

Jedność nauk przyrodniczych

Prof. dr Józef WERLE,
członek rzeczywisty PAN

Nauki przyrodnicze nie staną się wieżą Babel specjalistów

Ponad 400 lat rozwoju nowożytnych nauk przyrodniczych cechuje narastająca lawinowo liczba naukowo sprawdzonych faktów: nieznanych uprzednio zjawisk i obiektów przyrody. Warto zwrócić też uwagę na to, że coraz większa część naszej wiedzy przyrodniczej dotyczy zjawisk bezpośrednio zmysłowo niedostrzegalnych, które można wykryć i zbadać jedynie za pomocą odpowiedniej aparatury przygotowawczej, detekcyjnej i pomiarowej, jak np. różnorodnych akceleratorów, generatorów, mikroskopów, teleskopów, woltomierzy, amperomierzy, spektrometrów, liczników cząstek itd. Oszałamiający wzrost liczby faktów empirycznych prowadzi do powstawania coraz większych specjalizacji naukowych, wyłaniających się bądź przez podział dawniejszych dyscyplin, bądź w wyniku odkrywania zupełnie nowych zjawisk.

Wąska specjalizacja jest niewątpliwie konieczna i korzystna dla rozwoju nauki i jej zastosowań. Przy czysto fenomenologicznym podejściu do uprawianej specjalności wielu naukowców przecenia jednak odrębności wynikające nieuchronnie z wyboru różnych przedmiotów zainteresowania. Skłonni są oni wyolbrzymiać związane z tym konieczne różnice specjalistycznego nazewnictwa, różnice rzeczywistości powodujące istotne trudności porozumienia się przedstawicieli różnych specjalności.

W szerokich warstwach społeczeństwa upowszechnił się więc skomplikowany obraz nauk przyrodniczych jako tworów zupełnie nie dającego się ogarnąć i zrozumieć, tworów przywodzącego na myśl biblijną opowieść o budowie wieży Babel. Czy rzeczywistość jest to obraz dobrze oddający aktualną sytuację nauk przyrodniczych? Czy współczesnym naukom przyrodniczym naprawdę grozi rozpadnięcie na zupełnie nie powiązane, wąskie specjalności, które nie będą miały wspólnego języka? Odpowiedź na te niepokojące pytania jest na szczęście negatywna. Otóż, niejako równoległe do szybkiego wzrostu liczby poznawanych faktów obserwujemy niezwykle frapujące i zadziwiające procesy scalania i ujednolicania (integracji) wszystkich nauk przyrodniczych. Integracja ta stała się możliwa dzięki wprowadzeniu do wszystkich nauk przyrodniczych tej samej strategii badawczej w postaci wspólnych, ogólnych zasad naukowej metody badań przyrodniczych i tego samego ogólnego języka, którym stał się język podstawowych pojęć fizyki. Wspólnota tego języka wynika z jednej strony ze stosowania w fizyce i chemii, astronomii i geologii, biologii i medycynie w zasadzie identycznych lub pokrewnych aparatów pomiarowych i z drugiej strony z możliwości opisanego coraz większego zakresu zjawisk przyrody przez powstające w ostatnich 150 latach coraz dokładniejsze, ogólniejsze i coraz bardziej syntetyczne, matematyczne teorie fizyczne.

Uznając fundamentalne znaczenie faktów empirycznych należy pamiętać, że nie można zrozumieć przyrody, nie można przewidywać nowych zjawisk i skutków działania praktycznego mając tylko — nawet bardzo dokładne — katalogi faktów. Przyrodę możemy zrozumieć jedynie za pomocą adekwatnych, syntetycznych teorii opisujących w jednolity sposób nieskończoną liczbę pozornie zupełnie odmiennych faktów, teorii uwypuklających głębokie związki zwane prawami natury. Ten zdumiewający i urzekający proces integracji nauk przyrodniczych nie jest powszechnie znany i należyć rozumiany.

