

# Kwantowy ołówek

Stanisław MRÓWCZYŃSKI

Postawiony pionowo ołówek niemal natychmiast się wywraca, jeśli tylko przestajemy go podtrzymywać. Dzieje się tak dlatego, że nie umiemy go ustawić dokładnie pionowo bądź odrywając rękę nadajemy mu niewielki pęd. Zdaje się jednak, że gdyby pokonać te „techniczne” trudności, ołówek mógłby pozostawać w pionie w nieskończoność. Tak przynajmniej orzeka fizyka klasyczna, o czym jeszcze poniżej. Zakładam oczywiście, że ołówek jest idealnie osiowo symetryczny i odizolowany od wszelkich zaburzeń zewnętrznych.

Mechanika kwantowa, jak pamiętamy, wyklucza, dzięki zasadzie nieoznaczoności, możliwość jednoczesnego określenia położenia i pędu obiektu z dowolną dokładnością. A zatem, jeśli nawet ustawimy ołówek precyzyjnie pionowo, jego pęd będzie się wahał wokół zera, co spowoduje upadek. Zachodzi pytanie, jak długo ołówek może utrzymać się w pionie pomimo kwantowych fluktuacji pędu i położenia.

Jako model ołówka rozważmy kulkę o masie  $m$  umocowaną na sztywnym nieważkim ramieniu o długości  $l$ . Analizę ograniczymy do sytuacji, gdy kąt wychylenia naszego odwróconego wahadła jest niewielki. Wówczas siła działająca na kulkę stycznie do okręgu, po którym się ona porusza, wynosi  $mgx/l$ , gdzie  $x$  jest wychyleniem od pionu,  $g$  zaś przyspieszeniem ziemskim. Stosując drugą zasadę dynamiki Newtona otrzymujemy równanie ruchu

$$(1) \quad \frac{d^2}{dt^2}x(t) - \omega^2 x(t) = 0,$$

w którym  $t$  jest, oczywiście, czasem;  $\omega = \sqrt{g/l}$ . Równanie to różni się jedynie znakiem od równania oscylatora harmonicznego, w którym  $\omega$  pełni rolę częstości. Jeśli warunki początkowe przyjąć w postaci

$$x(0) = x_0, \quad \frac{d}{dt}x(0) = v_0,$$

rozwiązanie równania (1) zapiszemy za pomocą hiperbolicznego sinususa i cosinusa jako

$$x(t) = x_0 \operatorname{ch} \omega t + \frac{v_0}{\omega} \operatorname{sh} \omega t.$$

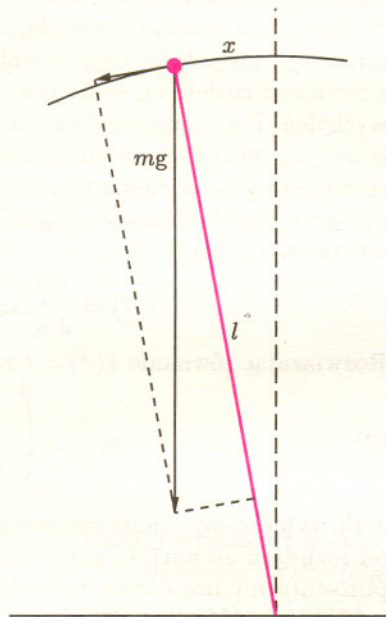
Sinus i cosinus hiperboliczny definiuje się następująco:

$$\operatorname{sh} z = \frac{e^z - e^{-z}}{2}, \quad \operatorname{ch} z = \frac{e^z + e^{-z}}{2}.$$

Z definicji natychmiast wynika, że

$$\frac{d}{dz} \operatorname{sh} z = \operatorname{ch} z, \quad \frac{d}{dz} \operatorname{ch} z = \operatorname{sh} z.$$

Zauważmy również, że dla  $z \gg 1$  mamy  $\operatorname{sh} z \approx \operatorname{ch} z \approx e^z/2$ .

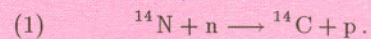


# Radiowęglowy zegar odmierza tysiąclecia

Maria KACZMARCZYK

W tkanki żywego organizmu wbudowany jest niezwykle zegar, który może odmierzać tysiąclecia. Rozpoczyna on swój bieg w chwili, gdy tkanki obumierają. Nie wymaga on nakręcania ani zasilania z baterii. Jest to zegar radiowęglowy. Odkrył go amerykański chemik, W.F. Libby, uhonorowany w 1960 r. Nagrodą Nobla.

