

ISSN 0014-1745 TP-3144533...



W dniu 28 kwietnia 1989r. zmarł

profesor Arkadiusz PIEKARA,

fizyk, wychowawca wielu pokoleń fizyków
i niestrudzony popularyzator fizyki,
sympatyk *Delty*.

SPIS TREŚCI

NUMERU 6(186)

Wielki Wybuch czy wielka
ekstrapolacja?
prof. dr Marek Demiański str. 1

Struny – kolejna unifikacja?
dr Krzysztof A. Meissner,
dr Jacek Pawełczyk str. 4

O ogrzewaniu przez
chłodzenie...
dr Aleksander
Schwarzenberg-Czerny str. 6

Mała Delta str. 8

Korespondencyjny Klub
Fizyków str. 9

Dlaczego buduje się wielkie
akceleratory?
prof. dr Ryszard Sosnowski str.10

Obliczamy π str.12

Drobiazgi str.13

Patrz w niebo str.14

Klub 44 str.14

Zadania str.16

Czy szósty kwark istnieje?
mgr Piotr Szymański str.16

W następnym numerze:

Podział prostokąta na kwadraty

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

Komitet Redakcyjny

- dr Maciej Bryński
- dr Bogdan Cichoński
- dr Antoni L. Dawidowicz
- dr Alicja Derkowska
- doc.dr Jan A. Gaj
- doc.dr Bolesław Gleichgewicht
- doc.dr Tomasz Hofmökł – v-przewodniczący
- doc.dr Tadeusz Jarzębowski
- doc.dr Marcin Kubiak
- mgr Andrzej Mąkowski
- dr Zbigniew Płochocki
- dr Jan Rempala
- prof.dr Konrad Rudnicki
- prof.dr Grzegorz Sitarski
- prof.dr Józef I. Smak
- prof.dr Kazimierz Stępień
- prof.dr Mieczysław Subotowicz
- doc.dr Andrzej Szymacha
- doc.dr Aniela Wolska
- prof.dr Andrzej Woszczyk
- prof.dr Wojciech Żakowski –
przewodniczący

WARUNKI I CENY PRENUMERATY

- Zgłoszenia na prenumeratę:
w terminie
- do dnia 10 listopada na pierwszy kwartał, pierwsze półrocze oraz cały rok,
- do dnia 1 każdego miesiąca poprzedzającego okres prenumeraty

przyjmują:

- Oddziały RSW „Prasa-Książka-Ruch” od osób prawnych – instytucji i zakładów pracy zlokalizowanych w miastach będących siedzibą tych Oddziałów,
- urzędy pocztowe nadawczo-odbiorcze właściwe dla miejsca zamieszkania prenumeratora – przyjmują zamówienia od indywidualnych prenumeratorów (osoby fizyczne), zamieszkałych w miastach, gdzie znajdują się siedziby Oddziałów RSW „Prasa-Książka-Ruch”,
- urzędy pocztowe i doręczyciele w miejscowościach, gdzie nie ma Oddziałów RSW „Prasa-Książka-Ruch” i na terenach wiejskich – przyjmują zgłoszenia zarówno od indywidualnych prenumeratorów (osoby fizyczne), jak i dla instytucji oraz zakładów pracy zamieszkałych i mieszczących się na tych terenach.

Ceny prenumeraty:

- kwartalnej 300 zł
- półrocznej 600 zł
- rocznej 1200 zł

Prenumeratę ze zleceniem wysyłki za granicę – przyjmuje Centrala Kolportażu Prasy i Wydawnictw RSW „Prasa-Książka-Ruch” ul. Towarowa 28, 00-958 Warszawa, PKO BP XV Oddział w Warszawie Nr 1658-201045-139-11.

Prenumerata ze zleceniem wysyłki za granicę pocztą zwykłą jest droższa od prenumeraty krajowej o 50% dla zleceniodawców indywidualnych i o 100% dla zlecających instytucji i zakładów pracy.

Cena 1 egzemplarza zł 100,-

Redaguje kolegium w składzie:

- mgr inż. Krzysztof Biesaga
- dr Lidia Goettig
- dr hab. Jan Kalinowski – z-ca red. nac.
- Maria Kapuścińska
- mgr Krystyna Kordos – sekr. red.
- dr hab. Marek Kordos – red. nac.
- dr Tomasz Kwast
- mgr Anna Rudnik
- dr Jerzy Ryll
- mgr Joanna Udalska
- Jacek Urbański – grafik

Adres Redakcji

ul. Noakowskiego 14
00-666 Warszawa
tel. 25-56-39

Warszawskie Wydawnictwo Prasowe

RSW „Prasa-Książka-Ruch”
Al. Jerozolimskie 125/127

02-017 Warszawa
tel. centr. 28-52-31

Biuro Reklamy Prasowej i Ogłoszeń
ul. Poznańska 38

00-689 Warszawa
tel. 28-23-09

Nakład 20 000 egz. Objętość 2 ark. wyd.,
2,50 ark. druk.,

papier offsetowy V kl. 70 g.

Wydrukowano w Prasowych

Zakładach Graficznych

RSW „Prasa-Książka-Ruch”

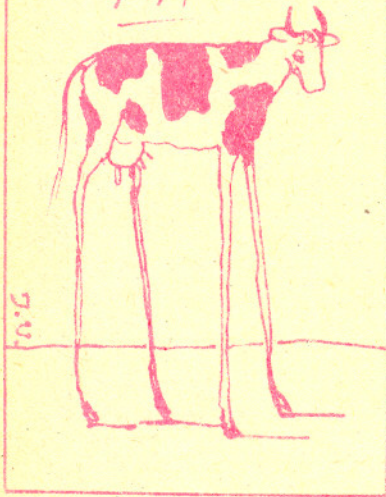
w Łodzi, ul. Armii Czerwonej 28

Nr zam. 1356/89

Skład systemem TeX
wykonała redakcja.

WYNALEZKI XXI
WIEKU:

KROWA
WYSOKOMLECZ-
NA



A oto, jak się zabrali do rzeczy prorocy dwudziestego stulecia: wybierali sobie takie lub inne zdarzenie, które rzeczywistości miało miejsce w ich czasach, i twierdzili, że to samo będzie się działo później w coraz większym i większym stopniu, aż stanie się coś nadzwyczajnego. A bardzo często dodawali, że już... gdzieś... w jakimś dziwacznym miejscu zdarzyło się to coś nadzwyczajnego i że jest bardzo znamienne dla swoich czasów.

Do takich proroków należał na przykład H.G. Wells (i inni), który sądził, że nauka zapanuje nad przyszłością i tak jak na przykład samochód jest o wiele szybszy od powozu, tak potem zjawi się jakiś wspaniały wehikuł, który będzie jeszcze daleko szybszy od samochodu, i tak dalej, i dalej w nieskończoność. Z popiółów ludzi tak myślących powstał dr Quilp, który twierdził, że kiedyś będzie można wysłać człowieka na maszynie krążącej z taką szybkością dookoła świata, iż będzie on w stanie prowadzić długą rozmowę z kimś siedzącym w jakiejś starożytniejszej zapadłej wiosce, a to w ten sposób, że za każdym razem przelatując koło niego, powie jedno słowo z całego zdania. Mówiono nawet, że pewien stary apoplektyczny major został użyty do tego eksperymentu, a szybkość jaką osiągnął była tak wielka, iż mieszkańcy jednej z gwiazd widzieli dokoła Ziemi niby wyraźną obręcz z siwych bokobrodów, czerwonych policzków i brązowego tweedu – coś jakby pierścień Saturna.

Wszyscy ci mądrzy ludzie przepowiadali więc z wielką pomysłowością, co ukrótce stanie się na świecie i wszyscy brali się do rzeczy w jednakowy sposób, gdyż obierali sobie jeden z popularnych prądów współczesnych, który rozszerzali i przedłużali, jak tylko pozwalała im na to wyobraźnia. Był to według nich sposób najprostsz i najpewniejszy, jedynie skuteczny, by poznać zawczasu przyszłość. „Tak samo – pisał doktor Pelkins w subtelny swym traktacie – tak samo, jak widząc w jednym miocie prosię większe niż inne prosięta, wiemy, że na mocy jakiegoś niezmiennego prawa Nieznanej Siły stanie się ono większe niż słoń, tak samo, jak widząc zielska i żółte mlecze, zagłuszające ogród, wiemy, że pomimo wszystkich naszych wysiłków przerosną one kiedyś kominy i zasłonią cały dom, tak samo wiemy i przyznajemy z uszanowaniem, że jeżeli jakaś siła okazała się w sprawach polityki bardzo czynna podczas pewnego przeciągu czasu, to siła ta będzie nadal się tak rozwijać, że kiedyś dosięgnie nieba”.

G.K. Chesterton, *Napoleon z Notting Hill*, 1904

Wielki Wybuch czy wielka ekstrapolacja?

Prof. dr
Marek DEMIAŃSKI

Nikt zapewne nie zaprzeczy, że pytanie o to, jak powstał Wszechświat i jak przebiegała jego późniejsza ewolucja, należy do najbardziej fascynujących i jednocześnie do najtrudniejszych.

Nie sposób w krótkim artykule przedstawić wszystkich danych obserwacyjnych i założeń teoretycznych, które są potrzebne, aby zbudować akceptowany współcześnie model kosmologiczny. Warto zdać sobie jednak sprawę z trudności i znikomej ilości danych obserwacyjnych, z których można skorzystać.

Już proste na pozór pytanie, postawione w 1826 roku przez wiedeńskiego lekarza Heinricha Olbersa, dlaczego w nocy jest ciemno, wymaga zadumy nad strukturą całego Wszechświata. Gdyby bowiem Wszechświat był statyczny, nieskończony i jednorodnie wypełniony gwiazdami, to – zgodnie z zasadami termodynamiki – w nocy powinno być tak samo jasno jak w dzień. Istnieje kilka możliwości wyjaśnienia paradoksu Olbersa. Wszechświat może być skończony lub rozszerzać się, materia świecąca może być w odpowiedni sposób pogrupowana itp. Kiedy Olbers stawiał swoje pytanie, dominował pogląd, że Wszechświat jest nieskończony, ale statyczny, a cała materia tworzy jedno ogromne zgrupowanie – Drogi Mlecznej.

Gdy w 1916 roku Albert Einstein sformułował relatywistyczną teorię grawitacji – ogólną teorię względności, od razu przystąpił do sprawdzenia, czy równania tej teorii dopuszczają możliwość istnienia statycznego Wszechświata. Wiara Einsteina w statyczność Wszechświata była tak głęboka, że kiedy okazało się, iż równania ogólnej teorii względności nie dopuszczają takiej możliwości, zmodyfikował je wprowadzając tak zwaną stałą kosmologiczną.

W końcu lat dwudziestych Edwin Hubble dokonał zadziwiających odkryć, które spowodowały radykalne zmiany w poglądach na strukturę i ewolucję Wszechświata. Korzystając z największego wówczas teleskopu Hubble zauważył, że niektóre mgławice, które uważano za część składową Drogi Mlecznej, składają się z gwiazd i znajdują się daleko poza obszarem Drogi Mlecznej. W ten sposób Hubble wykazał, że Wszechświat składa się z bardzo wielu galaktyk.

WYJDZIE JUZ.
WUJEK WAM
OPOWIE JAK
POWSTAŁ
WSZECHSWIAT





Rozwiązanie zadania M 544.

Udowodnimy przez indukcję, że $n! \geq (n+1)^n \cdot e^{-n}$. Dla $n=1$ nierówność jest oczywista ($1 \geq \frac{2}{e}$). Zauważmy, że przy zwiększeniu n o 1 lewa strona nierówności zwiększa się $n+1$ razy. Do dowodu kroku indukcyjnego wystarczy więc wykazać, że prawa strona zwiększy się nie więcej niż $n+1$ razy, tzn. że zachodzi nierówność

$$\frac{(n+2)^{n+1} \cdot e^{-(n+1)}}{(n+1)^n \cdot e^{-n}} \leq n+1.$$

Przepisując tę nierówność w postaci równoważnej otrzymujemy nierówność

$$\left(\frac{n+2}{n+1}\right)^{n+1} \leq e,$$

co jest nierównością prawdziwą, gdyż

$$\left(\frac{n+2}{n+1}\right)^{n+1} = \left(1 + \frac{1}{n+1}\right)^{n+1},$$

a ciąg $\left(1 + \frac{1}{k}\right)^k$ jest zbieżny, rosnąc, do e .

Podczas badania galaktyk Hubble stwierdził, że linie widmowe światła dalekich galaktyk są przesunięte ku czerwieni i im dalej położona jest galaktyka, tym przesunięcie linii widmowej jest większe. Jeżeli przesunięcie linii widmowych interpretować jako przejaw efektu Dopplera i kojarzyć je ze względny ruchem źródła i obserwatora, wówczas prowadzi to do wniosku, że galaktyki oddalają się od Drogi Mlecznej i prędkość oddalania się jest wprost proporcjonalna do odległości.

Jeszcze zanim Hubble odkrył, że Wszechświat się rozszerza, radziecki matematyk, Aleksander Friedman wykazał, że równania Einsteina dopuszczają model Wszechświata jednorodnie wypełnionego materią, który nie jest stacjonarny i z biegiem czasu ewoluuje.

Od czasów Hubble'a dość dokładnie spenetrowano nasze najbliższe otoczenie kosmiczne. Z obserwowanego sposobu rozszerzania się Wszechświata i ze skończonej prędkości rozchodzenia się światła wynika, że istnieje naturalna granica - horyzont wyznaczający obszar dostępny obserwacjom. Odległość do horyzontu szacuje się na około dziesięć miliardów lat świetlnych. Za pomocą teleskopów znajdujących się obecnie na Ziemi udało się zbadać rozmieszczenie galaktyk, które są położone nie dalej niż miliard lat świetlnych. Kula zawierająca te galaktyki stanowi zaledwie jedną tysięczną obszaru znajdującego się wewnątrz horyzontu. Dopiero od kilkunastu lat prowadzi się systematyczne badanie przestrzennego rozkładu galaktyk. Nie ma już żadnej wątpliwości co do tego, że galaktyki zgrupowane są w gromady galaktyk, a gromady galaktyk tworzą supergromady. Istniejące obecnie dane obserwacyjne nie pozwalają stwierdzić, czy hierarchia struktur kończy się na supergromadach i supergromady galaktyk rozmieszczone są we Wszechświecie przypadkowo, czy też grupowanie się materii następuje również w większej skali. Rozstrzygnięcie tego problemu ma ogromne znaczenie dla poznania struktury Wszechświata. Gdyby grupowanie się materii występowało we wszystkich skalach, nie można byłoby przyjmować, że Wszechświat w dużej skali jest jednorodny i izotropowy. Obecnie uważa się, że w skalach większych od supergromady galaktyk materia rozłożona jest równomiernie. Nie są z tym sprzeczne dane dotyczące źródeł promieniowania radiowego, których rozkład w obszarach większych od miliarda lat świetlnych jest jednorodny z dokładnością do kilku procent.

Zupełnie niespodziewanie nowych argumentów świadczących o tym, że Wszechświat w dużej skali jest jednorodny i izotropowy, dostarczyło odkrycie dokonane w 1965 roku przez amerykańskich radioastronomów Arno Penziasa i Roberta Wilsona. Badając antenę przeznaczoną do odbioru fal radiowych o długości kilku centymetrów stwierdzili, że odbiera ona stały sygnał (szum), który mógłby być wywołany przez promieniowanie cieplne o temperaturze zaledwie 3 stopni powyżej absolutnego zera. Odkrycie Penziasa i Wilsona zostało bardzo szybko potwierdzone przez innych radioastronomów. Zbadano też widmo tego promieniowania i potwierdzono, że ma ono charakter cieplny.

