

Czarna Chmura Freda Hoyle'a

Tadeusz Wibig

Katedra Modelowania Procesów Nauczania,
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Łódzkiego

Fred Hoyle napisał książkę (Hoyle, 1957). Sir Fred Hoyle urodził się sto lat temu. Był astronomem, a może raczej astrofizykiem i kosmologiem angielskim. Znały jest przede wszystkim jako jeden z twórców teorii wyjaśniającej, skąd wzięły się pierwiastki chemiczne.

O ile wszyscy wiedzą, że na początku był wodór (no bo niby co miałyby być), to kwestia tego co dalej nie jest oczywista. Owszem, kosmologiczny hel jeszcze łatwo zrobić. Wystarczy połączyć na chwilę dwa protony, jądra wodoru, albo jeszcze lepiej proton z neutronem, co jest znacznie łatwiejsze, bo się elektrycznie nie odpychają, a potem do nich dodać jeszcze trzeci nukleon, albo od razu dwa i po odpowiednich rozpadach przy pewnej dozie szczęścia uzyskać stabilne jądro o bardzo magicznej liczbie protonów i neutronów (bo w sumie $2 + 2 = 4!$). Załóżmy, że udałoby się szybko przeskoczyć liczbę masową 5, dla której nie ma stabilnych izotopów dołączając szybko dwa razy po neutronie i może jeszcze trzeci i w wyniku dostać trochę litu, może boru, czy skrajnie nietrwałego berylu, ale nie da się już w żaden sposób przekroczyć liczby masowej 8, bo gdy tylko powstanie coś tak masywnego zaraz rozpada się na dwa jądra helu, cząstki α , i musimy zaczynać od początku. Kłopot z wytworzeniem czegoś cięższego towarzyszył teoriom kosmologicznym od zawsze. Istniała wtedy całkiem poważna teoria mówiąca, że na początku (o ile był jakiś początek!) coś ciężkiego już było: powstało samo z siebie i potem rozpadało się i rozpadało. Może i wytłumaczyłaby ona powstanie cięższych pierwiastków, ale z drugiej strony, wyczerpanie paliwa jądrowego prowadzić by musiało do nieuchronnej i szybkiej śmierci ciepłej Wszechświata. Aby uchronić nas od smutnego końca, powstała hipoteza stanu stacjonarnego, a wraz z nią pomysł na ciągłą kreację materii z niczego. Dziś traktujemy to jako egzotyczną ciekawostkę, ale pół wieku temu wszyscy (poza Gamowem może) mieli w niej nadzieję na długie życie (Wszechświata). Wszechświat miał być niezmienny i zawsze taki sam, obserwowane ubytki materii spowodowane ekspansją galaktyk miały być sukcesywnie na mocy prawa uzupełniane w miarę potrzeb. Łamałoby to wprowadzić zasadę zachowania (materii, energii, czegoś innego?), ale bardzo nieznacznie. I to właśnie Hoyle był autorem pomnikowej pracy „*A New Model for the Expanding Universe*” z roku 1948 (Hoyle, 1948). Wymieńmy dla porządku o miesiąc wcześniejszą inną, nie mniej pomnikową pracę „*The Steady-State Theory of the Expanding Universe*” Bondiego i Golda (Bondi i Gold, 1948), którym to autorom zresztą Hoyle dziękuje w swoim artykule za interesujące dyskusje i ciekawe komentarze, oni zaś wspominają i dyskutują jego pracę w swojej i także dziękują mu za cenne uwagi. Jakiż piękny przykład konstruktywnej dyskusji i prawdziwie naukowej wymiany myśli i argumentów!

Hoyle wpadł też jako pierwszy (jeden z pierwszych) na pomysł produkcji pierwiastków w gwiazdach (Hoyle, 1954). To właśnie jego oryginalnym pomysłem było obejście problemu skrajnej niestabilności wszelkich izotopów o masie atomowej równej masie dwóch cząstek alfa (każda po $A = 4$).

Idea Hoyle'a wzięła się z obserwacji zupełnie nieastronomicznej, można by powiedzieć filozoficznej niemal. Prawie jak sam Kartezjusz, Hoyle stwierdził, że istnieje. Poszedł jednak dalej niż wielki Francuz. Zauważył, że istnieje nie tylko on, ale i wiele innych osób wokół niego. Poza nimi istnieją też inne żywe organizmy i w zasadzie życie jako takie. Życie nie tylko duchowe, ale jak najbardziej biologiczne, życie oparte na chemii węgla (z udziałem tlenu i innych cięższych pierwiastków). Wnioskiem z tego może być stwierdzenie, że fizyka reakcji „ 3α ” (połączenia trzech jąder helu w jedno jądro węgla: ${}^4\text{He} + {}^4\text{He} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^8\text{Be} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C}$) musi być akurat taka, aby połączenie berylu i cząstki α zaistniało, choćby tylko czasem, jako stan izotopu węgla ${}^{12}\text{C}$ nie rozpadający się natychmiast z powrotem na hel i beryl, a ten za chwilę na hel i hel. Jądro helu jest oczywiście naładowane dodatnio i by zbliżyć się do naładowanego dwakroć bardziej jądra berylu musi pokonać elektrostatyczną barierę potencjału. Do tego musi mieć odpowiednio wysoką energię, energię kinetyczną. Energia ta, to co najmniej 0.287 MeV, a wziąć się może z gwałtownych ruchów termicznych we wnętrzu gwiazdy. Oczywiście wcześniej para cząstek alfa, by zbliżyć się dla utworzenia berylu, też musiała pokonać podobną, ale oczywiście mniejszą barierę: 0.092 MeV. Jądro węgla jest zasadniczo lżejsze od sumy mas trzech cząstek alfa. Ta różnica to rodzaj energii potencjalnej sił wiązania nukleonów w jądrze. Aby reakcja 3α była efektywna, powstające jądro węgla musi coś zrobić z sumą tych wszystkich trzech energii. By przetrwać, najlepiej, aby przechowało ją, choćby na chwilę, w sobie, czyli, aby powstało, jako stan wzbudzony, rezonans powracający do stanu podstawowego emitując na przykład dwa kwanty γ unoszące nadmiar energii: 7.654 MeV. Fizyka jądrowa w połowie XX wieku nie znała takiego stanu, propozycja Hoyle'a była tylko wydumanym życzeniem, sugestią. Atrakcyjną, acz niewątpliwie egzotyczną. Proponowany stan jądra ${}^{12}\text{C}$ ($J^\pi = 0^+$) nazywany jest „stanem Hoyle'a”. Odkryty został w roku 1957 (Cook, Fowler, Lauritsen i Lauritsen, 1957) i do dziś stanowi przedmiot zainteresowania fizyków.

