Gdyby wszystkie zegary...

Mgr Ludwik ZAJDLER

W takim prostym zliczaniu też można się pomylić. Obowiązujący w Etiopii kalendarz ma wspólny początek z naszym (rok narodzenia Chrystusa). Jednakże w Etiopii jest dopiero rok 1972 — te 7 lat „zgubiło się" gdzieś w mrokach średniowiecza. Chyba że w Europie je dodano.

Każdy pomiar polega na porównaniu dwóch wielkości: tej mierzonej, z drugą — którą przyjmujemy za wzorzec. W przypadku pomiaru czasu mamy do czynienia zawsze z metodą pośrednią. Mierzony odstęp czasu porównujemy z czasem trwania jakiegoś zjawiska fizycznego, co do którego mamy pewność, że przebiega ono za każdym powtórzeniem w ten sam sposób. Spośród różnych zjawisk, które nadawałyby się do mierzenia czasu, na czoło wysuwają się zjawiska przebiegające periodycznie, jako że odstępy czasu łatwo zmierzyć przez zliczanie okresów.

Poczucie biegu czasu wynika przede wszystkim z następstwa dnia po nocy i z kolejności pór roku. Stąd związek między rachubą czasu a astronomią, analizą ruchów ciał niebieskich, szczególnie ruchów Słońca i Księżyca. Stąd wybór jednostki czasu jako pochodnej doby słonecznej i roku zwrotnikowego.

Astronomowie są odpowiedzialni za utrzymywanie rachuby czasu od tysiącleci. I w starożytności, kiedy wystarczała tylko orientacja w porze dnia lub roku dla celów rolnictwa, i w czasach nowszych — dla ustanawiania rozkładów jazdy środków komunikacji, i dziś — kiedy przebiegi różnych procesów badamy z dokładnością wprost niewiarygodnych ułamków sekundy. Co prawda, można by powiedzieć, że w procesach tych nie uciekamy się już od dawna do obserwacji astronomicznych, posługujemy się dziś wyłącznie zegarami. Od czasów Galileusza i Huyghensa — wahadłowymi, a od pięćdziesięciu lat — kwarcowymi lub tzw. atomowymi, lepiej nawet realizującymi zasadę ruchu periodycznego niż ruch wirowy naszej planety czy ruch po orbicie dokołasłonecznej. Nie zapominajmy jednak o tym, że za jednostkę czasu uznajemy wciąż sekundę, której wartość wynika z obserwowanego przez astronomów okresu ruchu Ziemi. Wszelkie zegary, nawet te najdokładniejsze, muszą być systematycznie uzgadniane z Zegarem Przyrody.

Zastąpienie tego zegara przez przyrządy skonstruowane ręką człowieka stało się koniecznością już w starożytności, przede wszystkim dlatego, by móc w sposób obiektywny tworzyć krótkie odstępy czasu, a w czasach rozwoju techniki — by lepiej realizować ruchy periodyczne i to o coraz krótszych okresach. I tak, „serce" dzisiejszego cezowego zegara atomowego drga 9 192 631 770 razy na sekundę. Trwające od lat badania wykazały, że rytm ten odznacza się tak wielką stabilnością, że w obowiązującym od roku 1967 międzynarodowym układzie jednostek SI posłużył dla zdefiniowania jednostki czasu (zwanej sekundą układu SI). Służy on dotąd jako praktyczny wzorzec jednostki czasu we wszelkich pracach naukowych (z wyjątkiem niektórych astronomicznych) i technicznych.

Wzorcowa wartość sekundy może być łatwo odtworzona w każdej chwili i w każdym laboratorium dysponującym cezowym zegarem atomowym. Przed 30 laty były to modele niepowtarzalne, dziś produkowane są seryjnie. Laboratorium pomiarów czasu w Polskim Komitecie Normalizacji i Miar w Warszawie posiada dziś trzy cezowe zegary atomowe. Posiadanie jednak nawet najdokładniejszych zegarów nie może zapewnić ciągłości rachuby czasu.