W drugiej połowie lat czterdziestych George Gamow wysunął hipotezę, że wszystkie pierwiastki występujące w przyrodzie powstały bardzo dawno, wówczas gdy Wszechświat był bardzo gęsty i bardzo gorący. Model Wszechświata przyjmujący, że początkowo Wszechświat był bardzo gęsty i bardzo gorący, nazwano modelem Wielkiego Wybuchu. Wprawdzie hipoteza Gamowa okazała się fałszywa, gdyż w procesie pierwotnej nukleosyntezy nie można wyprodukować pierwiastków cięższych od litu, zwróciła ona jednak uwagę na to, że we wczesnych fazach ewolucji Wszechświat mógł być nie tylko bardzo gęsty, ale i bardzo gorący. Gamow przewidział nawet, że po tym gorącym okresie ewolucji Wszechświata pozostanie ślad w postaci mikrofalowego tła promieniowania termicznego i oszacował temperaturę tego promieniowania na 5 K.

Kiedy Penzias i Wilson odkryli promieniowanie reliktoowe, przypomniało sobie o hipotezie Gamowa i zaczęto dokładniej analizować informacje, jakie są zawarte w rozkładzie temperatury tego promieniowania na sferze niebieskiej. Okazało się, po pierwsze, że temperatura tego promieniowania jest niemal dokładnie stała i wykazuje jedynie małe wahania, nie przekraczające 0,1%. Po drugie, promieniowanie reliktoowe nie może być wytwarzane przez lokalne źródła i musiało powstać dostatecznie wcześniej, choć niekoniecznie w początkowych fazach ewolucji Wszechświata. Po trzecie wreszcie, izotropia temperatury tego promieniowania świadczy o tym, że wówczas kiedy promieniowanie to po raz ostatni oddziaływało ze zjonizowaną materią, materia była rozłożona niemal jednorodnie.

Powiązanie modelu Friedmana z faktem występowania promieniowania reliktoowego doprowadziło do powstania tak zwanego standardowego modelu kosmologicznego. Korzystając z obserwacyjnych oszacowań gęstości świecącej materii oraz znajac



Rozwiązanie zadania F 270.

Na orbicie kołowej o promieniu R całkowita energia E , energia potencjalna U i kinetyczna T związane są relacją:

$$E = \frac{U}{2} = -T = -G \frac{mM}{2R},$$

gdzie G jest stałą grawitacji.

Po wybuchu gwiazdy centralnej całkowita energia E' jest równa:

$$E' = T + U(1 - q) = -\frac{GmM}{R} \left(\frac{1}{2} - q\right).$$

Przy $q > 1/2$ energia ta jest większa od zera i ciało o mniejszej masie oddali się po torze hiperbolicznym. W przypadku $q = 1/2$ energia jest równa zeru i mniejsza gwiazda zacznie poruszać się po torze parabolicznym. Dla $q < 1/2$ będziemy mieli do czynienia z ruchem po orbicie eliptycznej, w ognisku której znajdować się będzie pozostałość gwiazdy centralnej.

FIZYCZNE NOWINKI

Redaguje dr hab. Andrzej KENNEL

KSENON — METAL BEZ POLYSKU

Dlaczego metale są błyszczące? Dlaczego nawet cienka warstwa metalu praktycznie nie przepuszcza światła, a za to całkowicie odbija padające na nią promieniowanie? Za te wszystkie własności odpowiedzialny jest wypełniający kryształy metali gaz swobodnych elektronów zwany plazmą. Padająca na metal fala elektromagnetyczna jest bardzo skutecznie od niego odbijana, dopóki częstość drgań tej plazmy jest większa bądź równa częstości fali. Jest to tzw. krawędź plazmowa. Dla typowych metali częstość plazmowa wypada w obszarze nadfioletu i dlatego jesteśmy przyzwyczajeni do ich metalicznego połysku. Jednakże w 1968 roku w dwóch konkurujących ze sobą grupach amerykańskich [Laboratorium Lymana z Uniwersytetu Harvarda (Cambridge, Massachusetts) i Laboratorium Lawrence'a Uniwersytetu Kalifornijskiego w Livermore] otrzymano po raz pierwszy metaliczny ksenon, który nie ma połysku. Przejście doskonałego izolatora, jakim jest kryształ ksenonu, w metal uzyskano poprzez poddanie badanych próbek ogromnemu ciśnieniu hydrostatycznemu w kowadłach diamentowych. Jako ciśnienie przejścia grupa kalifornijska podała 150 GPa (czyli półtora miliona atmosfer), grupa harwardzka w dokładniejszym eksperymencie otrzymała 132 ± 5 GPa. Dlaczego jednak metaliczny ksenon słabo odbija światło? Otóż przejście pod ciśnieniem do stanu metalicznego następuje w ten sposób, że pasmo walencyjne ksenonu, powstałe z elektronowej powłoki 5p, zbliża się do całkowicie pustego pasma przewodnictwa. W ten sposób przy ciśnieniu wynoszącym około miliona atmosfer przerwa energetyczna ksenonu wynosi już tylko około 2 eV, przy około 115 GPa maleje do 1 eV, by wreszcie zmniejszyć się do zera przy około 132 GPa. Przy dalszym zwiększaniu ciśnienia pasma walencyjne i przewodnictwa przekrywają się i pojawiają się swobodne elektrony tworzące plazmę. Ich liczba jest początkowo niewielka i dopiero rośnie z ciśnieniem. Ponieważ częstość plazmowa, czyli położenie krawędzi plazmowej jest proporcjonalne do pierwiastka z koncentracji swobodnych elektronów, więc zaobserwowano przesunięcie się tej krawędzi do wyższych energii w miarę wzrostu ciśnienia. W omawianych eksperymentach otrzymane maksymalne ciśnienie wyniosło 2 miliony atmosfer (200 GPa), co odpowiada położeniu krawędzi plazmowej w obszarze bliskiej podczerwieni przy około $1,25 \mu\text{m}$ (czyli przy energii 1 eV). Dopiero wyższa wartość ciśnienia może "wprzewodzić" krawędź plazmową w obszar widzialny i nadać ksenonowi metaliczny połysk. Warto dodać, że koncentrację elektronów w ksenonie przy 200 GPa można oszacować na około 3×10^{21} w centymetrze sześciennym, co odpowiada zaledwie 1% koncentracji elektronów w typowych metalach. Można zatem stwierdzić, że ksenon w tym obszarze ciśnienia jest raczej półmetalem.

temperaturę promieniowania relikтового i przyjmując, że dynamika Wszechświata jest poprawnie opisywana za pomocą modelu Friedmana, można odtworzyć całą przeszłą historię Wszechświata. Trzeba przy tym skorzystać z zasady zachowania energii i masy oraz przyjąć, że ewolucja Wszechświata odbywa się adiabaticznie. Nie czas tutaj na przedstawienie pełnego blasku modelu standardowego. Warto jednak wspomnieć o dwóch ważnych wnioskach wynikających z tego modelu.

Wielkim sukcesem modelu standardowego było pełne wyjaśnienie składu chemicznego materii, z której powstały pierwsze gwiazdy (około 25% helu i 75% wodoru). Przewidywania modelu są bardzo dobrze zgodne z danymi obserwacyjnymi i, co więcej, pozwalają na wyznaczenie średniej gęstości materii świecącej. Jak się okazuje, ilość produkowanego helu jest bardzo czuła na tempo rozszerzania się i gdyby na przykład Wszechświat początkowo rozszerzał się anizotropowo, to ilość powstającego helu mogłaby znacznie różnić się od obserwowanej. Okazuje się, że model standardowy, choć opiera się zaledwie na kilku danych obserwacyjnych, jest wewnętrznie bardzo spójny. Ta „sztywność” modelu jest jego ogromną zaletą.

Model standardowy przewiduje, że początkiem Wszechświata był Wielki Wybuch, czyli stan, w którym gęstość materii oraz temperatura były nieskończone i początkowe tempo rozszerzania się Wszechświata też było nieskończone. Taki stan, oczywiście, nie jest realistyczny i jego pojawienie się świadczy o tym, że zbyt daleko ekstrapolowaliśmy nasze rozwiązanie. W rzeczywistości zanim osiągniemy stan osobliwy (początek Wszechświata), istotną rolę zaczną odgrywać efekty fizyczne, które w modelu standardowym zostały pominięte. Przy bardzo dużych gęstościach dominującą rolę zaczną odgrywać efekty kwantowe i to nie tylko związane z faktem występowania materii, ale zaczną się również przejawiać kwantowe własności czasoprzestrzeni. Standardowy model kosmologiczny opiera się na klasycznej koncepcji czasoprzestrzeni. Najwcześniejsze fazy ewolucji Wszechświata powinny być opisywane przez kwantową teorię czasoprzestrzeni. Jednak pomimo intensywnych badań nie udało się do tej pory zbudować kwantowej teorii czasoprzestrzeni i wobec tego nie można odpowiedzieć na pytanie, jak przebiegały najwcześniejsze fazy ewolucji Wszechświata. Problem nie polega tylko na rozgoryczeniu, że nie możemy zaspokoić swojej ciekawości, ale ma głębszy sens. Może się bowiem okazać, że procedura cofania się w przeszłość załamuje się znacznie wcześniej niż przypuszczamy.

Poważnym argumentem potwierdzającym ten punkt widzenia były wnioski, do jakich doprowadziło powiązanie programu unifikacji wszystkich oddziaływań elementarnych z rozważaniami kosmologicznymi. W 1981 roku Alan Guth zauważył, że wczesne etapy ewolucji Wszechświata mogły przebiegać inaczej, niż to przewiduje model standardowy. Mógł mianowicie istnieć taki okres, kiedy Wszechświat rozszerzał się wykładniczo z czasem, czyli znacznie szybciej, niż to przewiduje model standardowy. Ten wykładniczy okres rozwoju Wszechświata można opisać przez wprowadzenie efektywnej stałej kosmologicznej, która determinuje tempo rozszerzania się Wszechświata. Wszechświat nie rozszerza się jednak wykładniczo nieskończenie długo i po pewnym czasie dominującą rolę zaczyna znowu odgrywać materia. Ten nowy model nazwano modelem inflacyjnym. Dokładniejsze badania wykazały, że kosmiczna inflacja może występować nawet wówczas, gdy początkowo Wszechświat nie był ani izotropowy, ani jednorodny. Jeżeli okres wykładniczego rozszerzania się trwa dostatecznie długo, to wszystkie początkowe niejednorodności zostaną wygładzone i Wszechświat „zapomina” o swojej początkowej ewolucji. Zatem jeżeli zachodzi inflacja, to nie można dowiedzieć się, jakim był Wszechświat przed inflacją, chyba że bylibyśmy w stanie wyznaczyć wartości wszystkich podstawowych parametrów kosmologicznych z nieograniczoną dokładnością.

Warto na zakończenie wspomnieć o tym, że jeżeli zaszła inflacja, to stało się to bardzo wcześnie w historii Wszechświata, wówczas, gdy średnie energie cząstek były około dziewiętnastu rzędów wielkości większe od energii masy spoczynkowej protonu. W laboratoryjnych warunkach zbadano własności cząstek mających energię tysiąc razy większą od energii masy spoczynkowej protonu. Teoria unifikacji oddziaływań elementarnych nie została jeszcze potwierdzona doświadczalnie ani bezpośrednio, ani pośrednio. Podobnie nie przeprowadzono dotychczas, z zasadniczych powodów, żadnych doświadczeń nad materią, której gęstość byłaby większa od gęstości materii jądrowej, czyli 10^{14} g/cm³. Cofając się ku bardzo wczesnym okresom historii Wszechświata często zapominamy o tym. Trzeba sobie jednak zdawać sprawę z tego, że nie jest to spowodowane naszą ignorancją, ale desperacją. Trudno bowiem powstrzymać się od dociekań nad tym, jak przebiegały pierwsze fazy ewolucji Wszechświata.

Dr Krzysztof A. MEISSNER,

Dr Jacek PAWEŁCZYK

Rozpatrując ruch Ziemi wokół Słońca z powrotem możemy traktować Ziemię i Słońce jako obiekty punktowe. Przybliżenia powyższego nie możemy, oczywiście, stosować, gdy interesujemy się podróżami na Ziemi; Ziemia jawi się nam wówczas jako kula. W wielu sytuacjach cząsteczki i atomy mogą być uważane za obiekty punktowe. Dopiero, gdy zdolność rozdzielcza postrzegania jest dostatecznie duża, zaczynamy dostrzegać ich strukturę. Analizując budowę atomu możemy z kolei jądro atomowe i elektrony traktować jako punktowe. Zwiększając zdolność rozdzielczą stwierdzamy, że jądro ma skończone wymiary. Możemy uważać je za kulkę o rozmiarach 10^{-15} m wypełnioną protonami i neutronami. Protony i neutrony zbudowane są z kwarków. A kwarki? A elektrony? Z doświadczenia wiemy, że elektrony nie mają struktury aż do odległości rzędu 10^{-18} m. Założenie punktowości prowadzi jednak do wielu komplikacji w teorii. Może elektron to też mała kulka? Dotychczas ilekroć stwierdzaliśmy strukturę jakiegoś obiektu, pierwszym dobrym przybliżeniem było przyjęcie, że jest to kulka – obiekt trójwymiarowy. Otóż w teorii strun zakłada się, że elektron i inne cząstki elementarne są obiektami jednowymiarowymi – strunami o długości rzędu 10^{-35} m. W artykule tym opiszemy pewne idee leżące u podstaw teorii strun. Teoria ta ma opisywać wszystkie znane oddziaływania fundamentalne w jednolity sposób, czyli pretenduje do miana teorii unifikującej wszystkie oddziaływania. Napisaliśmy „pretenduje”, ponieważ jest to dopiero pewna (bardzo pociągająca z teoretycznego punktu widzenia) hipoteza. Na doświadczenie potwierdzenie lub odrzucenie tej teorii musimy jeszcze poczekać. Początki teorii strun sięgają 1968 roku, natomiast pierwsze konsyistentne sformułowania i zastosowania do opisu cząstek elementarnych pochodzą z lat 1981–84.

Jak opisać świat, którego nie można zobaczyć bezpośrednio? Cząstki elementarne tworzą właśnie taki świat postrzegany przez nas tylko za pomocą detektorów i klisz fotograficznych. Interpretacja, czyli sposób patrzenia i rozumienia tego, co się dzieje w przyrządach pomiarowych, dostarczana jest przez teorię. Oczywiście, zanim teoria stanie się przyjętym sposobem widzenia świata, musi być sprawdzona w wielu eksperymentach.