Zasada antropiczna mówi, że Wszechświat jest zrobiony tak, aby nam żyło się w nim miło, a jeśli nie miło, to żeby w ogóle dało się w nim żyć. Jako taka, nie była znana Hoyle'owi. Z patriotycznego obowiązku warto przypomnieć, że sformułowana została po raz pierwszy w roku 1973 przez Cartera na sympozjum sekcji kosmologicznej Międzynarodowej Unii Astronomicznej w Krakowie (Carter, 1974). Świętowano tam wtedy pięćsetną rocznicę urodzin Kopernika. Niektórzy wątpią, czy Hoyle rozumował w przedstawiony powyżej sposób, ale niewątpliwie jest to rozumowanie bardzo eleganckie i na pewno oryginalne.

Gdy Hoyle wyjaśnił już, jak mogą powstawać pierwiastki cięższe od berylu, zauważono, że w piecach gorących gwiazd łączyć się mogą jądra jedynie do osiągnięcia równowagi pomiędzy przyciąganiem sił jądrowych i odpychaniem sił elektrostatycznych (Hoyle, 1954). Im cięższe jądro, tym więcej skupia się w nim dodatnich ładunków protonów (Z) i tym chętniej by się rozpadło, gdyby mogło. Punktem koń-

cowym, najbardziej energetycznie korzystnym z punktu widzenia spalania – „popiołem gwiazd” jest żelazo. Nie da się spalić dwóch jąder żelaza ($Z=26$, $A=56$) w jądro cyny o masie 112 w procesie równowagowym w żadnej temperaturze. Jest to energetycznie niekorzystne. Z drugiej strony w otoczeniu naszym pierwiastki cięższe od żelaza niewątpliwie występują. Jest ich średnio rzecz biorąc mało, ale są. Platyna i ołów są prawie cztery razy cięższe od żelaza, a są! Uran jest jeszcze cięższy. Skąd się zatem wzięły?

I znowu Fred Hole znalazł odpowiedź. Spokojna gwiazdowa nukleosynteza w gwiazdach takich jak Słońce (z ciężkimi pierwiastkami energetycznie nieistotnymi i nabytymi w chwili powstania z popiołów pierwotnej gwiazdy wodorowej - populacji trzeciej) zamienia powoli wodór w hel, potem, jeśli masa jest dostatecznie duża w ściśniętym jądrze zapala się już hel. Na skutek reakcji 3α , dochodzi do powstania węgla i kolejnych cięższych pierwiastków - aż do żelaza włącznie. W dużych i bardzo dużych gwiazdach, kilkakrotnie większych od naszego Słońca, dzięki potężnej grawitacji materia ściskana jest wciąż bardziej i bardziej, i temperatura wewnątrz niebezpiecznie wzrasta. W końcu, gdy gęstość osiągnie wartość kilku ton na centymetr sześcienny, a temperatura przewyższa pół miliarda kelwinów zapala się węgiel. I od tej chwili proces przestaje przebiegać spokojnie i bardzo szybko. Bardzo szybko nie tylko w kosmicznej, ale i w zwyczajnie ludzkiej skali - w mgnieniu oka, dochodzi do gigantycznej eksplozji. Mgnienie oka dla gwiazdy to jest czas, jaki potrzebuje światło, aby przebiec dystans porównywalny z interesującym nas obszarem. Materia utrzymywana dotąd w równowadze przez promieniowanie i ciśnienie ulega daleko idącej destabilizacji. Najpierw jądro gwiazdy zapada się z prędkością prawie 100000 km/s, aż w końcu nadchodzi nieuchronny koniec, bo nie można spadać w nieskończoność i uwalniana jest energia większa niż w ogóle można to sobie wyobrazić, czyli mówiąc prosto gwiazda eksploduje. Gorąca zupa atomowych jąder, o temperaturach sięgającej miliona stopni, wyrzucana jest z prędkościami wielu tysięcy kilometrów na sekundę. I to jest właśnie ten moment, gdy powstaje złoto.