W rachubie czasu występuje bowiem szczególna trudność, w której nie da się pominąć obserwacji astronomicznych. Chodzi tu o odniesienie biegu czasu do pewnej chwili początkowej, jak gdyby punktu zerowego skali czasu. Z wyborem tego punktu są od dawna kłopoty, o czym niżej.

I tu postawić sobie możemy pytanie wymienione w tytule niniejszego artykułu: „Co by się stało, gdyby wszystkie zegary zatrzymały się?"

Podobny wypadek zdarzył się — co prawda na ograniczonym obszarze — przed 50 laty. Zegarów atomowych ani kwarcowych jeszcze nie było.

Były natomiast precyzyjne zegary wahadłowe, niewiele ustępujące pod względem dokładności współczesnym. W czasie wielkiego trzęsienia ziemi w 1927 roku w Chinach zatrzymały się wszystkie zegary w obserwatorium astronomicznym Zi-ka-wei koło Szanghaju. Wypadek ten uwiecznił pięknie grafik na czołowej stronie rocznika wydawanego przez obserwatorium z podpisem „Astronomowie z Zi-ka-wei poszukują sekundy". Rysunek przedstawiał wnętrze laboratorium z otwartymi szafami, szufladami biurek, dokoła których krzątali się pracownicy w habitach (obserwatorium prowadzili księża-jezuici), jeden z nich zaglądał pod łóżko.

Dziś uruchomienie zegarów w zgodności ze wskazaniami czasu uniwersalnego nie napotkałoby większych trudności. Zegary kwarcowe i atomowe nie przerywają ciągłości wskazań, chyba że znalazłyby się w pobliżu epicentrum trzęsienia, ale wtedy mogłyby ulec raczej całkowitemu zniszczeniu. Ustawienie zegarów na czas właściwy nie stanowi problemu, gdyż można posłużyć się radiowymi sygnałami czasu. Szereg specjalnych radiostacji nadaje przez całą dobę bez przerwy bądź w określonych porach sygnały w postaci krótkich impulsów w odstępach sekundowych, z markowaną sygnałem dłuższym pełną minutą. Pewien kłopot stanowiłoby ustalenie numeru minuty. Ale i temu można łatwo zaradzić, w każdym razie poszukiwano by nie sekundy lecz minuty. Natomiast sekundę sygnały podają z dokładnością do 0,0001 sekundy. Jak widać, dziś zagubić rachubę czasu jest raczej trudno.

Inaczej by było, gdyby katastrofa spotkała całą Ziemię i gdyby sygnały czasu w ogóle ustały. W takim razie należałoby całą służbę czasu stworzyć od nowa, z nawiązaniem do poprzedniej skali czasu. I tu wyłania się od razu sprawa wspomnianego już punktu zerowego. Od czasów najdawniejszych do ok. XVII w. za początek rachuby czasu przyjmowano chwilę południa, północy albo wschodu lub zachodu Słońca. Cały cykl dobowy dzielono na 24 albo 12

Gdyby więc system egipski utrzymał się do dziś, w lecie pracowalibyśmy dłużej niż w zimie, lekcje szkolne w czerwcu trwałyby dwukrotnie dłużej niż grudniowe, a co działoby się na kolei — strach pomyśleć.

(podwójnych) godzin. Rozpowszechniły się dwa systemy godzin: babiloński, powstały przez podział całej doby na 24 równe części i egipski, w którym oddzielnie dzień i noc liczyły po 12 godzin — a zatem długość ich ulegała zmianie zależnie od pory roku. Reliktem godzin babilońskich jest system utrzymany do dziś. Wraz z udoskonaleniem zegarów wyszło na jaw, że długość tak pojętej doby ulega zmianom (co prawda niewielkim) w ciągu roku. Wprowadzono więc pojęcie czasu średniego, w ten sposób wszystkie doby w roku uznano za równe, równymi też stały się godziny (średnie). Czas odmierzany był zatem nie nierównomiernym biegiem Słońca po sklepieniu niebieskim w ciągu roku, lecz biegiem fikcyjnego punktu nazwanego słońcem średnim, który dokonuje pełnego obrotu wzdłuż równika niebieskiego w tym samym czasie co Słońce prawdziwe po ekliptyce. Teraz wygodnie było uważać południe (lub północ), czyli chwile przejścia tego punktu przez południk, za początek doby. Poszczególne doby numerowano systemem kalendarzowym i sprawa ciągłości rachuby czasu wydawałaby się uregulowana.