W fizyce wyróżniamy cztery rodzaje oddziaływań fundamentalnych. Są to oddziaływania elektromagnetyczne, słabe, silne oraz grawitacja. Dwa pierwsze rodzaje oddziaływań udało się ostatnio zunifikować – zbudowano tzw. model GSW (Glashowa-Salama-Weinberga), za który jego autorzy otrzymali w roku 1978 nagrodę Nobla. Powiedzmy dokładniej, co oznacza unifikacja w tym przypadku. Rozpatrzmy oddziaływania dwóch rodzajów cząstek: neutrin i elektronów. Neutrino są cząstkami oddziałującymi tylko słabo, natomiast elektrony oddziałują również elektromagnetycznie (jak wiadomo, elektrony mają ładunek elektryczny $Q = -e$, natomiast neutrino $Q = 0$). Zasięg oddziaływań słabych jest bardzo mały – rzędu $r_0 = 10^{-18}$ m. Oznacza to, że neutrino bardzo słabo oddziałuje z obiektami znajdującymi się dalej niż r_0 . Z tego powodu Ziemia dla neutrin jest prawie przezroczysta (przypomnijmy, że odległość między jądrami atomów w materii Ziemi, wynosząca około 10^{-10} m, jest ogromna w stosunku do r_0). Elektrony oddziałując również elektromagnetycznie zatrzymują się po przebyciu niewielkiej drogi. Unifikacja oddziaływań elektromagnetycznych i słabych mówi, że dla odległości mniejszych od r_0 różnice między obu siłami zanikają i mamy teorię z jednym oddziaływaniem. Ponadto model GSW pokazuje, dlaczego oddziaływania słabe mają tak krótki zasięg.

Jak dotąd, nie zbudowano teorii unifikującej wszystkie oddziaływania. Największe problemy stwarza grawitacja. Istniejąca teoria grawitacji Einsteina (jej przybliżeniem jest teoria Newtona) jest teorią klasyczną, nie dającą się pogodzić z mechaniką kwantową. Przyjrzyjmy się bliżej temu problemowi.

W kwantowej teorii grawitacji powinna występować stała o wymiarze długości (tzw. długość Plancka l_P) utworzona z trzech fundamentalnych stałych wymiarowych: stałej grawitacji G , stałej Plancka \hbar charakteryzującej efekty kwantowe, oraz prędkości światła c w następujący sposób: $l_P = \sqrt{G\hbar/c^3} = 1,6 \times 10^{-35}$ m. Jaka jest interpretacja tej skali długości i jaki ma ona związek z kwantowym opisem grawitacji?

W teoriach kwantowych istnieją tzw. zasady nieoznaczoności Heisenberga mówiące o maksymalnych, możliwych do osiągnięcia dokładnościach pomiarów odpowiednich wielkości fizycznych. Jedną z nich jest zasada wiążąca nieoznaczoność pomiaru energii układu i czasu dostępnego na ten pomiar: $\Delta E \Delta t \geq \hbar$. W czasie Δt sygnał poruszający się z prędkością światła sonduje obszar o długości $\Delta x = c \Delta t$, a więc powyższą zasadę zapiszemy jako $\Delta E \Delta x \geq \hbar c$. Nieoznaczoność energii ΔE prowadzi do fluktuacji masy danego układu zgodnie ze wzorem Einsteina $\Delta E = \Delta M c^2$. Zobaczmy, jak teoria grawitacji ingeruje w ten opis.

W teorii grawitacji Einsteina każdy obiekt o masie m posiada charakterystyczny promień (tzw. promień Schwarzschilda) $R_s = 2Gm/c^2$. Jeżeli obiekt ma rozmiary mniejsze niż R_s , to żadne sygnały (informacje) z wnętrza sfery o promieniu R_s nie wychodzą na zewnątrz – ciało jest czarną dziurą. Oznacza to, że nie możemy próbować obszaru wewnątrz sfery Schwarzschilda. Promień Schwarzschilda fluktuacji kwantowej ΔM jest równy $R_{\Delta M} = 2G\Delta M/c^2$. Nieoznaczoność położenia Δx powinna być większa niż $R_{\Delta M}$, gdyż obszar wewnątrz sfery Schwarzschilda jest niedostępny dla próbkowania. Zgodność mechaniki kwantowej i klasycznej (tzn. niekwantowej) teorii grawitacji narzuca warunek na minimalne Δx : $\Delta x_{min} \equiv R_{\Delta M}$. Z warunku tego obliczamy $\Delta x_{min} = 2G\hbar/(c^3 \Delta x_{min})$, skąd $\Delta x_{min} = \sqrt{2G\hbar/c^3} = \sqrt{2}l_P$. Widzimy więc, że Δx_{min} jest tego samego rzędu co długość Plancka l_P . (Odpowiada temu $\Delta M \approx M_P = 1,2 \times 10^{19}$ GeV/c², gdzie M_P jest tzw. masą Plancka, czyli ponad dziesięć trylionów mas protonu; jak dotąd nie znamy żadnej cząstki elementarnej o masie większej niż sto mas protonu.) Mówiąc w skrócie, jeśli chcemy badać przestrzeń (lub cząstki) na odległościach rzędu l_P , to musimy uwzględnić kwantowe efekty grawitacji.

Wielkością charakteryzującą ruch cząstki punktowej jest iloczyn energii i czasu ruchu zwany działaniem S zdefiniowanym

$$S = \int_{t_0}^t E dt = \frac{1}{2} m_0 \int_{t_0}^t \left(\frac{d\vec{x}}{dt} \right)^2 dt.$$

Dla obiektów $(d-1)$ wymiarowych uogólnieniem tego wzoru jest następująca formula

$$S = \sum_{a,b=1}^d \int \sqrt{-\det g} \times (g^{-1})^{ab} \left(\frac{\partial \vec{x}}{\partial \sigma^a} \frac{\partial \vec{x}}{\partial \sigma^b} \right),$$

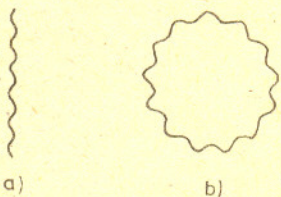
gdzie σ^1 jest czasem, pozostałe $(d-1)$ zmiennych σ^a parametryzują dany obiekt, a g pewną macierzą symetryczną charakteryzującą kształt tego obiektu. Dla strun ($d=2$) macierz g ma cztery elementy, z czego trzy są niezależne. Wynik na S nie powinien zależeć od sposobu wyboru zmiennych σ^1 i σ^2 . Zamieniając zmienne można ustalić dwa z trzech niezależnych elementów definiujących g otrzymując np.

$$g = \begin{pmatrix} f & 0 \\ 0 & -f \end{pmatrix}.$$

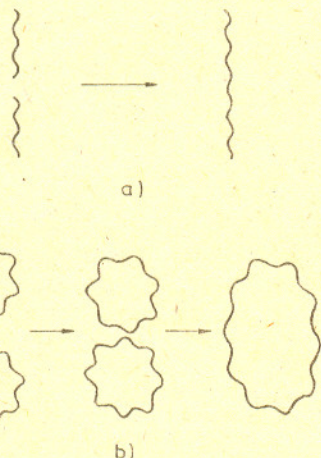
Jej wyznacznik $\det g = -f^2$, a macierz odwrotna ma wówczas postać,

$$g^{-1} = \begin{pmatrix} 1/f & 0 \\ 0 & -1/f \end{pmatrix}.$$

Stąd widać, że działanie w ogóle nie zależy od funkcji f , czyli od wyboru g . W związku z tym kształt (geometria) strun nie wpływa na działanie S , to znaczy na ich ruch i oddziaływanie. Dla obiektów więcej wymiarowych wniosek ten nie jest prawdziwy.



Rys. 1



Rys. 2

Teorie kwantowe operujące obiektami punktowymi jako obiektami fundamentalnymi z reguły narażone są na pewne trudności. Zajmijmy się elektronami i ich oddziaływaniem elektromagnetycznym. Z doświadczenia wiadomo, że elektron nie ma żadnej struktury aż do odległości rzędu 10^{-18} m i w teorii pola ekstrapolujemy ten wynik zakładając, że elektron jest cząstką punktową. Siła oddziaływania dwóch elektronów ma wartość określoną prawem Coulomba $F = e^2/(4\pi\epsilon_0 r^2)$. Jeśli odległość r między elektronami maleje do zera, to siła F rośnie do nieskończoności. Z tego powodu w teorii kwantowej obiektów punktowych pojawiają się nieskończoności. Można je, co prawda, usunąć przez odpowiednie przepisy w teoriach oddziaływań silnych i elektroślabych, ale nie udaje się tego zrobić w kwantowej teorii grawitacji Einsteina.

W tym miejscu nasuwa się myśl: „Może powyższa ekstrapolacja zakładająca punktowość cząstek jest zła i należy zająć się teoriami obiektów rozciągniętych, które, być może, nie miałyby nieskończoności”. Na przykład można próbować zbudować elektrodynamikę elektronów jako rozciągniętych kulek o jakimś promieniu a , co spowodowałoby, że wzór na siłę Coulomba mogliśmy stosować jedynie dla odległości $r > a$. Oprócz nowych trudności, jakie pojawiają się w takiej teorii, powstaje problem elementarności obiektu – przecież musielibyśmy zadać rozkład ładunku w kulce. A dłaczego dany rozkład miałby być lepszy niż inne? Poza tym powstaje pytanie o geometrię obiektu: dlaczego kulka, a nie np. elipsoida? Wydaje się, że pojęcia „obiekt rozciągnięty” i „obiekt fundamentalny” trudno byłoby ze sobą uzgodnić, ponieważ musielibyśmy dostarczyć dodatkowych informacji (rozkład ładunku, geometria) o naszym obiekcie.

Wyjątek wśród wszystkich obiektów rozciągniętych stanowią struny, czyli skończone obiekty jednowymiarowe. Struna może być obiektem fundamentalnym w tym sensie, że każdy rozkład ładunku na strunie (i każda geometria, czyli wygląd struny) jest równouprawniony i prowadzi do tego samego oddziaływania (patrz uwaga na marginesie). Teoria strun, mająca za cel opisać oddziaływania fundamentalne w jednolity sposób, jest charakteryzowana jedną stałą o wymiarze długości (rozmiar struny), której kwadrat oznaczany jest zwykle przez α' . Stała ta może być wyznaczona z żądania zgodności z teorią grawitacji Einsteina dla obiektów makroświata. Warunek ten daje związek: $\sqrt{\alpha'} \approx l_P$. W ten sposób wprowadzona poprzednio fundamentalna długość Plancka uzyskała jasną interpretację – jest to rozmiar strun.

Mamy dwa rodzaje strun: otwarte i zamknięte (rys. 1a i 1b). (Obecnie wydaje się, że do opisu fizyki świata cząstek elementarnych bardziej nadają się struny zamknięte.) A co wspólnego ze strunami mają cząstki elementarne, np. elektron? Każdy wie, że struna może drgać. Jasne jest, że drgająca struna ma większą energię (a więc i masę) niż struna nie drgająca. Okazuje się, że cząstki nam znane (foton, elektron, neutrino, itd.) odpowiadają najmniej energetycznym drganiom struny (w odróżnieniu od struny gitarowej tutaj istnieje więcej niż jedno drganie o najniższej energii). Bardziej energetyczne drgania mają ogromne masy równe wielokrotnościom masy Plancka. Cząstki odpowiadające tym drganiom nie mogą być więc bezpośrednio obserwowane w eksperymentach.

Istnieje prosty sposób wprowadzenia oddziaływania strun polegający na sklejeniu końców strun dla struny otwartej (rys. 2a) i sklejeniu dwóch strun zamkniętych do nowej struny zamkniętej (rys. 2b). Siła oddziaływania między dwiema strunami, odpowiadającymi np. elektronom, dla dużych odległości (dużo większych niż rozmiar struny) zachowuje się tak samo jak dla ładunków punktowych, tzn. maleje z kwadratem odległości. Można powiedzieć, że na odległościach dużo większych od l_P nie widać struktury struny – oddziałują one jak ładunki punktowe, tzn. zgodnie z prawem Coulomba. Natomiast dla małych odległości siła ta jest bardzo istotnie modyfikowana, ponieważ istotną rolę zaczyna odgrywać rozmiar strun. W ten sposób prawo Coulomba jest silnie modyfikowane dla odległości między strunami $r < l_P$. Efekt ten umożliwi sformułowanie teorii strun tak, że nie występują w niej omawiane poprzednio nieskończoności. Na odległościach dużo większych od długości Plancka teoria strun odtwarza ogólną strukturę znanych do tej pory modeli oddziaływań fundamentalnych, czyli modelu GSW, modelu oddziaływań silnych i teorii grawitacji Einsteina. Jest to rzeczywiście teoria unifikująca, gdyż opisuje wszystkie znane oddziaływania i cząstki za pomocą jednego obiektu.

Teoria strun jest bardzo śmiałą ekstrapolacją dotychczas znanych teorii oddziaływań fundamentalnych, której jeszcze nie udało się w żaden sposób sprawdzić. Głównym powodem zajmowania się nią jest fakt, że we wszystkich oddziaływaniach (również w kwantowej teorii grawitacji) istnienie skończonego rozmiaru struny pozwala uniknąć wspomnianych powyżej nieskończoności – jest to jedyna znana (i sensowna matematycznie) teoria o tej własności.

O ogrzewaniu przez chłodzenie, czyli dlaczego Słońce nie jest bombą termojądrową

Dr Aleksander SCHWARZENBERG-CZERNY

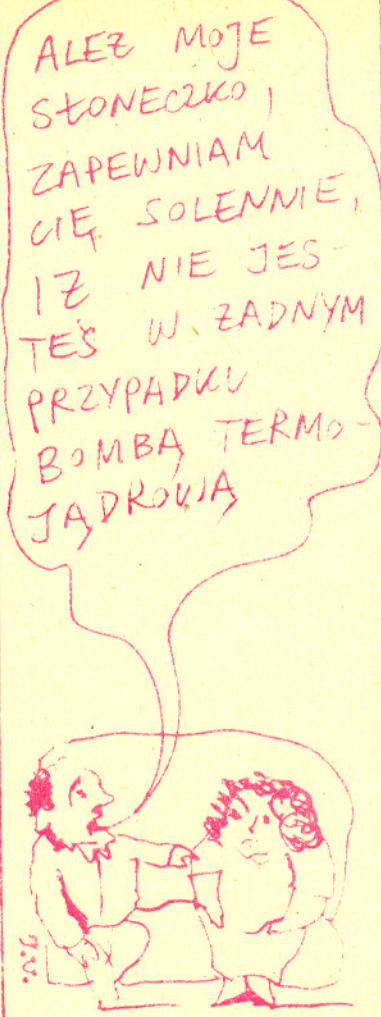
Nasze Słońce jest reaktorem termojądrowym, który działa nieprzerwanie bez większych zmian już ponad 4 miliardy lat, jak to twierdzą geolodzy badający warunki powstawania najstarszych skał i organizmów żywych na powierzchni Ziemi. Już na podstawie tego faktu sądzić można, że Słońce znajduje się w równowadze. Zastanowimy się wspólnie, na czym dokładnie polega i jakiego rodzaju jest ta równowaga.

A więc, równowaga – po pierwsze – oznacza, że ciężar zewnętrznych warstw gwiazdy, przejawiający się jako ciśnienie hydrostatyczne, jest dokładnie zrównoważony przez ciśnienie gazu, czyli że panuje równowaga hydrostatyczna. Gdyby ciśnienie gazu było prawie zerowe, to gwiazda zapadłaby się pod własnym ciężarem z prędkością spadku swobodnego (lub prędkością ucieczki, co na jedno wychodzi). Czas skurczenia się do bardzo małych rozmiarów byłby rzędu $t_d \sim R/v_u$, gdzie R oznacza promień gwiazdy, a prędkość ucieczki $v_u \sim \sqrt{GM/R}$ (G oznacza stałą grawitacji, M masę gwiazdy). Ostatecznie czas ten, zwany dynamiczną skalą czasu, jest rzędu $t_d \sim \sqrt{R^3/GM}$ i po podstawieniu wartości liczbowych stosownych dla Słońca stwierdzamy, że jest to kilka godzin. Oczywiście, jeśli ciśnienie gazu częściowo równoważy ciśnienie hydrostatyczne, czas dochodzenia do równowagi będzie nieco dłuższy.