Hoyle zauważył, że razem z rozgrzаныmi jądrami biegną w przestrzeń olbrzymie ilości neutronów, a te nienaładowane elektrycznie cząstki elementarne podobne do protonów mogą dość łatwo przyłączyć się do istniejących już jąder. No i przyłączają się, i przyłączają, i przyłączają. Proces ten trwa tylko sekundy, ale to wystarczy, by wzbogacić Wszechświat nie tylko w złoto, ale we wszystko, co ciężkie. Proces ten nazywa się *r-procesem* od słowa „rapid” – szybki. Mamy jeszcze i powolny proces dołączania neutronów *s-proces*, gdy gwiazda jest na granicy eksplozji, ale póki co, jedynie lokalnie pojawiają się tu i tam w jej wewnętrznych powłokach nagle silne strumienie neutronów powstające w procesach prawie równowagowych spalania się na przykład neonu, czy magnezu.

W szczegółach synteza pierwiastków opisana została w epokowej pracy znanej na świecie od roku 1957 (znowu ten magiczny rok!) jako B²FH od nazwisk autorów: małżeństwa Margaret i Geoffreya Burbidge'ów, Williama Fowlera i właśnie Freda Hoyle'a (Burbidge, Burbidge, Fowler i Hoyle, 1957). Opisane tam procesy i zależności do dziś nie straciły na swej aktualności i są podstawą naszego rozumienia powstawania pierwiastków we Wszechświecie.

Te niewątpliwe i budzące powszechny szacunek osiągnięcia nie znalazły nigdy zrozumienia wśród rozdających nagrody Nobla. Zdaniem wielu Fred Hoyle na nią jak najbardziej zasłużył, zwłaszcza, że otrzymał ją jego kolega i współautor pracy B²FH: William Fowler, właśnie za nukleosyntezę. Może powodem takich rozstrzygnięć było to, że Hoyle oryginalny był ponad miarę. Ponad miarę poczucia humoru członków Norweskiego Komitetu Noblowskiego. Przykłady można by mnożyć.

W połowie lat 60. Hoyle rozwijając elementy teorii stanu stacjonarnego stworzył dla niego oryginalną zupełnie teorię grawitacji (Hoyle i Narlikar, 1964). W teorii tej stała grawitacji G zależałyby od ilości materii w pobliżu. Klasycznie, zdaniem Newtona, czy Einsteina i właściwie wszystkich prawie, gdyby tak nagle połowa gwiazd we Wszechświecie nagle zniknęła, to w sumie zobaczylibyśmy w nocy na niebie po prostu o połowę mniej mrugających światełek i nic więcej by się nie zdarzyło. Hoyle pogląd ten zakwestionował. W jego teorii nasze Słońce zaczęłoby naraz świecić sto razy mocniej (bo zmieniałaby się grawitacja ściskająca materię słoneczną i bardzo szybko byłoby po nas. Na szczęście wydaje się, że teoria ta jednak nie sprawdza się w konfrontacji z precyzyjnymi eksperymentami wieku XXI i możemy spać spokojnie. Nawet gdyby nagle zniknęło pół świata. Teoria stanu stacjonarnego, rozwijana dalej przez między innymi przez wspomnianego już Burbidge'a, który także Nobla nie dostał napotkała na ciężki do zgryzienia orzech w roku 1965. Arno Penzias i Robert Woodrow Wilson przypadkowo odkryli wtedy wypełniające izotropowo cały Wszechświat mikrofalowe promieniowanie tła (Penzias i Wilson, 1965). Wyjaśnienie jego istnienia we Wszechświecie ewoluującym od stanu Wielkiego Wybuchu (sam termin „*Big Bang*” też pochodzi od Hoyle'a!) jest oczywiste i proste, podczas, gdy teoria stanu stacjonarnego wymaga dołożenia go z zewnątrz, co jest bardzo nieeleganckie i w zasadzie w oczach niemal wszystkich teorię stanu stacjonarnego dyskwalifikuje. Niektórzy jednak nigdy nie zmienili zdania. Pewnie po części przez przekorę.

Wydaje się, że pojęcie ewolucji budziło w Hoyle'u jakiś wewnętrzny sprzeciw. Chciałby on najpewniej, aby świat był stabilny, stacjonarny i najlepiej jeszcze dobrze przemyślany. Starożytni Grecy powiedzieliby, że „piękny i dobry”, ale oni wymarli już dawno. Wydaje się jednak, że marzenie o stabilizacji jest dla gatunku ludzkiego bardziej naturalne niż dzisiejsze dążenie ku lepszemu wśród burzliwych przemian i tak zwanego „postępu”.

A dodatkowo wydaje się jeszcze, że Hoyle lubił irytować swoich kolegów naukowców. Teoria stanu stacjonarnego nie była jedyną herezją uprawianą przez Hoyle'a, a im bardziej posuwał się w latach, tym stawał się bardziej irytujący. Jako przykład, zacytować można jego teorię panspermii. Choć nie można go uważać za jej twórcę, na pewno był jednym z jej głównych propagatorów. Z grubsza rzecz biorąc teoria ta mówi, że życie na Ziemi i w ogóle gdziekolwiek indziej, pojawiało się nie na skutek powolnej i mozolnej ewolucji i doboru naturalnego, a zasiewane było, kosmicznie z nieznanego, ale niezawodnie istniejącego gdzieś źródła życia. W ekstremalnych formach teorii zasiewanie to było nieprzypadkowe. Dowodem na prawdziwość tych pomysłów miała być korelacja występowania epidemii (grypy, polio, czy choroby wściekłych krów) z liczbą plam na Słońcu. W minimum aktywności

ności Słońca, gdy strumień cząsteczek ulatujących zeń osiąga minimum, ilość pyłu międzygwiazdowego docierająca do Ziemi jest oczywiście największa, a wraz z tym pyłem docierają z kosmosu i zarazki. Oczywiście Darwin w ogóle nie miał racji.

