych warunkach dalekie są od własności metali, można przeprowadzić w stan metaliczny? Udało się to już zrealizować w szeregu przypadków stosując odpowiednio wysokie ciśnienie, a więc wymuszając zmniejszenie odległości międzyatomowych. W ten sposób otrzymano już metaliczny fosfór, jod, selen, a ostatnio również siarkę. Wymaga to stosowania ciśnień rzędu kilkudziesięciu, a nawet setek tysięcy atmosfer.

Szczególne zainteresowanie w tym względzie budzi wodór — najlżejszy pierwiastek chemiczny, należący, zgodnie z położeniem w układzie periodycznym pierwiastków, do metali alkalicznych. Dodatkową trudność stanowi w tym przypadku istnienie bardzo stabilnych energetycznie cząsteczek wodoru, które w pierwszym rzędzie powinny ulec dysocjacji na atomy. Do tego celu niezbędne byłoby odpowiednio wysokie ciśnienie. Ciśnienie to powinno ponadto spowodować zbliżenie wszystkich atomów na tak małą odległość, żeby stało się możliwe powstanie wspólnego dla całego zbioru pasma energetycznego elektronów. Teoretycy szacują to niezbędne ciśnienie na miliony atmosfer. Niestety otrzymanie takich ciśnień w warunkach laboratoryjnych napotyka bariery konstrukcyjno-materiałowe. Dostępne dotychczas materiały stają się w tym zakresie ciśnień plastyczne, a więc niezdolne do utrzymywania wymaganych obciążeń mechanicznych. Niezbędne są zatem nowe rozwiązania, których poszukuje się w zakresie materiałów wytwarzanych techniką wysokociśnieniową, jak np. spieki syntetycznych diamentów. Innym rozwiązaniem jest stosowanie ciśnień dynamicznych, to jest istniejących w bardzo krótkich czasach (rzędu mili- czy mikrosekund) w falach uderzeniowych. Grupa uczonych amerykańskich doniosła w ostatnich latach o obserwacji na tej drodze metalicznego zachowania się wodoru.

Rozwiązanie zadania M257.



Wiadomości takie przyjmowane są jednakże z dużą rezerwą, ponieważ przedtem kilkakrotnie pojawiały się już w literaturze i zawsze były później dementowane.
Tak więc wiemy z wielu obliczeń teoretycznych, że wodór może być metalem — na pewno najlżejszym ze wszystkich dotychczas znanych (może nawet ciekłym, jak to wynika z niektórych obliczeń). Przypuszcza się ponadto, że metal taki mógłby być nadprzewodnikiem o wysokiej temperaturze przejścia w stan nadprzewodzący. Sporną sprawą jest, co nastąpi po redukcji wysokiego ciśnienia. Czy stan metaliczny wodoru zostanie zachowany, czy też powróci on do postaci dwuatomowych cząsteczek, tak bardzo stabilnych w normalnych warunkach laboratoryjnych.
Zdania teoretyków są tutaj podzielone. Czekamy więc na odpowiedź doświadczenia na fascynujące pytanie: Wodór metaliczny?

Bogdan BARANOWSKI

Co to znaczy „zrozumieć" w fizyce?

W fizyce spotykamy dwa główne rodzaje pytań, podobnie zresztą jak we wszystkich chyba naukach przyrodniczych, a może i społeczno-humanistycznych. Po pierwsze, chodzi o to, aby, mówiąc skrótowo, zrozumieć „jak". Odpowiadając na pytanie „jak?" staramy się jak najlepiej, najdokładniej, najściślej ustalić fakty. Chcemy przeanalizować w najdrobniejszych szczegółach przebieg zjawiska, znaleźć jego opis ilościowy, sformułować zależności między wielkościami, które je charakteryzują. Odpowiadając na pytanie „dlaczego"? staramy się odgadnąć przyczyny, które sprawiają, że zjawisko w ogóle występuje i że ma taki a nie inny przebieg. Zasadniczo formułowaniem odpowiedzi na pytanie „jak?" zajmuje się fizyka doświadczalna (choć niekoniecznie fizycy doświadczalni!), a na pytanie „dlaczego?" — fizyka teoretyczna (z podobnym zastrzeżeniem). Błędem byłoby jednak sądzić, że pytania te są rozdzielne i że można je stawiać niezależnie, nawet — pytanie pierwsze w stosunku do drugiego.
W rzeczywistości bowiem, obserwując przebieg zjawiska nie jesteśmy w stanie śledzić wszystkich cech obiektów, biorących udział w procesie. Musimy więc zwrócić uwagę tylko na niektóre z tych cech. Na które? Na to pytanie wstępnej odpowiedzi możemy oczekiwać właśnie od teorii fizycznej, która zawiera jakieś oczekiwania w stosunku do badanego zjawiska. Ta ścisła symbioza elementu teoretycznego i doświadczalnego sprawia, że w ogóle trudno jest mówić w fizyce o „czystym" fakcie eksperymentalnym, gdyż każdy wynik pomiaru widzimy zawsze przez pryzmat teorii — dobrej lub złej.
Tym silniej zaznacza się współżycie teorii z doświadczeniem przy pytaniach „dlaczego?". Nie możemy spekulować, jaka jest „natura rzeczywistości", nie dysponując danymi eksperymentalnymi, najlepiej — liczbowymi. I dopiero mając te dane, możemy szukać odpowiedzi na pytanie „dlaczego"?
Odpowiedź na to pytanie nigdy nie jest jednoznacznie określona przez dane eksperymentalne. Zawsze mamy możliwość podania nie jednej lecz wielu teoretycznych interpretacji faktów eksperymentalnych. Wyboru dokonujemy kierując się kryteriami pozornie luźnymi i mało precyzyjnymi — jak kryterium prostoty, oszczędności, ogólności czy piękna. W rzeczywistości, stosując te kryteria w praktyce, docieramy do wyjaśnień poprawnych, potwierdzanych potem przez inne, nowe doświadczenia.
Rozumieć „dlaczego" znaczy więc znać wyjaśnienie faktów, zgodne z naszymi potrzebami umysłowymi a nawet estetycznymi. Nigdy nie jest to jednak wyjaśnienie ostateczne. Wyjaśnienie ostateczne chyba nie istnieje. Każde wyjaśnienie stwierdza bowiem, że w Przyrodzie istnieje taka czy inna prawidłowość. Ale dlaczego? Dlaczego ta prawidłowość się pojawia? Czy nie ma ona jakichś jeszcze głębszych przyczyn i motywacji? Na pewno ma, warto ich szukać. I tak dochodzimy do nowego etapu badań, na którym nasze wczorajsze wyjaśnienie staje się samo faktem wymagającym wyjaśnienia.
Rola fizyki w poszukiwaniu wyjaśnień jest szczególnie duża. Zauważmy, że jeśli zadamy jakiekolwiek pytanie „dlaczego?" w obrębie którejś z nauk przyrodniczych, znajdziemy na nie odpowiedź, zapytamy o „dlaczego" dla tego wyjaśnienia, i tak dalej, to w pewnej chwili nasze pytanie „dlaczego?" stanie się pytaniem z zakresu fizyki. Na tym właśnie polega fundamentalna rola fizyki w świecie nauk przyrodniczych. Ona i tylko ona sama może dostarczyć sobie odpowiedzi na wszystkie swoje pytania; inne nauki muszą natomiast zawsze z niej korzystać, nie rezygnując ze swoistości metod i pojęć.

Grzegorz BIAŁKOWSKI