Integracja fizyki makroskopowej

Postaram się więc naszkicować najważniejsze etapy tego procesu. Otóż: trzeba pamiętać, że jeszcze paręset lat temu fizykę, chemię, astronomię i biologię uważano za zupełnie niezależne nauki zajmujące się badaniami nie powiązanych zjawisk przyrody, wywołanych przez zupełnie odrębne siły fizyczne, chemiczne, witalne, geologiczne, astralne itd. To samo dotyczyło również różnych działów właściwej fizyki, a więc opisu zjawisk mechanicznych, optycznych, akustycznych, termicznych,

elektrycznych i magnetycznych, które również uważano za wzajemnie niezależne. Pierwszego przełomu w tym rozczłonkowanym obrazie przyrody dokonał już w końcu XVII w. Isaac Newton. Sformułował on trzy uniwersalne zasady mechaniki klasycznej i uzupełnił je zasadą powszechnego ciążenia. Teoria Newtona wyrażona w ścisłym, ilościowym języku matematycznym podawała bardzo prosty i jednolity opis wszystkich zjawisk mechanicznych zachodzących na Ziemi i poza nią. Na tej podstawie można było obliczyć ruch dowolnych ciał ze znajomości działających na nie sił i warunków początkowych. Teoria Newtona opisuje bardzo dobrze zachowanie (makroskopowych) punktów materialnych oraz tzw. ośrodków ciągłych, tj. gazów, cieczy i ciał sprężystych. Te same ogólne równania mechaniki opisują także ruchy Słońca, planet, komet i innych ciał niebieskich. W ten sposób teoria ośrodków ciągłych, akustyka i astronomia pozycyjna stały się częścią mechaniki.

Następny ważny krok w kierunku unifikacji fizyki makroświata dokonał się dopiero w połowie XIX w., gdy sformułowano dwie pierwsze zasady termodynamiki, wiążące w ramach jednej wspólnej teorii zjawiska cieplne z mechanicznymi, zachodzącymi w ośrodkach ciągłych. Jeszcze bardziej spektakularne było osiągnięcie Jamesa Clerka Maxwella, który około 1870 r. powiązał w ramach jednej, stosunkowo prostej teorii zjawiska elektryczne, magnetyczne oraz optyczne i przewidział istnienie fal elektromagnetycznych o dowolnej długości. Własności statycznych pól elektrycznych, magnetycznych, prądów stałych i zmiennych, tudzież cała klasyczna optyka wynikają z równań Maxwella jako przypadki szczególne bądź przybliżenia. Sprezycowana została też postać siły działającej na poruszający się ładunek elektryczny, a więc siły, którą należało podstawić do równań mechaniki Newtona, by móc obliczyć ruchy ładunków w polu elektromagnetycznym. W ten sposób elektrodynamika została związana z mechaniką (dynamiką), co znajduje wyraz w samej nazwie tej teorii.

Istniejące początkowo trudności w interpretacji znaczenia oraz zasięgu stosowności równań Newtona i Maxwella zostały na początku XX w. usunięte przez Alberta Einsteina w jego słynnej szczególnej teorii względności. Teoria ta przewidywała wprowadzenie do równań Newtona pewnych poprawek, które jednak stają się istotne dopiero przy bardzo wielkich prędkościach rzędu prędkości światła. Tak skorygowana teoria Newtona wraz z powiązaną z nią elektrodynamiką i termodynamiką klasyczną stanowi trójcę najogólniejszych, syntetycznych klasycznych teorii makroskopowych, opisujących w jednolity sposób ogromny zakres zjawisk. W pewnej izolacji od tej trójcy pozostaje jeszcze ostatnia z wielkich teorii makroskopowych, zwana ogólną teorią względności lub teorią grawitacji Einsteina.