Gdy jako argument za ewolucją gatunków zaprezentowano Hoyle'owi w roku 1980 skamieniałe szczątki *Archaeopteryksa* stwierdził, że jest to bezczelne fałszerstwo i pióra dolepiono jaszczurce dla celów niegodnych. Afera i dyskusja w prasie fachowej rozpełtała się potężna. Niewykluczone, że ropa naftowa wcale nie pochodzi z obumarłych dawno drzew i innych kiedyś żywych organizmów, ale jest wynikiem reakcji chemicznych wiążanego w skorupie ziemskiej węgla. Pojawianie się na Ziemi coraz to bardziej rozwiniętych form może być właśnie dowodem na przemyślane działanie kosmicznego rozumu, cywilizacji eksperymentującej z kreacją czegoś na kształt inteligencji na naszej planecie. Jeszcze tylko krok dzielił Hoyle'a od stwierdzenia, że eksperyment ten nie należy raczej do udanych.

Mimo to ludzkości raz na jakiś czas udaje się zrobić coś interesującego.

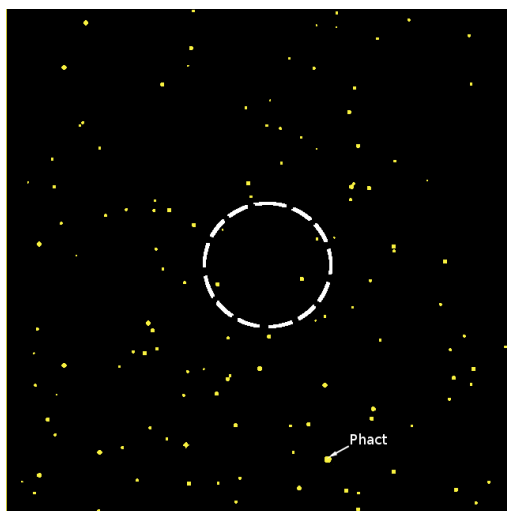
W roku 1957 Fred Hole napisał książkę. Nazywała się „Czarna chmura”. Opisywała, jak to do Ziemi zbliżał się z odległych przestrzeni kosmosu tajemniczy obiekt i co dalej z tego wynikło. Sci-Fi, nic specjalnie nadzwyczajnego, książek takich powstały zapewne setki. A jednak, gdy czytałem tę książkę naszyły mnie refleksje natury edukacyjnej, ze szczególnym uwzględnieniem edukacji fizycznej, którymi chciałbym się właśnie podzielić.

Może niektórzy pamiętają, że u zarania fantastyka naukowa była zdecydowanie bardziej naukowa niż fantastyczna. Jej praojciec, Juliusz Verne opowiadał o fascynujących odkryciach, jakie w tamtych czasach, w końcu XIX wieku, rodziły się w pracowniach genialnych naukowców, a później, okazało się, zmieniły cały świat. Kto wie, czy nie także i trochę za sprawą samego Verne'a. G.H. Wells opierał swe opowieści na solidnych podstawach spekulując o możliwościach nauki i marząc. Niestety, a może na szczęście, większość z jego prognoz nie sprawdziła się. Nie latały na Księżyc używając ekranów grawitacyjnych, nie mamy mikstury na niewidzialność, ale i nie najechali nas Marsjanie. Wszystkie te klasyczne opowieści miały to do siebie, że starały się rozciągać granice nauki, ale nie naciągać ich zbyt. Opierały się o to, co wiadome i tym samym, być może niechęć, stawały się podręcznikami fizyki dla niezainteresowanych. Czytający książki z przygodami, to w końcu zwykli ludzie, im bardziej książki przygodowe, tym ludzie młodszy, a więc hasło „bawiąc uczyć” znajdowało sto lat temu proste przełożenie w literaturze bardzo popularnej. Zachodzi uzasadnione chyba podejrzenie, że zainteresowanie i fascynacja tamtą literaturą przyczyniły się później do rozwoju nauki i realizacji marzeń z przełomu wieków. Gdy dorosiliśmy w końcu poleciliśmy na Księżyc. Czy stałoby się to bez Verne'a i Wellsa, czy im podobnych? Zostawmy to pytanie historykom i socjologom i przyjrzyjmy się czasom nam bliższym. O ile początki były zachęcające, o tyle ciąg dalszy jawi się już niestety inaczej. Dziś literatura Science-Fiction, to już w zasadzie głównie fiction z dodatkiem elementów magicznych i brutalnych. Nie chcę tu wymieniać przykładów, każdy znajdzie je, gdy tylko się rozejrzy. Nie należy rozumieć, że mam coś przeciw (choć mam). Nie o to chodzi. Istotą jest lokalizacja marzeń poza rozumem. To przecież wiedza prowadzi do roz-

