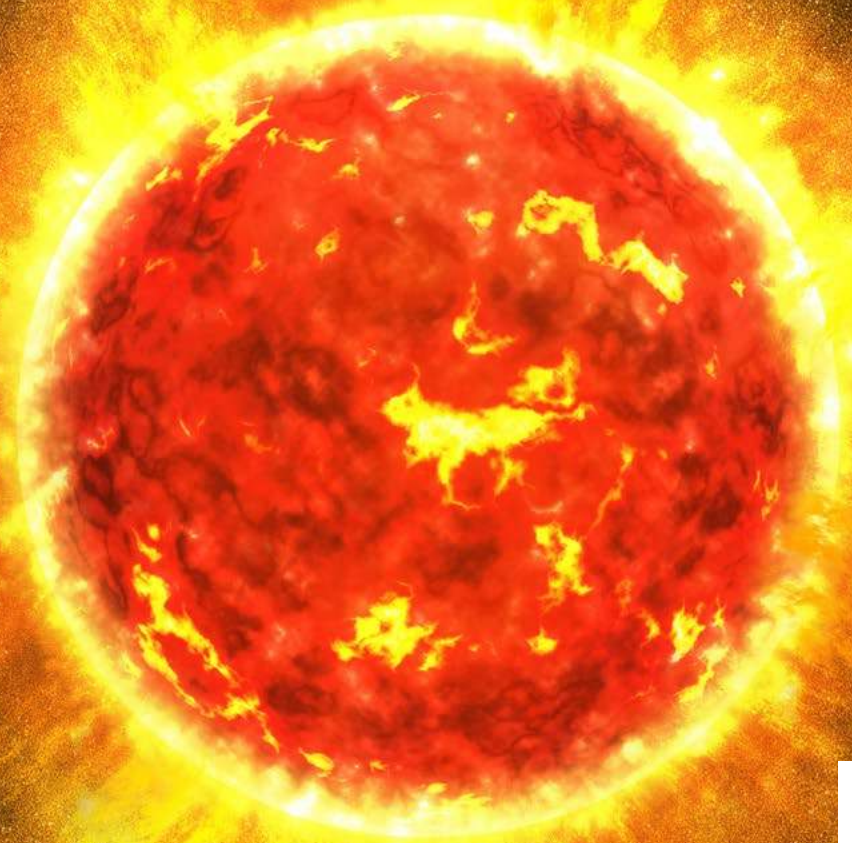
FIZYKA
w Szkole z Astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI

393 (LXV) indeks 35810X Nr 4 lipiec/sierpień 2024 CENA 45,00 zł (w tym 8% VAT)

Nasze Słońce
Skąd ta ogromna energia?



CREDO-Maze
Ile żyją pierwiastki z Wyspy Stabilności?

TESTY
Zasady tworzenia i przetwarzania

Film „Oppenheimer"
w dydaktyce fizyki

Zadania z fizyki
– powtórz, utrwal, poszerz wiedzę!

Trzy niezwykłe liczby

DOŚWIADCZENIA
- Grawitacja w praktyce

ISSN 0426-3383

Forschungszentrum Jülich w pigułce

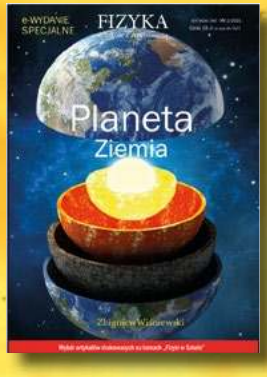
Reaktory jądrowe i superkomputery

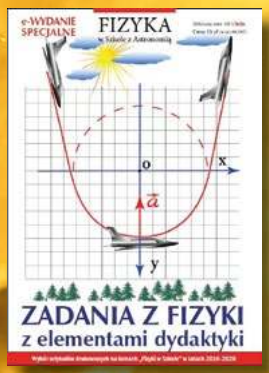
Cyfrowe wydania specjalne

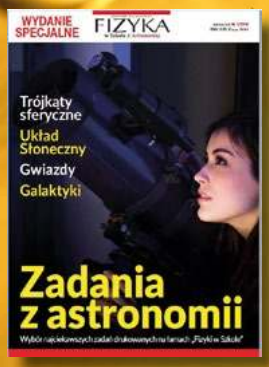
Fizyki w Szkole

Tylko w wersji PDF!

Już od 10 zł!
Wysyłamy na adres mailowy!







Szczegóły i formularz zamówienia na www.aspress.com.pl/wydania-specjalne/

eprasa.pl fc7cb87889

Drodzy Czytelnicy!

Serdecznie witamy po wakacjach. Mam nadzieje, że wszyscy Państwo wypoczęli i z dawką świeżej energii przystąpią do lektury „Fizyki W Szkole”.

Jednym z najważniejszych procesów, który kształtował wszechświat w tym nas kosmiczny dom – Układ Słoneczny były zderzenia. Temu procesowi. Poświęcona jest trzecia część artykułu Marcina Wesołowskiego „Zderzenia w Układzie Słonecznym – fakty i mity”.

Zdecydowanie najważniejszym obiektem Układu Słonecznego jest nasze Słońce. Ta gigantyczna elektrownia termojądrowa, świeci dzięki syntezie wodoru do helu. Szczegóły tego procesu omówione zostały w artykule prof. Marka Demiańskiego „Nasze Słońce”. Jak Państwo zapewne wiedzą wielkim marzeniem fizyków – i nie tylko – jest, aby proces będący źródłem energii Słońca powtórzyć w sposób kontrolowany na Ziemi. Nikomu jednak ta sztuka się jak do tej pory nie udała.

Rzadko zdarza się, aby na naszych łamach gościła tematyka filmowa. Spowodowane to jest po części małą ilością filmów o tematyce fizycznej, jednakże w zeszłym roku miał swoją premierę film „Oppenheimer” o projekcie „Manhattan” i Robercie Oppenheimerze, który kierował przedsięwzięciem i dlatego uważany jest za ojca bomby atomowej. Nasza redakcja nie mogła przejść obok niego obojętnie, dlatego poprosiliśmy Pana Edwarda Rydygiera o przygotowanie recenzji tego filmu, którą to recenzje publikujemy. Czy można ten film wykorzystać na lekcjach fizyki oceńcie Państwo sami.

Jeszcze raz serdecznie zachęcam do zapoznania się ze wspomnianymi artykułami jak też i pozostałymi artykułami w tym numerze. Z pewnością każdy znajdzie tu coś interesującego dla siebie.

Z poważaniem

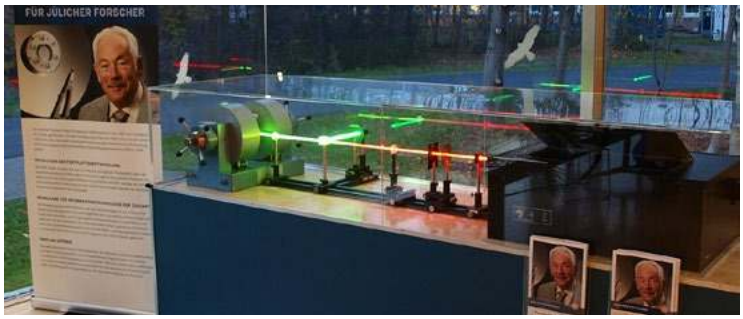
W imieniu redakcji

Zbigniew Wiśniewski

Fizyka wczoraj, dziś, jutro

4 **Od reaktorów jądrowych do superkomputerów, czyli Forschungszentrum Jülich w pigułce** ▮ Tomasz Kubiak

Współczesna fizyka to nie tylko badania podstawowe, przybliżające nas do zrozumienia praw rządzących naturą, ale również działania nakierowane na opracowanie innowacyjnych technologii, które w przyszłości mogą zrewolucjonizować nasze codzienne życie.



12 **Trzy niezwykłe liczby** ▮ Maciej Panczykowski

14 **Żywoty fizyków – Anders Jonas Ångström** ▮ Tadeusz Wibig

18 **CREDO-Maze; promieniowanie kosmiczne – rejs ku Wyspie Stabilności** ▮ Tadeusz Wibig

Z naszych lekcji

25 **„Oppenheimer” – oscarowy film o ojcu bomby atomowej w ocenie dydaktyka fizyki** ▮ Edward Rydygier

Robert Oppenheimer był profesorem na Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley (w obrębie San Francisco), a w czasie II wojny światowej został dyrektorem programu rozwoju amerykańskiej broni jądrowej nazwanego Projektem Manhattan. Uznany jest za ojca bomby atomowej.

30 **Zasady tworzenia i przetwarzania testów** ▮ Valentyna Shvets

35 **Grawitacja w praktyce** ▮ Andrzej Sokołowski

38 **Nierealne, ale... fizycznie poprawne (Miniatura dydaktyczna)** ▮ Waldemar Reńda

39 **Kłopoty z równaniem falowym - (Miniatura dydaktyczna)** ▮ Waldemar Reńda

41 **Powtórz, utrwal, poszerz wiedzę. Zadania z fizyki. Cz. 1.** ▮ Waldemar Reńda

Astronomia dla każdego

43 **Polak poleci w Kosmos**

44 **Nasze Słońce -** Marek Demiański

47 **Zderzenia w Układzie Słonecznym – fakty i mity. Cz. III** ▮ Marcin Wesołowski

Prawdopodobieństwo kolizji pomiędzy dwoma ciałami kosmicznymi może być obliczone poprzez zastosowanie koncepcji tzw. „gęstości przestrzennej” obiektów, czyli średniej liczby obiektów w jednostkowym elemencie objętości.

FIZYKA w Szkole z Astronomią
CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI
NUMER 4 LIPIEC/SIERPIEŃ 2024
393 (LXV) indeks 35810X ISSN 0426-3383
CENA 45,00 zł (w tym 8% VAT)

Redakcja Zbigniew Wiśniewski (redaktor prowadzący – fizykcs@wp.pl) Adres redakcji ul. Warchałowskiego 2/58, 02-776 Warszawa Wydawnictwo Agencja AS Józef Szewczyk, ul. Warchałowskiego 2/58, 02-776 Warszawa, e-mail: szewczyk24@gmail.com, tel. 606 201 244, www.aspress.com.pl, NIP: 951-134-91-51 Wydawca i redaktor naczelny Józef Szewczyk, szewczyk24@gmail.com Prenumerata www.aspress.com.pl/prenumerata/, e-mail: szewczyk24@gmail.com, tel. 606 201 244 Reklama Jędrzej Chodakowski, jchodakowski1953@gmail.com Skład i łamanie ScanSystem.pl Ewa Szelatyńska Druk i oprawa Paper & Tinta, ul. Ceglana 34, 05-270 Nadma
Zdjęcie na okładce: Adobe Stock

Redakcja nie zwraca nadesłanych materiałów, zastrzega sobie prawo formalnych zmian w treści artykułów i nie odpowiada za treść płatnych reklam.

Zapraszamy do odwiedzenia naszej strony w Internecie www.aspress.com.pl

Foto – Adobe Stock

Od reaktorów jądrowych do superkomputerów, czyli Forschungszentrum Jülich w pigułce

Współczesna fizyka to nie tylko badania podstawowe, przybliżające nas do zrozumienia praw rządzących naturą, ale również działania nakierowane na opracowanie innowacyjnych technologii, które w przyszłości mogą zrewolucjonizować nasze codzienne życie. Dlatego coraz więcej grantów i projektów finansowanych ze środków publicznych przeznaczane jest na poszukiwanie rozwiązań kluczowych dla gospodarki oraz przyspieszających postęp cywilizacyjny.

Tomasz **Kubiak**

Obecnie wspierane są inicjatywy związane przede wszystkim z projektowaniem oraz wytwarzaniem nowych materiałów, mikro- i nanotechnologią, opracowywaniem systemów efektywnego pozyskiwania energii, rozwojem narzędzi informatycznych a także konstruowaniem sprzętu do diagnostyki czy terapii medycznej. Chociaż badania z zakresu szeroko pojętej fizyki zawsze stanowią fundament, konieczna jest współpraca jednostek naukowych z przemysłem i sektorem usług, aby możliwy był efektywny transfer technologii oraz szybkie wdrożenie innowacji.

Należy przy tym mieć świadomość, iż w XXI w. istotne przełomy rzadko są zasługą pojedynczych uczonych, pracujących w zaciszu niewielkiego laboratorium na podrzędnym uniwersytecie. Gigantyczne projekty wymagają bowiem zaangażowania tysięcy wybitnych specjalistów z całego świata. Zajmują się oni nie tylko teorią oraz eksperymentem, ale również przeprowadzaniem symulacji, stanowiących swoisty pomost pomiędzy tymi dwoma aspektami działalności naukowej.

Oczywiście oprócz kapitału ludzkiego drugim niezbędnym czynnikiem zapewniającym sukces jest warta miliony euro infrastruktura. Oprócz zaawansowanego sprzętu pomiarowego składają się na nią superkomputery, pozwalające na wykonywanie skomplikowanych obliczeń. Rosnące wymagania sprawiają, że najistotniejsze prace naukowe oraz spektakularne eksperymenty fizyczne odbywają się obecnie zazwyczaj w wielkich, renomowanych laboratoriach zlokalizowanych w Europie i USA. Koniecznie zatem trzeba poznać bliżej te miejsca.

W czasopiśmie „Fizyka w Szkole z Astronomią", w ramach cyklu, który prezentuje największe europejskie centra naukowe, przybliżono już infrastrukturę badawczą oraz działalność eksperymentalną szwajcarskiego CERN (Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych)[1] oraz niemieckiego GSI (Helmholtzzentrum für Schwerionenfor-

[1] T. Kubiak, Od badań podstawowych do edukacji. Co warto wiedzieć o CERN?, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 5 (2019), s. 10-16.

eprasa.pl fc7cb87889

schung) w Darmstadt.[2] Niniejszy tekst poświęcony będzie Forschungszentrum Jülich (FZJ).

Ten ogromny ośrodek, położony w zachodnioniemieckiej Nadrenii Północnej-Westfalii, znany jest chociażby ze słyszenia każdemu, kto na poważnie zajmuje się fizyką. Dokonano tu bowiem wielu przełomowych i spektakularnych odkryć, które istotnie wpłynęły na nasze codzienne życie. Oczywiście nie jest to wyłącznie zasługą imponującej aparatury, ale przede wszystkim znakomitych naukowców. Warto wspomnieć, że obecnie w FZJ pracuje około 7000 osób, w tym 672 wizytujących naukowców z 62 krajów świata.[3] Corocznie odbywają się tu także prestiżowe, międzynarodowe konferencje oraz szkoły letnie dla studentów i doktorantów, również przyciągające najlepszych przyrodników z całego globu. Warto, aby czytelnicy poznali wybrane aspekty działalności Forschungszentrum Jülich.