Integracja fizyki i chemii na bazie atomistyki

W drugiej połowie XVIII w. wprowadzono do chemii dokładne, fizyczne metody pomiarowe. Doprowadziło to wkrótce do odkrycia kilku zaskakujących praw stechiometrii: prawa stosunków stałych, stosunków wielokrotnych i stosunków równoważnikowych. Dalton wytłumaczył bardzo prosto te skądinąd niezrozumiałe prawa proponując unowocześnioną wersję hipotezy atomowo-molekularnej struktury materii. Według tej hipotezy podstawowymi, najmniejszymi i niepodzielnymi cząstkami (ziarnami) wszelkiej materii miały być atomy stosunkowo nielicznych pierwiastków chemicznych. Atomy mogą się łączyć w różnorodne konglomeraty zwane molekułami. Wszystkie molekuly tego samego związku chemicznego są jednakowe, tzn. mają taki sam skład atomowy i tę samą strukturę przestrzenną. Hipoteza Daltona stała się wkrótce przedmiotem intensywnych badań fizyków, którzy dostrzegli jej potencjalne możliwości wykraczające znacznie poza obszar chemii. Hipoteza ta stała się mianowicie głównym filarem niezwykle pasjonującego i ambitnego programu sprowadzenia (redukcji) wszelkich własności i praw makroświata do niewielu bardzo proglądowych i prostych własności mikroskopowych cząstek składowych. Począwszy od połowy XIX w. zaczęły powstawać modele tzw. kinetycznej teorii gazów jako najprostszych ciał makroskopowych. Modele te dawały prostą interpretację takich makroskopowych wielkości, jak temperatura, energia wewnętrzna, entropia itd. Z drugiej strony udało się za ich pomocą wyprowadzić równania stanu gazów oraz obliczyć różne parametry makroskopowe, np. współczynniki lepkości, dyfuzji itp.

Zgodnie z tym programem własności ciał makroskopowych miały wynikać jako wartości średnie z odpowiednich praw i własności mikrocząstek. Powstały więc różne klasyczne teorie statystyczne proponujące różne sposoby uśredniania, ale oparte na założeniu, że prawa fizyki mikroświata są w zasadzie takie same jak znane już prawa mechaniki makroświata.

Na początku XX w. stało się jasne, że założenie to nie może być prawdziwe. Poza tym już w końcu XIX w. odkryto ziarnistą strukturę elektryczności i fakt, że atomy nie są sztywnymi, niepodzielnymi kulkami materii, lecz zawierają elektrony i dodatnie ładunki elektryczne. Kilkanaście lat po odkryciu jądra atomowego, około 1925 r., powstała mechanika kwantowa atomów i molekuł. Usunęła ona poprzednie sprzeczności postulując dla mikroświata zupełnie inne, kwantowe prawa fizyki. Ta koncepcyjnie zupełnie nowa, rewolucyjna teoria opisuje w jednolity sposób i w doskonałej zgodzie z doświadczeniem ogromny zakres zjawisk zarówno tzw. czysto fizycznych, jak i zaliczanych dawniej do „czystej chemii”. Piękną, ilościową interpretację znajdującą w mechanice kwantowej liczne odkryte przez chemików prawidłowości, jak np. okresowy układ pierwiastków oraz dawniej raczej niejasne pojęcia powinowactwa, podobieństwa chemicznego i wartościowości. Tak to już około 50 lat temu dokonano się ostateczne włączenie chemii do fizyki. Z teoretycznego punktu widzenia chemia stała się więc częścią fizyki. Oznacza to, że chemia nie ma odrębnych ogólnych teorii, a zjawiska zwane chemicznymi opisywane są w zadowalający sposób przez już istniejące teorie fizyczne: termodynamikę, elektrodynamikę ośrodków ciągłych, a przede wszystkim przez mechanikę kwantową wraz z opartymi na niej teoremi statystycznymi. Język pojęć fizyki stał się językiem chemii. Oczywiście nie dotyczy to np. nazewnictwa związków chemicznych, ale nie ono jest przecież istotne, lecz własności tych związków opisywane za pomocą pojęć fizycznych.