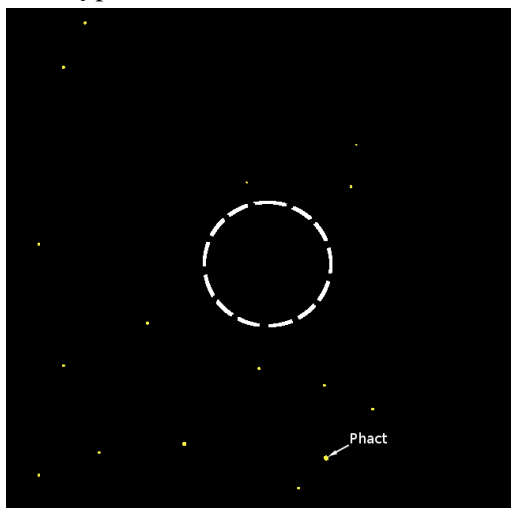
woju ludzkości, a coraz częstsze jest chyba wśród ludzi przekonanie, że jest wprost przeciwnie. Nie zwraca się uwagi na wszechobecne w kieszeniach każdego telefonu komórkowe będące zaawansowanymi produktami technologii informatycznych, których jedną tylko z coraz mniej znaczących funkcji jest nawiązywanie kontaktu głosowego z innym człowiekiem. Podróże międzykontynentalne są dziś w zasadzie tylko kwestią rezerwacji biletu, a samochody już prawie same jeżdżą i same parkują na zatłoczonych ulicach wielomilionowych metropolii. A w nich ludzie piją (na przykład) wodę, która wypływa z milionów kranów, jedzą miliony kotletów (na przykład) z krów mieszkających setki i tysiące kilometrów od talerzy, na których się je podaje. Do tego (na przykład) przyswajają tony sałatek wegetariańskich z roślin rosnących zupełnie gdzie indziej. Dzieje się tak w metropoliach, gdzie do każdego miejsca doprowadzony jest skądś też (na przykład) prąd i internet (na przykład), gdzie ciągle jest czym oddychać i robić jeszcze inne rzeczy, o których nawet na przykład nie wspomnę. I nikt nie pamięta, że wszystko to, to nie kwestia czarów, tajemnych mocy, duchów ciemności, czy dobrotliwych bóstw opiekuńczych. To jest nauka. To jest właściwie fizyka.

Ale wracając do książki „Czarna chmura”. Fred Hoyle napisał ją, jak sam stwierdza w przedmowie, jako żart, ale żart wysokiego lotu. Wszystko, co opisuje, mogłoby się zdarzyć naprawdę. A przy okazji, na marginesie niejako, Hoyle formułuje i rozwiązuje szkolne zadania z fizyki. Jest to jedna z bardzo niewielu książek przygodowych zawierających wzory, wielkości fizyczne, rozumowania i wyniki spotykane na lekcjach fizyki. Właściwie żaden inny tytuł nie przychodzi mi do głowy. Przyjrzyjmy im się bliżej.

Rysunek poniżej pokazuje niebo w okienku o rozmiarach $10^\circ \times 10^\circ$ wokół punktu na niebie określonego przez rektascensję (bardzo śmiesznie czyta się w polskim tłumaczeniu o „Prawym Wzniesieniu” – trudno!) $5h\ 46m$ i deklinację $-30^\circ\ 12'$. Na lewym obrazku są wszystkie obiekty widoczne gołym okiem w dobrych warunkach (powyżej wielkości gwiazdowej 6), na prawym sytuację jaką można zobaczyć idealnym nieuzbrojonym okiem w warunkach idealnych (powyżej wielkości 8). Nic tam nie ma. Jedyna gwiazda, która może być uznana za dobrze widoczną to Phact (Phaet, Phad, Phakt, α gwiazdozbioru Gołębia) o wielkości gwiazdowej 2.65.



W środku tego obszaru w styczniu roku 1964 zaobserwowano, choć może powinno się powiedzieć „nie zaobserwowano” NICZEGO. Zaobserwowanie NICZEGO jest



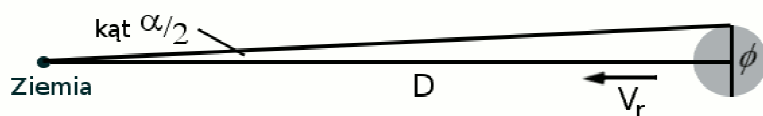
o wiele trudniejsze niż zaobserwowanie czegokolwiek, a szczególnie, gdy owo NIC znajduje się w miejscu, gdzie prawie nic nie ma (jak na załączonych obrazkach). Niejaki Jensen, Knut Jensen astronom z obserwatorium w Pasadenie stosując bardzo wyczerpującą technikę ręcznego (a właściwie ocznego) porównywania zdjęć nieba dokonanych w różnym czasie poszukiwał gwiazd zmieniających jasność, najchętniej supernowych i to najlepiej nieodległych. Patrząc na przedstawiony na obrazkach fragment nieba zauważył, że niektóre gwiazdy mniej więcej na krawędzi narysowanego okręgu jakby pociemniały. Nie wchodząc

w szczegóły doszedł do całkiem logicznego wniosku, że coś je zasłania. Na niebie jest coś co jest zupełnie czarne (nieprzezroczyste) i robi się powoli coraz większe. Jakby Czarna Chmura! Dziś poszukiwania gwiazd zmieniających jasność powierza się komputerom i nikt nie zastanawia się nad „ciekawymi” przypadkami. Komputery nie są „ciekawe” i jeśli w ogóle się zastanawiają, to tylko tak, jak zostały zaprogramowane, zupełnie automatycznie. Bardzo dobrym przykładem jest tutaj choćby polski projekt „Pi of the Sky”, który wykrył w roku 2008 optyczną poświatę błysku promieniowania gamma o nazwie GRB 080319b, zanim jeszcze satelita SWIFT zauważył sam błysk (Piotrowski, 2012). Ubocznym efektem komputeryzacji astronomii jest to, że żadna Czarna Chmura nie zostałaby wykryta tak wcześnie, jak ta z książki Hoyle'a. Jak dobrze, że Czarne Chmury nie istnieją, bo gdyby istniały, musielibyśmy szybko odpowiedzieć na co najmniej dwa ważne pytania z fizyki: czy, a jeśli już, to kiedy Czarna Chmura dotrze do Ziemi.