Tylko zegary słoneczne wskazywały czas prawdziwy, ich wskazówki rzucały najkrótszy cień w chwili górowania Słońca prawdziwego. Wymyślono zresztą i zegary słoneczne, które automatycznie lub za pomocą prostego rachunku uwzględniały różnicę między czasem średnim i prawdziwym (zwaną równaniem czasu).

Obok rachuby czasu według czasu średniego słonecznego często (w astronomii, geodezji i nawigacji) posługujemy się czasem gwiazdowym. Tu za okres podstawowy, dobowy, przyjmuje się rzeczywisty czas obrotu Ziemi wokół osi, liczony nie względem położenia Słońca, lecz w odniesieniu do kierunku niezmiennego w przestrzeni, określonego położeniem wśród gwiazd punktu równonocy wiosennej, tj. punktu, w którym przecina się równik niebieski z ekliptyką. Doba gwiazdowa jest krótsza od średniej słonecznej o prawie 4 minuty: w ciągu roku zwrotnikowego 365-dniowego Ziemia obraca się 366 razy. Zegar wyregulowany na czas gwiazdowy będzie się spieszył o 24 godziny w ciągu roku, ale to nie utrudnia w niczym rachuby. Odpowiednie różnice uwzględnić łatwo w rachunku. Użycie zegara gwiazdowego jest natomiast bardzo wygodne w obserwacjach astronomicznych, bowiem każda gwiazda przekracza południk miejsca obserwacji dokładnie co 24 godziny (gwiazdowe). Na tej zasadzie reguluje się właśnie wszystkie zegary: przejście każdej gwiazdy przez zaznaczoną w lunecie oś optyczną (w ten sposób w obserwatoriach wyznaczany bywa południk miejscowy) przewidziane jest w katalogach gwiazd — w tzw. efemerydach — z dokładnością do 0,0001 sekundy. W praktyce codziennej sprawa nie jest może tak prosta, mamy bowiem do czynienia z licznymi błędami instrumentalnymi i obserwacji, które ograniczają zwykle do 0,01 sekundy dokładność wyznaczania dokładnego czasu, ale jakość obserwacji kompensujemy ilością. Na pojedynczą obserwację składa się seria kilkunastu gwiazd. Oprócz służby czasu w licznych obserwatoriach, w problemie zapewnienia dokładnego czasu wzięła udział międzynarodowa organizacja (Międzynarodowe Biuro Czasu — Bureau International de l'Heure) z siedzibą w Paryżu. Wszystkie wyniki obserwacji astronomicznych są tam przesyłane, a zegary porównywane są drogą odbioru radiosygnałów czasu.

Ekliptyka jest torem, po którym porusza się Słońce w jego pozornej rocznej wędrówce po sferze niebieskiej.
Pojęcie roku zwrotnikowego jest wyjaśnione w dalszej części artykułu.

Gaussa też można nazwać „jednym z najwybitniejszych matematyków," jak i „jednym z najwybitniejszych fizyków" i nie stoi to w sprzeczności z określeniem go jako „jednego z najwybitniejszych astronomów".