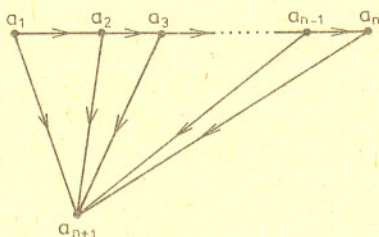
Po drugie – straty energii wypromieniowywanej z powierzchni Słońca są równoważone przez energię uwolnioną w jego wnętrzu w reakcjach jądrowych, panuje zatem równowaga energetyczna (cieplna). Gdyby tak nie było, Słońce musiałoby świecić kosztem swojej grawitacyjnej energii potencjalnej oraz cieplnej, których łączny zapas (jak to wykażemy później) wynosi około GM^2/R . Świecąc z mocą L Słońce wyczerpałoby te zapasy po czasie $t_t \sim GM^2/RL$ zwanym cieplną skalą czasu, która – jak łatwo sprawdzić – wynosi miliony lat.

Właśnie to, że znane źródła energii były niewystarczające do zasilania Słońca w czasie jego długiego życia, nasunęło fizykom i astronomom myśl o niekonwencjonalnym źródle energii – reakcjach termojądrowych. Polegają one ogólnie na łączeniu lekkich jąder, np. wodoru, w który gwiazdy obfitują, w nowe jądro o większej masie. Energia cząstek związanych w jądrze siłami jądrowymi jest dużo niższa niż tych samych cząstek swobodnych przed reakcją i ta właśnie różnica energii wydziela się w reakcji. Kłopot polega na tym, że siły jądrowe działają praktycznie dopiero po zetknięciu się cząstek, a w trakcie ich zbliżania energia potencjalna początkowo rośnie (do wartości prawie 1 MeV) wskutek elektrostatycznego odpychania ich ładunków dodatnich. Jest to tzw. bariera potencjału elektrostatycznego, której pokonanie wymaga wstępnego zainwestowania w reakcję znacznej ilości energii, np. z termicznych ruchów cząstek. To właśnie stanowi zasadniczą przyczynę dotychczasowych niepowodzeń z reaktorami termojądrowymi. Pomocą przy pokonywaniu bariery potencjału jest efekt kwantowy zwany tunelowaniem. W jego wyniku barierę potencjału może niekiedy „przebić” cząstka o energii znacznie niższej i dlatego już w temperaturze rzędu 10 mln K reakcje mogą się toczyć w tempie zapewniającym gwiazdzie normalną produkcję energii.

Z warunku równowagi hydrostatycznej w centrum Słońca można oszacować panującą tam temperaturę. U podstawy słupa gazu o wysokości R , gęstości ρ i znajdującego się w polu grawitacyjnym o przyspieszeniu g panuje ciśnienie $P_h \sim R\rho g$. Przyjmijmy, że przyspieszenie w Słońcu jest tego rzędu co na powierzchni, $g \sim GM/R^2$, a gęstość materii taka jak średnia gęstość gwiazdy, czyli $\rho \sim M/R^3$. Centralne ciśnienie hydrostatyczne musi być wobec tego rzędu $P_h \sim GM^2/R^4 \sim GM^{2/3}\rho^{4/3}$ i takie też musi być ciśnienie gazu określone przez równanie stanu gazu doskonałego: $P_g = (k/\mu H)\rho T$, gdzie k oznacza stałą Boltzmanna, μ średnią masę cząsteczkową gazu, H masę jednostki masy atomowej.



Rozwiązanie zadania M 546.
Udowodnimy twierdzenie indukcyjnie. Przypadek $n = 2$ jest oczywisty; rozpatrzmy teraz układ $n + 1$ punktów i założmy, że każdy układ n punktów spełnia warunki zadania. Wybierzmy dowolny taki układ, ponumerujmy punkty zgodnie z porządkiem obchodzenia.



Jeśli strzałka idzie od a_{n+1} do a_1 , to wszystkie punkty da się obejść w porządku a_{n+1}, a_1, \dots, a_n . Przypuśćmy więc, że strzałka idzie od a_1 do a_{n+1} . Jeśli strzałka idzie od a_{n+1} do a_2 , to punkty da się obejść w porządku $a_1, a_{n+1}, a_2, \dots, a_n$; znów przypuśćmy, że strzałka idzie od a_2 do a_{n+1} ; kontynuując tę procedurę dojdziemy do ostatniej strzałki, łączącej a_n i a_{n+1} . Zależnie od jej kierunku punkty da się obejść w porządku a_1, \dots, a_n, a_{n+1} lub $a_1, \dots, a_{n-1}, a_{n+1}, a_n$. To kończy dowód.

CO !!!!!?

UDAŁO SIĘ
Z MOTYKĄ
NA SŁOŃCE?
TRZYMAJcie TO
NARAZIE W TA-
JEMNICZY PANST-
WOWEJ I SEUZ-
BOWEJ...



D.S.

Rozwiązanie zadania F 271.

Zderzenia cząstek atmosfery z powierzchnią satelity będziemy uważać za niesprężyste. A więc przyjmujemy, że po zderzeniu z powierzchnią cząstki uzyskują prędkość równą prędkości satelity ($v = 8 \text{ km/s}$). W ciągu $\Delta t = 1 \text{ s}$ zderzające się z satelitą cząstki otrzymują pęd równy $\Delta p = S \rho_a v^2$. Stąd siła tarcia działająca na satelitę wyniesie

$$F_T = S \rho_a v^2 \approx 5 \cdot 10^{-4} \text{ N.}$$

Całkowita energia satelity na orbicie kołowej o promieniu R wynosi

$$E = -\frac{mv^2}{2} = -\frac{GM_Z m}{2R},$$

M_Z – masa Ziemi. Stąd przy zmianie energii o ΔE promień zmieni się o

$$\Delta R = \frac{2R^2 \Delta E}{GM_Z m},$$

a prędkość o

$$\Delta v = -\frac{\Delta E}{mv}.$$

W ciągu jednego obrotu energia satelity zmieni się o wielkość $\Delta E = -2\pi R F_T$. Przy tym promień orbity zmniejszy się o

$$\Delta R = -\frac{4\pi R^3}{GM_Z m} F_T \approx -\frac{3F_T}{Gm\rho_Z} \approx 0,4 \text{ km}$$

($\rho_Z \approx 5000 \text{ kg/m}^3$ – średnia gęstość Ziemi). Zmiana prędkości wyniesie

$$\Delta v = \frac{2\pi R}{mv} F_T \approx 0,5 \text{ m/s.}$$

Z przyrównania obu ciśnień dostajemy $T \sim GM\mu H/kR$. Podstawiając wartości liczbowe dla Słońca otrzymujemy $T \sim 10^7 \text{ K}$. Jest to, jak wspomnieliśmy, temperatura wystarczająca do zachodzenia reakcji termojądrowych.

Jakiego rodzaju jest równowaga hydrostatyczna Słońca: trwała, chwiejna czy obojętna? Pamiętamy, że wszelkie zaburzenia równowagi hydrostatycznej prowadzą do szybkich zmian zachodzących w dynamicznej skali czasu. Jest ona dziesiątki milionów razy krótsza niż czas transportu energii w gwieździe, czyli skala termiczna. Można więc przyjąć, że w dynamicznej skali czasu gaz w gwieździe nie wymienia ciepła w ogóle, czyli jedynie podlega przemianie adiabatycznej. Ciśnienie gazu spełnia wówczas równanie adiabaty: $P_g \sim \rho^\gamma$, gdzie γ jest tzw. wykładnikiem adiabaty i zależy m.in. od liczby stopni swobody cząstek gazu. W najprostszym przypadku dla gazu „jednoatomowego”, czyli składającego się z kulistych cząstek (a więc o trzech stopniach swobody), wykładnik ten wynosi $5/3$. Załóżmy teraz, że gwiazdę znajdującą się początkowo w równowadze poddajemy zaburzeniu, np. kurcząc ją nieco. Równowaga będzie trwała, jeżeli przy tym ciśnienie gazu wzrośnie bardziej niż hydrostatyczne, wtedy bowiem gwiazda będzie miała „ochotę” powrócić do stanu początkowego. Z porównania wykładników przy ρ wynika, że zachodzi to, gdy $\gamma > 4/3$. A zatem gwiazda zbudowana z gazu w zwykłych warunkach jest w trwałej równowadze dynamicznej.

Pozostaje do wyjaśnienia, w jakiego rodzaju równowadze cieplnej znajduje się Słońce. Tempo reakcji termojądrowych silnie zależy od temperatury i np. gdy temperatura lokalnie wzrośnie, reakcje zaczynają biec szybciej, temperatura zatem dalej rośnie itd. i pojawia się możliwość wybuchu. Aby to wyjaśnić, zastanówmy się, jaka jest całkowita energia Słońca, tzn. potencjalna grawitacyjna plus cieplna. Średnia odległość wzajemnie przyciągających się fragmentów Słońca jest rzędu R , ich łączna masa – oczywiście – M , więc grawitacyjna energia potencjalna (ujemna!) powinna być rzędu $E_g \sim -GM^2/R$. Z kolei w temperaturze T średnia energia kinetyczna jednej cząstki jest rzędu kT , a liczba cząstek w gwieździe $M/\mu H$, cała więc energia termiczna gwiazdy jest rzędu

$$(*) \quad E_T \sim kTM/\mu H \sim P_g/\rho \sim GM^2/R,$$

czyli jest równa minus energii grawitacyjnej. Ale cały nasz rachunek jest niesłychanie przybliżony i dlatego wcale z niego nie wynika, że sumaryczna energia ma być równa zeru. Czytelniku, uwierz mi, że dokładniejsze obliczenia doprowadziłyby nas do wniosku, że energia termiczna jest równa minus połowie energii grawitacyjnej, zatem łączna energia gwiazdy byłaby rzędu

$$(**) \quad E \sim -GM^2/2R,$$

przy czym współczynnik liczbowy jest tu mało istotny, najważniejszy zaś jest znak.

Ze wzorów na E_T i E płyną bardzo ważne wnioski. Jeżeli ogrzejemy Słońce, czyli dodamy mu energii, to na mocy ostatniej formuły (**) jego promień musi wzrosnąć. Ale wtedy z (*) wynika, że jego energia cieplna i temperatura... zmaleją! To tak, jakby ciepło właściwe Słońca było ujemne! Brzmi to wprawdzie paradoksalnie, ale pamiętajmy, że gwiazda jest obiektem dość skomplikowanym i prawa rządzące jej budową i życiem nie muszą być oczywiste. W szczególności – jak się okazuje – gwiazda może gromadzić energię w różnych postaciach, np. jako potencjalną energię grawitacyjną i dlatego jej temperatura nie musi być związana z jej energią całkowitą tak prostą zależnością, jak w przypadku zwykłego gazu.

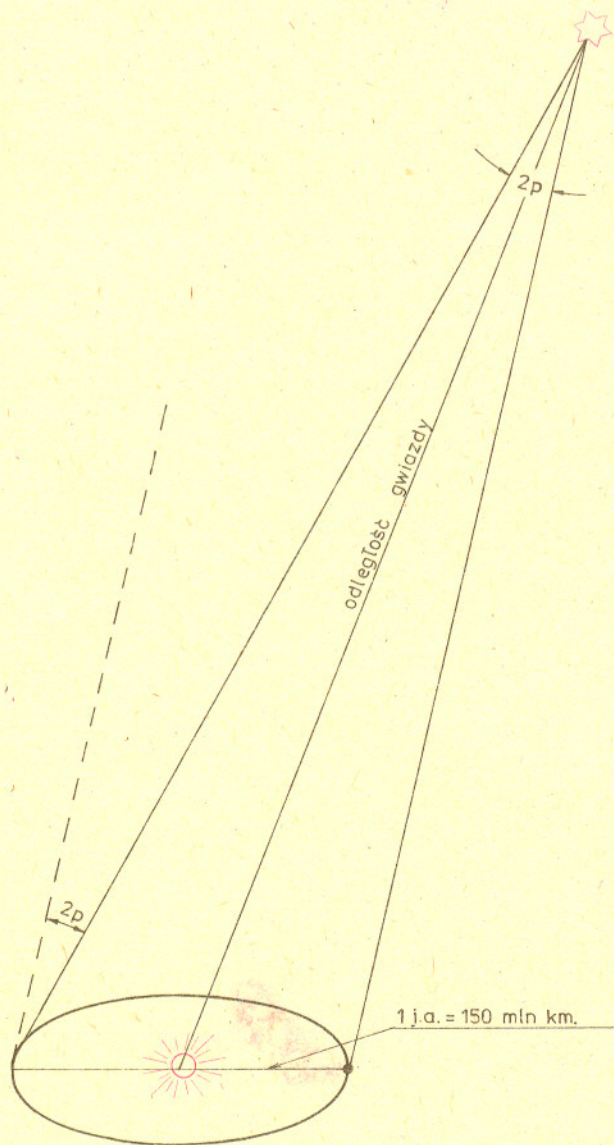
Teraz już łatwo zrozumieć, dlaczego nasze Słońce działa jak reaktor termojądrowy, a nie jak bomba termojądrowa, za co mu zresztą dzięki. Jeśli przypadkowo w jego wnętrzu zajdzie nieco więcej reakcji, wydzieli się też więcej energii. Straty energii z powierzchni nie ulegną zmianie jeszcze przez długi czas, bowiem transport energii jest powolny, odbywa się w termicznej skali czasu. Wobec tego całkowita energia Słońca chwilowo wzrośnie, a zatem temperatura zmaleje, jako że ciepło właściwe Słońca jest ujemne. W niższej temperaturze bieg reakcji ulegnie przyhamowaniu i wszystko wróci do równowagi.

Dociekliwi Czytelnicy zapytają pewnie, dlaczego w takim razie wybuchają gwiazdy supernowe. Dzieje się tak dlatego, że – krótko mówiąc – gaz we wnętrzu gwiazdy szykującej się do wybuchu nie jest gazem doskonałym. Wszak m.in. równanie stanu gazu grało istotną rolę w naszym dowodzie trwałości równowagi Słońca i gwiazd jemu podobnych. Lecz to dłuższa opowieść na inną okazję.

5

mała delta

Jak wielki jest Wszechświat?



Chyba nie trzeba dowodzić, jak ważna jest znajomość odległości ciał niebieskich. Nasza obecna wiedza na ten temat to wynik długotrwałego gromadzenia obserwacji i uzgadniania wielu różnych metod obserwacyjnych, których różnorodność uwarunkowana jest rozpiętością kosmicznych odległości.