Historia badań naukowych w FZJ

Idea powstania dużego ośrodka naukowego, który w pierwotnym zamyśle miał skupiać się na pracach z zakresu fizyki atomowej i jądrowej zrodziła się w parlamencie kraju związkowego Nadrenia Północna-Westfalia już w 1956 roku. Należy zaznaczyć, że fundatorzy od początku zakładali pokojowy charakter prowadzonych tam badań. W tamtych czasach najważniejszym wyzwaniem było bowiem pozyskiwanie wydajnych źródeł energii, jakie mogły zaspokoić wciąż wzrastające potrzeby gwałtownie rozwijającej się niemieckiej gospodarki. Myślano też o działaniach związanych z biologią i medycyną nuklearną.

Historycy zwracają również uwagę na kwestię wysokich ambicji. Niemcy chcieli bowiem odbudować swą potęgę naukową, a posiadanie najlepszego laboratorium fizycznego w Europie bardzo by im w tym pomogło. Za „ojca założyciela" Forschungszentrum Jülich uznawany jest inżynier Leo Brandt, który piastował później funkcję pierwszego dyrektora ośrodka. Jego motto życiowe, można przetłumaczyć na język polski w następujący sposób: „*Nigdy nie wolno nam popełnić błędu zwątpienia w technologię. Ci, którzy nie wierzą, że utopie można urzeczywistnić poprzez postęp techniczny, nie będą dążyć do tego celu i donikąd nie dojdą*". Dlatego w FZJ od wielu lat prowadzi się przełomowe badania, przyczyniające się do istotnego postępu w zakresie nauki oraz technologii.

Już w 1958 roku na terenie kompleksu wmurowano kamienie węgielne pod budowę dwóch reaktorów badawczych **DIDO** i **MERLIN** a w 1960 roku powołano Instytut Fizyki Plazmy. Od 1962 roku wspomniane reaktory jądrowe ogrywały kluczową rolę nie tylko w fundamentalnych eksperymentach z zakresu fizyki, ale służyły także działaniom bardziej praktycznym.

Przez wiele lat DIDO, czyli moderowany i chłodzony ciężką wodą reaktor FRJ-2 (od niem. *Forschungsreaktor Jülich 2*), stanowił najpotężniejsze źródło neutronów w Niemczech. Dzięki niemu możliwe było zatem prowadzenie zaawansowanych badań strukturalnych oraz materiałowych. Wykorzystywano go także do produkcji technetu-99m, izomeru mającego zastosowanie w diagnostyce medycznej a także do testów bezpieczeństwa instalacji jądrowych. Warto wspomnieć, że zamknięty w 2006 roku DIDO działał znacznie dłużej niż eksploatowany do 1985 reaktor badawczy MERLIN (FRJ-1).

Wracając do początków instytutu, należy wspomnieć o podjętej w latach 60-tych współpracy z Europejską Wspólnotą Energii Atomowej (Euratom) oraz przemysłem. Wspólne przedsięwzięcie 15 firm szybko przyniosło wymierne korzyści, bo już w roku 1967 do sieci elektroenergetycznej włączono pierwszy eksperymentalny wysokotemperaturowy reaktor **AVR** (*niem. Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor*). Wykorzystywał on kuliste elementy paliwowe a jego rdzeń chłodzono gazem (helem). Chociaż w 1988 roku został trwale wyłączony, przez 21 lat eksploatacji wygenerował około 1,7 miliarda kilowatogodzin energii elektrycznej, służąc przy okazji również do licznych eksperymentów naukowych.

W 1967 roku na terenie FZJ zbudowano cyklotron izochroniczny **JULIC** (ang. ***JU**elich **L**ight **I**on **C**yclotron*).[4] Potrafił on przyspieszać protony do energii 45 MeV i deuterony do 90 MeV. W późniejszych latach zaczął być używany jako iniektor innych akceleratorów, m.in. operującego od 1993 roku synchrtronu **COSY** (*ang.* ***CO**oler **SY**nchrtron*).

W 1971 w Jülich nastąpił istotny przełom naukowy, wytworzono bowiem plazmę o temp. 100 mln °C, co stanowiło podwaliny do badań nad kontrolowaną fuzją jądrową. Z kolei w 1978 roku miała miejsce rzecz zgoła odwrotna, tzn. w laboratorium kriogeniki uzyskano najniższą na świecie temperaturę 50 μK, co pozwoliło zgłębiać nieznane wówczas właściwości materii, np. nadprzewodnictwo.

W latach 80-tych XX w., a w szczególności po katastrofie w Czarnobylu w 1986 roku, ze względu na coraz większą niechęć społeczeństwa do energetyki jądrowej, szerzącą się w Europie radiofobię[5] oraz narastający sceptycyzm decydentów badania z zakresu fizyki jądrowej straciły w Jülich na znaczeniu. W odpowiedzi na zapotrzebowanie społeczne i oczekiwania polityków FZJ znacznie poszerzyło spektrum swoich zainteresowań o nowe, interdyscyplinarne obszary badawcze: technologie informacyjne, biotechnologię, ochronę środowiska, fizykę atmosfery, inżynierię materiałową oraz szeroko pojęte nauki biomedyczne.

Przykładowo od 1982 roku rozwijano tu metodę epitaksji z wiązek molekularnych, w 1984 roku uruchomiono

[2] T. Kubiak, Od superciężkich pierwiastków do terapii hadronowej, czyli o wkładzie GSI Darmstadt w światową naukę, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 6 (2022), s. 4-9.

[3] Informacja na podstawie: https://www.fz-juelich.de/en/about-us/what-we-stand-for (dostęp z 22.04.2024).

[4] W przypadku cyklotronu izochronicznego czas jednego obiegu rozpędzanych cząstek jest stały.

[5] O radiofobii i wpływie promieniowania jonizującego na organizmy żywe przeczytać można w tekście: T. Kubiak, Od naturalnej promieniotwórczości do medycyny nuklearnej, czyli człowiek a promieniowanie jonizujące, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 5 (2020), s. 4-11.

eprasa.pl fc7cb87889

Fot. 1. Kopuła kryjąca zlikwidowany reaktor DIDO oraz budynek nieczynnego reaktora AVR.

pierwszy superkomputer CRAY X- MP/22, a w 1988 roku otwarto infrastrukturę do zaawansowanych prac z zakresu bioinżynierii (pozyskiwania enzymów z mikroorganizmów). Ciekawostkę na pewno stanowi fakt, że w roku 1989 padł tu kolejny europejski rekord, wynaleziono działający w 130 K wysokotemperaturowy nadprzewodnik.

W XXI w. dynamika prowadzenia badań naukowych w FZJ jeszcze wzrosła. Kilka przełomowych osiągnięć zostanie przedstawionych w dalszej części artykułu. Nietrudno domyślić się, że wraz z rozwojem centrum systematycznym przeobrażeniom ulega też wygląd samego kampusu. Charakterystyczne obiekty, mieszczące w przeszłości reaktory jądrowe, znikają już z pejzażu FZJ. Na fot. 1, którą autor niniejszego artykułu wykonał w XI 2018 roku, udało się jeszcze uwiecznić kopułę DIDO oraz budynek likwidowanego AVR. Natomiast w miejscu, gdzie w przeszłości funkcjonował reaktor badawczy MERLIN była już tylko zielona łąka i rosło symboliczne drzewo, posadzone w 2008 na zakończenie prac likwidacyjnych. Nie odnośmy jednak mylnego wrażenia, że centrum ogranicza swą infrastrukturę. Wręcz przeciwnie, cały czas powstają nowe laboratoria, które cechują się zdecydowanie wyższym poziomem zaawansowania technologicznego.

Infrastruktura naukowa

Współcześnie Forschungszentrum Jülich to ogromny, zamknięty kampus z kilkudziesięcioma budynkami mieszczącymi rozmaite obiekty infrastruktury oraz liczne laboratoria.[6] Jednym z najsłynniejszych jest Centrum Mikroskopii i Spektroskopii z wykorzystaniem elektronów im. Ernsta Ruska.[7] Jego działalność koncentruje się wokół dwóch obszarów tematycznych: inżynierii materiałowej oraz nauk o życiu. Ogromne wrażenie robi kilkanaście znajdujących się tu najwyższej klasy instrumentów naukowych, przede wszystkim kriomikroskopy elektronowe (*Cryo-EM*) oraz skaningowe transmisyjne mikroskopy elektronowe (określane zazwyczaj skrótem **STEM** od ang. ***S**canning **T**ransmission **E**lectron **M**icroscopy*). Całość uzupełnia liczna aparatura pomocnicza taka, jak ultramikrotomy, służące do przygotowywania cienkich preparatów biologicznych.

Kolejnym znaczącym miejscem w ośrodku jest Instytut Fizyki Jądrowej, który zarządza akceleratorami: wspominanymi już wcześniej JULIC oraz COSY. Ten ostatni dostarcza spolaryzowane i niespolaryzowane wiązki protonów o energii od 45 do 2700 MeV do podstawowych eksperymentów naukowych albo alternatywnie wiązki deuteronów o energii od 90 do 2100 MeV.

Dla zainteresowanych warto dodać, iż przyspieszacz przyczynił się do odkrycia w 2014 roku dibarionu, czyli układu złożonego aż z 6 kwarków. Co ciekawe, w tym ostatnim osiągnięciu mieli swój udział także polscy naukowcy z Krakowa, Warszawy oraz Katowic, którzy pracowali przy słynnym eksperymencie WASA-at-COSY. Detektor **WASA** (ang. ***W**ide **A**ngle **S**hower **A**pparatus*) operował w FZJ w latach 2006-2014, mierząc neutralne jak i naładowane cząstki, emitowane zarówno w wyniku zderzeń wiązki z tarczą jak również na skutek rozpadów cząstek krótkożyciowych.

W skład Instytutu Energii i Badań Klimatu (**IEK** niem. *Institut für **E**nergie- und **K**limaforschung*) wchodzi kilkadziesiąt grup badawczych dysponujących zaawansowaną aparaturą doświadczalną. Główne zadania stawiane przed pracującymi tam naukowcami to: uzyskanie materiałów oraz komponentów do przyszłych efektywnych systemów konwersji oraz magazynowania energii ze źródeł odnawialnych, opracowywanie nowatorskich wysokowydajnych ogniw fotowoltaicznych, ustalenie roli, jaką pełnią warstwy atmosfery (troposfera i stratosfera) w systemie klimatycznym Ziemi, także stworzenie systemu unieszkodliwiania odpadów nuklearnych. Ponadto uczeni w ramach współpracy międzynarodowej zajmują się fizyką plazmy, przygotowując technologie mające na celu urzeczywistnienie projektu zbudowania elektrowni opartej na syntezie termojądrowej.

W kolejnym obiekcie na terenie FZJ, czyli **H**elmholtz **N**ano **F**acility (**HNF**) znajdziemy z kolei spełniające najwyższe normy pomieszczenie czyste (tzw. clean room) o powierzchni 1200 m^2. W tym pozbawionym wszelkich zanieczyszczeń (pyłu, kurzu itp.) miejscu można wytwarzać mikro i nanostruktury przy użyciu rozmaitych technik, np. wytrawiania na sucho, depozycji, litografii wiązką elektronową czy też druku 3D. Otrzymane produkty wykorzystywane są m.in. jako zaawansowane podzespoły komputerowe.

Ponieważ o superkomputerach i laboratoriach biofizycznych będzie mowa w dalszej części artykułu, w tym miejscu wypada jeszcze wspomnieć o dwóch ważnych

[6] Mapy ośrodka w Jülich można znaleźć na stronie: https://www.fz-juelich.de/de/bfc/ueber-uns/adresse-anfahrt-und-lageplan (dostęp z 17.04.2024).

[7] Ernst August Friedrich Ruska był niemieckim fizykiem, który w 1931 r. skonstruował pierwszy mikroskop elektronowy, za co w 1986 r. otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki.

eprasa.pl fc7cb87889

Fot. 2. Stołówka tzw. „Seecasino", gdzie codziennie spotyka się międzynarodowe grono fizyków.

obiektach. Są one zlokalizowane w samym sercu kompleksu i trafi do nich zapewne każdy odwiedzający FZJ. Pierwszy to położona nad malowniczym stawem modernistyczna stołówka tzw. „Seecasino" (fot.2), gdzie pracujący w Jülich fizycy z całego świata spotykają się nie tylko, aby odpocząć i spożyć posiłki, ale również prowadzić ożywione dyskusje na tematy naukowe.

Po przeciwnej stronie zbiornika wodnego ulokowana jest natomiast główna biblioteka (fot.3), która zapewnia dostęp do ogromnego zbioru periodyków naukowych, książek, artykułów i patentów. Jej wnętrza mieszczą również dużą aulę wykładową oraz przestrzeń, gdzie podczas konferencji organizowane są sesje posterowe oraz wystawy. Jedną z nich poświęcono Peterowi Andreasowi Grünbergowi, zmarłemu w 2018 roku nobliście, który był zapewne najsłynniejszym pracownikiem Forschungszentrum Jülich. Przyjrzyjmy się zatem dokonaniom tego wielkiego uczonego.

Peter Grünberg i zjawisko gigantycznego magnetooporu

Podczas swojej wieloletniej pracy naukowej w FZJ Peter Grünberg zajmował się przede wszystkim badaniami z zakresu fizyki ciała stałego. Odkryte przez niego

Fot. 3. Główna biblioteka na kampusie w Jülich wraz z aulą wykładową.

eprasa.pl fc7cb87889

Fot. 4. Spektrometr rozpraszania światła Brillouina, który był wykorzystywany w pionierskich badaniach przez Petera Grünberga.

zjawisko gigantycznego magnetooporu GMR (*ang. Giant Magnetoresistance*) nie tylko przyczyniło się do rozwoju spintroniki, ale przede wszystkim pozwoliło zbudować dyski twarde o gigabajtowych pojemnościach. Ten kwantowo- mechaniczny efekt okazał się bowiem szczególnie przydatny podczas odczytu danych z pamięci masowej typu HDD. W uproszczeniu można powiedzieć, że głowica magnetorezystancyjna GMR, unosząc się kilka nm nad wirującym dyskiem, rejestruje minimalne zmiany namagnesowania, a te przekładają się na znaczne skoki oporu elektrycznego a zatem na uzyskiwany sygnał.