W latach 1945–1955 Libby zaproponował i opracował metodę absolutnego datowania znalezisk wykopaliskowych o pochodzeniu organicznym. Głównym składnikiem takich przedmiotów jest węgiel. W próbce węgla naturalnego stabilny izotop  $^{12}\text{C}$  stanowi 98,89% jej masy. Drugi stabilny izotop,  $^{13}\text{C}$ , występuje w ilości 1,11%. W zawierających węgiel związkach organicznych pochodzenia roślinnego znajdują się śladowe ilości promieniotwórczego izotopu węgla  $^{14}\text{C}$ . Jego okres połowicznego zaniku wynosi 5730 lat. Izotop ten jest wytwarzany w wysokich warstwach atmosfery w reakcji typu neutron-proton w atmosferycznym azocie



Neutrony wywołujące tę reakcję są wytwarzane w atmosferze przez promieniowanie kosmiczne. Wytworzone jądra  $^{14}\text{C}$  rozpadają się przez emisję cząstek  $\beta^-$  i antyneutrino przekształcając się w jądra azotu  $^{14}\text{N}$ :



Atomy węgla łatwo łączą się z tlenem atmosfery w dwutlenek węgla, który jest przyswajany przez rośliny w procesie fotosyntezy. Rośliny oraz zwierzęta i ludzie spożywając pokarmy roślinne lub mięso roślinożernych zwierząt przyswajają wszystkie izotopy węgla wraz z promieniotwórczym  $^{14}\text{C}$ . Libby zauważył, że zachodzące w ciągu milionów lat w atmosferze ziemskiej reakcje jądrowe  $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$  i jednoczesny rozpad wytworzonych radioaktywnych jąder węgla  $^{14}\text{C}$  prowadzą do ustalenia się równowagi, w której szybkości zachodzenia obu procesów stają się jednakowe. W wyniku tego przy niezmiennym natężeniu promieniowania kosmicznego

ustala się także względna zawartość  $^{14}\text{C}$  w atmosferze, a co za tym idzie – procentowa zawartość atomów  $^{14}\text{C}$  w węglu z żywych organizmów współczesnych, jak i żyjących tysiące lat temu jest praktycznie taka sama. Jest ona równa około  $10^{-10}\%$ . Oznacza to, że na bilion atomów węgla żywej tkanki średnio występuje jeden atom  $^{14}\text{C}$ . W organizmach, które obumarły, naturalna wymiana węgla ustaje i zawartość atomów  $^{14}\text{C}$  maleje nieodwracalnie w wyniku ich rozpadu promieniotwórczego. Na przykład, po upływie okresu równego czasowi połowicznego zaniku ( $T_{1/2}$ ), równego 5730 lat, liczba ta zmniejsza się o połowę. Po upływie 50 tys. lat staje się ona już około 1000 razy mniejsza. Metoda radiowęglowego datowania pozostałości organicznych opiera się na bardzo prostej statystycznej prawidłowości opisującej, w jaki sposób zmniejsza się z biegiem czasu liczba atomów promieniotwórczych w izolowanej próbce. Jeśli w chwili początkowej liczba atomów izotopu promieniotwórczego wynosi  $N_0$ , a po upływie czasu  $t$  jest ona równa  $N$ , to wymieniona prawidłowość ma następującą postać matematyczną

$$(3) \quad N = N_0 \cdot 2^{-t/T_{1/2}}$$

Biorąc pod uwagę to, że aktywność, to znaczy liczba rozpadów promieniotwórczych w jednostce czasu, badanej próbki  $A$  jest proporcjonalna do liczby atomów pierwiastka promieniotwórczego  $N$ , tj.  $A = \lambda \cdot N$ , gdzie  $\lambda$  jest stałą rozpadu związaną z czasem połowicznego zaniku wzorem  $\lambda = \ln 2/T_{1/2}$ , równanie (3) można zapisać w równoważnej postaci

$$(4) \quad A = A_0 \cdot 2^{-t/T_{1/2}}$$

Pomiar aktywności  $^{14}\text{C}$  próbki archeologicznej pochodzenia organicznego pozwala wyznaczyć wiek próbki, a ściślej mówiąc – liczbę lat, które upłynęły od chwili obumarcia organizmu. Aktywność  $A_0$  jest równa aktywności zmierzonej dla żywego obecnie organizmu, np. drzewa ściętego przed chwilą dla dokonania pomiarów. Na przykład, próbka o zawartości 1 grama węgla zawiera  $5,014 \cdot 10^{22}$  wszystkich atomów węgla, a w tym jest  $N_0 = 5,014 \cdot 10^{10}$  atomów węgla  $^{14}\text{C}$ . Wobec tego, że stała rozpadu dla  $^{14}\text{C}$  wynosi  $\lambda = 3,83 \cdot 10^{-12} \text{ s}^{-1}$ , aktywność jest równa  $A_0 = \lambda N_0 = 11,5$  rozpadów na minutę. Wiek znaleziska można określić przez pomiar aktywności próbek organicznych lub skamielin pobranych w wykopaliskach, a więc ze szczątków organizmów lub tkanek, które od wielu lat przestały pobierać węgiel z otoczenia. Wartość tę oblicza się z równania

$$(5) \quad t = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \cdot \ln \frac{A_0}{A(t)}$$

Dla  $x_0 = v_0 = 0$  mamy  $x(t) = 0$ , a zatem odwrócone wahadło pozostaje w spoczynku. Tyle mechanika klasyczna. Jak już jednak wspomniałem, taki wybór warunków początkowych przeczy kwantowej zasadzie nieoznaczoności. Jeśli położenie określone jest z dokładnością  $\Delta x$ , to pęd jedynie z dokładnością

$$\Delta p \geq \frac{\hbar}{\Delta x},$$

gdzie  $\hbar$  jest stałą Plancka.