Odległości małe, tzn. odległości najbliższych gwiazd, wyznacza się, rzecz jasna, najłatwiej i najpewniej. Wykorzystuje się tu zjawisko tzw. paralaksy rocznej, polegające na tym, że układ gwiazd na niebie zmienia się wskutek poruszania się Ziemi wokół Słońca. Na dwóch zdjęciach wybranego obszaru nieba zrobionych w odstępie pół roku (czyli gdy Ziemia przemieściła się w przestrzeni o 300 mln km) daje się stwierdzić, że gwiazdy bliskie przesunęły się pozornie na tle dalszych – połowa tego przesunięcia nazywa się paralaksą (rysunek). Jesteśmy w stanie mierzyć kąt paralaksy do $0,01''$, a więc tą metodą można określić odległości gwiazd nie przekraczające około 100 pc. W porównaniu z rozmiarami znanego nam Wszechświata jest to kropla w morzu, więc co dalej?

Otóż w kuli o promieniu 100 pc wokół nas mieści się pokaźna liczba rozmaitych gwiazd i rzeczywistą moc promieniowania każdej z nich (inaczej mówiąc – jasność absolutną) można wyznaczyć: mamy wszak ich jasności widome i odległości. Okazało się dalej, że wygląd widm tych gwiazd i ich jasność absolutna są związane niemal ścisłą zależnością, a więc można ją wykorzystać do gwiazd o nieznanym odległości! Obserwujemy mianowicie widmo, stąd mamy jasność absolutną, a mając jasność widomą z bezpośredniego pomiaru obliczamy odległość. Ma się rozumieć, tkwi tu założenie, że gwiazdy odległe są takie same jak pobliskie. W ten sposób skala odległości wyznaczonych trygonometrycznie została przedłużona o skalę odległości fotometrycznych.

Mierzy się kąt $2p$ zaznaczony na rysunku, ale od razu przelicza się go na nowe $2p$, które zostałyby zmierzone, gdyby gwiazda leżała w kierunku prostopadłym do płaszczyzny orbity ziemskiej. To nowe p nazywa się dopiero paralaksą roczną. Jest to zawsze kąt bardzo mały, dlatego jego sinus lub tangens jest w dobrym przybliżeniu równy samemu kątowi zapisanemu jako ułamek radiana. Odległość, przy której paralaksa jest równa $1''$, to parsek liczący tyle jednostek astronomicznych (po 150 mln km), ile sekund łuku mieści się w radianie, czyli $1 \text{ pc} = 206\,265 \text{ j.a.}$

W ogólności

(odległość w parsekach) = $1/(\text{paralaksa w sekundach łuku})$.

Tego rodzaju przedłużanie skal odległości zostało wykonane w astronomii wielokrotnie. Odbyło się to mniej więcej następująco. Poznawszy rozmiary naszej Galaktyki (tysiące parseków) dowiedzieliśmy się, jakiej jasności absolutnej są najjaśniejsze gwiazdy. Stwierdziliśmy też, że istnieje pewien typ bardzo jasnych gwiazd pulsujących, tzw. cefeid, wykazujący dość ścisłą zależność jasności absolutnej od okresu zmian jasności (im jaśniejsza cefeida, tym dłuższy okres pulsacji). Zrozumiałe teraz, że pomiar widomej jasności najjaśniejszych gwiazd w innych galaktykach dostarcza niemal od razu informacji o odległości tych galaktyk (a jeżeli obserwujemy cefeidę, to dodatkowo trzeba zmierzyć okres zmian jej jasności). No to teraz możemy wyznaczyć jasności absolutne pobliskich galaktyk (miliony parseków). Dalej znowu postulujemy, że galaktyki określonego typu mają określoną jasność absolutną, a wtedy porównując ją z jasnością widomą dla galaktyk dalekich wyznaczamy ich odległość. Tak sięgamy do odległości, w jakiej widać ucieczkę galaktyk spowodowaną ekspansją Wszechświata. Okazało się, że stosunek prędkości ucieczki do odległości jest w przybliżeniu stały.

Został on nazwany stałą Hubble'a, a samo to prawo zaczęto używać do określania odległości: prędkość ucieczki (wyznaczona na podstawie przesunięcia widma ku czerwieni) podzielona przez stałą Hubble'a daje odległość. Tak można wyznaczać odległości, przy których nie widać nawet struktury galaktyk (miliardy parseków).

Łatwo zauważyć, że przy takich wielokrotnych ekstrapolacjach jakiś błąd małej skali odległości fałszuje wszystkie dalsze. Oczywiście! Błędy takie musieli astronomowie kilkakrotnie korygować. Np. okazało się kiedyś, że to co brano za najjaśniejsze gwiazdy w galaktykach to w rzeczywistości świecące obłoki zjonizowanego wodoru, a cefeidy są dwóch rodzajów. W sumie, metoda paralaks trygonometrycznych jest „najuczciwsza”, a metoda przesunięć widm galaktyk ma podstawy najbardziej kruche. Nic więc dziwnego, że w ciągu 50 lat istnienia astronomii pozagalaktycznej stała Hubble'a „zmalala” od wartości 500 do 50 km/(s·Mpc) – efekt jest taki, jakby Wszechświat „rozwiał się” w tym czasie dziesięciokrotnie.

Małą Deltę przygotował Tomasz KWAST

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

KOESPONDENCYJNY KLUB FIZYKÓW

1. Na rozciągniętym poziomo sznurku zawieszamy dwa wahadła składające się z ciężarków zaczepionych na cienkich niciach (modele wahadeł matematycznych). Niech długość nici pierwszego wahadła l_1 będzie regulowana, na przykład w zakresie od 30 cm do 70 cm. Długość nici drugiego wahadła ustalamy, na przykład, $l_2 = 50$ cm. Wprawiamy w ruch wahadło pierwsze i obserwujemy wahadło drugie. Należy zbadać, a wyniki przedstawić w formie wykresu:

- zależność amplitudy wahań wahadła drugiego od długości nici wahadła pierwszego (amplituda wychyleń wahadła pierwszego powinna być taka sama),
- zależność amplitudy wahań wahadła drugiego od amplitudy wahań wahadła pierwszego przy ustalonych kilku wartościach długości l_1 .

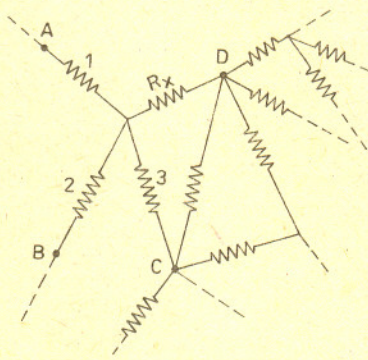
Dla bardzo dociekliwych polecamy trudniejszy problem: powtórzenie badań z punktu a) w przypadku, gdy wahadło drugie jest tłumione (jak je tłumić, mówiliśmy w poprzednim Klubie (*Delta* 5/1989)).

Może zaciekać Was rozwiązanie teoretyczne tego problemu. Znajdziecie je w każdym podręczniku mechaniki w rozdziale o drganiach wymuszonych, na przykład w podręczniku J.I. Butikow, A.A. Bykow, A.S. Kondratiew *Fizyka*, część 1, PWN 1987, str. 353.

2. Rozpatrzmy prosty i ciekawy problem, który może mieć znaczenie praktyczne. Otóż, wyobraźmy sobie, że mamy omomierz i że chcemy zmierzyć wartość oporu wmontowanego w rozgałęzioną sieć nieznanych oporów (patrz rysunek). Mamy do dyspozycji dodatkowe przewody i wolno nam zwierać dowolne punkty obwodu, ale nie wolno rozcinać istniejących połączeń. Jak wyznaczyć opór R_x ? W następnym numerze podamy, gdzie można znaleźć rozwiązanie tego zadania.

Listy prosimy przesyłać pod adresem:

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, Korespondencyjny Klub Fizyków,
ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa.



Dlaczego buduje się wielkie akceleratory?

Prof. dr Ryszard SOSNOWSKI

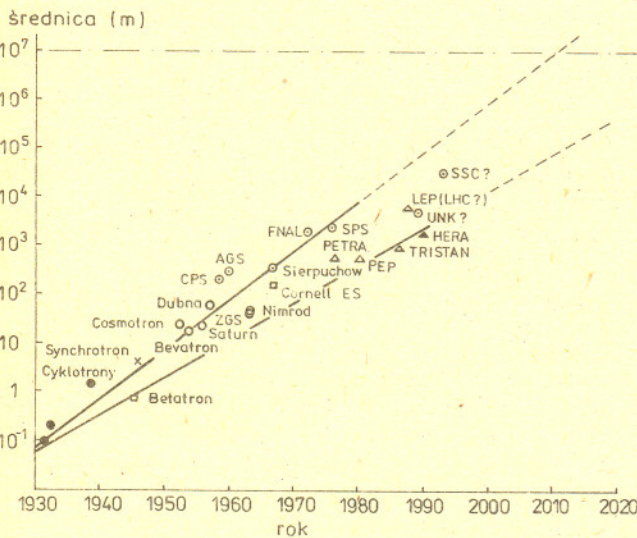
Wśród różnych urządzeń badawczych, za pomocą których fizycy starają się poznać otaczający nas świat, do największych i najkosztowniejszych należy zaliczyć akceleratory. Są to urządzenia rozpędzające cząstki naładowane, takie jak elektrony, protony czy jądra atomów, do olbrzymich energii. W pierwszym, zbudowanym na początku lat trzydziestych akceleratorze cyklicznym - cyklotronie, przyspieszone cząstki biegly po torach zbliżonych kształtem do okręgu o średnicy około 10 cm. W obecnie działających największych akceleratorach cząstki krążą po orbitach o średnicach sto tysięcy razy większych. Rysunek pokazuje, jak rosły średnice akceleratorów w miarę upływu czasu. Widać z niego, że każde dziesięciolecie przynosiło dziesięciokrotny wzrost rozmiaru akceleratorów. Gdyby ta tendencja miała się utrzymać, to za lat trzydzieści pojawiłby się akcelerator, w którym cząstki bieglyby po torze o wymiarach równika Ziemi. Prognoza ta zapewne się nie spełni. Nowe metody przyspieszania pozwolą nadawać cząstkom coraz większe energie bez konieczności tak znacznego powiększania rozmiarów akceleratorów.

Z biegiem czasu akceleratory stawały się nie tylko coraz większe dostarczając cząstek o coraz wyższych energiach, ale również rósł szybko koszt ich budowy. Tym się tłumaczy to, że największe akceleratory powstawały i powstają albo w najbogatszych państwach, albo jako wspólne przedsięwzięcie wielu krajów. Koszt akceleratora budowanego obecnie w Europejskim Centrum Fizyki Jądrowej - CERN - wynosi miliard dolarów. Planowany przez fizyków amerykańskich akcelerator SSC będzie wymagał nakładów trzykrotnie wyższych. Naturalne staje się więc pytanie stanowiące tytuł tego artykułu: dlaczego buduje się wielkie akceleratory? Czym powodują się ludzie podejmujący trud budowy urządzeń wymagających zastosowania w jednym przedsięwzięciu wielu najbardziej zaawansowanych technik? A wreszcie, co skłania rządy państw do przeznaczania na budowę akceleratorów tak wielkich środków? Czy zaspokajanie naturalnego dążenia ludzkości do poznania tajemnic przyrody jest rzeczywiście jedynym motywem tych działań? Poszukiwanie odpowiedzi na te pytania prowadzi do wniosku, że poza potrzebami nauki istnieją też inne względy skłaniające człowieka do tworzenia coraz potężniejszych akceleratorów.

Mimo że ciekawość odkrywców nie jest jedynym uzasadnieniem budowania wielkich akceleratorów, jest ona jednak niewątpliwie najważniejszym motorem tych przedsięwzięć. Uzyskiwane za pomocą akceleratorów wiązki rozpędzonych cząstek stanowią sondę służącą do obserwacji coraz mniejszych cegiełek, z których zbudowany jest cały materialny świat. Im większa jest energia cząstek, tym drobniejsze cegiełki materii możemy za ich pomocą zaobserwować.

Od początku swego istnienia do oglądania otaczającego świata człowiek wykorzystywał cząstki o energiach paru elektronowoltów. Takie właśnie energie niosą kwanty światła widzialnego. Odbijają się one od przedmiotów i tworzą ich obraz na siatkówce oka. Korzystanie jedynie ze światła widzialnego trwało przez cały czas istnienia ludzkości aż do końca ubiegłego stulecia, kiedy to niemiecki fizyk Wilhelm Konrad Roentgen odkrył promieniowanie nazwane od jego nazwiska rentgenowskim. Kwanty tego promieniowania niosą energię kilka tysięcy razy większą, niż kwanty światła widzialnego. Dzięki temu mogą one wnikać w głąb badanych przedmiotów i ukazywać ukryte w ich wnętrzu szczegóły. Są więc wykorzystywane do prześwietlania ciała ludzkiego, kontroli zawartości bagażu pasażerów linii lotniczych czy też wykrywania defektów części maszyn.

Poza dużą zdolnością przenikania w głąb materii promieniowanie rentgenowskie ma jeszcze jedną bardzo ważną własność. Długość fal promieniowania rentgenowskiego jest tysiąckrotnie mniejsza niż długość fal światła widzialnego. Im większa jest bowiem energia niesiona przez kwant promieniowania, tym mniejsza jest długość fali tego promieniowania. Dzięki małej długości fali można promienie rentgenowskie wykorzystać do obserwacji obiektów tak małych, jak molekuly czy atomy.





Rozwiązanie zadania M 545.

$$\sum_{n=1}^{\infty} (a_1 \dots a_n)^{1/n} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(1a_1 2a_2 \dots na_n)^{1/n}}{(n!)^{1/n}}$$

co na mocy nierówności o średniej geometrycznej i arytmetycznej nie przekracza

$$(*) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_1 + 2a_2 + \dots + na_n}{n(n!)^{1/n}} = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{k=1}^n \frac{ka_k}{n(n!)^{1/n}} = \sum_{k=1}^{\infty} ka_k \sum_{n=k}^{\infty} \frac{1}{n(n!)^{1/n}} \leq \sum_{k=1}^{\infty} ka_k \sum_{n=k}^{\infty} \frac{e}{n(n+1)}$$

Ostatnia nierówność wynika z zadania M 544. Zauważmy teraz, że

$$\sum_{n=k}^{\infty} \frac{1}{n(n+1)} = \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{k+1}\right) + \left(\frac{1}{k+1} - \frac{1}{k+2}\right) + \dots = \frac{1}{k}$$

zatem prawa strona (*) jest równa $e \sum_{k=1}^{\infty} a_k$, co kończy dowód. Uwaga! Stałej e, występującej w nierówności, nie można zmniejszyć.



Lampa rentgenowska była pierwszym akceleratorem zbudowanym przez człowieka. Za pomocą różnicy potencjałów, wynoszącej kilka tysięcy woltów, przyspieszane w niej były elektrony. Gwałtowne ich zahamowanie przez ustawioną na ich drodze przeszkodę, zwaną antykatodą, prowadzi do powstawania kwantów promieniowania rentgenowskiego.

Następnym krokiem w poznaniu, z jakich cegiełek zbudowana jest materia, było wnikięcie do wnętrza atomu i stwierdzenie, że panuje tam nieomal całkowita pustka. Cała materia jest bowiem skupiona w środku atomu i zajmuje przestrzeń o promieniu tysiąckrotnie mniejszym niż promień całego atomu. Odkrycie to zawdzięczamy lordowi Rutherfordowi, który posłużył się cząstkami o energii jeszcze tysiąc razy większej niż energia kwantów promieniowania rentgenowskiego. Cząstek tych, zwanych cząstkami alfa, a będących jądrami atomów helu, nie przyspieszano w akceleratorze, ponieważ wówczas jeszcze nie był on znany. Z pomocą fizykom przyszła natura, okazało się bowiem, że w przyrodzie istnieją atomy promieniotwórcze wysyłające cząstki alfa o energiach takich, jakby przyspieszane one były napięciem kilku milionów woltów.