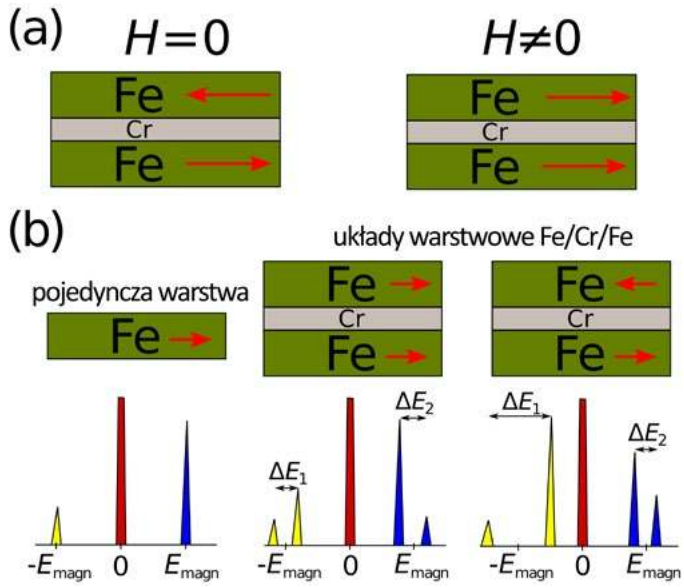
Warto wspomnieć, że w latach 80-tych XX w. podczas swoich pionierskich badań nad właściwościami układów warstwowych zbudowanych z magnetycznych i niemagnetycznych metali Peter Grünberg posługiwał się metodą rozpraszania światła Brillouina. Oryginalnie zachowany i wyeksponowany spektrometr wykorzystywany w tamtych pomiarach przedstawia fot. 4. To właśnie dzięki temu urządzeniu w 1986 roku odkryto, że dwie warstwy żelaza mogą „komunikować się" poprzez oddzielającą je warstewkę chromu o grubości zaledwie kilku atomów. To tzw. międzywarstwowe sprzężenie antyferromagnetyczne sprawia, że przyłożone pole magnetyczne o natężeniu $\boldsymbol{H}$, umożliwia momentom magnetycznym obu warstw żelaza odwracalnie przełączać się z ułożenia antyrównoległego w stanie podstawowym ($\boldsymbol{H}$ = O) do równoległego w stanie nasycenia ($\boldsymbol{H} \neq 0$), jak pokazano na rys.1 (a). Przewodnictwo elektryczne takiego układu warstwowego Fe/Cr/Fe jest zależne od względnego ułożenia momentów magnetycznych. Zatem nawet niewielkie, zewnętrzne pole magnetyczne może wywołać ogromną zmianę oporu elektrycznego.

Jak wcześniej wspomniano w pionierskich badaniach niemiecki naukowiec wykorzystywał spektroskopię Brillouina. Bazuje ona na niesprężystym rozpraszaniu fotonów światła na badanej powierzchni. Drgania sieci krystalicznej (fonony) oraz fale spinowe, czyli propagujące w krysztale kolektywne wzbudzenia spinowe (magnony) mogą być wówczas generowane lub zanikać w próbce. W przypadku materiałów magnetycznych energia rozproszonych fotonów E_{f_rozp} rośnie albo maleje o wartość energii magnonu E_{magn}, który uległ anihilacji bądź kreacji:

$$E_{f_rozp} = E_f \pm E_{magn}$$

Pomiar E_{f_rozp} odbywa się przy pomocy spektrometru, którego elementem składowym jest m.in. interferometr Febry'ego-Perota. Dzięki zastosowaniu odpowiednich zasad zachowania możliwe staje się wyznaczenie energii oraz pędu magnonu. Charakterystyka magnetycznych właściwości próbki uzyskiwana jest na podstawie wiedzy o dozwolonych modach fali spinowej oraz ich zależności od zewnętrznego pola magnetycznego.

Czytelnicy zapewne zastanawiają się, czym wyróżnia się widmo uzyskiwane dla konkretnych układów. W przypadku pojedynczej warstwy materiału magnetycznego dla danej geometrii rozpraszania dozwolony jest tylko jeden rodzaj magnonu. Z kolei dla dwóch identycznych, ale oddzielonych od siebie i oddziałujących warstw magnetyka obserwujemy rozdział modów spinowych na dwie gałęzie: akustyczną i optyczną. Gdy magnetyzacja we wspomnianych warstwach jest równoległa, rozczepienie energii w przypadku generowania ΔE_1 i anihilacji ΔE_2 magnonu jest identyczne (tzn. $\Delta E_1 = \Delta E_2$). Jeśli natomiast momenty magnetyczne w warstwach pozostają ustawione antyrównolegle, to $\Delta E_1 > \Delta E_2$, co obrazuje w sposób uproszczony rys. 1 (b). Peter Grünberg po raz pierwszy zarejestrował takie asymetryczne widmo rozpraszania światła Brillouina a tym samym odkrył międzywarstwowe sprzężenie antyferromagnetyczne. W 2007 roku za swoje wybitne osiągnięcia



Rys.1. (a) W układzie warstwowym Fe/Cr/Fe magnetyzacja dwóch warstw żelaza może odwracalnie przełączać się z ułożenia antyrównoległego (H = O) do równoległego (H ≠ 0). (b) Dla warstw o równoległej magnetyzacji $\Delta E_1 = \Delta E_2$, przy ustawieniu antyrównoległym $\Delta E_1 > \Delta E_2$.

[8] FLOPS lub flop/s (ang. *floating point operations per second*) – stosowana przez naukowców jednostka mocy obliczeniowej komputerów (1 FLOPS = 1 operacja/s).

eprasa.pl fc7cb87889

wraz z pracującym niezależnie francuskim naukowcem Albertem Fertem otrzymał Nagrodę Nobla z fizyki.

Superkomputery

Pozostając w temacie komputerów, koniecznie należy wspomnieć, że Forschungszentrum od lat słynie z posiadania maszyn o potężnej mocy obliczeniowej. W **JSC** (**J**ülich **S**upercomputing **C**entre), którego siedzibę pokazano na fot.5, wykorzystywane są one do prowadzenia interdyscyplinarnych badań. Wśród nich na szczególną uwagę zasługują prace nad zgłębianiem tajników złożonej struktury ludzkiego mózgu, prognozowaniem zmian klimatu, symulowaniem przebiegu reakcji chemicznych, modelowaniem procesów narodzin gwiazd a nawet wykonywaniem skomplikowanych kalkulacji optymalizacyjnych dla sektora transportu czy finansów.

Potrzeby obliczeniowe przy tego typu zadaniach mogą przekraczać 1 eksaflop/s, czyli 10^{18} operacji zmiennoprzecinkowych na sekundę.[8] Ponad 300 pracowników centrum dostarcza metody oraz narzędzia informatyczne a także know-how nie tylko badaczom z FZJ, ale także z wielu innych europejskich uczelni i ośrodków naukowych. Specjaliści IT oraz inżynierowie tworzą nowe algorytmy numeryczne, pracują nad rozwojem sztucznej inteligencji, technik uczenia maszynowego, doskonalą także metody wykonywania symulacji oraz obliczeń równoległych.

Samo działanie superkomputerów również wymaga rozwiązania wielu problemów natury technicznej, np. w jaki sposób zsynchronizować miliony rdzeni procesorów i efektywnie przydzielić im obciążenie a jednocześnie w maksymalny sposób zmniejszyć zużycie energii.

JSC obsługuje jeden z najpotężniejszych superkomputerów w Europie JUWELS. Fizyków zainteresuje na pewno fakt, że przetwarzał on dane zbierane przez NASA i wykorzystywane w projekcie detekcji fal grawitacyjnych w atmosferze. Zostały one wytworzone podczas gigantycznej erupcji wulkanu Hunga Tonga i Hunga Ha‘apai na Pacyfiku w 2022 roku. Szczegółowe informacje znaleźć można w artykule opublikowanym w czasopiśmie Nature.[9]

W tym miejscu warto przypomnieć wszystkim czytelnikom zasadę **FAIR**, którą kierują się wszyscy naukowcy, zajmujący się w swej pracy zarządzaniem, przechowywaniem i przetwarzaniem dużych ilości danych. Te, nawet po wielu latach, muszą być bowiem łatwe do znalezienia (***F**indable*), dostępne dla wszystkich (***A**ccessible*), możliwe do połączenia z innymi (***I**nteroperable*) oraz nadawać się do ponownego wykorzystania (***R**eusable*). Dzięki temu w przyszłości nawet inne zespoły badawcze będą mogły na ich podstawie przeprowadzać własne analizy z wykorzystaniem zapewne już znacznie nowocześniejszych metod i sprzętu. Przykładowo w Jülich rozwijany jest obecnie projekt **JUNIQ** (*ang. **J**ülich **UN**ified*

[9] C. J. Wright i inni, Surface-to-space atmospheric waves from Hunga Tonga–Hunga Ha’apai eruption, Nature 609, 2022, 741-747.

[10] Szczegółowe informacje o zakupie komputera kwantowego IQM znaleźć można na stronie: https://www.fz-juelich.de/en/news/archive/press-release/2024/expansion-of-julich2019s-quantum-computer-infrastructure (dostęp z 15.04.2024).

[11] O fizycznych podstawach radioterapii nowotworów przeczytać można w artykule: T. Kubiak, Od konwencjonalnej radioterapii fotonowej do terapii hadronowej, czyli fizyka w leczeniu nowotworów, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 6 (2015), s. 4-7.

Fot. 5. Siedziba centrum superkomputerowego JSC.

eprasa.pl fc7cb87889

Fot. 6. Budynek, w którym zlokalizowany jest Zakład Biomedycyny Obliczeniowej.

***I**nfrastructure for **Q**uantum Computing*), stanowiący pierwszą europejską infrastrukturę do obliczeń kwantowych.

Naukowcy z FZJ sprawdzają, w jaki sposób operacje wykonywane na klasycznych superkomputerach mogą zostać przyspieszone przez zastosowanie komputerów kwantowych. Technologie, które jeszcze do niedawna kojarzyły nam się jedynie z marzeniami wizjonerów czy opowiadaniami z kręgu science fiction, w niemieckim laboratorium stają się zatem jak najbardziej realne. Przykładem może być zakupiony w 2024 roku kwantowy komputer IQM Spark, który kosztował niespełna milion Euro. Bity kwantowe, czyli kubity są w nim generowane dzięki nadprzewodzącym elektronicznym obwodom rezonansowym, pracującym w temperaturze bliskiej zera absolutnego.[10] Zamysłem naukowców jest stworzenie hybrydowych systemów obliczeniowych poprzez integrację maszyn kwantowych z modułową klasyczną infrastrukturą superkomputerową Jülich.

Dodatkowo specjalna grupa badawcza QIP (od ang. ***Q**uantum **I**nformation **P**rocessing*) zajmuje się opracowywaniem prototypowych aplikacji oraz wdrażaniem obliczeń kwantowych w praktycznych zastosowaniach naukowych. Mogą mieć one związek z symulacją właściwości nowych materiałów, analizowaniem danych dotyczących jakości powietrza, modelowaniem zmian pogody czy klimatu oraz szeregiem aktualnych wyzwań optymalizacyjnych w zakresie sieci łańcuchów dostaw, projektowania leków a nawet planowania radioterapii nowotworów.[11] Ze względu na fakt, że badania biofizyczne w Forschungszentrum Jülich mają długą tradycję, warto przyjrzeć się im nieco bliżej.

Badania z zakresu biofizyki i fizyki materii miękkiej

Współpraca fizyków z przedstawicielami nauk medycznych oraz biologicznych rozwija się owocnie od wielu lat we wszystkich liczących się ośrodkach badawczych. Nie inaczej jest w FZJ, gdzie wiele realizowanych projektów ma charakter praktyczny i skupia się na rozwiązywaniu problemów trapiących współcześnie ludzkość. Przedmiotem zainteresowania jest zatem nie tylko dogłębne poznanie zasad funkcjonowania ludzkiego organizmu, ale również opracowanie wydajnych sposobów diagnostyki i terapii, aby uporać się z plagą nowotworów, chorób cywilizacyjnych oraz neurodegeneracyjnych, coraz powszechniejszych w dobie starzejącego się społeczeństwa.

Badacze z Instytutu Neuronauki i Medycyny **INM** (od niem. ***I**nstitut für **N**eurowissenschaften und **M**edizin*) w Jülich zgłębiają tajniki budowy i działania ludzkiego mózgu w różnych skalach przestrzennych i czasowych. W tym celu wykorzystują supernowoczesne metody neuroobrazowania, analizują duże ilości danych („Big Data") oraz przeprowadzają zaawansowane symulacje komputerowe.

Stali czytelnicy „Fizyki w Szkole" wiedzą już zapewne, że najlepszym narzędziem do wizualizacji anatomii naszego mózgu jest skaner MRI (*ang. Magnetic Resonance Imaging*).[12] Przypomnijmy tylko, że podczas takiego badania pacjent leży wewnątrz otworu urządzenia w silnym polu magnetycznym B_0, które generowane jest przez magnesy nadprzewodzące chłodzone ciekłym helem. Dodatkowo trzy zestawy cewek wytwarzają liniowe gradienty pola ($G_x = dB/dx$, $G_y = dB/dy$, $G_z = dB/dz$), niezbędne, aby móc zlokalizować źródła sygnałów rezonansu jądrowego dla poszczególnych elementów objętościowych, nazywanych wokselami.

W skład wyposażenia aparatu diagnostycznego wchodzą też cewki nadawczo-odbiorcze, generujące radio-impulsy B_1 i rejestrujące odpowiedź z wzbudzonych warstw. Na sygnał MRI oprócz lokalnej gęstości spinów ρ (wynikającej z zawartości wody czy lipidów w tkankach) wpływają także czasy relaksacji podłużnej T_1 (spin – sieć) oraz poprzecznej T_2 (spin-spin). Chociaż pierwsze badania metodą MRI przeprowadzane były już w latach 70-tych XX w, technika ta jest wciąż aktywnie rozwijana. W Forschungszentrum Jülich naukowcy pracują m.in. nad

[12] Obrazowaniu metodą MRI poświęcono artykuł: T. Kubiak, Od protonów do diagnostyki, czyli obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 4 (2017), s. 4-9.