Przed 150 laty, kiedy nie było podstaw do snucia domysłów na temat nierównomierności ruchu wirowego Ziemi, na propozycję jednego z najwybitniejszych astronomów — Karola Gaussa — przyjęto sekundę (określoną jako 1/86400 część średniej doby słonecznej) do ustanowionego w roku 1832 układu jednostek CGS (centymetr-gram-sekunda). Dokładnie w sto lat później, w roku 1932, dwaj astronomowie poczdamscy — A. Scheibe i U. Adelsberger — wykazali przy użyciu zegarów kwarcowych, że Ziemia wiruje nierównomiernie! Spostrzeżenie potwierdzono w następnych latach i ustalono nawet przebieg tych zmian, a także — przynajmniej częściowo — ich przyczynę: zmiany momentu bezwładności naszej planety, wywołane m.in. okresowym spływaniem lodowców z okolic podbiegunowych oraz mas powietrza, także tarciem wód o dna oceanów, opadaniem liści jesienią (!) itp. Zmiany te bądź o charakterze sezonowym, bądź systematyczne a także nieregularne nie mają jednak żadnego wpływu na okres obiegu Ziemi po orbicie dokołasłonecznej. Nazwano je fluktuacjami i mogą być uwzględniane w obliczeniach efemeryd czyli pozycji ciał niebieskich na niebie. Toteż wkrótce (lata 1947—1954) opracowano nową definicję sekundy (tzw. sekunda efemerydalna), przyjmując na jej wartość ułamek 1: 31556925,9747 roku zwrotnikowego 1900. Uściślenie, że chodzi tu o rok, którego środek przypada o północy, od której zaczął się 1900 r., było konieczne, ponieważ długość roku zwrotnikowego ulega systematycznemu skracaniu (ściślej mówiąc — układ współrzędnych astronomicznych ulega zmianie) o 0,00530320 sekundy w ciągu roku. Tak zdefiniowana jednostka czasu jest wartością stałą — jako zlokalizowana w określonej epoce 1900,0 — spełnia warunki, by być przyjęta za wzorzec. Z wyjątkiem jednego warunku: nie jest łatwo odtwarzalna. Dla odtworzenia odstępów czasu sekundowych (względnie ich wielokrotności) służą zegary. Jednak nawet te najlepiej realizujące zasadę periodyczności elementu regulującego ich chód są tylko wzorcami wtórnymi. Wymagają porównywania systematycznego z prawzorcem, według którego obserwowane są zjawiska astronomiczne.

Rozwój fizyki i techniki doprowadził do tego, że udało się skonstruować praktyczne wzorce częstotliwości — kwarcowe bądź atomowe — realizujące inne zjawiska periodyczne, ze świata mikrokosmosu, z powodzeniem konkurujące ze zjawiskami makrokosmosu. Ich przewaga polega głównie na tym, że posługujemy się łatwo odtwarzalnymi krótkimi cyklami, rzędu 10^{-12} sekundy

Rozwiązanie zadania M 204
Nie. Przypuśćmy, że jest to możliwe i podzielmy w myśli tak zbudowany sześcian na 27 sześcianików o rozmiarach $2 \times 2 \times 2$. Znów w myśli, nasyćmy te sześcianiki na przemian farbą białą i czarną. Musi być zatem 14 białych i 13 czarnych (lub na odwrót). Zauważmy teraz, że niezależnie od położenia dowolnej cegiełki $1 \times 2 \times 4$ połowa jej jednostkowych sześcianików jest czarna, a połowa biała. Jest to sprzeczne z faktem, że duży sześcian ma więcej białach sześcianików niż czarnych — albo odwrotnie.

(lub krótszymi), o czym była już mowa. Realizują więc z wystarczającą w fizyce i technice dokładnością jednostkę czasu, zwaną także sekundą atomową w odróżnieniu od sekundy efemerydalnej. Jednak utworzona przez sumowanie odstępów sekundowych skala czasu (atomowego) nie zawiera elementu umiejscawiającego punkt zerowy — początek skali czasu. Tu już niezbędne są obserwacje astronomiczne.

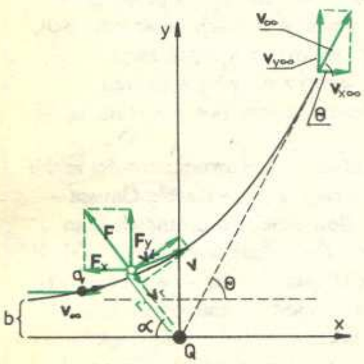
Co gorzej, przyjęta wspomniana już relacja 9192631770 drgań na sekundę we wzorcu cezowym wyznaczona została empirycznie, dla uzgodnienia wartości sekundy atomowej (cezowej) z jednostką astronomiczną. Że nie jest to relacja ścisła, świadczy fakt, że od czasu do czasu (mniej więcej raz w roku) zachodzi potrzeba korygowania skali czasu atomowego przez wprowadzanie tzw. sekundy przestępnej.