Skonstruowanie akceleratorów umożliwiło posługiwanie się wiązkami cząstek o energiach coraz większych. Pozwoliło to stwierdzić, że jądra atomów są zbudowane z protonów i neutronów, a te z kolei składają się z kwarków. Czy jednak w ten sposób dotarliśmy do najmniejszych cegiełek materii? A może kwarki też są zbudowane z jeszcze mniejszych części składowych? Za pomocą obecnie działających akceleratorów nie możemy tego stwierdzić, mimo że dostarczają one cząstek o energiach 1 TeV, to znaczy takich, jakby były one przyspieszone różnicą potencjałów wynoszącą tysiąc miliardów woltów. Aby wtargnąć do wnętrza kwarku, jeżeli to w ogóle jest możliwe, należy dysponować pociskami o energiach co najmniej stukrotnie większych.

Poza obserwacją coraz mniejszych ziaren materii akceleratory pozwalały także wytwarzać nowe jej formy nie występujące na stałe w przyrodzie. Już przyspieszenie cząstek do energii stosunkowo niewielkich, paru milionów elektronowoltów, pozwoliło stworzyć promieniotwórcze, a więc nietrwałe, jądra atomów. Czas życia tych jąder jest tak krótki, że jeżeli nawet istniały one kiedyś w przyrodzie, dawno się już rozpadły. Energia paru milionów elektronowoltów pozwala na wytworzenie antymaterii. Kwant promieniowania elektromagnetycznego o takiej energii może zderzając się z inną cząstką zamienić się na elektron i antyelektron (pozyton). Dysponując cząstkami przyspieszonymi do coraz większych energii fizycy wytworzyli i zbadali wiele nowych, nie występujących w przyrodzie cząstek. Mimo że cały otaczający nas świat, a także my sami jesteśmy zbudowani tylko z trzech rodzajów cząstek – z elektronów oraz z dwóch rodzajów kwarków – istnieje poza tym liczna gromada ich krewnych wytwarzanych za pomocą rozpedzanych w akceleratorze pocisków. Te powstające w laboratoriach cząstki są bardzo nietrwałe i istnieją niezmiernie krótko. Jednakże bez ich znajomości niemożliwy byłoby zrozumienie, jakie prawa rządzą w świecie elementarnych cegiełek materii, jak powstał i zmieniał się Wszechświat i jakie są własności sił w nim działających.

Dotychczasowe odkrycia dokonane za pomocą wielkich akceleratorów ukształtowały naszą wiedzę o najmniejszych, występujących w przyrodzie ziarenkach materii. Sądzimy obecnie, że ziarenka te występują parami. Zostały odkryte trzy pary leptonów oraz dwie pary kwarków. Ponadto zaobserwowany został jeszcze jeden kwark oznaczany literą b. Nie znaleziono jednak dotychczas partnera, który razem z kwarkiem b tworzyłby trzecią parę kwarków. Ten hipotetyczny szósty kwark oznaczony został literą t. Czy taki kwark istnieje? Odpowiedź na to pytanie można uzyskać dopiero, gdy będziemy dysponować energią wystarczająco dużą, by go wytworzyć. Ocenia się, że masa kwarku t może być 200 razy większa niż masa protonu. Być może więc akcelerator Tevatron działający od niedawna w laboratorium imienia Enrico Fermiego w Stanach Zjednoczonych umożliwi zaobserwowanie kwarku t.

Czy jest to jedyna brakująca cegiełka materii, czy też jest ich jeszcze więcej? Odpowiedź na to może przynieść tylko doświadczenie, a to wymaga przyspieszania cząstek do znacznie wyższych energii. Nawet jednak, gdy odkryjemy wszystkie leptony i kwarki, a być może brakuje nam tylko odkrycia kwarku t, to musimy znaleźć odpowiedź na pytanie, dlaczego cząstki te różnią się między sobą. Czemu jedne są bardzo lekkie, a inne obdarzone są dużą masą? Aby to wyjaśnić, fizycy wysunęli hipotezę, że cząstki oddziałują z polem wypełniającym całą przestrzeń. Kwarki i leptony, które silnie oddziałują z tym polem, mają duże masy, a te, które oddziałują słabo, charakteryzują się małymi masami. Mówiąc obrazowo, kwarki i leptony „czepiają się” tego hipotetycznego pola.

WIELKIE PRANIE, WIELKIE - AKCELERATORY, WIELKIE PLANY, WIELKIE MARCHENIA, WIELKIE PRZEMIANY WIELKIE, WIELKIE... UFF!!
 IDE - DO CHOLERY! - NA STRASZLIWIE MAŁA KAWA!!



Im mocniejsze jest „zaczepianie się”, tym trudniej nadać czepiającej się cząstce przyspieszenie, a to oznacza, że cząstka ma dużą masę. Czy jednak pole takie nie jest jedynie wytworem fantazji fizyków? Czy istnieje ono naprawdę? Dowodem na to byłoby wykrycie kwantu tego pola, tzw. cząstki Higgsa. Odkrycie to, a więc udowodnienie, że postulowane pole istnieje naprawdę, stanowiłoby olbrzymi krok na drodze zrozumienia, dlaczego świat materialny jest właśnie taki jaki jest. Cząstka Higgsa może mieć jednak bardzo dużą masę i trzeba będzie poczekać na wybudowanie nowych, jeszcze potężniejszych akceleratorów, zanim będzie można zaobserwować te cząstki powstające w laboratorium.

Widzimy więc, że akceleratory pozwalają dostrzec i poznać najmniejsze ziarenka materii, a także tworzyć w laboratoriach takie jej formy, jakie występowały powszechnie tylko w ciągu pierwszej sekundy istnienia Wszechświata. Czy jednak zafascynowanie badaczy tymi problemami wystarczyłoby, aby przeznaczać tak duże środki na budowę akceleratorów? Prawdopodobnie odpowiedź na to pytanie jest następująca. Gdy tylko na to pozwalają środki techniczne i finansowe, społeczeństwa dają się przekonać do ponoszenia kosztów, czy to dalekich wypraw w celu odkrycia nieznanych lądów, zajrzenia w głąb oceanów, dotarcia do biegunów Ziemi, odkrywania śladów przeszłości ludzkiej kultury, czy wreszcie zgłębiania tajemnic świata materialnego. Argumenty, że działania te mogą przynosić korzyści materialne, czasami odgrywają istotną rolę. Przykładem tego jest wyprawa Kolumba w poszukiwaniu drogi do Indii. Często jednak mimo braku takich argumentów sama fascynacja nieznanym stanowi dostatecznie silny argument, by podejmować trudne, pracochłonne i kosztowne wysiłki. To skłoniło np. H. Schliemanna do poszukiwania śladów starożytnej Troi.

W przypadku akceleratorów sytuacja była pośrednia między czystą chęcią poznania przyrody a argumentami o osiągnięciu szybkich, łatwo wymiernych korzyści. O motywach naukowych już mówiliśmy. Jakie jednak korzyści może przynieść budowa tych urządzeń? Jedną z nich stały się w latach pięćdziesiątych względy prestiżowe i polityczne. Kolejne rekordy w uzyskiwaniu najwyższych energii przyspieszanych cząstek uzyskiwane były w Stanach Zjednoczonych i w Związku Radzieckim. W tym też czasie fizycy z krajów zachodniej Europy potrafili przekonać polityków, że wspólny wysiłek łączący naukowców z wielu krajów doprowadzi nie tylko do nowych odkryć, lecz przyczyni się do złagodzenia podziałów i antagonizmów. Budowa wspólnego akceleratora znakomicie nadawała się do spełnienia takiej roli. Ponadto dawała ona mniejszym krajom poczucie, że dominacja naukowa i techniczna największych mocarstw może zostać zrównoważona. W roku 1953 powstało Europejskie Centrum Badań Jądrowych - CERN w Genewie. W siedem lat później zakończono w tym ośrodku budowę największego wówczas na świecie akceleratora o energii 30 GeV. Od tego czasu do chwili obecnej CERN odgrywa pierwszoplanową rolę w badaniach prowadzonych za pomocą akceleratorów. Wkrótce po powstaniu CERN-u kraje socjalistyczne podpisały w roku 1956 porozumienie o utworzeniu Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnej. Obydwa instytuty były i są miejscem wspólnej pracy naukowców i techników z różnych krajów i przyczyniły się w znacznym stopniu do przełamania politycznych i psychologicznych podziałów naszego świata. Warto tu pamiętać, że oba międzynarodowe instytuty powstały wcześniej niż Europejska Wspólnota Gospodarcza. Współpraca przy budowie wielkich akceleratorów okazała się łatwiejsza niż współpraca gospodarcza.

Obliczamy π

$$\frac{1}{\pi} = \frac{\sqrt{8}}{9801} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(4n)!(1103 + 26390 \cdot n)}{(n!)^4 \cdot 396^{4n}}$$

Ta tożsamość (S. Ramanujan, 1914) pozwala obliczać wartość liczby π z dużą dokładnością (oczywiście przy użyciu maszyn liczących). Dodawanie kolejnego składnika w sumie występującej po prawej stronie daje 8 nowych dokładnych cyfr przybliżenia π. W 1987 roku wykazano (Jonathan M. Borwein i Peter B. Borwein), że

$$\frac{1}{\pi} = 12 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \cdot (6n)! (212\,175\,710\,912 \cdot \sqrt{61} + 1\,657\,145\,277\,365 + n(13\,773\,980\,892\,672 \cdot \sqrt{61} + 107\,578\,229\,802\,750))}{(n!)^3 \cdot (3n)! \cdot (5\,280(236\,674 + 30\,303\sqrt{61}))^{3n+3/2}}$$

Wzór ten daje około 25 nowych dokładnych cyfr przybliżenia liczby π z każdym nowym składnikiem. Dla n = 0 otrzymujemy przybliżenie π z 24 dokładnymi znakami dziesiętymi! Ale to nie koniec możliwości. Tworząc ciąg liczbowy (x_n) według przepisu:

$$y_0 = \sqrt{2} - 1, \quad x_0 = 6 - 4 \cdot \sqrt{2}, \quad y_{n+1} = \frac{1 - \sqrt{1 - y_n^4}}{1 + \sqrt{1 - y_n^4}}, \quad x_{n+1} = (1 + y_{n+1})^4 \cdot x_n - 2^{2n+3} \cdot y_{n+1} (1 + y_{n+1} + y_{n+1}^2)$$

dla n = 0, 1, 2, ..., przy użyciu maszyn liczących typu CRAY-2, NEC SX-2 znaleziono przeszło dwa miliardy (!!!) dokładnych cyfr dziesiętnych liczby π (uzyskano je obliczając $\frac{1}{x_{15}}$).

Według *Scientific American*, Feb. 1988, vol. 258, no 2.

mgr Jarosław GÓRNICKI

DROBIAZO

Światło laserowe może być używane do spowalniania (chłodzenia) atomów. Ostatnio udało się ochłodzić atomy do temperatury rzędu kilku milionowych stopnia. Pozwala to na bardzo precyzyjne pomiary własności atomów, w szczególności częstotliwości ich promieniowania. Dokładność zegarów atomowych zależy od dokładności pomiaru częstotliwości promieniowania, która z kolei na skutek efektu Dopplera jest ograniczona przez ruch atomów lub jonów. Sądzi się, że stosując chłodzenie laserowe uda się uzyskać dokładność zegarów atomowych rzędu $1 : 10^{18}$.
(Dla porównania $1/10^{18} = 0,5$ sekundy/wiek Wszechświata.)

Wypiszmy części całkowite kolejnych wielokrotności $\sqrt{2}$, a pod nimi kolejne liczby naturalne nie występujące w pierwszym ciągu:

1	2	4	5	7	8	9	11	12	...
3	6	10	13	17	20	23	27	30	...

Wtedy różnica liczb stojących na n -tych miejscach jest równa $2n$.

Wśród różnych dziwnych obiektów odkrytych przez „podczerwonego” satelitę IRAS znajdują się również galaktyki emitujące w podczerwieni tyle energii co bilion Słońc w całym zakresie widma. Galaktyki te zawierają wielkie ilości pyłu międzygwiazdowego i on właśnie pochłaniając promieniowanie krótkofalowe przetwarza je na podczerwień. Ale co jest źródłem promieniowania krótkofalowego? Nie są nim czarne dziury ani inne superzwarte obiekty, ponieważ np. linie emisyjne tych galaktyk świadczą o braku silnych wzbudzeń atomów – mielibyśmy tam zatem wprawdzie ogromne ilości energii, ale w postaci kwantów stosunkowo niskoenergetycznych. Przypuszcza się, że pierwotnym źródłem energii jest niemal „wybuchowe” powstawanie ogromnych ilości młodych masywnych gwiazd spowodowane zaburzeniem struktury galaktyki przy bliskim spotkaniu z inną galaktyką. Intensywne promieniowanie licznych młodych gwiazd, zasilając przez jakiś czas pył w energię, z biegiem czasu spowoduje wymiecenie go w przestrzeni międzygalaktyczną i gdy masywne gwiazdy wygasną, galaktyka taka stanie się nieodróżnialna od zwykłej eliptycznej.

Ekstrapolacja obecnego tempa wzrostu liczby publikacji naukowych wskazuje, że w niedalekiej przyszłości tomy *Physical Review* będą zapiełniały półki bibliotek z prędkością przewyższającą prędkość światła. Nie jest to sprzeczne z teorią względności, gdyż w tym procesie nie jest przekazywana żadna informacja. Żart ten wypowiedział Rudolph Peierls w 1961 r.

Czy potrafisz rozłożyć liczbę

9 412 343 607 359 262 946 971 172 136 294 514 357 528 981 378 983 082 541 347 532 211 942 640 121 301 590 698 634 089 611 468 911 681

na czynniki pierwsze? Nie próbuj jednak zrobić tego na kalkulatorku. Rozłożenie tej liczby-monstrum wymaga bowiem zwykle dwumiesięcznej, nieprzerwanej pracy superkomputera (!). W październiku 1988 r. zadanie to zostało rozwiązane w rekordowo krótkim czasie 26 dni. W tym celu Arjen Lenstra z Uniwersytetu w Chicago podzielił zadanie na mniejsze kawałki i do ich rozwiązania wykorzystał publiczną sieć około 50 komputerów w USA, Europie Zachodniej i Australii połączonych zwykłymi łączami telefonicznymi. Przykład ten pokazuje olbrzymią moc obliczeniową wielu małych komputerów połączonych w sieć oraz stwarza zagrożenie dla kryptologów i służb wywiadowczych, gdzie kod do szyfrowania informacji może opierać się na rozkładach olbrzymich liczb. Dla ciekawych: rozkład podanej liczby na czynniki pierwsze jest następujący

86 759 222 313 428 390 812 218 077 095 850 708 048 977 × 108 488 104 853 637 470 612 961 399 842 972 948 409 834 611 525 790 577 216 753.