[13] O badaniach EEG przeczytać można w tekście: T. Kubiak, Elektroencefalografia, czyli jak fizyka pomaga odkrywać tajemnice mózgu, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 6 (2016), s. 4-6.

eprasa.pl fc7cb87889

stworzeniem nowych metod i sekwencji do obrazowania strukturalnego, czynnościowego a także ilościowego.

Pomimo faktu, iż MRI ze wzmocnieniem kontrastowym stosuje się obecnie powszechnie do wykrywania guzów mózgu, istnieje potrzeba uzyskania jeszcze lepszej charakterystyki tkanki nowotworowej. Dlatego już w 2009 roku w FZJ uruchomiono hybrydowy tomograf PET-MR. Łączy on obrazowanie magnetyczno-rezonansowe (B_0 = 9,4 T) z pozytonową tomografią emisyjną PET (ang. ***P**ositron **E**mission **T**omography*). Dzięki temu możliwe staje się nie tylko dokładne ukazanie struktury mózgu, ale również badanie jego metabolizmu. W tym celu opracowano nowy radiofarmaceutyk, będący znakowanym radioaktywnie aminokwasem. ^{18}F-fluoro-ethyl-L-tyrozyna (FET) jest przeznaczona właśnie do diagnostyki guzów nowotworowych (np. glejaków z przerzutami). Obecnie wciąż trwają przedkliniczne oraz kliniczne testy innowacyjnych preparatów radioizotopowych przydatnych w obrazowaniu multimodalnym PET/MR zarówno prawidłowego jak i zaburzonego przez stany chorobowe metabolizmu mózgu.

Oczywiście eksperymenty prowadzone w FZJ obejmują też udoskonalanie pozostałych metod badawczo-diagnostycznych. Już w 1994 roku rozpoczęto tu analizowanie czynności mózgu z wykorzystaniem magnetoencefalografii (MEG). Współcześnie rozwija się również inne, nieinwazyjne, wielomodalne metody oceny pracy tego narządu, takie jak EEG-fNIRS. W tym przypadku kluczowe staje się połączenie danych z elektroencefalografii (EEG)[13], które cechuje wysoka rozdzielczość czasowa z informacjami uzyskanymi z funkcjonalnej spektroskopii bliskiej podczerwieni fNIRS (ang. *functional near-infrared spectroscopy*). Te ostatnie charakteryzują się znacznie lepszą rozdzielczością przestrzenną.

Warto podkreślić, że projekty z zakresu fizyki biomedycznej wymagają przeprowadzania badań z udziałem ludzi (zarówno zdrowych ochotników jak również cierpiących na nowotwory czy choroby Alzheimera albo Parkinsona). Oprócz wykonywania pomiarów, konieczne jest również opracowywanie nowych metod analizy danych[14], przede wszystkim algorytmów uczenia maszynowego, a w tym uczenia głębokiego.

Niezwykłą a zarazem niezwykle przydatną ciekawostkę stanowi stworzony w FZJ (przy współpracy z Uniwersytetem McGilla w Montrealu) trójwymiarowy, cyfrowy atlas mózgu „Big Brain" 3D.[15] Ta swoista mapa cytoarchitektoniczna posiada rozdzielczość 20 µm. Aby wygenerować taki zbiór danych zatopiony w parafinie mózg 65-letniego mężczyzny pocięto na 7404 sekcje o grubości 20 mikrometrów i wybarwiono w poszukiwaniu ciał komórkowych. Dzięki rekonstrukcji cyfrowej stworzono powszechnie dostępne narzędzie do mapowania tego narządu. Naukowcom pomaga ono w integracji danych multimodalnych z przestrzenią anatomiczną, a wszystkim zainteresowanym ułatwia poznanie struktury mózgu z mikroskopową dokładnością.

Narzędzia informatyczne niezbędne do przeprowadzania skomplikowanych symulacji molekularnych, badania neurotransmisji w ludzkim mózgu a także rozwijania technik uczenia maszynowego opracowywane są w Zakładzie Biomedycyny Obliczeniowej (jego siedzibę przedstawia fot.6), który działa w ramach Instytutu Zaawansowanych Symulacji **IAS** (ang. ***I**nstitute for **A**dvanced **S**imulation*). Dzięki temu możliwe jest rozwiązywanie skomplikowanych problemów z neurobiologii, np. tworzenie matematycznych modeli szlaków przekazywania sygnału przez receptory sprzężone z białkiem G.

Niewtajemniczonym warto wyjaśnić, iż wspomniane receptory są odpowiedzialne za przekazywanie sygnałów przez dwuwarstwę lipidową do wnętrza komórki. Innym ciekawym zagadnieniem jest tzw. cyfrowa neurofarmakologia. Ułatwia ona optymalne projektowanie leków i ocenę ich potencjalnego działania na poziomie molekularnym. Oczywiście wszystko to odbywa się dzięki modelowaniu i zaawansowanym symulacjom przeprowadzanym przy użyciu superkomputerów.

Olbrzymie centra, takie jak Forschungszentrum Jülich, stanowią niewątpliwie przyszłość światowej nauki, nie tylko ze względu na imponującą infrastrukturę badawczą oraz ogromy budżet, ale przede wszystkim dzięki międzynarodowemu gronu wybitnych specjalistów. Łączą oni siły, aby zgłębiać tajniki przyrody i zmieniać świat poprzez swoje innowacyjne wynalazki. Miejmy świadomość, że chociaż podstawę ich pracy stanowi oczywiście fizyka, kluczem do sukcesu pozostaje interdyscyplinarność a także aplikacyjność podejmowanych badań.

dr Tomasz Kubiak
Akademia Nauk Stosowanych im. Hipolita Cegielskiego w Gnieźnie

LITERATURA:

[1] D. Bürgler, A. Wenzik, Nobel Prize in Physics 2007, Forschungszentrum Jülich GmbH, 2018.
[2] S. Tyroller i inni, 60 Years of Research at the Centre. Exhibition Booklet. Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich 2016.
[3] T. Lippert, K. Michielsen, Perspectives of Quantum Computing at the Jülich Supercomputing Centre, NIC Series, tom. 51, 2022, s. 3-23.
[4] J. Mauler i inni, Diagnostic Accuracy of MR Spectroscopic Imaging and ^{18}F-FET PET for Identifying Glioma: A Biopsy-Controlled Hybrid PET/MRI Study, Journal of Nuclear Medicine 65(1), 2024, 16-21.
[5] A. Heinzel i inni, Two Decades of Brain Tumour Imaging with O-(2-[^{18}F]fluoroethyl)-L-tyrosine PET: The Forschungszentrum Jülich Experience, Cancers 14, 2022, 3336.
[6] C. Paquola i inni, The BigBrainWarp toolbox for integration of BigBrain 3D histology with multimodal neuroimaging, eLife 10, 2021, e70119.
[7] P. Grünberg, D. E. Bürgler, Metallic Multilayers: Discovery of Interlayer Exchange Coupling and GMR, Handbook of Spintronics, Springer Science+Business Media Dordrecht 2016, 107-126.

ŹRÓDŁA INTERNETOWE (DOSTĘP 22.04.2024):

[1] https://www.fz-juelich.de/en/ias/jsc/
[2] https://www.jen-juelich.de/projekte/forschungsreaktor-frj-2-dido
[3] https://www.fz-juelich.de/en/ikp/research/accelerators
[4] https://www.fz-juelich.de/en/er-c
[5] http://collaborations.fz-juelich.de/ikp/wasa/index.shtml
[6] https://www.fz-juelich.de/en/iek
[7] https://www.fz-juelich.de/en/inm
[8] https://www.fz-juelich.de/en/hnf

[14] Warto sięgnąć po artykuł: T. Kubiak, Sygnały i obrazy, czyli fizyka w przetwarzaniu i analizie danych biomedycznych, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 3 (2020), s. 4-12.

[15] Atlas znajduje się na stronie: https://julich-brain-atlas.de/atlas/bigbrain (dostęp 22.04.2024)

eprasa.pl fc7cb87889

Trzy niezwykłe liczby

Wszechświat powstał wraz ze swoimi uniwersalnymi prawami fizyki. Działają one zawsze i na wszystkich poziomach złożoności. Fizyka jest niezwykle piękną dziedziną, bo dzięki niej możemy te prawa poznawać. A dzięki nim mamy poczucie rozumienia przyrody, która mimo swej różnorodności ma podłoże cudownie spójne, logiczne i mało skomplikowane.

Foto – Dreamstime

Maciej **Panczykowski**

W prawach fizyki zauważyć możemy obecność pewnych stałych, które są ważne i łatwo przez fizyków rozpoznawalne. Mam tu na myśli: prędkość światła w próżni oznaczaną symbolem „c", stałą Plancka z symbolem „h" i stałą grawitacyjną – oznaczaną jako „G".

Oto ich wartości przy jednostkach z układu SI:

c: **299 792 458** m/s

h: **6,626 · 10^{-34}** J · s

G: **6,674 · 10^{-11}** N · m^2/kg^2

Prędkość światła w próżni jest stałą, która szczególnie często występuje we wzorach szczególnej teorii względności. Stała grawitacyjna znana jest z matematycznej postaci prawa powszechnego ciążenia ($F = GMm/r^2$), a stała Plancka jest integralną częścią najważniejszego w mechanice kwantowej **równania Schrödingera** i występuje też we wzorze na energię fotonu ($E = h\nu$).

Można znaleźć też w fizyce obszary, w których ważne są dwie z trzech omawianych w tym artykule stałych. W ogólnej teorii względności, będącej relatywistyczną teorią grawitacji, w najważniejszym jej równaniu czterotensorowym występują stałe: „G" i „c":

$$G_{\mu\nu} = \frac{-8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

gdzie: $G_{\mu\nu}$ – tensor Einsteina, $T_{\mu\nu}$ – tensor energii-pędu.

W relatywistycznej teorii kwantowej oddziaływań elektromagnetycznych – **elektrodynamice kwantowej** (QED) ważne są stałe: „h" i „c". Przykładem jest wzór na stałą struktury subtelnej (α), będącą tak zwaną stałą sprzężenia wyznaczającą siłę oddziaływań elektromagnetycznych:

$$\alpha = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 hc} \approx \frac{1}{137}$$

gdzie: e – ładunek elementarny, ε_0 – przenikalność elektryczna próżni.

Co ciekawe, znając przenikalność elektryczną i magnetyczną próżni, możemy obliczyć prędkość światła w próżni:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

Przypuszcza się, że w przypadku sformułowania z sukcesem kwantowej teorii grawitacji (kandydatki do teorii wszystkiego), w jej wzorach przewijać się będą wszystkie trzy stałe. Jak dotąd, kwantowa grawitacja nie istnieje i są duże kłopoty z jej ujęciem. Jest tak w wyniku pojawiania się w jej próbnych równaniach nieznośnych nieskończoności, których nie da się nawet usunąć za pomocą technicznego triku matematycznego (tzw. **renormalizacji**). Trik ten działa np. w przypadku QED.

Być może jest tak, że nasza wiara w to, że grawitację trzeba skwantować potrzebuje pewnej pokory. A co jeśli w przyszłości okaże się, że trzeba „ugrawicić" (to jest: uklasycznić) kwanty?

Mimo, że kwantowa grawitacja jest cały czas w sferze różnych prób sformułowania, istnieją w fizyce ciekawe wzory matematyczne, w których występują wszystkie trzy stałe, będące bohaterkami tego artykułu.

Oto wzór na tak zwaną **długość Plancka** (L_P) – najkrótszą odległość jaką obecnie możemy sobie w fizyce wyobrazić, na jakiej działają znane prawa fizyki:

$$L_P = \sqrt{\frac{hG}{2\pi c^3}} = 1{,}616 \cdot 10^{-35} \text{ metra}$$

Długość Plancka jest o 62 rzędy wielkości krótsza niż średnica widzialnego Wszechświata (10^{27} metrów).

Jeśli w przyszłości okaże się, że przestrzeń ma strukturę ziarnistą, niekoniecznie długość Plancka okaże się być średnicą ziarna. Jest jednak ciekawe, że możliwe jest wyznaczenie z trzech wielkich stałych liczby o wymiarze długości.

Czas Plancka (t_p) – to czas potrzebny do pokonania przez światło długości Plancka:

eprasa.pl fc7cb87889

$$t_P = \frac{L_P}{c} = \sqrt{\frac{hG}{2\pi c^5}} = 5,39 \cdot 10^{-44} \text{ sekundy}$$

Przez jeden czas Plancka, od początku Wielkiego Wybuchu, nie działały znane nam prawa fizyki.

Znany brytyjski fizyk – Stephen Hawking, podczas prac nad kwantową grawitacją, sformułował tak ciekawy wzór, że muszę go przedstawić. Zawiera oprócz trzech wielkich stałych, czwartą – ważną w fizyce – stałą Boltzmanna (k) znaną ze słynnego wzoru na entropię (S = k · lnW). Wzór poniższy pozwala obliczyć temperaturę czarnej dziury o masie M (ma ona podobno niezerową temperaturę, bo paruje, czyli emituje cząstki elementarne).

$$T = \frac{hc^3}{16\pi^2 kGM}$$

Warto też zwrócić uwagę na poniższą liczbę. Z przyczyn historycznych nosi ona nazwę **„klasycznego promienia elektronu"** (była wyznaczana z założenia, że cała masa spoczynkowa elektronu ma pochodzenie elektromagnetyczne):

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{m_e c^2}$$

gdzie: e – ładunek elementarny, ε_0 – przenikalność elektryczna próżni, m_e – masa spoczynkowa elektronu

Ta liczba to około $2,8 \cdot 10^{-15}$ metra. Jest zatem rzędu femtometra i jest o 20 rzędów wielkości większa niż długość Plancka. Trzeba tu podkreślić, że rzeczywisty promień elektronu wcale nie musi mieć takiej wartości (dla będących przekonanymi, że wcale nie jest on i nie może być ani punktem ani tajemniczą falą).