Unifikacja fundamentalnych oddziaływań

Proces powstawania coraz bardziej syntetycznych, coraz ogólniejszych i dokładniejszych teorii mikroświata nie zakończył się, oczywiście, na mechanice kwantowej. Około 1950 r. powstała jeszcze ogólniejsza teoria zwana elektrodynamiką kwantową. Opisuje ona w doskonałej ilościowej zgodzie z doświadczeniem oddziaływania elektronów ze skwantowanym polem promieniowania elektromagnetycznego. Jest to w tej chwili najdoskonalsza z istniejących, dobrze sprawdzonych już teorii mikroświata, obejmująca ogromny zakres zjawisk. Tak się bowiem szczęśliwie składa, że o własnościach fizycznych, chemicznych i ... biologicznych atomów, molekuł, jonów i złożonych z nich ciał makroskopowych w normalnych ziemskich warunkach decydują wyłącznie oddziaływania elektromagnetyczne, które są wystarczająco dobrze opisane przez elektrodynamikę kwantową, lub nawet — w bardzo szerokim zakresie — przez mechanikę kwantową.

Po odkryciu w drugiej połowie XX w. licznych nowych cząstek elementarnych (mezonów, barionów, leptonów itd.), a nawet subelementarnych (kwarków, gluonów) fizycy dążą do konstrukcji jeszcze ogólniejszej teorii cząstek elementarnych czy raczej oddziaływań elementarnych. Na szczęście są tylko cztery zasadniczo różne typy oddziaływań elementarnych: grawitacyjne, słabe, elektromagnetyczne i silne. Te ostatnie, najmniej znane i najbardziej kłopotliwe, są odpowiedzialne m.in. za silne związanie neutronów i protonów w jądrach atomowych, za wielkie ilości energii wyzwolanej w procesach jądrowych zachodzących w reaktorach i bombach jądrowych oraz we wnętrzu Słońca i innych gwiazd.

Bardzo niedawno, bo w ostatnim dziesięcioleciu, dokonał się dalszy znaczny postęp na drodze unifikacji opisu różnych zjawisk przyrody. Powstała mianowicie teoria integrująca oddziaływania słabe z elektromagnetycznymi. Szereg ważnych przewidywań tej nowej teorii znalazło już swoje eksperymentalne potwierdzenie (np. istnienie nowych, ciężkich bozonów W i Z oraz istnienie słabych prądów neutralnych). W tej sytuacji coraz częściej używa się terminu oddziaływania elektro-słabe, podkreślającego odkryte związki.

Sytuacja z silnymi oddziaływaniami nie jest jeszcze równie zadowalająca, choć tzw. chromodynamika kwantowa jest uważana przez wielu fizyków za poważną kandydatkę do statusu fundamentalnej i uniwersalnej teorii wszelkich silnych oddziaływań. Jest to jednak teoria nader skomplikowana oraz trudna do stosowania i chociażby z tego powodu jeszcze

niedostatecznie sprawdzona. Niezależnie od niej rozwijane są od wielu lat liczne modele matematyczne opisujące różne własności cząstek elementarnych oraz jąder i reakcji jądrowych. Choć nie mają one charakteru uniwersalnego, to mają duże walory praktyczne i teoretyczne. Pozwalają bowiem nie tylko wykonywać oszacowania potrzebne np. do konstruowania reaktorów jądrowych i bomb, lecz także na zrozumienie procesów zachodzących we wnętrzu Słońca i innych gwiazd oraz ewolucji całego Wszechświata.

Podjęmuje się też próby konstrukcji jeszcze bardziej syntetycznych i ogólnych modeli integrujących wszystkie fundamentalne typy oddziaływań. Mimo ich matematycznego piękna mają one charakter zbyt spekulatywny i nie mogą być jeszcze uznane za sprawdzone teorie fizyczne. Niemniej jednak należy pamiętać, że — w świetle dotychczasowych sukcesów w tworzeniu coraz ogólniejszych teorii fizycznych coraz wyższego rzędu — wiara fizyków w istnienie jednolitej teorii wszystkich fundamentalnych oddziaływań ma realne podstawy i nie jest czysto irracjonalną mrzonką grupy oderwanych od rzeczywistości marzycieli.