Pełna kwantowo-mechaniczna analiza ruchu odwróconego wahadła jest bardzo skomplikowana. Ograniczymy się tutaj jedynie do podania „kwantowych” warunków początkowych rozwiązania klasycznego równania ruchu (1). Wybierzmy te warunki w postaci

$$x(0) = \Delta x, \quad \frac{d}{dt}x(0) = \frac{\hbar}{m\Delta x},$$

tzn. zakładamy najmniejsze odchylenie od wartości zerowych dopuszczane przez zasadę nieoznaczoności.

Rozwiązanie równania (1) wygląda teraz następująco

$$(2) \quad x(t) = \Delta x \cosh \omega t + \frac{\hbar}{m\omega \Delta x} \text{sh} \omega t.$$

Ołówek jest przewrócony, jeśli wychylenie osiąga jego długość.

A zatem czas upadku  $\tau$  znajdujemy z równania  $x(\tau) = l$ . Ponieważ interesuje nas jedynie oszacowanie tego czasu, nadal korzystamy z równania ruchu (1), które jest poprawne tylko dla małych wychyleń. Przyjmujemy dalej, że czas upadku jest na tyle długi, iż  $\omega \tau$  jest dużo większe od jedności. (Prawdziwość tego założenia sprawdzamy po wykonaniu obliczeń i znalezieniu  $\tau$ .) Wówczas sinus i cosinus hiperboliczny z równania (2) możemy przybliżyć funkcją wykładniczą, tzn.

$$x(t) \approx \frac{1}{2} \left( \Delta x + \frac{\hbar}{m\omega \Delta x} \right) e^{\omega t}.$$

Rozwiązując równanie  $x(\tau) = l$  znajdujemy

$$(3) \quad \tau \approx \frac{1}{\omega} \ln \left( \frac{2l}{\Delta x + \frac{\hbar}{m\omega \Delta x}} \right).$$

Jeśli wybierzemy „makroskopową” wielkość  $\Delta x$  (tzn. dużo większą od rozmiaru atomu), to przy „makroskopowych” wartościach pozostałych parametrów wahadła  $l$  i  $m$  możemy zaniedbać w równaniu (3) człon zawierający stałą Plancka i odtwarzamy rezultat klasyczny odpowiadający zerowej prędkości początkowej i wychyleniu początkowemu  $\Delta x$ .

Jak widzimy, czas upadku  $\tau$  w równaniu (3) niemonotonicznie zależy od  $\Delta x$  i przyjmuje największą wartość

$$(4) \quad \tau_{\max} \approx \frac{1}{2\omega} \ln \left( \frac{l^2 m \omega}{\hbar} \right)$$

dla

$$(5) \quad \Delta x = \sqrt{\frac{\hbar}{m\omega}} = \frac{\hbar}{\Delta p}.$$

Maksymalny czas upadku (4) dąży do nieskończoności w granicy klasycznej, tj. kiedy  $\hbar \rightarrow 0$ . Podstawiając do wzorów (4) i (5)  $l = 0,1 \text{ m}$ ,  $m = 0,01 \text{ kg}$ ,  $g = 10 \text{ m/s}^2$  oraz  $\hbar = 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  otrzymujemy  $\tau_{\max} \approx 4 \text{ s}$  oraz  $\Delta x \approx 3 \cdot 10^{-17} \text{ m}$ . A zatem, by osiągnąć maksymalny czas upadku, należałoby ustawić położenie ołówka z dokładnością do wielkości  $10^7$  razy mniejszej niż średnica atomu. Nie muszę wyjaśniać, że jest to zupełnie niemożliwe.

## Całka Gaussa

E.T. Bell w swojej książce *Men of Mathematics* (Simon and Schuster, New York 1937) przytacza następującą anegdotę o lordzie Kelvinie (właściwie: Williamie Thomsonie, 1824–1907). Miał on zapytać uczniów w klasie: „Czy wiecie, kto to jest matematyk?” Podszedł do tablicy i napisał na niej

$$(*) \quad \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-x^2} dx = \sqrt{\pi}.$$

Wskazując palcem na to, co napisał, zwrócił się do uczniów: „Matematyk to ktoś, dla kogo to jest tak oczywiste jak to, że dwa i dwa daje cztery”.