Niezwykłym i tajemniczym zjawiskiem fizyki jest anihilacja cząstki i antycząstki (np. elektronu z pozytonem). To zdumiewające, że zderzające się dwie równe masy znikają i w ich miejsce pojawiają się 2 lub 3 fotony (w zależności od ustawień spinów cząstek wejściowych). Myślę, że pokazanie mechanizmu tego fantastycznego zjawiska będzie możliwe w przyszłości tylko wtedy, gdy będziemy znali struktury: elektronu, pozytonu i fotonu.

Obliczmy „długość fali elektromagnetycznej" każdego z dwóch fotonów po anihilacji (zauważmy, że we wzorze otrzymanym obecne są dwie wielkie stałe).

$$2h\nu = 2m_e c^2$$

$$h\nu = m_e c^2$$

$$\frac{hc}{\lambda} = m_e c^2$$

$$\lambda = \frac{h}{m_e c}$$

Wzór ten jest podobny do wzoru de Broglie'a na długość fali materii cząstki o masie „m" poruszającej się z prędkością „v": λ=h/mv. Otrzymana przez nas „długość fali elektromagnetycznej" jest taka, jaką miałby elektron (lub pozyton) poruszający się z prędkością światła (co w praktyce nie jest możliwe, bo cząstki te mają niezerową masę spoczynkową).

Wybitny polski fizyk – Michał Gryziński znany był ze swojej krytyki koncepcji fal materii. Uważał, że fale materii nie istnieją, a tylko spin cząstki dokonuje precesji podczas jej ruchu i na drodze równej długości fali materii następuje pełen jego obrót. Nie wierzył on również w fale elektromagnetyczne. Uważał, że np. światło składa się zawsze z cząstek (fotonów).

Zdecydowanie zgadzam się z takim podejściem. Matematyka i fizyka to dwie piękne dziedziny, ale nie są one identyczne i nie należy ich mieszać. I z tego wynika, moim zdaniem, cały problem kwantowych interpretacji (więcej na ten temat można przeczytać w moim artykule w nr 6/2023 Fizyki w Szkole).

Nikt jak do tej pory nie przedstawił przekonującego modelu fotonu. Byłoby świetnie wiedzieć: czym foton jest i jaką ma strukturę? Spróbuję tutaj odpowiedzieć na te pytania wykorzystując wiedzę fizyczną i myśląc.

Są w fizyce dwa wzory na energię fotonu: E = hν (ν – częstotliwość drgań) oraz E = pc (p – pęd fotonu). Idźmy dalej:

$$h\nu = pc$$

$$\frac{hc}{\lambda} = pc$$

$$\frac{h}{\lambda} = p$$

A teraz zróbmy trik i zapiszmy pęd w takiej postaci: $p = E/c = c \cdot E/c^2 = m_{rel} \cdot c$, gdzie m_{rel} to relatywistyczna masa fotonu (foton oddziałuje grawitacyjnie).

$$\frac{h}{\lambda} = m_{rel} c$$

$$\lambda = \frac{h}{m_{rel} c}$$

A teraz zauważmy, że spin fotonu wynosi $+\hbar$ lub $-\hbar$ ($\hbar$ – zredukowana stała Plancka = $h/2\pi$). Skoro $h = 2\pi\hbar$, to weźmy pod uwagę to, że spin to wewnętrzny moment pędu i próbnie przedstawmy go z założeniem, że coś w fotonie kręci się dookoła osi (kierunku ruchu) i jest to jego masa relatywistyczna. Robi to z prędkością „v" i w odległości „r" od osi.

$$\lambda = \frac{2\pi m_{rel} \mathrm{v}}{m_{rel} c} r \qquad \lambda = \frac{\mathrm{v}}{c} 2\pi r$$

Mamy już gotowy wynik. Foton to pierścień zmienionej przestrzeni (oddziałującej grawitacyjnie), który ma promień „r" i obwód „2πr". „Długość fali elektromagnetycznej" to po prostu liczba obwodów tego pierścienia wyznaczana przez iloraz prędkości wewnętrznego obrotu do prędkości jego poruszania się (c). Prędkość wewnętrznego obrotu może być dowolna, dlatego fotony mają różne „długości fali". Foton-pierścień może kręcić się w prawo lub w lewo (prawoskrętny lub lewoskrętny; dlatego spin fotonu względem kierunku ruchu to: $+\hbar$ lub $-\hbar$). Niewykluczona jest możliwość precesji.

Maciej Panczykowski
Katowice, 2024.05.15

eprasa.pl fc7cb87889

Żywoty fizyków

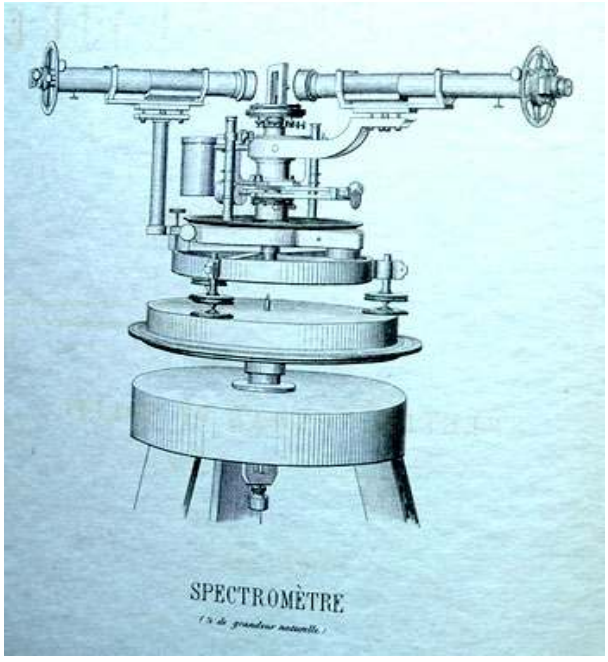
Anders Jonas Ångström

Tadeusz **Wibig**

Anders Jonas Ångström urodził się 13 sierpnia 1814 roku w Lögdö w Szwecji. Niektórzy utrzymują, że akurat wtedy na niebie rozgrywał się niezwykły spektakl całkowitego zaćmienia Słońca, nie jest to jednak prawda. Zaćmienie rzeczywiście miało miejsce, ale tydzień później, a dokładnie 21. A więc to, że Słońce odegrało w życie Ångströma dużą rolę nie wynikało z przyczyn astrologicznych. Trudno też przypuszczać, by tygodniowy Ångström zachował to niecodzienne zdarzenie w pamięci.

Jego ojciec, duchowny luterański Johan Ångström zapewnił wszystkim swoim synom solidne wykształcenie. Anders uczył się najpierw w pobliskim Härnösand, a od roku 1833 roku na Uniwersytecie w Uppsali, gdzie niebawem uzyskał doktorat z fizyki. Po kilku latach przeniósł się do Obserwatorium Astronomicznego do Sztokholmu, aby po roku wrócić do Uppsali i zostać szefem tamtejszego Obserwatorium i ostatecznie kierownikiem całego wydziału fizyki.

Początkowo zainteresował się polem magnetycznym i przeprowadził szereg pomiarów badając, jak wygląda ziemskie pole magnetyczne w różnych rejonach Szwecji. Praca ta została doceniona po latach, kiedy postawiono przed nim zadanie opracowania wyników uzyskanych podczas podróży dookoła świata fregatą *Eugenie* w latach 1851-53. Rezultaty naukowe tej podróży zostały opublikowane przez Królewską Szwedzką Akademię Nauk w całości dopiero w roku 1910 w *Kongliga Svenska fregatten Eugenies Resa Omkring Jorden under befäl af C.A. Virgin. Aren 1851--1853*. Trzecia część tego dzieła współautorstwa Ångströma poświęcona była wynikom fizycznym i zawierała poza informacjami nautycznymi, meteorologicznymi i obserwacjami astronomicznymi poczynionymi w jej trakcie także wyniki pomiarów ziemskiego pola magnetycznego.



Spektrometr Ångströma

***Anders Jonas Ångström** – portret Huldy Schensona https://commons.wikimedia.org/*

Głównym jednak zajęciem Ångströma jako astronoma było oczywiście przyglądanie się niebu, ale nie takie zwykłe, jak to robili przed nim i po nim liczni astronomowie: patrzył on bowiem na niebo przez pryzmat. A cóż można zobaczyć patrząc przez pryzmat? Od czasu Newtona, czyli co najmniej od 1666 roku, ale chyba już znacznie wcześniej, wiadomo było, że pryzmat rozszczepia światło na zestaw barw podstawowych, czyli takich, których już dalej rozszczepić się nie da. Tak powstaje tęcza. Ale w patrzeniu Ångströma chodziło o coś więcej. W tym, co zwyczajni ludzie widzą jako tęczę, fizycy widzą widmo (z łaciny: *spektrum*), a w nim można zobaczyć znacznie więcej niż tylko harmonijnie ułożone siedem kolorów. Ångström był jednym z pierwszych, którzy zorientowali się w bogactwie wimd. Pierwszeństwo na tym polu przysługuje jednak angielskiemu chemikowi i fizykowi **Williamowi Hyde Wollastonowi**. W roku 1802 zbudował on profesjonalny spektroskop i zobaczył w widmie Słońca siedem ciemnych linii. Wollaston sądził, że to są po prostu zaznaczone dla jasności granice kolorów, tylko skąd one miałyby się brać i kto, i dlaczego je tak pozaznaczał? Badaniem problemu zajął się bardzo poważnie **Joseph Ritter von Fraunhofer** i w roku 1814 opublikował wyniki swoich studiów. Linii było znacznie więcej, naliczył ich 574. Ponadto znalazł je w widmach sześciu jasnych gwiazd, ale też w świetle odbitym od Księżyca, Marsa,

eprasa.pl fc7cb87889

Wenus. Dziś te ciemne linie nazywają się od jego imienia *liniami Fraunhofera*. Ich pochodzenie ciągle jednak pozostawało zagadką. Ostatecznie problem teoretycznie został rozwiązany przez **Bunsena** i **Kirchhoffa** w 1859 roku.

Ångström w międzyczasie obserwując widmo słoneczne znalazł w nim ponad 1000 linii. Zmierzył odpowiadające im długości fali i wyniki te opisał w *Recherches sur le spectre solaire* (Badania widma słonecznego) opublikowanym w 1868 roku. Przez lata było niekwestionowanym źródłem pewnej wiedzy, przynajmniej, jeśli chodzi o długości fal linii w widmach. Opisanie widma Słońca było może największym, na pewno najbardziej znanym, ale nie jedynym jego naukowym osiągnięciem.

Przez pryzmat można przyglądać się wszystkiemu i Ångström także nie poprzestał na patrzeniu w Słońce. Jeszcze w 1653 roku popatrzył na wyładowania w gazach i odkrył, że w ich widmach widać wyraźnie dwie rodziny linii: jedne związane są materiałem elektrod, a inne definiuje gaz,

Zorza polarna widziana z Międzynarodowej Stacji Kosmicznej.

Konkurs Fizyczne Ścieżki

NARODOWE CENTRUM BADAŃ JĄDROWYCH ŚWIERK

INSTYTUT FIZYKI POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Ogólnopolski konkurs prac uczniowskich *Fizyczne Ścieżki*

Narodowe Centrum Badań Jądrowych i Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk zapraszają do udziału w XX edycji konkursu *Fizyczne Ścieżki*.

W konkursie mogą brać udział:
- Uczniowie szkół średnich (w tym branżowych)
- Uczniowie szkół podstawowych z klas 7 i 8

Konkurs odbywa się w 3 kategoriach:
- Praca naukowa
- Pokaz zjawiska fizycznego
- Esej

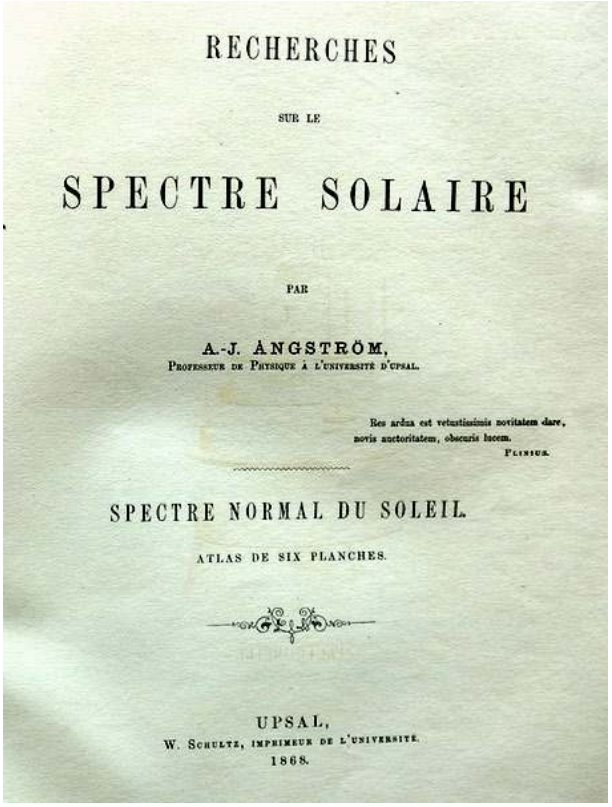
Na autorskie prace uczniów organizatorzy czekają do 31 stycznia 2025 r.

Regulamin oraz szczegółowe informacje o konkursie dostępne są na stronie internetowej: fizycznesciezki.pl

Zachęcamy również do zapoznania się z ofertą edukacyjną Działu Edukacji i Szkoleń Narodowego Centrum Badań Jądrowych: www.deis.ncbj.gov.pl

Projekt *Organizacja XIX i XX edycji ogólnopolskiego konkursu fizycznego Fizyczne Ścieżki* dofinansowany ze środków budżetu państwa, przyznanych przez Ministra Edukacji i Nauki w ramach Programu „Społeczna odpowiedzialność nauki II".

eprasa.pl fc7cb87889



RECHERCHES

SUR LE

SPECTRE SOLAIRE

PAR

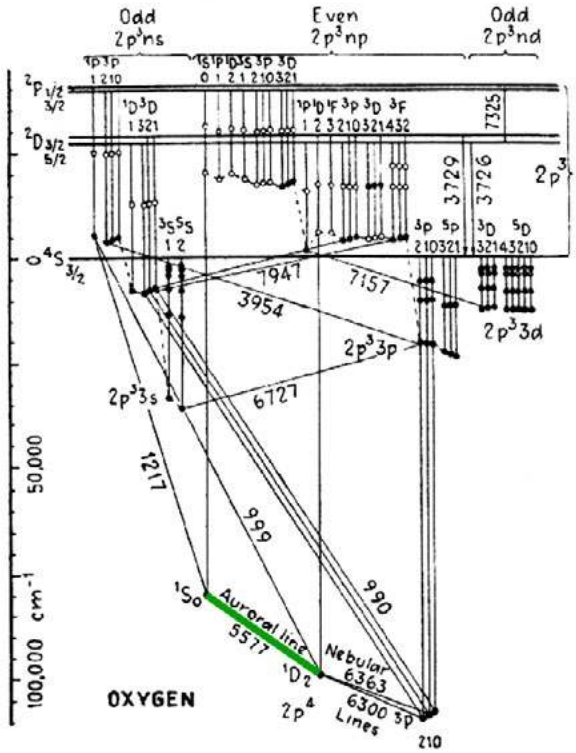
A.-J. ÅNGSTRÖM,
PROFESSEUR DE PHYSIQUE À L'UNIVERSITÉ D'UPSAL.