Dla ujednolicenia wskazań wszystkich zegarów na naszym globie wprowadzono system międzynarodowy sygnałów czasu. Liczne dziś specjalne radiostacje pokrywają swym zasięgiem cały obszar Ziemi, nadając przez całą dobę lub w określonych porach sygnały, słyszalne w głośnikach niby sekundowe tykanie zegara. Wszystkie sygnały są zgodne ze sobą, gdyż korelowane są przez centralę międzynarodowej służby czasu w Paryżu. Tak pomyślana skala czasu nie może odchylić się od czasu astronomicznego więcej niż o pół sekundy, bo w przypadku zbliżania się do tej granicy Międzynarodowe Biuro Czasu ogłasza wprowadzenie sekundy przestępnej. Może to być sekunda dodatnia albo ujemna, a polega to na dodaniu (albo odjęciu) jednej sekundy w ostatniej minucie 31 grudnia (lub 30 czerwca), co praktycznie przejawia się przesunięciem o sekundę przedłużonego impulsu sekundowego markującego pełną minutę (godzinę), czyli wprowadza jedynie zmianę numeracji sekund. Od czasu, gdy system ten wprowadzono (w 1971 r.), zaszła potrzeba dokonania tej operacji już 8 razy; ostatnio (ósma sekunda przestępna) nastąpiło to przez cofnięcie zegarów o sekundę w nocy z 31 grudnia 1978 r. na 1 stycznia 1979 r. Tak więc ostatnia minuta 1978 r. liczyła nie 60 lecz 61 sekund.

Czas ustalony międzynarodowymi sygnałami obowiązuje we wszystkich dziedzinach. Jego relacja do czasu efemeryd interesuje w zasadzie tylko astronomów. Służą temu celowi specjalne wydawnictwa, w których publikowane są poprawki sygnałów czasu, ustalane drogą obserwacji astronomicznych.

Tak więc w przypadku zatrzymania się zegarów zwykli ludzie nie napotkają szczególnych trudności.

Rozwiązanie zadania F 69



Rozpatrzmy ruch cząstki o ładunku q w polu wytworzonym przez nieruchomy ładunek Q. Siła, z jaką ładunek Q działa na ładunek q jest skierowana wzdłuż kierunku łączącego położenie obu ładunków (tzw. promienia wodzącego) i wynosi

$$F = \frac{qQ}{4\pi\varepsilon_0 r^2}.$$

Wiadomo, że w polu kulombowskim zachowana jest całkowita energia cząstki oraz moment pędu $(r\|R)$ — to znaczy, że w każdej chwili cząstka ma taką samą energię E i tę samą wartość momentu pędu L, co przed rozproszeniem,

daleko od centrum działania siły, przy czym $E = \frac{mv_\infty^2}{2}$, $L = mv_\infty b$,

gdzie v_∞ — prędkość cząstki daleko od centrum, b — tzw. parametr zderzenia (patrz rysunek).
Poza tym na rysunku wprowadzono oznaczenia:
v_α — prędkość transwersalna (prostopadle do promienia), v_r — prędkość radialna (wzdłuż promienia),
θ — kąt rozproszenia, r — promień wodzący, α — droga kątowa.
Interesuje nas związek między b i θ. Rozpatrzmy ruch wzdłuż osi y.

$m\frac{dv_y}{dt} = F_y = F\sin\alpha = \frac{Qq}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\sin\alpha$, $mdv_y = \frac{Qq}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\sin\alpha dt$. W równaniu tym zarówno α, jak i r zależą od czasu.