Całka, o której tu mowa, w literaturze zwana jest całką Poissona, całką Laplace’a lub właśnie całką Gaussa. Ma ona istotne zastosowania w teorii prawdopodobieństwa, statystyce matematycznej i teorii funkcji specjalnych. Jej obliczenie wcale nie jest kłopotliwe, o ile znamy całkę podwójną. Oznaczmy

$$G = \int_0^{+\infty} e^{-x^2} dx$$

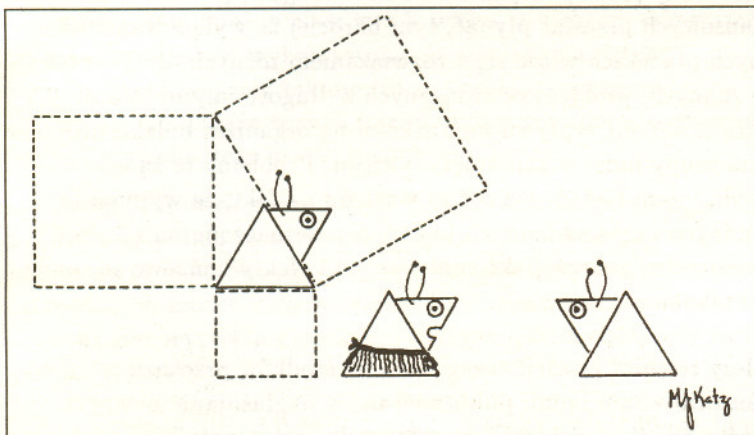
i niech  $y = sx$ . Wtedy  $dy = x ds$  oraz

$$\begin{aligned} G^2 &= \int_0^{+\infty} \left( \int_0^{+\infty} e^{-(x^2+y^2)} dy \right) dx = \\ &= \int_0^{+\infty} \left( \int_0^{+\infty} e^{-x^2(1+s^2)} x ds \right) dx = \int_0^{+\infty} \left( \int_0^{+\infty} x e^{-x^2(1+s^2)} dx \right) ds = \\ &= \int_0^{+\infty} \left[ \frac{1}{-2(1+s^2)} e^{-x^2(1+s^2)} \right]_{x=0}^{x=+\infty} ds = \\ &= \frac{1}{2} \int_0^{+\infty} \frac{1}{1+s^2} ds = \frac{1}{2} [\operatorname{arctg} s]_{s=0}^{s=+\infty} = \frac{\pi}{4}, \end{aligned}$$

skąd  $G = \frac{1}{2}\sqrt{\pi}$ . Z parzystości funkcji podcałkowej wynika wzór (\*).

Jarosław GÓRNICKI

\*\*\*\*\*



Wybieramy się na bal maskowy, Gerald idzie jako twierdzenie Pitagorasa.

(*Science*, vol. 246, 1989)

wynikającego z przekształcenia wzoru opisującego prawo rozpadu promieniotwórczego.

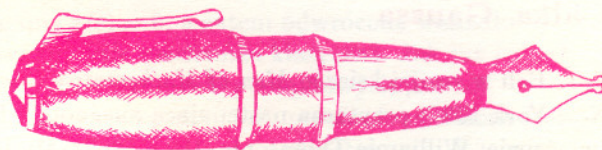
Można powiedzieć, że wszelkie szczątki organiczne i skamieliny żyjątek, jak np. korale i mięczaki, zawierają w sobie specyficzny zegar radiowęglowy, który rozpoczyna swój bieg w chwili zakończenia życia organizmu. Praktycznie zegar ten chodzi wiecznie. Jego „wskazówkami” są pozostałe atomy radioaktywnego węgla  $^{14}\text{C}$  wchodzące w skład organizmu lub obecne w wytworzonym wapieniu, w którym węgiel  $^{14}\text{C}$  związany jest z wapniem w węglan wapnia  $\text{CaCO}_3$ . Omawiana metoda była sprawdzana przez analizę czasowej zależności względnej zawartości atomów  $^{14}\text{C}$  w próbkach sporządzonych z fragmentów grobów faraonów, których datę śmierci ustalono według zapisków odczytanych na papyrusach. Ta metoda, tak jak każda inna metoda naukowa, ma szereg ograniczeń zakresu swojego zastosowania. Tylko przy spełnieniu wynikających z nich wymagań i pokonaniu trudności natury eksperymentalnej może dawać poprawne wyniki. Wymaga ona bezpowrotnego zniszczenia szczątków organicznych poprzez ich spalenie. Nie zawsze to wymaganie może być łatwo spełnione ze względu np. na możliwe znaczenie historyczne znaleziska. Z otrzymanych po spaleniu pozostałości sporządza się próbki i w postaci np. cienkiej warstwy grafitu wprowadza się je do gazowego detektora lub umieszcza przed okienkiem licznika. Ze względu na to, że w rozpadzie  $^{14}\text{C}$  emitowane są cząstki  $\beta^-$  o niewielkiej energii (maksymalna energia  $Q_\beta = 0,156 \text{ MeV}$ ), zarówno badana próbka, jak i okienko licznika cząstek  $\beta$  muszą być bardzo cienkie. Jeśli natomiast badana jest próbka węgla w postaci gazu, to trudność wynika z konieczności stosowania detektora o bardzo dużej objętości. Objętość  $\text{CO}_2$  zawierająca zaledwie 1 gram węgla (przy ciśnieniu atmosferycznym) to około 2 litry.