Res ardua est vetustissimis novitatem dare,
novis auctoritatem, obscuris lucem.
PLINIUS.

SPECTRE NORMAL DU SOLEIL.

ATLAS DE SIX PLANCHES.

UPSAL,
W. SCHULTZ, IMPRIMEUR DE L'UNIVERSITÉ.
1868.



Poziomy i przejścia energetyczne w atomowym tlenie wg. H. E. White'a z roku1934.

w którym zachodzi wyładowanie. Odkrycie to było może nawet ważniejsze od obserwacji linii na Słońcu. **Arthur Leonard Schawlow** laureat Nagrody Nobla z 1981 roku zaczął swój wykład noblowski słowami „*Spektroskopia naukowa tak naprawdę rozpoczęła się w Uppsali w Szwecji, gdzie Anders Ångström w 1853 r. wykazał, że niektóre linie w widmie iskry elektrycznej pochodzą z metalowych elektrod, a inne z gazu znajdującego się między nimi*".

Ångström popatrzył też w 1868 roku przez swój spektroskop na zorzę polarną. Był w tym szczęśliwym położeniu, że w Uppsali można je zobaczyć znacznie częściej niż w krajach bardziej południowych. W widmie zorzy stwierdził istnienie wyraźnej zielonej linii, co obalało teorię, że zorza to odbite od kryształków lodu światło słoneczne.

Historia i pochodzenie zielonej linii wcale nie było jasne. Dopiero mniej więcej sto lat temu znaleziono ją wśród wielu innych możliwych przejść energetycznych w tlenie, a nie było to łatwe, co ilustruje choćby rysunek.

Wyrażanie długości fali światła w metrach byłoby bardzo nieporęczne, niepraktyczne i mogłoby nawet prowadzić do nieporozumień. Mierząc więc długości fali swoich linii widmowych Ångström używał specyficznej jednostki równej jednej dziesięciomiliardowej części metra (10^{-10} m). Problem w tamtych czasach polegał na tym, że metr był zdefiniowany jako odległość między dwoma kreskami na pręcie platynowo-irydowym przechowywanym w *Bureau international des poids et mesures* w Paryżu. Względna dokładność takiego standardu metra nie przekraczała 10^{-4}, stąd jednostka Ångströma przekładała się niedokładnie na paryski wzorzec. Z tej niespójności narodziła się dziesięć lat po śmierci Ångstroma errata do jego *Recherches,* jaką opublikował jego kolega Robert Thalén. Okazało się, że „linijka", jakiej Ångstrom używał była nieco krótsza, niż być powinna, co spowodowało błędy systematyczne, nie sięgające jednak nawet jednego promila.

W końcu przedefiniowano, za sprawą między innymi **Alberta Abrahama Michelsona** (tego od doświadczenia Michelsona-Morleya), metr na 1553163,5 krotność długości fali światła emitowanego przez specjalnie przygotowane pary kadmu. W 1907 roku przyszła *Międzynarodowa Unia Astronomiczna* zdefiniowała jednostkę długości nazwaną „angstrom" i przyjęła oznaczenie **Å** (taka litera alfabetu szwedzkiego – duże A z kółeczkiem u góry) na 1/6438,4696 długości tej linii. Zaakceptowała to *Międzynarodowa Konferencja Wag i Miar* w 1927 roku i od tego czasu **Å** był oficjalnie w użyciu. I tak trwał aż do roku 1960, kiedy to zunifikowano miary długości i **Å** stał się już tylko dziesiątą częścią **nanometra**. Ostatecznie w roku 2019 ta sama *Konferencja* nakazała powstrzymanie się od używania angstrema. Ångstrom nie znalazł się też w wykazie jednostek dopuszczonych do użycia w Unii Europejskiej (dyrektywa 2009/3/EC „*on the approximation of the laws of the Member States relating to units of measurement...")*.

Poza patrzeniem na różne rzeczy przez spektroskop Ångström miał swoje osiągnięcia i w innych dziedzinach. Należy tu wspomnieć o opracowaniu przez niego metody pomiaru przewodności cieplnej. Pokazał, że ma ona ścisły związek z przewodnością elektryczną. Dziś specjalnie nas to nie dziwi, bo jest to logiczny wniosek, jeśli popatrzymy na to z mikroskopowego punktu widzenia, Ångströmowi jednak ten punkt nie był znany.

eprasa.pl fc7cb87889

Doświadczenie domowe:

Przewodnictwo cieplne

A. Potrzebne materiały
1. Miedziany drut o średnicy ok 2 mm i długości 20 cm
2. Świeczka
3. Zapałki
4. Metr cienkiej nitki
5. 6 spinaczy biurowych
6. Elementy, na których można będzie oprzeć drut

B. Narzędzia: nożyczki
C. Kolejność czynności
1. Zapalić świeczkę.
2. Uciąć 6 kawałków nitki o długościach ok.15 cm dla ambitnych.
3. zbudować konstrukcję, na której można będzie ułożyć drut tak, by mieściła się pod nim zapalona świeczka.
4. Maczając koniec zapałki w roztopionej stearynie przykleić nią do drutu końcówki nitek w odległościach od siebie 1-2 cm. Należy postarać się o to, aby ilość stearyny i ogólnie sposób przyklejenia nitek był zawsze taki sam, lub podobny.
5. Na drugich końcach nitek przyczepić spinacze biurowe.
6. Umieścić drut z przymocowanymi do niego obciążonymi nitkami na podstawach.
7. Poczekać, aż nitki przestaną się wahać.
8. Przesunąć ostrożnie zapaloną świeczkę pod drut tak, aby płomień ogrzewał go po jednej stronie przymocowanych nitek.
9. Włączyć stoper.
10. Notować chwile w jakich odklejają się od drutu kolejne nitki.
11. Uzupełnić tabelkę, taką jak ta pokazana na przykładzie doświadczenia wykonanego przez autora:

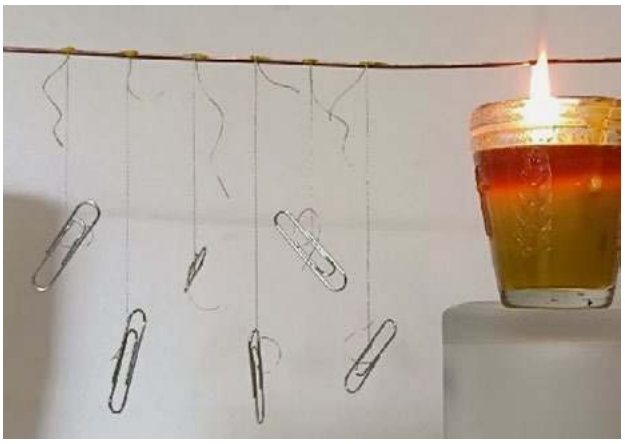
Numer nitki	Czas odpadnięcia [s]	Różnica kolejnych czasów [s]
1	8.2	5.7
2	13.9	8.1
3	22.0	19.5
4	42.5	10
5	52.2	20
6	72	

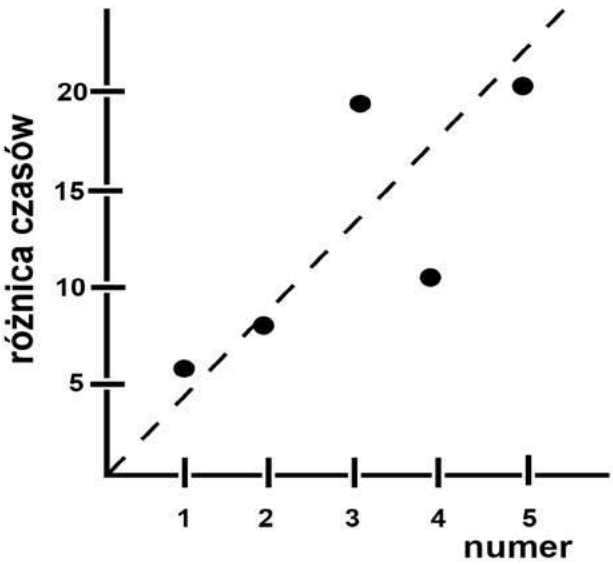
12. I sporządzić wykres, taki jak ten pokazany obok.

Jeśli wszystko przebiegnie zgodnie z planem punkty na wykresie powinny z grubsza układać się na linii prostej. Analizując to głębiej można dojść do daleko idących wniosków włącznie z prawem Fouriera opisującym dyfuzyjny charakter przepływu ciepła, ale to jest trochę skomplikowane.

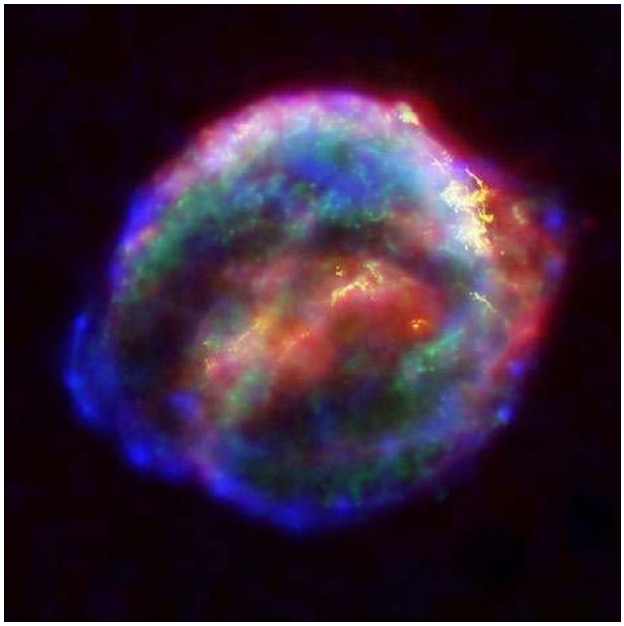
Znany skądinąd **Jan Ingenhousz**, biolog, chemik, odkrywca fotosyntezy, wykonał w 1870 roku proste doświadczenie. Opisał je w liście do **Benjamina Franklina**:

Pamiętasz, że dałeś mi drut z pięciu metali, wszystkie przeciągnięte przez ten sam otwór, a mianowicie jeden ze złota, jeden ze srebra, miedzi, stali i żelaza. Dołożyłem do nich jeszcze dwa: jeden z cyny, a drugi z ołowiu. Zamocowałem te siedem drutów w drewnianej ramie w równej odległości jeden od drugiego [...] Zanurzyłem wszystkie siedem w roztopionym wosku. Gdy je wyjąłem, były pokryte warstwą wosku o jednakowej grubości na wszystkich drutach. Umieściłem je wszystkie w glinianym naczyniu wypełnionym oliwą z oliwek podgrzaną do kilku stopni poniżej wrzenia, uważając, aby każdy drut był zanurzony w oliwie tak samo głęboko. Ponieważ wszystkie zostały zanurzone w tej samej chwili i w tym samym oleju, można wnioskować, że drut, na którym wosk został stopiony najwyżej, był najlepszym przewodnikiem ciepła. Srebro przewodziło ciepło zdecydowanie najlepiej ze wszystkich innych metali, następnie miedź, złoto, cyna, żelazo, stal, ołów.





eprasa.pl fc7cb87889



Mgławica pozostała po Supernowej Keplera, SN 1604
https://pl.wikipedia.org/wiki/Supernowa#/media/Plik:Keplers_supernova.jpg

CREDO-Maze; promieniowanie kosmiczne – rejs ku Wyspie Stabilności.

Wiemy już od końca lat 40 ubiegłego wieku, że w promieniowaniu kosmicznym docierają do Ziemi przede wszystkim jądra atomów [1]. Pisaliśmy o tym w tekście *„CREDO-Maze: promieniowanie kosmiczne czyli właściwie co?”* [2]. Zajmowaliśmy się tam jądrami względnie lekkimi, występującymi w promieniowaniu kosmicznym najczęściej. Im większa masa, im większa liczba atomowa, tym zasadniczo mniej jest tych pierwiastków, tak na Ziemi, jak i w dochodzącym do nas z kosmosu promieniowaniu. Można to oczywiście uzasadnić fizycznie i zajmuje się tym od lat fizyka jądrowa i tam też pojawiło się pojęcie Wyspy Stabilności.

Tadewusz **Wibig**

Najlżejszymi jądrami są po prostu pojedyncze protony, czyli jądra wodoru. Jest ich oczywiście najwięcej, bo wiadomo – na początku był wodór, a i dziś we Wszechświecie jest go ciągle najwięcej. Drugim w kolejności jest hel. Może to dziwić, bo na Ziemi jest go niezwykle mało (mniej niż jeden atom na milion innych!) i odkryto go całkiem niedawno, w połowie XIX wieku i to najpierw na Słońcu. Przy okazji warto wspomnieć, że Polska jest jednym z niewielu krajów i jedynym w Europie, który produkuje hel na skalę przemysłową, ale my nie o tym.

Co znajdujemy w Kosmosie?

Z innych pierwiastków znaleziono w promieniowaniu kosmicznym prawie sto lat temu wszystkie, jakie mogą powstawać w gwiazdach w normalnych procesach „spalania”, czyli te, których energia wiązania nukleonów w jądrze wzrasta przy łączeniu się, fuzji, pierwiastków lżejszych. Największa energię wiązania na nukleon osiągana jest w przypadku jąder żelaza. Ilustruje to Rysunek 1. Pierwiastki cięższe od żelaza, jeśli umieścić by je w kąpieli termodynamicznej w bardzo wysokiej temperaturze rozpadłyby się, bo to byłoby dla nich po prostu energetycznie bardziej korzystne.