Z zasady zachowania momentu pędu otrzymujemy $L = mv_\infty b = mrv_\alpha = mr^2\omega = mr^2\frac{d\alpha}{dt}$, skąd $r^2 = \frac{L}{m(d\alpha/dt)} = \frac{v_\infty b}{(d\alpha/dt)}$. Wstawiając to do poprzedniego równania otrzymujemy $mdv_y = \frac{Qq}{4\pi\varepsilon_0 v_\infty b}\sin\alpha d\alpha$, gdzie nie występuje już jawna zależność od czasu. Prędkość v_y zmienia się od wartości 0 do $v_{y\infty} = v_\infty \sin\theta$, a kąt α — od 0 do $\pi-\theta$. Znalezienie zależności v_y od α daje nam możliwość wyznaczenia związku między warunkami początkowymi i kątem rozproszenia θ:

$$m\int_0^{v_\infty\sin\theta} dv_y = \frac{Qq}{4\pi\varepsilon_0 v_\infty b}\int_0^{\pi-\theta}\sin\alpha d\alpha,$$

skąd $mv_\infty \sin\theta = \frac{Qq}{4\pi\varepsilon_0 v_\infty b}(1+\cos\theta)$. Po przekształceniu otrzymujemy $b = \frac{Qq}{4\pi\varepsilon_0 mv_\infty^2}\operatorname{ctg}\frac{\theta}{2}$.

Przez rozkład kątowy $P(\theta)$ rozumiemy procent cząstek ze strumienia padającego, które polecą w kąt bryłowy $d\Omega$ przy określonej wartości kąta θ (ze względu na symetrię osiową wynik rozpraszania nie zależy od kąta azymutalnego). $P(\theta) = \frac{1}{N}\frac{dN}{d\Omega}$, gdzie $d\Omega = 2\pi\sin\theta d\theta$.

Czynnik 2π jest wynikiem zsumowania po kącie azymutalnym. Aby wyznaczyć $\frac{dN}{d\Omega}$ dla określonego kąta θ należy obliczyć, ile spośród padających cząstek α będzie miało parametr zderzenia b w stosunku do jąder rozmieszczonych w folii.

Powierzchnia pokrywana przez cząstki α o parametrze zderzenia b wynosi $2\pi b db\cdot nx$, czyli $dN(b) = 2\pi b db\cdot nx\cdot N$, skąd $\frac{dN(b)}{db} = 2\pi bnxN$

$$P(\theta) = \frac{1}{N}\frac{dN}{d\Omega} = \frac{1}{N}\frac{dN}{2\pi\sin\theta\, d\theta} = \frac{1}{N}\frac{1}{2\pi\sin\theta}\frac{dN}{db}\frac{db}{d\theta} = \frac{1}{2\pi N\sin\theta}2\pi bnxN\frac{db}{d\theta} = nx\left(\frac{qQ}{mv_\infty^2}\right)^2\frac{\operatorname{ctg}\frac{\theta}{2}}{\sin\theta}\frac{1}{2\sin^2\frac{\theta}{2}}.\qquad P(\theta) = \frac{nx}{4}\left(\frac{qQ}{mv_\infty^2}\right)^2\frac{1}{\sin^4\frac{\theta}{2}}.$$

Jest to słynny wzór Rutherforda.
W doświadczeniu przeprowadzonym przez Geigera i Marsdena (rozpraszanie cząstek α na cienkiej folii ze złota) uzyskano rozkład kątowy bardzo dobrze zgadzający się z tym wzorem i to nawet dla takiej energii cząstek α, przy której mogą one zbliżyć się do odpychającego centrum kulombowskiego na odległość rzędu 10^{-12} cm.
Dla większej energii (mniejsze odległości) dane doświadczalne przestają być zgodne ze wzorem Rutherforda. W opisanym doświadczeniu rozpraszanie na bardzo lekkich elektronach nie ma istotnego znaczenia. Wyniki rozpraszania na pozbawionej elektronów pozostałości atomów złota prowadziły do wniosku, że pozostałość ta oddziałuje kulombowsko aż do odległości rzędu 10^{-12} cm, a potem wszystko się psuje. W ten właśnie sposób zmierzono rozmiary jądra atomowego, a powód owego psucia na bardzo małych odległościach nazwano oddziaływaniami silnymi (jądrowymi).