Pluton prawdopodobnie ma atmosferę – w każdym razie od czasu do czasu. Obecnie znajduje się on w okolicach swojego perihelium, gdzie jego temperatura powierzchni staje się wystarczająco wysoka, by część zamrożonych tam gazów zdołała wyparować tworząc rzadką atmosferę. Postanowili to sprawdzić izraelscy astronomowie Noah Brosch i Haim Mendelson. Mierzili oni jasność pewnej gwiazdy podczas zakrycia jej przez Plutona 19 VIII 1985. Okazało się, że jasność gwiazdy zaczęła spadać już na 80 s przed pełnym zakryciem, co zinterpretowali jako skutek przesłaniania gwiazdy przez atmosferę. Obserwatorzy ci przyznają, że warunki obserwacji były niedobre, ale i tak obserwacja, ich zdaniem, dowodzi, że atmosfera Plutona jest gęstsza, niż się dotychczas przypuszczało.

Szkoło! Szkoło!

Gdy cię wspominam,
Tęsknota w serce się wgrzyza,
Oczy me pełne są łez!

... *Galia est omnes divisa*
In partes tres ...

Wiersz powyższy (*Nad Cezarem*) ma dwóch autorów: Juliana Tuwima i Juliusza Cezara. W matematyce również można znaleźć wiele twierdzeń sygnowanych dwoma nazwiskami (z różnych reszta powodów). Bardzo krótki dowód twierdzenia Stone’a-Weierstrassa (o gęstości algebr w przestrzeni funkcji ciągłych) korzysta z wielu mocnych twierdzeń, a to: Hahna-Banacha (o przedłużaniu funkcjonalów), Banacha-Alaoglu (o słabej wstecz zwartości sfery), Kreina-Milmana (o punktach ekstremalnych), Riesz-Kakutaniego (o postaci funkcjonalów na $C(S)$). Praca była sygnowana Bishop-Glicksberg.

W Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley zbudowano silnik elektryczny o średnicy nie większej niż grubość włosa. Silnik ten zastępuje nadchodzenie ery mikromechaniki po erze mikroelektroniki. Od wielu lat prowadzone są prace nad konstrukcją mikromaszyn niewiele większych od elementów mikroelektronicznych. Ich konstrukcja może zrewolucjonizować technologię, tak jak dokonała tego miniaturyzacja elektroniki spowodowana wynalezieniem tranzystora i obwodów scalonych.

W gwiazdozbiorze Wodnika znajdują się dwie gwiazdy będące najchłodniejszymi znanymi białymi karłami. Dłużej znana gwiazda VB 11 leży w odległości 14,7 pc i ma jasność absolutną 15,8 mag. Druga, później odkryta, o numerze katalogowym LP 701-29 leży w odległości 8 pc i ma jasność absolutną 16,1 mag. Są to gwiazdy zbudowane z materii zdegenerowanej, a więc o strukturze rzeczywiście białego karła, ale tak chłodne (stąd właśnie ich niska jasność absolutna – dla zwyczajnych białych karłów wynosi ona 11-14 mag), że słowo „białe” jest tu wysoce nieodpowiednie. Są to czerwone zdegenerowane gwiazdy o temperaturze powierzchniowej poniżej 4000 K, podczas gdy temperatura normalnych białych karłów jest rzędu 10 000 K (i więcej).

Każdy łatwo uogólnia swoje obserwacje świata, np. bardzo łatwo wypowiada się opinie w rodzaju, że każdy rudy to fałszywy. Postęp nauki m.in. również polega na uogólnianiu, aczkolwiek nie tak prymitywnym. Jedno takie niezwykle ważne uogólnienie zostało sformułowane już dawno, a znane jest jako tzw. zasada kosmologiczna. Według tej zasady Wszechświat z każdego miejsca wygląda średnio tak samo. Nieświadome użycie tej zasady w pierwotnej formie przypisuje się nawet Kopernikowi, bowiem to on stwierdził, że pozycja Ziemi we Wszechświecie nie jest niczym wyróżniona. Dlatego zasada ta bywa też nazywana zasadą kopernikowską. Tak czy inaczej jest ona wysoce elegancka, prosta, twórcza i zgodna z obserwacjami na tyle, że wręcz trudno zdecydować się, czy traktować ją jako założenie, czy jako właśnie wniosek z obserwacji. Drugie założenie, które kilkadziesiąt lat temu narzucało się obserwatorom nieba, brzmi: Wszechświat jest statyczny. No bo przede wszystkim materia jest niezniszczalna, Wszechświat zachowuje się spokojnie i w ogóle chyba musi być pod jakimś względem „doskonały”. Nic więc dziwnego, że Albert Einstein po ogłoszeniu swojej ogólnej teorii względności (1915) zaczął następnie szukać, czy może ona opisać Wszechświat jako całość przy jednoczesnym spełnieniu obu wspomnianych założeń. Okazało się, że (co prawda naginając nieco równania teorii względności) można otrzymać statyczny model Wszechświata i przez jakiś czas wydawało się, że wszystko się zgadza.

Jak się jednak okazało (zaobserwowanie ucieczki galaktyk i prace de Sittera nad grawitacją) założenie niezmienności Wszechświata w czasie musimy odrzucić. Zaproponowano dwie możliwości: Wielki Wybuch (Wszechświat miał początek punktowy w czasie i w przestrzeni) lub stacjonarność (Wszechświat ma być stale taki sam). W tym drugim przypadku w szczególności stała musiałaby być gęstość materii.

Czołówka ligi zadaniowej

Klub 44 F

po uwzględnieniu ocen rozwiązań
zadań 77 (WT=2,50) i 78 (WT=1,31)
z numeru 11/1988

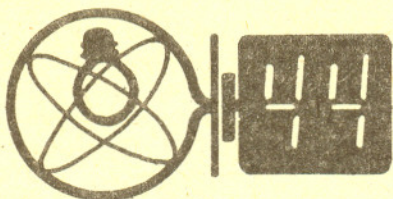
Adam Sikorski	- Lublin	44,70 pkt
Paweł Perkowski	- Szczecin	40,05 pkt
Roman Musiał	- Katowice	39,76 pkt
Wiesław Kacprzak	- Kraków	38,48 pkt
Piotr Koczyński	- Warszawa	34,59 pkt
Aleksander Surma	- Myszków	32,00 pkt
Dzierżysław Lipniacki	- Lublin	30,12 pkt
Jerzy Lipkowski	- Biłogaj	27,92 pkt
Tomasz Wietecha	- Tarnów	25,15 pkt

Pan Sikorski jest dwunastym członkiem Klubu 44.

Liga zadaniowa Wydziału Matematyki, Informatyki i Mechaniki,

Szczegółowy regulamin Klubu 44 zamieściliśmy w *Delcie* 1/1989; a jego skrót – we wszystkich numerach, w których są zadania ligowe (tj. z wyjątkiem numerów 6 i 7).

Klub 44



Redaguje dr Andrzej NADOLNY

Rozwiązania zadań z fizyki z numeru 2/1989

Przypominamy treść zadań:

83. Cylindryczna, pionowo ustawiona beczka napełnia się z kranu w ciągu 10 minut, a opróżnia przez otwór w dnie w ciągu 15 minut. Co się stanie, jeśli będziemy napełniać z kranu beczkę z otwartym otworem?

84. Piłkarz potrafi kopnąć piłkę na maksymalną odległość Z . Jaki obszar położony za cienką, pionową ścianą o wysokości H i odległą o D od piłkarza jest objęty jej „cieniem”, tzn. jest nieosiągalny przez piłkę? Zaniedbać opór powietrza. Rozmiar piłki oraz założyć, że $Z > D > 2H$. Przedyskutować rozwiązanie w zależności od początkowej szybkości piłki.

83. Prędkość wypływu wody z otworu w dnie określa wzór Torricellego (otrzymany z przyrównania energii kinetycznej i potencjalnej) $v = 2\sqrt{gh}$, w którym g – przyspieszenie ziemskie, h – wysokość słupa wody. Stąd dla opróżniania $(dh/dt)_0 = -C\sqrt{h}$, gdzie C – stała zależna od średnic beczki i otworu.

Czas opróżniania pełnej beczki o wysokości H wynosi

$$t_0 = -\frac{1}{C} \int_H^0 \frac{dh}{\sqrt{h}} = \frac{2}{C} \sqrt{H},$$

skąd

$$C = 2\sqrt{H}/t_0.$$

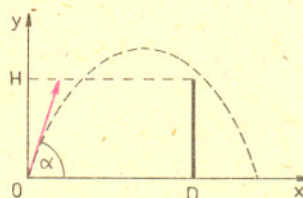
Podczas napełniania beczki z zamkniętym otworem $(dh/dt)_n = H/t_n$, gdzie t_n – czas napełniania.

Jeżeli jednocześnie będzie zachodziło napełnianie beczki i wypływ wody przez otwór, ustali się stan równowagi, w którym $dh/dt = (dh/dt)_n + (dh/dt)_o = 0$. Z warunku tego znajdujemy wysokość słupa wody w stanie równowagi:

$$h = (t_o/t_n)^2 H/4.$$

Dla $t_o = 15$ min i $t_n = 10$ min mamy $h = (9/16)H$. Można wykazać, że osiągnięta równowaga dynamiczna ma charakter trwały.

84. W układzie współrzędnych (jak na rysunku) tor piłki opisany jest równaniem $y = x \tan \alpha - x^2(1 + \tan^2 \alpha)/(2Z)$, gdzie α jest kątem między początkową prędkością piłki a poziomem.



Podstawiając $x = D$, $y = H$ wyznaczamy dwie graniczne wartości tangensa tego kąta, dla których tor piłki dotyka wierzchołka ściany: $\tan \alpha_{1,2} = [1 \pm (1 - 2h - d^2)^{1/2}]/d$, przy czym $h = H/Z$, $d = D/Z$. Podstawiając do równania toru $y = 0$ oraz $\alpha = \alpha_{1,2}$ otrzymujemy współrzędne granicznych punktów upadku piłki: $x_{1,2} = 2Z \tan \alpha_{1,2} / (1 + \tan^2 \alpha_{1,2})$. Nieosiągalny dla piłki jest przedział wartości x : $x_2 \geq x \geq D$, a ponadto – jeśli $\tan \alpha_1 \geq 1$ – także $x \geq x_1$. Jakościowa analiza wskazuje, że przy mniejszej początkowej prędkości piłki większe obszary będą dla niej niedostępne.

Wobec rozszerzania się Wszechświata materia musiałaby stałe być uzupełniana. Przyjęto więc, że powstaje ona z niczego w przestrzeni międzygalaktycznej. Brzmi to jak szaleństwo, niemniej jednak teoria stanu stacjonarnego była przez jakiś czas rozważana z całą powagą, gdyż po pierwsze – założenia jednorodności i stacjonarności wydawały się bardzo naturalne, eleganckie i zachęcające. Po drugie, przyjęcie ciągłej i powolnej kreacji materii wcale nie musi być większym szaleństwem, niż założenie jednorazowego i gwałtownego powstania całego Wszechświata. Wreszcie po trzecie, w jakim tempie materia musiałaby powstawać? Nietrudno to ocenić. Każda kula o promieniu R i zawierająca stałą masę M pęcznieje w takim tempie, że $\dot{R} = HR$, gdzie $H = 50 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}} \cong 2 \cdot 10^{-18} \text{s}^{-1}$ jest stałą Hubble'a. Objętość takiej kuli rośnie w tempie $\dot{V} = \frac{4}{3} \pi \frac{d}{dt}(R^3) = 4\pi R^2 H$, gęstość materii spada więc w tempie $\dot{\rho} = M \frac{d}{dt}(\frac{1}{V}) = -3H\rho$. Przyjmując obecną średnią gęstość Wszechświata $\rho = 5 \cdot 10^{-27} \text{kg/m}^3$ stwierdzamy, że $\dot{\rho} = -3 \cdot 10^{-44} \text{kg/m}^3 \text{s}$, a więc tyleż musiałoby się materii tworzyć. Zważywszy, że atom wodoru ma masę $1,7 \cdot 10^{-27} \text{kg}$, widzimy, iż w jednym metrze sześciennym musiałby powstać jeden atom w ciągu miliarda lat. Byłoby to, oczywiście, złamaniem zasady zachowania masy, ale tak nieznacznym, że nie stojącym w sprzeczności z żadnymi obserwacjami czy doświadczeniami. Zresztą sama zasada zachowania masy jest w dużym stopniu jedynie wyrazem naszych wierzeń.

Tak czy inaczej kres teorii stanu stacjonarnego położyły dopiero nowe obserwacje, głównie odkrycie promieniowania relikowego (1965). W teorii tej nie było po prostu na nie miejsca. Pozostała nam więc zagadka Wielkiego Wybuchu i świadomość, że Wszechświat jest wprawdzie taki sam w każdym miejscu, ale nie w każdej chwili – ewoluje on, miał „początek”, a czy będzie miał „koniec” – nie wiemy.

Czołówka ligi zadaniowej

Klub 44 M

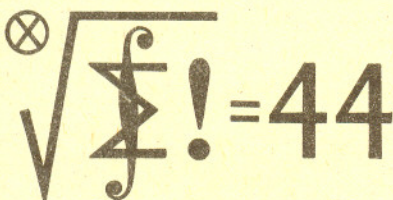
po uwzględnieniu ocen rozwiązań

zadań 179 ($WT=2,58$) i 180 ($WT=1,60$)
z numeru 11/1988

Rafał Latała	- Warszawa	48,17 pkt
Piotr Kumor	- Olsztyn	45,34 pkt
Zbigniew Surduka	- Czechowice	43,71 pkt
Edward Orzechowski	- Warszawa	43,68 pkt
Adam Przędziecki	- Warszawa	42,85 pkt
Kazimierz Serbin	- Sanok	42,72 pkt
Jerzy Małopolski	- Kraków	40,86 pkt

Nowa twarz w Klubie 44: pan Rafał Latała, pan Kumor – po raz drugi.

Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego i Redakcji „Deltę”



Redaguje dr Marcin E. KUCZMA

Rozwiązania zadań z matematyki z numeru 2/1989

Przypominamy treść zadań:

185. Wyznaczyć największą liczbę λ o tej własności, że każdy przedział domknięty $I \subset (0; 1)$ można przekształcić przez jednokładność o środku 0 i skali będącej liczbą naturalną na przedział J o długości $\geq \lambda$, nie zawierający żadnej liczby całkowitej.

186. Podać warunki konieczne i dostateczne, jakie powinny spełniać liczby dodatnie S_1, S_2, S_3, S_4 , aby istniał czworoscian mający ściany o polach S_1, S_2, S_3, S_4 .

185. Liczba $\lambda = \frac{1}{6}$ ma tę własność. Jeśli bowiem $\langle a; b \rangle$ jest przedziałem o długości $< \frac{1}{6}$, nie zawierającym liczby całkowitej, to przedział $\langle 2a; 2b \rangle$ lub przedział $\langle 3a; 3b \rangle$ także nie zawiera liczby całkowitej. Tak więc wychodząc od danego przedziału I i mnożąc jego końce przez 2 lub 3 otrzymamy po skończeniu wielu takich operacjach przedział o długości $\geq \frac{1}{6}$, bez liczby całkowitej.

Przykład przedziału $I = \langle \frac{1}{3}; \frac{1}{2} \rangle$ pokazuje, że żadna liczba $\lambda > \frac{1}{6}$ nie ma omawianej własności.

186. „Warunek czworoscianu”, czyli koniunkcja nierówności

$$\begin{aligned} S_1 < S_2 + S_3 + S_4, & \quad S_2 < S_3 + S_4 + S_1, \\ S_3 < S_4 + S_1 + S_2, & \quad S_4 < S_1 + S_2 + S_3 \end{aligned}$$

jest szukanym warunkiem koniecznym i dostatecznym dla istnienia żadanego czworoscianu.