Patrząc wstecz na dotychczasową historię integracyjnych osiągnięć teorii fizycznych należy wyodrębnić dwa etapy. Na pierwszym etapie miało miejsce scalenie wielu pozornie zupełnie różnych zjawisk w ramach zaledwie paru syntetycznych makroskopowych teorii (powiązanych także wzajemnie, choć jeszcze raczej luźno). Odkryte na tym etapie związki i prawa przyrody są urzekająco, niemal cudownie proste i pogładowe. Na drugim etapie w centrum zainteresowania fizyków znalazły się badania mikroświata, a więc kolejno: molekuł, atomów, jonów, jąder, cząstek elementarnych i wreszcie subelementarnych. Własności mikrocząstek są interesujące same w sobie, ale równie ważne są ich makroskopowe konsekwencje, tzn. własności ciał makroskopowych wynikające z ich mikroskopowej struktury.

Niestety, mikrocząstki nie są bezpośrednio zmysłowo dostrzegalne i do ich badania potrzebna jest skomplikowana aparatura przygotowawcza i pomiarowa oraz długi łańcuch obliczeń i rozumowań. Ponadto od powstania mechaniki kwantowej wiemy, że prawa fizyki mikroświata są inne od praw makroświata. Teorie mikroskopowe są więc z natury rzeczy mniej pogładowe, bardziej abstrakcyjne, a związki między występującymi w teorii symbolami a wynikami pomiarów jest nader złożony. W tej sytuacji musi zdumiewać, że mimo tych trudności udało się w ostatnich kilkudziesięciu latach poznać dobrze tak wiele zaskakujących własności mikroświata i wykorzystać wiele z nich do celów praktycznych. Wspólnota fundamentalnych oddziaływań między mikrocząstkami wchodzącymi w skład wszystkich form materii stanowi bardzo przekonywujące i pogładowe uzasadnienie dwóch bardzo ogólnych, ale niezwykle stymulujących zasad integrujących całe przyrodoznawstwo, a mianowicie zasady jedności materii i uniwersalności praw fizyki. I rzeczywiście, teorie fizyczne opisują w zadowalający i jednolity sposób ogromny obszar zjawisk nie tylko z zakresu należącego do tradycyjnej fizyki, lecz także astronomii, chemii i geologii, a więc całej przyrody nieożywionej.

Uniwersalne fizyko-chemiczne podstawy procesów życiowych

Powstaje frapujące pytanie, w jakim stopniu ta integracja nauk przyrodniczych obejmuje biologię, a więc przyrodę ożywioną. Przez bardzo długi okres w centrum zainteresowania biologów znajdowało się poszukiwanie i rejestrowanie uprzednio nieznanych, ale występujących w naturze gatunków roślin i zwierząt. Dopiero około połowy XVIII w. Linneusz rozszerzył ubogą, pochodzącą jeszcze od Arystotelesa klasyfikację roślin i zwierząt tworząc nową, bardziej systematyczną i rozbudowaną, opartą na pojęciach rodziny, rodzaju, gatunku i odmiany. Również on opierał się jednak na powierzchniowych podobieństwach i różnicach dających się dostrzec gołym okiem lub za pomocą najprostszych narzędzi wspomagających wzrok. Głębsza pomoc fizyki była dla tego zakresu badań biologicznych właściwie niepotrzebna. To samo można powiedzieć także o anatomii, która mimo bardzo starożytnego rodowodu aż do czasów najnowszych była czysto opisowa i nie dociekała przyczyn badanych zjawisk.