Odpowiedź na pierwsze pytanie umożliwiło wspomniane już zdjęcie tego samego fragmentu nieba wykonane jeszcze 20 lat temu. Oczywiście nikt wtedy NIC na nim nie zobaczył, bo nie wiedział, czego ma szukać, teraz jednak, gdy Czarna Chmura jest całkiem dobrze widoczna, można było dokładnie obejrzeć kliszę i rzeczywiście, udało się profesorowi Herrickowi znaleźć malutką czarną plamkę w miejscu niemal dokładnie tym samym, gdzie dziś widać środek Czarnej Chmury. Precyzyjniej: nie odchyliła się od dzisiejszego centrum o więcej niż ćwierć stopnia. Jeśli dzisiaj chmura ma rozmiar kątowy dwa i pół stopnia, to czy jest szansa, aby ominęła Ziemię?

Można potraktować to jak zadanie szkolne i wtedy jego rozwiązanie przedstawiałoby się następująco:

Powiedzmy, że sytuacja nie wygląda tak jak na rysunku poniżej.



Prawdziwą prędkość ruchu chmury można rozłożyć na składową skierowaną w kierunku Ziemi i drugą do niej prostopadłą. Rozmiar kątowny Czarnej Chmury zwiększa się z czasem, gdyż będzie ona z każdą chwilą coraz bliżej. Poza tym oczywiście i jej środek może przesunąć się także po niebie, ale o tym za chwilę.

Przyjmijmy oznaczenia, jak na rysunku: α – rozmiar kątowny chmury, ϕ – jej rozmiar liniowy (średnica), D – odległość do niej, a V_r – jej prędkość w naszym kierunku (radialna).

Oczywiście z definicji kąta

$$\alpha = \frac{\phi}{D}, \quad (1)$$

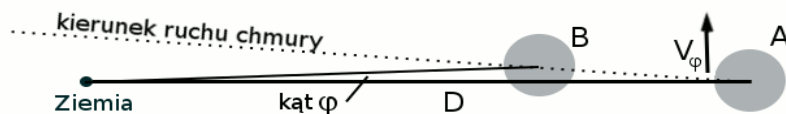
co można zróżniczkować

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{-\phi}{D^2} \frac{dD}{dt}. \quad (2)$$

Prędkość chmury to akurat $-\frac{dD}{dt}$ (minus bierze się stąd, że z czasem D maleje, a α rośnie. Zatem

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{\phi}{D^2} V_r = \frac{\alpha}{D} V_r. \quad (3)$$

Z drugiej strony, centrum może poruszać się jednostajnie z prędkością liniową V_ϕ i po jakimś (niewielkim) czasie przesunąć się o (niewielki) kąt ϕ



$$d\phi = \frac{V_\phi}{D} dt. \quad (4)$$

Porównując wzory (3) i (4) i zmieniając nieskończenie małe przyrosty $d\alpha$ i $d\varphi$ na nieduże, ale skończone $\Delta\alpha$ i $\Delta\varphi$ mamy

$$\frac{\Delta\alpha}{\Delta\varphi} = \alpha \frac{V_r}{V_\varphi} \quad (5)$$

Podstawiając przyrost rozmiaru chmury przez dwadzieścia lat, czyli aktualny jej rozmiar, $\Delta\alpha = \alpha = 2,5^\circ = 0,044$ i jej przesunięcie w tym czasie $\Delta\varphi = 0,25^\circ = 0,0044$ otrzymujemy, że prędkość prostopadła jest ponad 200 razy mniejsza od prędkości chmury skierowanej w stronę Ziemi

$$\frac{V_r}{V_\varphi} = \frac{1}{0,0044} \approx 200 \quad (6)$$

Szansa na ominięcie Ziemi jest więc żadna!

Czarna Chmura została zauważona przez Jensena, gdy porównał on dwie fotografie wykonane w odstępie miesiąca. Jak to już stwierdziliśmy, Czarna Chmura poruszała się prawie dokładnie w kierunku Ziemi i po miesiącu zakrywała już nieco większy fragment nieba. Oszacowano, że jej widoczny rozmiar, rozmiar kątowy, wzrósł o jakieś 5%. Profesor Marlowe zaproponował, by dla oszacowania szybkości chmury użyć pomiarów dopplerowskich linii absorpcyjnych, jeśli da je się w ogóle znaleźć w jej widmie. Potem trzeba jeszcze będzie znaleźć jakoś odległość do Czarnej Chmury. W sumie procedura ta miała zająć tygodnie intensywnych prac. I wtedy właśnie Weichert z Caltech, błyskotliwy dwudziestosiedmioletni fizyk (to ciekawe, ale Fred Hoyle, gdy pracował dla Admiralicji nad radarem i opracowywał metody wyznaczania pułapu lecących samolotów miał też jakby 27 lat; taki zbieg okoliczności), który już wcześniej podał rozwiązanie naszego pierwszego zadania, stwierdził, że ani prędkość, ani odległość do Czarnej Chmury nie są mu potrzebne, aby odpowiedzieć na pytanie, ile pozostało czasu do zderzenia z chmurą?