Metoda Libby’ego zakłada, że strumień promieniowania kosmicznego (warunkujący wytwarzanie neutronów w atmosferze) ma stałe natężenie. Tylko wtedy, o ile to założenie jest prawdziwe, proces aktywacji neutronowej atomów azotu, zachodzący ciągle w atmosferze, może prowadzić po czasie  $6 \cdot T_{1/2}$  do obecności w niej praktycznie stałej względnej zawartości węgla  $^{14}\text{C}$ . Biorąc pod uwagę to, że wiek Ziemi jest znacznie dłuższy niż okres  $6 \cdot T_{1/2} = 34\,380$  lat, można uznać istnienie swoistego stanu nasycenia dla ilości promieniotwórczych atomów  $^{14}\text{C}$  w atmosferze. Stan taki opisuje się stałą wartością aktywności  $A_0$ , którą można nazwać aktywnością nasycenia

i która jednocześnie określa wartość początkową aktywności archeologicznych próbek węgla. Tak więc podstawową hipotezą Libby'ego jest stwierdzenie, że względna zawartość atomów  $^{14}\text{C}$  w próbce węgla z atmosfery była stała w przeciągu ostatnich dziesiątków tysięcy lat. Tymczasem, tak naprawdę nie wiadomo, czy w tym okresie utrzymywała się niezmienna intensywność promieniowania kosmicznego. Nauka nie jest w stanie potwierdzić tej stałości. Nawet stwierdza, że w przeszłości formowanie się  $^{14}\text{C}$  było zmniejszone, a obecnie uznaje, że natężenie strumienia promieniowania kosmicznego ulega zmianom, chociaż niewielkim – w granicach 1% – w związku ze zmianami aktywności Słońca.

Innym z czynników, który powoduje, że aktywność początkowa  $A_0$  w rzeczywistości zależy zarówno od czasu, jak i od miejsca na Ziemi, jest to, że koncentracja  $^{14}\text{C}$  w dwutlenku węgla może zmieniać się w rejonach przemysłowych podczas spalania takich paliw, jak nafta czy węgiel kopalny. Spalanie węgla kopalnego, wydobywanego z pokładów leżących głęboko pod ziemią, a więc nie mających kontaktu z radioaktywnym węglem z powietrza, powoduje zmniejszanie koncentracji  $^{14}\text{C}$  w atmosferze. Również nie bez znaczenia dla powstawania nadmiaru radioaktywnego węgla są próbne wybuchy bomb termojądrowych. Wszystkie te czynniki powinny być uwzględnione w wyliczeniach wieku próbek archeologicznych, a to jest możliwe, jeśli znana jest zależność koncentracji  $^{14}\text{C}$ , odpowiadających aktywności  $A_0$ , od czasu i miejsca na Ziemi. Zależność tę badano pobierając próbki z różnych słoików wieloletnich drzew, które narastały rok po roku. Jeśli w którymś roku w danym miejscu na Ziemi dwutlenek węgla w powietrzu zawierał anomalnie dużo lub mało atomów  $^{14}\text{C}$ , to odpowiadający temu okresowi słoju w drzewie, poddany badaniu ze względu na jego radioaktywność, będzie wykazywał względnie większą lub mniejszą aktywność niż warstwy sąsiednie. Można obliczyć, że przy niedokładności określenia  $N_0$ , wynoszącej 3%, błąd określenia wieku próbki dochodzi do  $\pm 250$  lat.

Znaleziska archeologiczne (czy też geologiczne) zazwyczaj wydobywane są z głębokich warstw ziemi i na tej podstawie można uznać, że nie wnikają w nie atomy  $^{14}\text{C}$  aktualnie wytworzone w atmosferze. Jeśli również to założenie można uznać za prawdziwe, to metoda datowania węglem  $^{14}\text{C}$  pozwala otrzymać



Kontynuując dyskusję z 250 numeru *Delty* (3/1995) przedstawiamy wypowiedź

**Andrzeja SZYTULEY** (Kraków, Instytut Fizyki UJ),  
który wybrał 3 spośród 7 pytań redakcyjnej ankiety.

**O lotach kosmicznych marzyli przed laty wszyscy. Dlaczego, gdy pierwsi ludzie wylądowali na Księżycu, sprawy podróży pozaziemskich przestały – praktycznie wszystkich – obchodzić?**