Artykuł ten jest szóstym z serii poświęconej projektowi „Kosmos widziany z Łodzi” będącym realizacją szerokiej akcji udostępniania młodzieży nowoczesnej aparatury naukowej mającej w końcowym efekcie pokazać, a może i nauczyć młodych, ciekawych świata ludzi metod, jakimi posługuje się współczesna nauka w poszukiwaniu praw rządzących Wszechświatem. Dostarczane szkołom zestawy pomiarowe stają się istotnym rozwinięciem projektu CREDO (*Cosmic Ray Extremely Distributed Observatory*) i wszyscy, którzy przyłączą się do nas, staną się uczestnikami niezwykłej podróży w nieznane zakamarki Kosmosu[1]

[1] Ponieważ mamy nadzieję, że na tym się nie skończy, prosimy i zachęcamy zaciekawione, a może nawet i zainteresowane osoby, nauczycieli o kontakt z nami. Im więcej nas będzie, tym łatwiej będzie zrobić następny krok i podjąć kolejne wyzwania

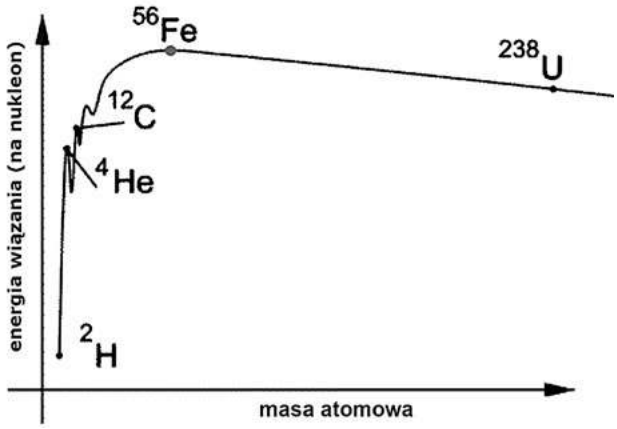
eprasa.pl fc7cb87889

Jak widać na rysunku maksimum na wykresie energii wiązania na nukleon jest dość szerokie. Na tyle szerokie, że w procesach fuzji możliwe jest istnienie w odpowiedniej proporcji jąder nieco od żelaza cięższych takich jak kobalt, nikiel, czy nawet miedź, ale już coś dużo bardziej ciężkiego rozfragmentować musi.

Ponieważ obserwujemy wokół nas jednak tak ciężkie pierwiastki, oczywistym jest pytanie, skąd wziąć się one mogły? Od prawie stu lat wiadomo, że jeśli bombardować atomowe jądra neutronami, to zdarza się co jakiś czas, że jakiemuś neutronowi udaje się przedostać się do jądra i nawet pozostać na trochę. Wiele pierwiastków ma jądra zawierające przy jej samej liczbie protonów trochę mniej, lub więcej neutronów. Oczywiście, jeśli jest ich już zdecydowanie za dużo, jądro takie rozpada się i może być to rozpad β-, gdzie jeden z neutronów „zamienia się" w proton i następuje, ponieważ ładunek musi się zachowywać, emisja ujemnie naładowanego elektronu. Dla pierwiastków bardzo ciężkich może to być też rozpad α z emisją cząstki α, czyli związanych ze sobą ciasno dwóch protonów i dwóch neutronów, inaczej mówiąc jądra helu. Aż wreszcie może to być definitywny rozpad jądra na dwa mniejsze. Fizyka jądrowa jest w obszarze bardzo ciężkich jąder bardzo skomplikowana i sporo jeszcze o tych procesach nie wiemy.

Dołączanie po kolei neutronów i następujące po nich z czasem rozpady to dominujący mechanizm produkcji jąder cięższych od żelaza. Właściwie trudno sobie wyobrazić jakiś inny mogący wyprodukować na przykład złoto, czy srebro. Jak dotąd nie wykryto we Wszechświecie ani kamienia filozoficznego, ani nie wynaleziono innego magicznego sposobu transmutacji, nie znamy odpowiedniego tajemniczego zaklęcia, ani nie rozszyfrowaliśmy tajemnicy króla Midasa.

Pewnym problemem mogą być neutrony: skąd je wziąć? W przestrzeni kosmicznej neutronów nie ma. Niezwiązane w jądrach, neutrony w spoczynku rozpadają się w kilka minut. Wiemy, że powstają w dużej ilości przy wybuchach bomb atomowych, a w czasach pokojowych produkują je reaktory jądrowe. Bomb i reaktorów w kosmosie zasadniczo nie ma, choć jakby dobrze poszukać, to przecież gwiazdy, a w tym i nasze Słońce, są gigantycznymi i złożonymi reaktorami. Wiele reakcji jądrowych zachodzących w gwiazdach prowadzi do uwolnienia neutronów. Najprostszym przykładem jest proces występujący i w Słońcu łączenia wodoru i trytu w hel.



Rysunek 1: Energia wiązania różnych jąder.

Do czego nadają się gwiazdy?

Do produkcji ciężkich pierwiastków nie każda gwiazda się jednak nadaje. Musi produkować dużo, bardzo neutronów i muszą mieć one odpowiednią energię, bo szansa na wychwyt neutronu przez jakieś jądro jest bardzo mała i oczywiście zależy od jego energii. Na szczęście na niebie jest mnóstwo najprzeróżniejszych gwiazd. Są takie które spalają hel, ale te nie są najefektywniejsze. Dokładne studia specjalistów astrofizyki jądrowej pokazały, że bardzo dobre byłyby gwiazdy niezbyt ciężkie $M \leq 4M_{\odot}$, bardzo jasne, tysiące razy jaśniejsze niż Słońce, czerwone giganty w podeszłym już wieku. Neutrony pochodzą w ich głównie z reakcji $^{13}C(\alpha,n)^{16}O$ i $^{22}Ne(\alpha,n)^{25}Mg$.

Gwiazdy te charakteryzują się tym, że są regularnie nieprzewidywalne. Co jakiś czas przechodzą z fazy spokojnej do fazy wybuchowej. Wybuchy są ograniczone i trwają niedługo, powiedzmy 100 000 lat i w tym czasie strumień neutronów dyfunduje we wnętrzu gwiazdy i napotyka czasem jakieś ciężkie jądro. Jądro po wychwyceniu neutronu ma mnóstwo czasu, aby się rozpaść, jeśli odczuwa taką potrzebę, a jak już się rozpadnie, czeka na następny neutron, powiedzmy 100 lat, a może tak czekać na kolejne i miliony lat. Taki proces nazywamy powolnym i z angielska mówimy o nim **s-process**.

Wśród gwiazd mamy też gwiazdy znacznie cięższe. Te spalają się szybciej i gwałtowniej, a koniec ich jest niezwykle spektakularny: kończą jako supernowe. W ostatnim etapie swojej ewolucji ogólnie rzecz ujmując można powiedzieć, że gwiazda zapada się w sobie. Energia jądrowa utrzymująca dotąd materię w stanie delikatnej równowagi z grawitacją kończy się i nic już nie jest w stanie powstrzymać totalnego spadku. Opisanie tego, co dzieje się w czasie mierzonym sekundami jest strasznie trudne. Energia potencjalna materii gwiazdowej zamienia się w ciepło i emitowana jest przez najrozmaitsze promieniowanie powstające w reakcjach atomowych jąder ze sobą i ogólnie wszystkiego ze wszystkim. Wydostać się z tego termodynamicznego piekła najłatwiej jest neutrinom i to one unoszą jakieś 99% wydzielającej się energii, pozostały procent daje wzrost jasności wybuchającej gwiazdy nawet i milion razy, przez co wybuchy takie w Galaktyce dają się zauważyć gołym okiem. Chińczycy opisali w roku 185 gwiazdę nazwaną „gościem", a Kepler w 1604 r. zobaczył supernową odległą od Ziemi o 20 000 lat świetlnych.

Z naszego punktu widzenia ważne jest, że w tej gorącej, mającej miliardy stopni zupie atomowych jąder, elektronów, kwantów gamma mamy i neutrony i to są ich setki miliardów miliardów w każdym centymetrze sześciennym. W tak ekstremalnym środowisku nie ma zasadniczo czasu na rozpady β- i przez ten krótki czas kolapsu jądra łapią tylko i łapią neutrony. Oczywiście jeśli jest ich bardzo, bardzo za dużo, to takie jądro o gigantycznym nadmiarze neutronów nie może już dłużej trwać i jakiś neutron w nim przekształci się w proton, ale i tak to ciągle w normalnych warunkach bardzo niestabilne jądro pozostaje z daleka od czegoś co nazywa się ścieżką stabilności,

eprasa.pl fc7cb87889

gdzie siedzą sobie wszystkie jadra atomowe, jakie mamy wokół siebie.

Jak już powiedzieliśmy proces ten trwa bardzo krótko. Stąd bierze się jego nazwa: szybkiego procesu wychwytu neutronów, po angielsku **r-process**. Gdy sytuacja wybuchającej gwiazdy ustabilizuje się nieco, jej jądro utworzy gwiazdę neutronową, albo czarną dziurę, a większość materii zewnętrznych powłok gwiazdy wzbogacona o ciężkie, wyprodukowane przed chwilą pierwiastki zacznie się oddalać wydmuchnięta w przestrzeń przez promieniowanie eksplozji i wreszcie wszystkie nietrwałe jądra zaczną się rozpadać. Proces rozpadów trwał będzie tak długo, nim nie osiągną wspomnianej ścieżki stabilności.

Procesy te ilustruje Rysunek 2.

Różnica pomiędzy procesami s- i r- leży w szybkości ich przebiegu. Niby nic specjalnego, a jednak rezultat końcowy jest istotnie różny. Wyniki obliczeń pokazane są na Rysunku 3. Widać na nim, że występują dość istotne różnice: proces r- produkuje wyraźny nadmiar w okolicy teluru (Te), podczas gdy w procesie s- mamy analogiczny pik przesunięty do baru (Ba), analogiczna sytuacja dotyczy platyny (Pt) i ołowiu (Pb). Najważniejsza jednak różnica polega na tym, że pierwiastki naturalnie radioaktwne jak uran (U) i tor (Th) w procesie s- powstać w ogóle nie mogą, bo wszystko, co powstanie przez dołączenie neutronu do bizmutu (Bi) rozpadnie się α i cofnie się na ścieżce procesu s- do ołowiu (Pb).

Skąd przychodzi promieniowanie?

Jak z tego widać, poznanie składu promieniowania kosmicznego powyżej żelaza może być kluczowe dla rozstrzygnięcia, skąd ono do nas przyszło.

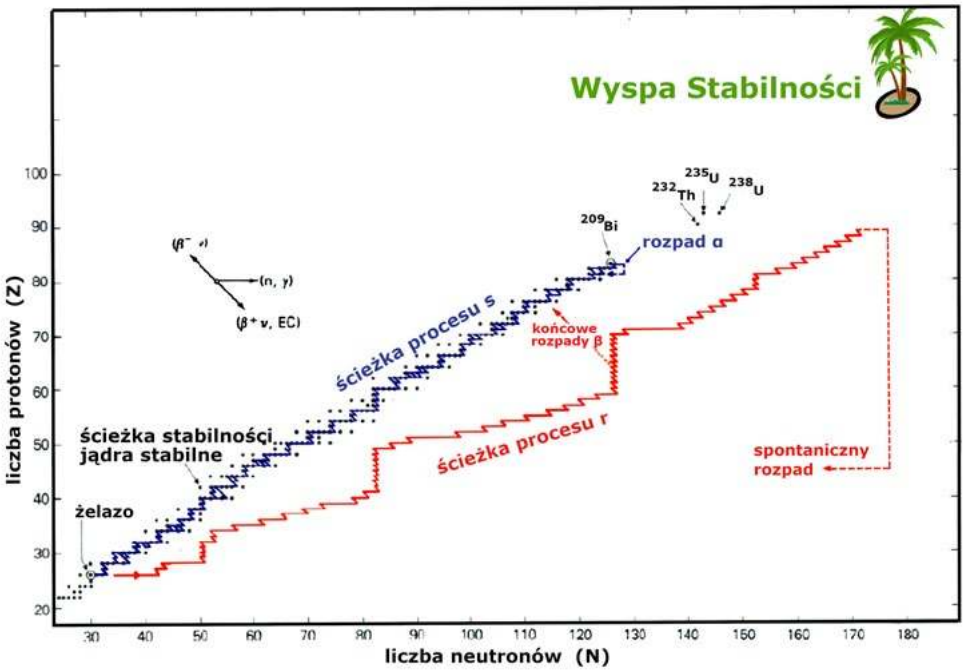
Odpowiedź na to pytanie natrafia na istotne trudności natury zasadniczej i technicznej. Po pierwsze wiemy, że ciężkich jąder jest mało. Bardzo mało! Rysunek 4. zaczerpnięty z historycznej pracy „αβγ" [3] pokazuje, jak wiele jest różnych pierwiastków w materii Układu Słonecznego. Zauważmy, że skala pionowa jest logarytmiczna i te ~6 jednostek różnicy w rozpowszechnieniu żelaza (Fe) i złota (Au) odpowiada czynnikowi 1 000 000!

Po drugie ciężkie jądra wpadając w atmosferę bardzo szybko rozpadają się w wyniku zderzeń z atomami powietrze, a więc instrumenty pomiarowe trzeba umieścić bardzo wysoko, a najlepiej w ogóle poza granicami ziemskiej atmosfery.

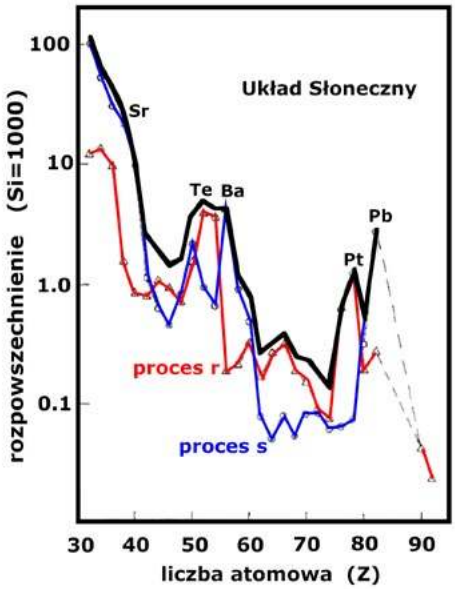
Trzeba by zatem mieć albo bardzo duży detektor, co było mało realne choćby ze względu na koszty, albo względnie małym detektorem mierzyć promieniowanie bardzo długo.