Natomiast fizjologia była niemal od początku swego istnienia znacznie mocniej związana z fizyką i chemią. Związek ten pogłębiał się coraz bardziej w toku historycznego rozwoju tego działu biologii. W połowie XIX w. powstały dwie wielkie teorie

biologiczne: sformułowana przez Charlesa Darwina teoria ewolucji i komórkowa teoria życia. Obie teorie odegrały ważną rolę integracyjną w biologii. Teoria ewolucji postulowała daleko idącą zmienność gatunków roślin i zwierząt, implikując możliwość powstawania w historii życia na Ziemi coraz liczniejszych, coraz bardziej różnorodnych i złożonych organizmów wywodzących się ze znacznie mniejszej liczby ciągów ewolucyjnych. Te zaś przypuszczalnie wyrastały ze wspólnego pnia w postaci bardzo prymitywnych, najprostszych form życia. Teoria komórkowa głosiła, że wszystkie organizmy żywe składają się z bardzo podobnych elementów składowych, którymi są komórki. Nasuwa się od razu analogia pojęć komórki w biologii i atomu w fizyce i chemii. Stało się jasne, że w komórkach należy szukać klucza do zrozumienia podstawowych procesów życiowych: rozmnażania, dziedziczenia, wzrostu, metabolizmu, wreszcie chorób, zwyrodnienia, starzenia się i śmierci. Rozwój badań wnętrza komórki wymagał wprowadzenia coraz bardziej wyrafinowanych, ilościowych metod fizyki i chemii. Doprowadziło to do wyodrębnienia biochemii i biofizyki jako nauk mających na celu rozwiązywanie problemów biologicznych za pomocą metod eksperymentalnych i pojęć teoretycznych chemii i fizyki. Szczególnie szybki i bogaty w fundamentalne odkrycia rozwój tych badań nastąpił w ciągu ostatnich paru dziesięcioleci. Okazało się, że decydująca dla funkcjonowania komórki, a w szczególności dla procesów dziedziczenia, wzrostu, powstawania chorób genetycznych, mutacji itd. jest struktura wielkich molekuł kwasów nukleinowych, białek, enzymów itp. Badaniem składu, struktury geometrycznej i procesów replikacji tych molekuł zajmuje się najnowsza i najbardziej podstawowa nauka o życiu, a mianowicie biologia molekularna. Operuje ona niemal wyłącznie pojęciami i metodami eksperymentalnymi fizyki i chemii, które doprowadziły już do kilku fundamentalnych odkryć, np. do ustalenia struktury DNA, RNA, rozwikłania tzw. kodu genetycznego — sposobu przekazywania informacji genetycznej przy podziale komórek itd., itd.

Oczywiście jest to dopiero początek, a do zrozumienia tajemnic życia brakuje nam jeszcze bardzo wiele, ale dotychczasowe osiągnięcia badawcze i praktyczne zastosowania biofizyki

i biochemii, a szczególnie biologii molekularnej, wzmacniają nasze przekonanie o stosowności zasad jedności materii i uniwersalności praw fizyki również do organizmów żywych. Powstaje jednak pytanie, czy wszystkie procesy życiowe dają się sprowadzić do odpowiednich procesów fizyko-chemicznych. Ze względu na niezwykle skomplikowaną budowę organizmów żywych z pewnością nie uda się nigdy osiągnąć w pełni tego celu. Niemniej jednak należy iść w tym kierunku dalej — bo jest to w każdym razie bardzo płodny, obiecujący i stymulujący kierunek badań, ponieważ proponuje konkretne środki i prowadzi do konkretnych, sprawdzalnych, ilościowych wyników.