Na przykładzie tego problemu można prześledzić pewien oczywisty fakt, że nauka nie jest prowadzona w próżni, ale odbywa się w realiach i to realiach XX wieku, kiedy Nauki przez duże „N” nie można prowadzić bez dużych środków finansowych. Problem ten jest przez środowiska naukowe traktowany jako wstydlivy, o którym nie mówi się głośno w rozmowach, w szczególności z osobami spoza środowiska. Problem, kto pierwszy wylądował na Księżycu, stał się w latach sześćdziesiątych polem, na którym rozgrywała się rywalizacja między dwoma supermocarstwami, z których każde chciało pokazać swoją wyższość. W sytuacji, gdy z punktu widzenia wojskowego każde z nich mogło zniszczyć drugie ponosząc jednocześnie samo dotkliwe straty, łącznie z perspektywą całkowitego zniszczenia, powrócono do dobrych przykładów z przeszłości, gdzie pojedynczy herosi ścierali się w boju na oczach armii. Badania kosmiczne stały się punktem dogodnym do realizacji takiego planu. Aby wykazać wyższość nad stroną przeciwną, nie oszczędzono środków finansowych na rozwój badań. Już dawno nie było takiego zaangażowania środków finansowych przez władze państwowe (podobne zaangażowanie wystąpiło tylko w trakcie wyścigu przy budowie potencjału jądrowego). Efektem tego było, że już w roku 1969 pierwszy człowiek wylądował na Księżycu. Postawiony przez polityków cel został osiągnięty i strumień środków finansowych przestał płynąć, tym bardziej że wylądowanie na innych planetach wiąże się z rozwiązaniem różnych, dotychczas nie znanych, problemów związanych z długotrwałymi lotami w kosmosie, np. wpływu nieważkości na organizm ludzki, problem życia grupy ludzi w zamkniętym kręgu. Problemy te są obecnie przedmiotem badań, jednak ze względu na fakt, że wymagają żmudnych i czasochłonnych badań, a przeznaczone na nie środki finansowe są znacznie skromniejsze, to i efekty końcowe są mniej spektakularne.

Należy również zwrócić uwagę na rolę środków przekazu w kształtowaniu opinii publicznej przez nagłaśnianie pewnych faktów. Środki przekazu odegrały wielką rolę nagłaśniając problemy związane z „podbojem Kosmosu” w latach sześćdziesiątych. W latach następnych problematyka ta znika ze środków przekazu lub jest przesuwana na dalsze miejsce w informacjach.

## Dlaczego w dobrym tonie jest chwalić się szkolnymi niepowodzeniami w nauce matematyki czy fizyki, a nie wypada przyznawać się do niewydolności w humanistyce?

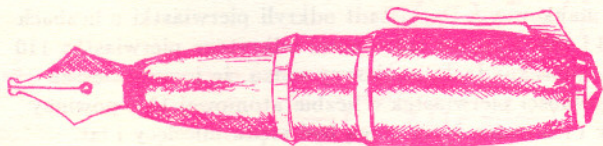
Powyższy problem dotyka jednego z ważnych zagadnień dla Polaków, postawy romantycznej i pozytywistycznej. Na postawione pytania dostajemy jednoznaczną odpowiedź w momencie, kiedy przyjmujemy, że 90% naszego społeczeństwa zalicza się do pierwszej grupy, a tylko 10% do drugiej. Wymogi stawiane przy nauczaniu przedmiotów przyrodniczych i humanistycznych są różne. W przypadku pierwszym wymagana jest systematyczna ciągła praca od podstaw, bo tylko w takim przypadku możemy liczyć na końcowy sukces. W drugim przypadku wystarczy tylko chwilowy zryw, a już uzyskamy sukces. W świadomości większości Polaków brak zakodowanej chęci do prowadzenia systematycznych prac. Jest to związane z faktem, że teren naszego kraju, z wyjątkiem krótkich okresów, od czasu „potopu szwedzkiego”, tzn. od przeszło 300 lat, jest terenem niespokojnym (wojny, przemarsze wojsk). Stworzyło to w mentalności Polaków brak poczucia pewności, wymóg życia chwilą. Długotrwałość tego okresu spowodowała trwałe zmiany w psychice Polaków.

## Czemu zawdzięcza w chwili obecnej paranauka swoją przewagę nad nauką?

Odpowiedź na to pytanie może być prosta, ale nie zawsze wszystkich usatysfakcjonuje.

Żyjemy w czasie wielkich zmian, które nie wszystkie prowadzą do pozytywnych skutków w odczuciu przeciętnego człowieka. To wywołuje w nim niepokój i chęć szukania przyczyn negatywnych skutków. Jak w takich poszukiwaniach jest obserwowana nauka? Z jednej strony „prawdziwy” naukowiec nie może dać jednoznacznej i ostatecznej odpowiedzi, ponieważ dochodzenie do prawdy naukowej to droga małych lub dużych kroków. Najlepiej to widać np. w fizyce przy badaniu składników materii. Drugim czynnikiem wpływającym na negatywną ocenę nauki w oczach współczesnego człowieka jest fakt, że przy okazji wielkich odkryć również w fizyce obiecywano, że przyniosą one wielkie korzyści zmieniające oblicze naszej Ziemi. Praktycznie jednak efekty były znacznie mniejsze, co spowodowało, że obecnie nie bierze się pod uwagę faktu ogromnego postępu technicznego, jaki miał miejsce w XX wieku, a niektóre osiągnięcia stara się zdewaluować wykorzystując niewiedzę przeciętnego człowieka. Wiąże się to z faktem, że za szybkim rozwojem technicznym nie nadąża rozwój intelektualny przeciętnego człowieka, głównie z powodu złego systemu edukacyjnego.