Konieczność. Rzuty dowolnych trzech ścian na płaszczyznę czwartej ściany pokrywają tę ścianę, a ich pola są mniejsze niż pola rzutowanych ścian.

Dostateczność. Możemy przyjąć, że

$$S_1 \geq S_2 \geq S_3 \geq S_4 > 0, \quad S_1 < S_2 + S_3 + S_4.$$

Rozważamy dwa przypadki.

- $S_1 < S_2 + S_3$. Bierzemy trójkąt Δ o polu S_4 i o długościach boków proporcjonalnych do liczb S_1, S_2, S_3 . Przez środek koła wpisanego w trójkąt Δ prowadzimy prostą l prostopadłą do płaszczyzny tego trójkąta. Ostrosłup o podstawie Δ i wierzchołku w dowolnym punkcie $P \in l$ ma pola ścian bocznych proporcjonalne do liczb S_1, S_2, S_3 . Pole powierzchni bocznej tego ostrosłupa zmienia się w sposób ciągły od wartości S_4 (przypadek zdegenerowany, gdy P leży w płaszczyźnie trójkąta Δ) do nieskończoności. Przy pewnym położeniu punktu P przyjmuje więc wartość $S_1 + S_2 + S_3$ i wówczas ostrosłup (Δ, P) jest czworoscianem o polach ścian S_1, S_2, S_3, S_4 .
- $S_1 \geq S_2 + S_3$. Niech teraz Δ będzie trójkątem równobocznym o polu S_1 . Oznaczmy długość boku oraz wysokości trójkąta Δ odpowiednio przez a i h_1 . Niech h_2, h_3, h_4 będą takimi liczbami, że $h_1 : h_2 : h_3 : h_4 = S_1 : S_2 : S_3 : S_4$ (zatem $h_1 \geq h_2 \geq h_3 \geq h_4 > 0, h_2 + h_3 \leq h_1 < h_2 + h_3 + h_4$). Wystarczy znaleźć w przestrzeni punkt P leżący w odległościach h_2, h_3, h_4 od prostych zawierających boki trójkąta Δ ; pola ścian bocznych ostrosłupa (Δ, P) będą wówczas wynosiły S_2, S_3, S_4 .

Weźmy pod uwagę funkcję ciągłą

$$f(t) = \sum_{j=2}^4 \sqrt{h_j^2 - t^2}, \quad t \in (0; h_4).$$

Ponieważ $f(0) = h_2 + h_3 + h_4 > h_1$, $f(h_4) < h_2 + h_3 \leq h_1$, zatem $f(h) = h_1$ dla pewnego $h \in (0; h_4)$. Przyjmijmy $d_j = \sqrt{h_j^2 - h^2}$ dla $j = 2, 3, 4$. Tak więc $d_2 + d_3 + d_4 = h_1$, a wobec tego istnieje punkt $Q \in \Delta$ leżący w odległościach d_2, d_3, d_4 od boków trójkąta Δ . Umieszczamy punkt P w odległości h od płaszczyzny trójkąta Δ tak, aby punkt Q był rzutem punktu P na tę płaszczyznę. Odległości punktu P od boków Δ są równe $\sqrt{d_j^2 + h^2} = h_j$, $j = 2, 3, 4$, a o to nam chodziło.



Redaguje dr Rafał SZTENCEL

M 544. Udowodnić, że $(n!)^{1/n} \geq \frac{n+1}{e}$.

Rozwiązanie na str. 2

M 545. Niech $a_n \geq 0$. Wykazać, że $\sum_{n=1}^{\infty} (a_1 \dots a_n)^{1/n} \leq e \sum_{n=1}^{\infty} a_n$.

Rozwiązanie na str. 11

M 546. Połączono strzałkami n punktów tak, że każda para punktów jest połączona strzałką. Wykazać, że można obejść wszystkie punkty poruszając się zgodnie z kierunkiem strzałek i przechodząc przez każdy punkt tylko raz.

Rozwiązanie na str. 6

Redaguje dr Rafał STAROŃSKI

F 270. Wokół gwiazdy o masie M krąży po kołowej orbicie druga gwiazda o masie m , znacznie mniejszej od M . W pewnym momencie gwiazda centralna wybucha (np. jak supernowa) wyrzucając część swojej masy równą qM ($0 < q < 1$). Zakładając, że wyrzucona masa oddala się poza orbitę gwiazdy satelitarnej, opisać możliwe zachowanie się mniejszego obiektu.

Rozwiązanie na str. 2

271. Na wysokości 200 km gęstość atmosfery wynosi $\rho_a \approx 1,6 \cdot 10^{-11} \text{ kg/m}^3$.

Oceń siłę oporu działającą na satelitę o masie $m=10 \text{ kg}$ i przekroju poprzecznym $S=0,5 \text{ m}^2$. Jak zmieni się prędkość satelity i jego wysokość nad powierzchnią Ziemi w ciągu jednego obrotu?

Rozwiązanie na str. 7



Czy szósty kwark istnieje?

Mgr Piotr SZYMAŃSKI

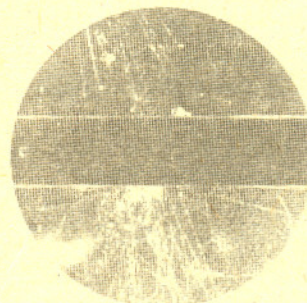
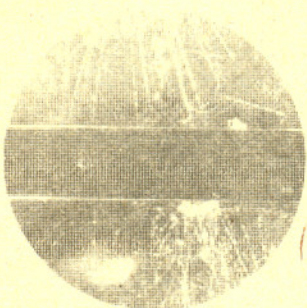
Problem istnienia szóstego kwarku jest od wielu lat przedmiotem zainteresowania coraz szerszego kręgu fizyków. Wyniki dotychczasowych doświadczeń wykazały, że podstawowe składniki materii to: pięć kwarków oznaczanych u, d, s, c oraz b . Występując w różnych kombinacjach tworzą one różne cząstki elementarne. Przykładowo: proton zbudowany jest z dwóch kwarków u i jednego kwarku d , a neutron z dwóch kwarków d i jednego u . Kolejne podstawowe składniki materii to trzy obdarzone ładunkiem elektrycznym leptony: elektron, mion i taon, oraz dwa neutralne leptony - neutrino: elektronowe i mionowe.

W przeciwieństwie do leptonów nie udało się zaobserwować swobodnych kwarków. Stąd też kwarki można badać jedynie pośrednio, badając zawierające je cząstki. Kwarki i leptony działają na siebie siłami, których nośnikami są takie cząstki, jak fotony, cząstki W^+, W^-, Z^0 i gluony. W teorii cząstek elementarnych zakłada się jeszcze istnienie neutrino taonowego oraz tzw. cząstki Higgsa i szóstego kwarku oznaczonego t .

Świat, który nas otacza, zbudowany jest z elektronów oraz kwarków u i d . Wyprodukowanie następnych, coraz cięższych kwarków, wymaga zderzenia ze sobą cząstek elementarnych, na przykład elektronów czy protonów o coraz większych energiach.

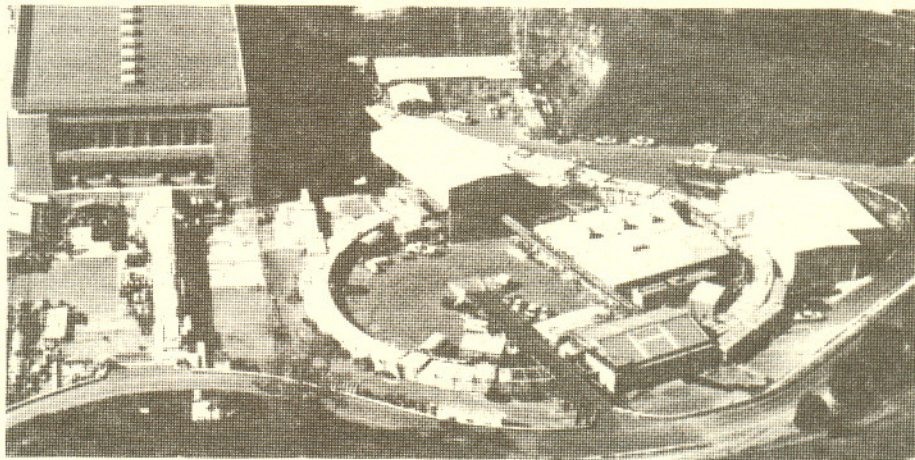
Kwark s - cząstki zawierające ten kwark zaobserwowano już w latach czterdziestych badając produkty oddziaływania promieniowania kosmicznego z materią. Fotografie oznaczone numerem 1 opublikowane zostały przez G.D. Rochester'a i C.C. Butler'a z Uniwersytetu w Manchesterze w grudniu 1947 roku. Wówczas nie myślano jeszcze o kwarkach.

Kwark c - o odkryciu cząstki zawierającej ten kwark ogłosili równocześnie dwa zespoły fizyków. W pierwszym, kierowanym przez Samuela C.C. Tinga, pracowało 14 fizyków z dwóch laboratoriów. Eksperyment przeprowadzono w Brookhaven (USA) badając produkty zderzenia protonów z jądrami berylu. Odkrytą cząstkę nazwano J . Druga grupa kierowana przez Burtona Richtera pracowała w laboratorium SLAC w Stanford (USA). W skład zespołu wchodziło 35 fizyków z dwóch ośrodków.



Fot. 1. Dwa zdjęcia tego samego zdarzenia zarejestrowanego w komorze mgłowej Wilsona, wykonane jednocześnie z dwóch różnych punktów dla ułatwienia przestrzennej rekonstrukcji torów cząstek naładowanych. Cząstki promieniowania kosmicznego oddziałują w bloku ołowiu o grubości 3 cm widocznym na zdjęciu. W jednym z oddziaływań wyprodukowała się cząstka neutralna (nie zostawiła śladu w komorze), która rozpadła się na dwie cząstki naładowane (ślady a i b).

Pracowali oni przy akceleratorze o nazwie SPEAR pokazanym na fotografii 2. Zderzano w nim elektrony z pozytonami. Eksperyment przy użyciu detektora MARK I rozpoczęto w 1973 roku. Zespół stanfordzki nazwał nową cząstkę ψ . Dlatego też nazywa się ona J/ψ .



Fot. 2. Akcelerator SPEAR w laboratorium Stanford. O skali zdjęcia świadczą rozmiary samochodów zaparkowanych w okolicy akceleratora (fot. SLAC).

Kwark b – cząstkę T zawierającą ten kwark zaobserwowano w 1977 roku w Laboratorium im. Enrico Fermiego w USA. W grupie Leona L. Ledermana pracowało 15 fizyków z trzech laboratoriów. Analizowali oni produkty zderzeń protonów z jądrami miedzi i platyny.

Kwark t – hipotetyczny szósty kwark, być może będzie odkryty przez fizyków pracujących przy akceleratorze o nazwie LEP (fotografia na okładce) budowanym w laboratorium Europejskiego Centrum Badań Jądrowych (CERN) w Genewie. Urządzenie o obwodzie 27 km zostało już częściowo umieszczone w podziemnym tunelu położonym miejscami na głębokości około 200 m. Decyzję o rozpoczęciu budowy LEP-u podjęto w grudniu 1981 roku. Uruchomienie akceleratora przewiduje się w lipcu bieżącego roku. Jednym z czterech detektorów, które będą działały przy LEP-ie, jest urządzenie DELPHI (fotografie na okładce). Detektor ten jest montowany w hali położonej na głębokości 60 metrów (rysunek). Przy budowie DELPHI pracuje ponad 760 techników, inżynierów i fizyków z 42 ośrodków badawczych z 16 krajów, również z Polski. Możliwe, że oni lub ich koledzy z innych zespołów, które podejmą badania przy LEP-ie, odkryją szósty kwark. A może fizycy pracujący przy akceleratorach TEVATRON lub SLC w Stanach Zjednoczonych lub HERA w RFN dokonają tego odkrycia?

Krzyżówka i szarada z numeru 12/1988

Okazało się, że zarówno krzyżówka, jak i szarada bardzo zainteresowały naszych Czytelników. Ciekawe jednak, że nie wszystkie odpowiedzi były poprawne. Spośród tych, którzy nadesłali właściwe hasło z krzyżówki i właściwą listę obiektów matematycznych ukrytych w szaradzie, to jest

*Delta ma piętnaście lat
dwudziestościan, prosta, łamana,
wielokąt*

nagrody wylosowali:

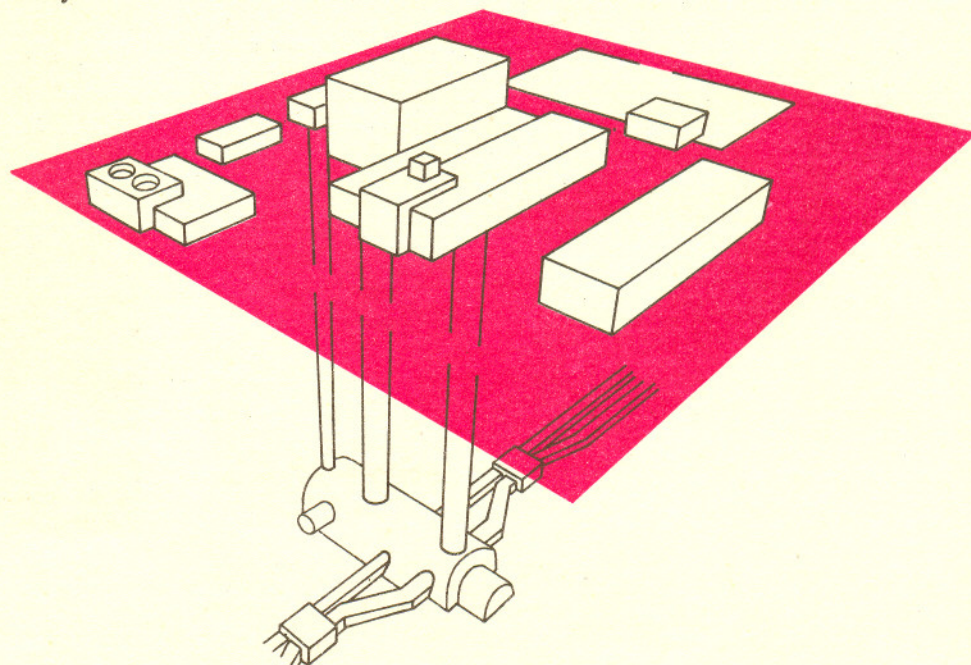
Przemysław Gadziński	– Środa Śląska,
Marek Gasiński	– Stalowa Wola,
Robert Konieczny	– Zdzieszowice,
Henryk Kornacki	– Augustów,
Bogusław Kuczek	– Częstochowa,
Tadeusz Łopacki	– Kraśnik,
Agata Pęksa	– Kraków,
Beata Rodzik	– Lublin,
Anna Słoić	– Kielce,
Beata Smalska	– Nysa.

Książki z serii *Delta* przedstawia (Wydawnictwo „Alfa”) wysłaliśmy pocztą.

Przy okazji dziękujemy za przesłane nam życzenia z okazji piętnastolecia *Delty*.

Dziękujemy też za zwrócenie nam uwagi na niewłaściwe sformułowanie pytania o Snelliusa w krzyżówce. I, oczywiście, przepraszamy.

Redakcja



Usytuowanie podziemnej hali eksperymentalnej (rys. CERN).