Nawet przyjmując, że prawa fizyki wystarczają do opisu wszelkich organizmów i procesów życiowych, nie oznacza to jeszcze, że pełna redukcja biologii do fizyki i chemii będzie kiedykolwiek wykonalna. Nawet jeśli przypuścimy, że znamy już (lub wkrótce poznamy) potrzebne do tego teorii fizyczne (co nie jest jeszcze zupełnie pewne), to nie widać technicznych możliwości dokonania dostatecznie dokładnej analizy wszystkich konsekwencji tych teorii zastosowanych do tak skomplikowanych tworów jak żywe organizmy. Sądzę więc, że program naukowy polegający na badaniu struktury ważnych dla życia molekuł i przebiegu reakcji między nimi będzie jeszcze długo dostarczał wielu fascynujących i fundamentalnych odkryć wyjaśniających podstawy życia w języku fizyki mikroświata. Natomiast dla zrozumienia funkcjonowania całych organizmów żywych — skomplikowanych tworów makroskopowych — obecne języki i teorie fizyki są z pewnością niewystarczające. Konieczne będzie więc jednoczesne tworzenie i doskonalenie adekwatnych języków makroskopowych (holistycznych). Czy przyszłe, doskonalsze od dzisiejszych języki makroskopowej biologii będą miały ścisły, ilościowy i komunikatywny charakter języków fizycznych? W tej chwili wydaje się to bardzo trudne, ale dążenie do wprowadzania — gdzie się tylko da — metod ilościowych z pewnością stymuluje badania naukowe.

Natomiast założenie z góry bezskuteczności takich dążeń prowadzi do zaniechania uczynienia z biologii nauki możliwie ścisłej. Jeśli istnieją (a pewnie istnieją) granice ścisłego poznania, to granice te powinna wyznaczyć nam sama natura, a nie subiektywny pesymizm i nieuzasadnione spekulacje umysłu ludzkiego.

Zadania



Redaguje dr Rafał SZTENCEL

M 478. Na każdym polu szachownicy o wymiarach 19×19 stoi pionek. Przesuwamy każdy pionek na sąsiednie (w pionie lub poziomie) pole. Czy może zdarzyć się tak, by w dalszym ciągu na każdym polu stał jeden pionek?

Rozwiązanie na str. 14

M 479. Wielomian stopnia m przyjmuje wartości całkowite w punktach $a, a+1, \dots, a+m$, dla pewnego a całkowitego. Udowodnić, że dla każdego x całkowitego $f(x)$ jest całkowite.

Rozwiązanie na str. 14

M 480. Mamy w_1 woreczków, zawierających co najmniej jedną monetę, w_2 — co najmniej dwie, ..., w_k — co najmniej k . Żaden woreczek nie zawiera więcej niż k monet. Ile jest razem monet?

Rozwiązanie na str. 7

F 226. Dach nachylony do poziomu pod kątem $\varphi = 30^\circ$, pokryty jest ołowianymi płytami o masie m . W ciągu doby temperatura zmienia się od $T_1 = 10^\circ\text{C}$ w nocy do $T_2 = 20^\circ\text{C}$ w dzień powodując ochładzanie się i ogrzewanie pokrycia dachu. Przyjmując, że długość płyty wynosi $l = 1$ m, oszacować, na jaką odległość od położenia początkowego spełnie w dół pojedyncza płyta w ciągu jednego miesiąca ($n = 30$ dób). Współczynnik tarcia ołowianej płyty o konstrukcję dachu wynosi $\mu = 0,7$ ($\mu > \text{tg}\varphi$), a współczynnik liniowej rozszerzalności cieplnej $\alpha = 3 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$. Dodatkowo zakładamy, że nagrzewanie odbywa się na tyle wolno, że płyta pozostaje cały czas w stanie równowagi mechanicznej (por. Delta nr 4/1983, gdzie podobne zadanie było analizowane jakościowo).

Rozwiązanie na str. 6

F 227. W rurce o polu przekroju S , zamkniętej z jednego końca, znajduje się tłok o masie m . Umieszczony jest on w odległości l od zamkniętego końca. Po obu stronach tłoka znajduje się powietrze o ciśnieniu p_0 (drugi koniec rurki jest otwarty). Rurka zaczyna wirować z prędkością kątową ω wokół pionowej osi przechodzącej przez zamknięty koniec. W jakiej odległości od zamkniętego końca znajdzie się tłok? Tarcie zaniedbujemy, a temperaturę powietrza można przyjąć za stałą.

Rozwiązanie na str. 5

Redaguje dr Rafał STAROŃSKI