Rozwiązanie i tego zadania podaje Hoyle w swojej książce:

Przyjmijmy, dla uproszczenia, zgodnie ze wzorem (4), że chmura ma praktycznie jedynie prędkość radialną, ku Ziemi $V = V_r$. Wtedy

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{\phi}{D^2} V \quad (7)$$

Czas, jaki potrzebować będzie chmura na przebycie drogi D jednostajnie ze stałą prędkością V to

$$T = \frac{D}{V} \quad (8)$$

Z równań (7) i (8) pozbyć się możemy nieznaney wielkości prędkości V i wtedy

$$T = \frac{\phi}{D} / \frac{d\alpha}{dt}. \quad (9)$$

ϕ/D to jak podaje wzór (1) $\alpha = 2.5^\circ = 0.044$, a niezłym przybliżeniem pochodnej ($d\alpha/dt$) jest i tutaj iloraz różnicowy ($\Delta\alpha/\Delta t$). Otrzymujemy zatem w końcu

$$T = \Delta t / \left(\frac{\Delta\alpha}{\alpha} \right). \quad (10)$$

Obserwacje poczynione w odstępie miesiąca pokazały, że rozmiar kątowny chmury wzrósł o 5%, a więc $\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = 0.05 = 1/20$, a Δt to właśnie odstępek czasu między tymi pomiarami (1 miesiąc), wynika więc z tego, że T równe jest 20 miesiącom. Katastrofa zdarzy się szybciej niż za dwa lata! Jest więc powód do pośpiechu.

Jeśli wiadomo już, że Czarna Chmura uderzy w Ziemię pozostaje zadać sobie pytanie, no i co z tego, czyli mówiąc ściślej, czy spowoduje to jakieś niemiłe perturbacje. Można spodziewać się, że się ściemni, ale, aby odpowiedzieć na to bardziej szczegółowo, potrzebne są nowe dane.

W tym samym mniej więcej czasie po drugiej stronie Atlantyku odbyło się zebranie British Astronomical Association (BAA), na którym niejaki George Green referował zaobserwowane przez siebie zaburzenia w ruchu Jowisza i Saturna. Były one w zasadzie niewielkie, w większości rzędu kilkudziesięciu sekund kątowych, ale jako takie z punktu widzenia Astronomii były niewiarygodnie wręcz olbrzymie. Po panu Greenie wystąpił niewymieniony przez Hoyle'a z nazwiska Astronom Jej Królewskiej Mości. Zaszczytą tę funkcję piastował w roku 1965 Sir Richard van Riet Woolley znany ze swego krytycznego poglądu na temat sensowności lotów kosmicznych w ogóle. Astronom Królewski potwierdził wyniki pana Greena i dodał do tego referencje Obserwatorium w Heidelbergu i zaznaczył, że Uran i Neptun także nieco zmieniły swe pozycje.

Profesor Kingsley w czasie, gdy obaj prelegenci zanudzali słuchaczy nieistotnymi szczegółami dokonywał był ciekawych obliczeń, z których wynikało niezbitie, że jeśli to wszystko jest prawdą, to w Układzie Słonecznym pojawić się musiała niezidentyfikowana masa o wielkości co najmniej Jowisza – a NIC takiego przecież nikt nie zauważył.

Obserwacje obserwacjami, ale należało wyciągnąć z nich jakieś konstruktywne wnioski. Przede wszystkim należało wykluczyć jakiegokolwiek pomyłki. Jeśli nie było błędów, obserwowane efekty musiały mieścić się w naukowym opisie świata i być rzeczywiście efektem przyciągania nieznanego ciała. Trzeba było prześledzić komputerowo efekty istnienia tajemniczego obiektu w takim, a nie innym miejscu. W połowie dziewiętnastego wieku tak właśnie Adams i Le Verrier przewidzieli istnienie i położenie Neptuna, którego potem rzeczywiście zauważono właśnie tam. Komputery w roku 1965 nie przypominały tego, co dziś każdy ma w domu i w tele-

fonie. Inaczej je się też programowało. Programy zapisane na dziurkowanej taśmie dalekopisu maszyna wysyłała przez małą szparkę i po jakimś czasie podobny pasek wypływała w innym miejscu. Po włożeniu go do drukarki dalekopisu, można było zobaczyć, co kryło się w szeregach dziurek. Po całonocnej pracy, w czasie której maszyna „mnożyła co minutę sto tysięcy dziesięciocyfrowych liczb”, pojawił się wynik. Otrzymana masa Czarnej Chmury była równa 2/3 masy Jowisza, a jej aktualna odległość od Słońca to 21.3 jednostek astronomicznych.

Przyjmując te dane można było spróbować odpowiedzieć na kolejne szczegółowe pytania. Po pierwsze, jaka jest gęstość Czarnej Chmury i czy to dużo?

Rozwiązanie jest raczej trywialne, choć może być kształcące, ale na pewno wiedza jaką uzyskać można interpretując wyniki daleko wykracza poza podstawę programową:

Objętość zajmowana przez Czarną Chmurę nie jest oczywiście precyzyjnie określona. Chmura nie ma wyraźnego brzegu, ale przyjmijmy że widoczna jest ona w kącie $2,5^\circ$ z odległości 21,3 j.a. Jedna jednostka astronomiczna to 149 597 870 700 m, zatem promień chmury to 70 miliardów metrów. Jej objętość to jakieś 10^{33} metrów sześciennych. Przy masie około 10^{27} kg daje to 1 gram na 10^9 cm^3 , czyli wyrażając to w jednostkach bardziej przyjaznych 10^{-9} g/cm^3 . Jest to wielkość „do przyjęcia”. W Układzie Słonecznym mamy, średnio rzecz biorąc, kilka protonów na centymetr sześcienny, czyli około 10^{-23} g/cm^3 . Obłoki międzygwiazdowe mają zwykle gęstość milion razy większą (10^{-17} g/cm^3), Słońce jako takie ma gęstość około 1 grama na cm^3 , a w zasadzie jest też zgęstniałym obłokiem materii. Gęstość 10^{-9} g/cm^3 mieści się w rozsądnych granicach.