Współczesny człowiek znalazł się w próżni, która musi zostać zapełniona. Zapełnia ją paranauka dająca odpowiedź i sposób rozwiązania problemów, co nie zawsze na określonym etapie rozwoju poszczególnych nauk mogą dać te ostatnie. Przewaga paranauki nad nauką jest wyrazem głębokiego kryzysu, jakim dotknięty jest współczesny świat.



poprawną wartość wieku badanej próbki. Jednak istnieje też możliwość, że próbki badane mogą być wzbogacone węglem  $^{14}\text{C}$  z atmosfery przez niekontrolowany z nią kontakt. Nieświadomość tego faktu i nieuwzględnienie go w obliczeniach prowadzi do istotnych zniekształceń wyniku obliczeń, do „odmłodzenia” znaleziska o wiele lat. Przykładowo, jeśli śmierć organizmu miała miejsce 5000 lat temu, ale szczątki nie były dostatecznie zabezpieczone przed kontaktem z atmosferą, co spowodowało, że zawartość węgla „młodego” ( $^{14}\text{C}$ ) zwiększyła ogólną ilość zawartego w nich węgla o np. 0,1% wartości  $N_0$ , to, jak łatwo obliczyć, otrzymany ze wzoru (5) wiek próbki jest o 15 lat krótszy od rzeczywistego. Daje to błąd określenia wieku rzędu 0,3%.

Podobnie, wyliczenie wieku próbki, której rzeczywisty wiek jest np. równy 50 tys. lat, i która przez kontakt z atmosferą zwiększyła zawartość  $^{14}\text{C}$  też o 0,1%, prowadzi do wyniku, który „odmładza” próbkę o około 2900 lat. Próbka sprzed miliona lat wzbogacona węglem  $^{14}\text{C}$  w tej samej ilości zostanie odmłodzona do 57 000 lat, a więc wiek jej zostanie skrócony 17,5 razy.

Może zaistnieć też sytuacja odwrotna. Na przykład, w rejonach, gdzie występuje rozrzedzenie  $^{14}\text{C}$  w atmosferze, próbka absorbując węgiel ubogi w radioaktywny  $^{14}\text{C}$  może okazać się starsza niż jest w rzeczywistości. Niektóre czasopisma naukowe podają przykłady takich „pomyłek”, czasem też dla rozweselenia czytelników. Na przykład, liście platanu zerwane w Rzymie rok przed testem  $^{14}\text{C}$  wskazały wiek 400 lat.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że im starsze jest znalezisko, tym bardziej niebezpieczne jest skażenie go węglem młodym. Wtedy również omawiana metoda prowadzi do błędnych wyników.

Aby pokonać tę trudność, opracowano metody oczyszczania próbek z zawartości „młodego węgla”. Jednak metody te pozostawiają w starszych próbkach „węgiel młody” w takiej ilości, że obliczenie (na podstawie metody datowania węglem  $^{14}\text{C}$ ) wieku próbki daje wyniki 70 000 lat. Radiowęglowy zegar pozwala odmierzać czas wstecz, nie dalej jednak niż do 70 tysięcy lat. „Izotopowa” historia zapisana w materiale archeologicznym przez wieki, uwarunkowana działaniem na niego różnych czynników, np. wody, dymu ze spalin, promieniowania, nie pozostaje bez wpływu na wynik datowania metodą  $^{14}\text{C}$  i jego wiarygodność.

Nie zmienia ona jednak wartości  $T_{1/2}$ . Istotne dla metody datowania węglem  $^{14}\text{C}$  jest to, że charakterystyka pierwiastka promieniotwórczego, jaką jest okres  $T_{1/2}$ , jest wielkością stałą. Nie zależy ona od związku chemicznego, w którym dany pierwiastek promieniotwórczy występuje, ani też od warunków określonych przez temperaturę i ciśnienie. Wielkość ta jest cechą nuklidu promieniotwórczego zależną od struktury jądra atomowego. Wartość liczbową tej wielkości fizycznej ustala się na podstawie pomiarów statystycznych liczby zliczeń impulsów licznika od promieniowania próbki zawierającej pierwiastek promieniotwórczy. Opracowanie statystyczne takich pomiarów pozwala też określić dokładność wyznaczenia  $T_{1/2}$ , która to wartość dla węgla  $^{14}\text{C}$  została ustalona na 40 lat.

Z obliczeń można ocenić, jaka minimalna liczba rejestracji ( $n$ ) promieniowania jądrowego z badanej próbki jest potrzebna, aby wyznaczyć wiek z założoną dokładnością. Na przykład, jeśli założycy, że wystarczające jest wyznaczenie wieku  $t$  próbki z dokładnością 2% od wartości  $T_{1/2}$  dla  $^{14}\text{C}$ , co odpowiada  $\Delta t = 114$  lat, to  $n_{\min} = 5260$ . Jak wiadomo, próbce o zawartości 1 grama węgla odpowiada  $A_0 = 12$  rozpadów  $\beta^-$  na minutę. Dla próbki, której przypuszczalny wiek wyniósłby  $10 \cdot T_{1/2}$ , zmierzenie  $A(t)$ , z założoną dokładnością  $\Delta t = 114$  lat, wymagałoby przeprowadzenia pomiaru w ciągu około 310 dni.

Obliczenie to wskazuje, jak uciążliwe są tego rodzaju pomiary. Skrócenie czasu pomiaru można uzyskać przez zwiększenie masy badanej próbki, co jednak stwarza nowe trudności techniczne w wykonywaniu pomiarów, takie jak konieczność zwiększenia objętości licznika gazowego.

Obecnie uważa się, że górna granica wieku próbek organicznych, jaką można wyznaczyć metodą datowania za pomocą węgla  $^{14}\text{C}$ , jest rzędu  $10 \cdot T_{1/2}$ .

Ciekawe, że zastosowanie metody Libby'ego do wyznaczenia wieku całunu z Turyru pozwoliło określić jego pochodzenie na przełom XIII i XIV wieku. W przypadku tkaniny całunowej problem jest niezwykle złożony, ponieważ, jak stwierdzono, przez wieki oddziaływały na nią liczne znane i mniej znane czynniki, wnosząc w strukturę płótne węgiel „młody”. To kontrowersyjne zagadnienie nie zostało dotychczas ostatecznie rozstrzygnięte.

Metoda datowania znalezisk oparta o węgiel  $^{14}\text{C}$  pozwala cofnąć się w czasie o 60 do 70 000 lat i stosowana jest do oceny wieku substancji pochodzenia organicznego. W geologii interesuje nas znacznie szersza skala czasu, rzędu miliardów lat. Stosowane są do tego izotopy o znacznie dłuższym okresie połowicznego zaniku, w zależności od rodzaju (przede wszystkim składu chemicznego) badanej skały czy minerału.

Naturalne jądro promieniotwórcze	Trwale jądro końcowe	Okres połowicznego zaniku (w miliardach lat)
$^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}$	4,49
$^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}$	0,71
$^{232}\text{Th}$	$^{208}\text{Pb}$	14,1
$^{87}\text{Rb}$	$^{87}\text{Sr}$	50,0
$^{40}\text{K}$	$^{40}\text{Ar}$	1,3

Jako przykład izotopowej metody datowania znalezisk geologicznych wybierzmy minerał zawierający ołów. Naturalny ołów jest mieszaniną izotopów o liczbach masowych 204, 206, 207, 208. Z tych czterech izotopów trzy ostatnie produkowane są w rozpadach promieniotwórczych uranu i toru. Jeśli w badanej próbce nie występuje izotop  $^{204}\text{Pb}$ , natomiast występują uran lub tor, stanowi to dowód, że istniejący ołów jest produktem rozpadów promieniotwórczych tych nuklidów. Na podstawie proporcji, w jakiej występują różne izotopy, możemy określić wiek próbki. Analiza zawartości ołowiu i uranu w wodzie morskiej pozwoliła oszacować wiek naszej planety.

K.R.

Kwaśne deszcze zostały odkryte w 1852 roku przez Anglika Agnusa Smitha, który napisał później na ten temat książkę „Air and Rain” (Longmans, London, 1872), ale jego odkrycie i jego praca uległy zapomnieniu. Ponownego odkrycia kwaśnych deszczy dokonano w latach 50. naszego wieku.

NASA planuje wystrzelenie w okresie 1998–2012 serii satelitów mających za zadanie monitorowanie zmian klimatycznych i czynników mogących wpływać na klimat, takich jak pokrywa chmur, deszcze, śniegi, cyrkulacje wód w oceanach, emisje gazów mogących powodować efekt cieplarniany itp. Szacuje się, że satelity będą przekazywały na Ziemię miliardy bajtów informacji dziennie (około  $10^6$  bajtów na sekundę).

Światowe zapasy plutonu wyniosą pod koniec tego wieku 1700 ton. Reaktory atomowe produkują pluton jako produkt uboczny procesu rozszczepienia paliwa jądrowego. Rocznie wszystkie reaktory atomowe produkują około 60 ton tego pierwiastka. Do produkcji bomby jądrowej potrzeba około 5 kg plutonu o dostatecznej czystości. Oddzielenie plutonu z wyeksploatowanego paliwa jądrowego jest niebezpiecznym i skomplikowanym procesem. Ale z około 10 kg plutonu reaktorowego też można wyprodukować bombę o mocy takiej, jaką miała bomba zrzucona na Nagasaki. W USA przeprowadzono próbny wybuch tak wyprodukowanej bomby.

W ośrodku GSI w Darmstadt (RFN) uzyskano pierwiastek o rekordowej liczbie atomowej 110, którego masa atomowa wynosi 269. Odkryto go w trakcie bombardowania tarczy ołowianej wiązką jąder niklu. Na początku lat 80. naukowcy z Darmstadt odkryli pierwiastki o liczbach atomowych 107, 108 i 109. Chociaż jądro nowo odkrytego pierwiastka 110 rozpada się po kilku milisekundach, naukowcy sądzą, że jeszcze cięższe pierwiastki, w szczególności pierwiastek o liczbie atomowej 114, powinny być bardziej stabilne i ich czasy życia mogą być rzędu miesięcy i lat.