Kolejny, naprawdę kluczowy problem, jaki Hoyle rozwiązuje w swojej książce, to określenie tego, co się stanie z Czarną Chmurą, gdy ta będzie zbliżać się do Słońca. Jej gęstość jest na tyle duża, że jest ona czarna – pochłonie całe padające nań promieniowanie. Zatem spodziewać się można, że będzie robiła się coraz gorętsza. Można zapytać, jak bardzo? Od tego wiele zależy.

I znowu musimy rozwiązać zadanie z fizyki:

Chmura daleko od źródeł ciepła (i światła) miała temperaturę bardzo niską. Dla uproszczenia przyjmijmy, że 3 K, czyli prawie 0. Przy całkowitej masie 10^{27} kg i założeniu, że wszystko to prawie neutralny wodór, ze znanego ze szkoły wzoru na „bilans cieplny” wynika, że ogrzanie jej do temperatury pokojowej (T) wymaga

$$E = \frac{3}{2} kT N_A \times 10^{27} / m , \quad (11)$$

gdzie m to masa molowa materii Chmury (w kilogramach równa 0.001), N_A to stała Avogadro, k stała Boltzmanna. Jeśli Słońce wypromieniowuje stale w przestrzeń strumień energii z mocą 4×10^{26} watów, to czas na ogrzanie Chmury o 300 stopni to co najmniej

$$t = \frac{\frac{3}{2}R \times 300 \times 10^{27} / 0.001}{4 \times 10^{26}}, \quad (12)$$

czyli jakieś 10 milionów sekund, to znaczy mniej więcej 100 dni. Jeśli przeleci koło nas tak szybko, jak wyszło nam z rachunków, nie zdąży się ogrzać i będzie Zimną Czarną Chmurą. Należy się więc spodziewać, że zasłoni nam na jakiś czas Słońce. I nastanie Wielka Czarna Zima. Oceniana prędkość Czarnej Chmury to jakieś 60 km/s (20 j.a./20 miesięcy), a więc Zima ta potrwa kilka miesięcy. Czyżbyśmy mieli jednak szczęście?

Nie, nie mieliśmy aż takiego szczęścia. Ale koniec świata też nie nastąpił, choć było blisko. Nie będziemy zdradzać zakończenia, może ktoś zechce sam sprawdzić. Powiedzmy tylko, że gdy pod płaszczykiem sensacyjnej fabuły międzynarodowa grupa naukowców kierowana przez profesora z Cambridge, wbrew nieracjonalnym, może i nieludzkim, knowaniom polityków całego świata postanawia zaważczyć o przetrwanie ludzkości, niejako mimochodem, wtrąca Hoyle swe przemyślenia o istocie życia, jego kruchości, przeznaczeniu i takie tam. Próbuje nam coś powiedzieć, może czegoś nas nauczyć. A może to tylko żart?

Żart, nie żart, a zadania z fizyki są jak najbardziej prawdziwe.

A pointa? Proszę bardzo: należy uczyć się fizyki, bo nigdy nie wiadomo kiedy z nieba spadnie na nas coś, czego zupełnie się nie spodziewamy. Taki żart.

Literatura

- Bondi, H. i Gold, T., 1948, *The Steady-State Theory of the Expanding Universe*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, **108**, 252.
- Burbidge, E.M., Burbidge, G.R., Fowler, W.A. i Hoyle, F., (1957), *Synthesis of the Elements in Stars*, Reviews of Modern Physics. **29**, 547.
- Carter, B., 1974, *Large Numbers Coincidences and Anthropic Principle in Cosmology*, in: Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data, Ed. M.S. Longair, International Astronomical Union Symposia, **63**, 291, Springer, Holandia.
- Cook, C.W., Fowler, W.A., Lauritsen, C.C. i Lauritsen, T., 1957, *B¹², C¹², and the Red Giants*, Phys. Rev. **107**, 508.
- Hoyle, F., 1948, *A New Model for the Expanding Universe*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, **108**, 372.
- Hoyle, F., 1954, *On Nuclear Reactions Occuring in Very Hot STARS.I. the Synthesis of Elements from Carbon to Nickel.*, Astrophysical Journal Supplement, **1**, 121.
- Hoyle, F., 1957, *The Black Cloud*, William Heinemann Ltd., Londyn, UK; Hoyle, F., 1981. *Czarna chmura*. Wydawnictwo Literackie, Warszawa, Polska.
- Hoyle, F. i Narlikar, J.V., 1964, *A New Theory of Gravitation*, Proceedings of the Royal Society A., **282**, 191.

- Penzias, A.A. i Wilson, R.W., (1965), *A Measurement Of Excess Antenna Temperature At 4080 Mc/s.* Astrophysical Journal Letters. **142**, 419; Penzias, A.A. i Wilson, R.W., (1965), *A Measurement of the Flux Density of CAS A At 4080 Mc/s.* Astrophysical Journal Letters. **142**, 1149.
- Piotrowski, L.W., 2012, *Constraints on the optical precursor to the naked-eye burst GRB080319B from the "Pi of the Sky" observations,* Astronomy & Astrophysics **540**, L8.