Pierwsze próby obejmowały serię pionierskich lotów balonowych o dużym udźwigu (≈1000 kg) i dość długim czasie trwania (kilka dni), których wyniki zebrano pod koniec lat 70 (patrz np. [4]).

Poza emulsjami jądrowymi, używanymi intensywnie podczas lotów balonowych, o których pisaliśmy w *Fizyce w Szkole* [2] wymyślono wtedy zupełnie nową i obiecującą technikę polimerowych detektorów śladowych. Cząstki silnie jonizujące przechodząc przez materię tworzą w niej wzdłuż swojego toru wąski obszar uszkodzeń strukturalnych. Ten uszkodzony obszar (powiedzmy ślad) ma z zasady wyższą reaktywność chemiczną niż fragmenty nieuszkodzone. Płytkę więc poddaje się procesom chemicznego wytrawiania i po upływie jakiegoś czasu ślad staje się widoczny w zwykłym mikroskopie optycznym. Technikę tę opisali Fleisher, Price i Walker w roku 1975 [5]. Po kilku latach jednak okazało się, że wszystko jest znacznie bardziej skomplikowane. Okazało się, że wielkość defektów zależy (nieco) od temperatury w jakiej cząstka przechodziła przez plastik, a ta oczywiście znana dokładnie być nie mogła. i w ogóle zsypywanie wyników

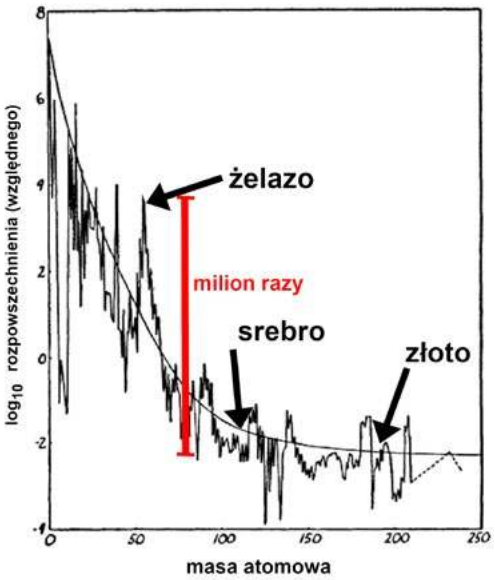


Rysunek 2: Ścieżka stabilności i ścieżki procesów r- i s-.



Rysunek 3: rozpowszechnienie pierwiastków w Układzie Słonecznym i przewidywania, gdyby pierwiastki powstawały tylko w procesie s-, albo tylko w procesie r-.

eprasa.pl fc7cb87889



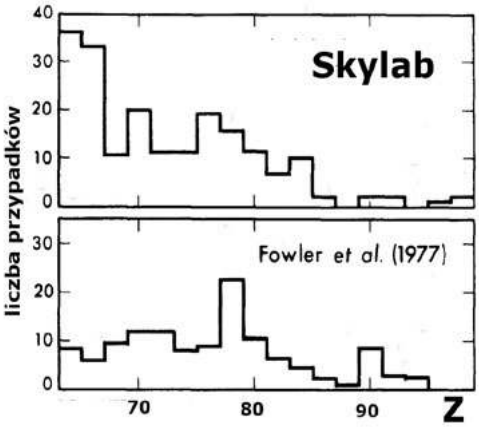
Rysunek 4: rozpowszechnienie pierwiastków wg. Alfera, Bethego i Gamowa.

ze względu na różne historie termiczne różnych lotów było wątpliwe metodologicznie [6] .

Milowy krok w badaniach

W międzyczasie w roku 1973 ludzkość wykonała jeden z wielu milowych kroków w historii swojego naukowego rozwoju i wysłała na orbitę pierwsze laboratorium kosmiczne Skylab. Na jego pokładzie znalazła się także aparatura do poszukiwania ciężkich pierwiastków w promieniowaniu kosmicznym. Było to ponad metr kwadratowy polimerowych detektorów śladowych zbudowanych z plastiku o nazwie handlowej Lexan ($C_{16}H_{14}O_3$) przetestowanego wcześniej w lotach balonowych. Miał od strukturę modułową i składał się z 36 prostopadłościennych modułów o powierzchniach (18 x 20) cm^2, z których każdy zawierał 32 arkusze Lexanu o grubości 250 mikrometra. Jeden moduł wrócił na Ziemię po 119 dniach, 34 po 253, a jeden pozostawiono na przyszłość, która jednak nie nadeszła i moduł ten w 1979 roku zaginął w głębinach Oceanu Indyjskiego.

Podsumowując Skylab zarejestrował w sumie 104 jądra o Z > 65, siedem jąder o Z > 88, trzy jądra o Z > 94 i żadnego jądra z Wyspy Stabilności (Z>110)!



Rysunek 5: Rozpowszechnienie ciężkich pierwiastków zmierzone przez Skylab i balony.

Jak widać z porównania na Rysunku 5 liczba przypadków zebrana przez Skylab była większa niż wszystkie z dotychczasowych lotów balonowych, co wyraźnie wskazało na kosmos, jako właściwy kierunek ku Wyspie Stabilności.

Nie może zatem dziwić, że w latach siedemdziesiątych zaprojektowano jeszcze trzy duże eksperymenty do poszukiwać jąder bardzo ciężkich. Dwa z nich zostały pomyślnie wystrzelone w 1979 roku. Satelita NASA *High Energy Astronomy Observatory* (HEAO) i brytyjsko-amerykański satelita Ariel VI zebrały przez mniej więcej dwa lata łącznie około 300 jąder o Z > 65.

HEAO C3 składał się z podwójnego hodoskopu górnego H1-H2 i dolnego H3-H4 oraz dwóch układów po trzy komory jonizacyjne z licznikiem Czerenkowa pomiędzy nimi (Rys. 6).

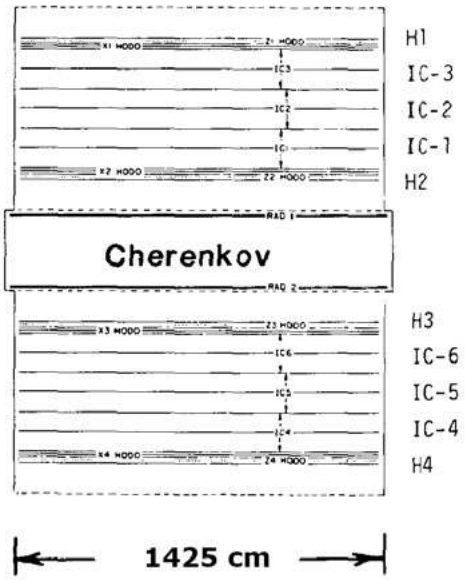
Nie wykrył on żadnych kandydatów na aktynowce (uran i koledzy Z > 89), a tym bardziej niczego z Wyspy Stabilności [7].

Ariel VI o jedynej w swoim rodzaju sferycznej geometrii zawierał gazowy scyntylator i detektor czerenkowski. Schematycznie pokazany jest na Rys.7 [8]. Najciekawszym wynikiem były trzy przypadki zidentyfikowane jako jadra aktynowców, dalekie jednak od Wyspy Stabilności. Najbliżej było jądro zidentyfikowane na Z = 98, kaliforn, a może i einstein.

Umieszczenie na orbicie trzeciego eksperymentu Dublin-ESTEC (European Space Research and Technology Centre) na pokładzie LDEF (*Long Duration Exposure Facility*) było zależne od harmonogramu promu kosmicznego. Wreszcie stało się możliwym w kwietniu 1984 roku przy użyciu promu Challenger.

Idea eksperymentu Dublin-ESTEC polegała na wykorzystaniu, jako głównego elementu detekcyjnego cienkich warstw Lexanu ułożonych w stosy, takie jak ten pokazany na Rys. 8 [9].

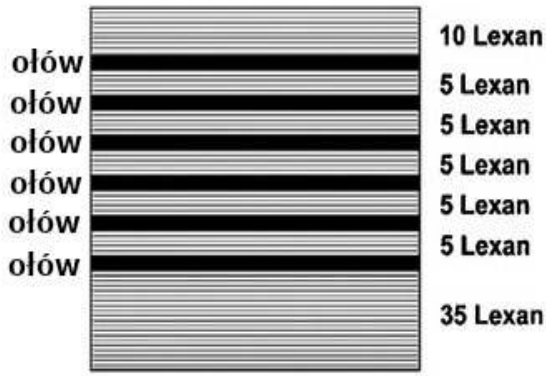
Powrót tych klisz na Ziemię w celu ich wytrawienia i dokładnej, mikroskopowej analizy opóźnił się znacznie



Rysunek 6: HEAO-3 C3

eprasa.pl fc7cb87889

Rysunek 7: Ariel VI.



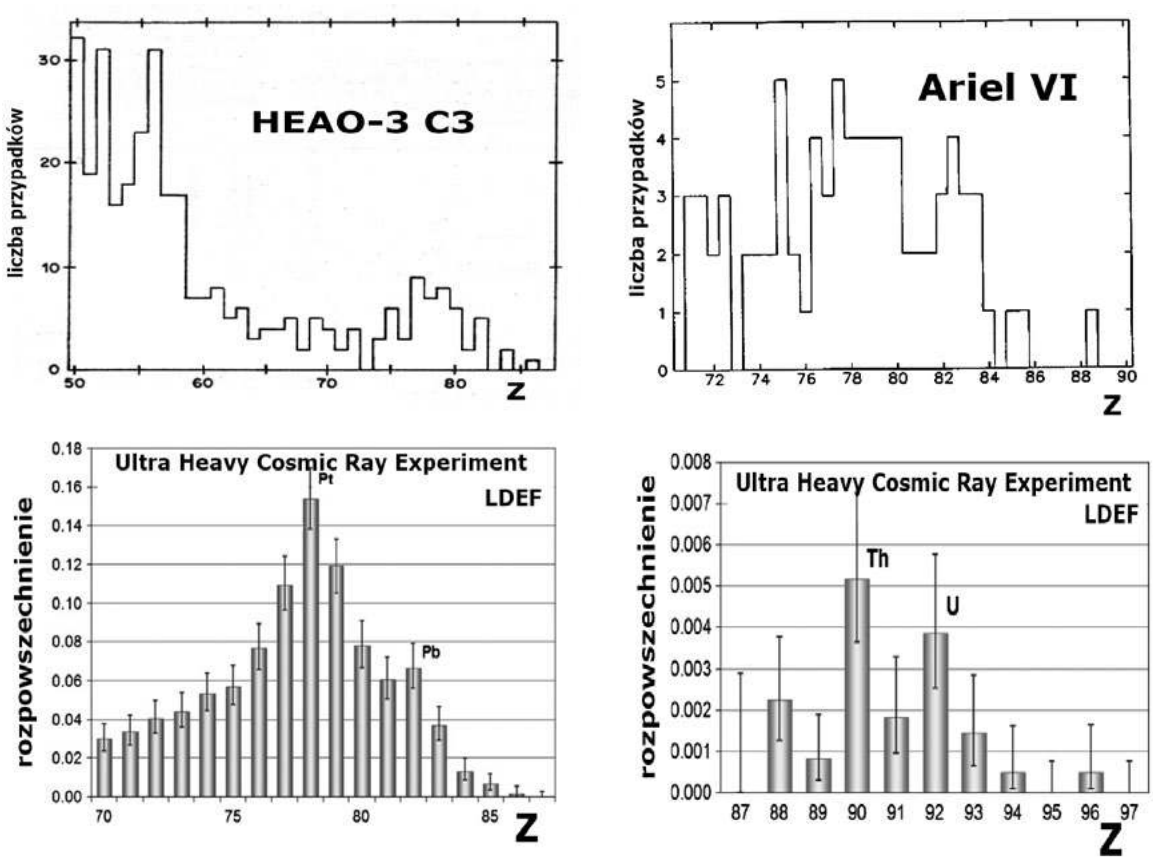
Rysunek 8: Jeden ze 192 elementów eksperymentu Dublin- ESTEC.

między innymi za sprawą tragicznej katastrofy Challengera prawie dwa lata później. Ostatecznie materiał został odzyskany i zwieziony na dół przez Columbię w 1990 roku po spędzeniu w przestrzeni 69 miesięcy (o 58 więcej niż pierwotnie planowano!). Wydłużenie czasu trwania misji LDEF zaowocował zebraniem około dziesięciokrotnie większej próbki jąder bardzo ciężkich, w tym pierwszego statystycznie istotnego zestawu aktynowców promieniowania kosmicznego (Z > 87).

Dla porządku wypada też wspomnieć o Rosjanach, którzy także wspólnie z Amerykanami zaplanowali eksperyment TREK poszukujący jąder superciężkich stosującej technikę polimerowych detektorów śladowych. Płytki o całkowitej powierzchni ponad 1 m^2 poprzylepiano w roku 1991 do zewnętrznych ścian modułu „Kwant" stacji kosmicznej „Mir". Zbieranie śladów trwało do przełomu lat 1993/94. Znaleźli ich w sumie około 50 jąder ołowiu i tyleż platyny, kilka z grupy uranu i zupełnie nic z Wyspy Stabilności [10].

Jak pokonać nieprzezwyciężone problemy?

Podsumowanie najważniejszych wyników balonowych i satelitarnych na koniec XX wieku przedstawia Rysunek 9. Ilość zebranych przypadków była na tle duża, by wyciągać z nich jakieś sensowne wnioski i jednocześnie



Rysunek 9: Wyniki rozpowszechnienia pierwiastków bardzo ciężkich otrzymane z najważniejszych eksperymentów końca XX wieku.

eprasa.pl fc7cb87889

dalsze istotne zwiększenie jej przez wydłużanie czasu ekspozycji, czy powierzchni detekcji wydawało się praktycznie niemożliwe. Okazało się jednak, że i tym razem pomysłowość ludzka jest w stanie pokonać i pozornie nieprzezwyciężalne problemy.

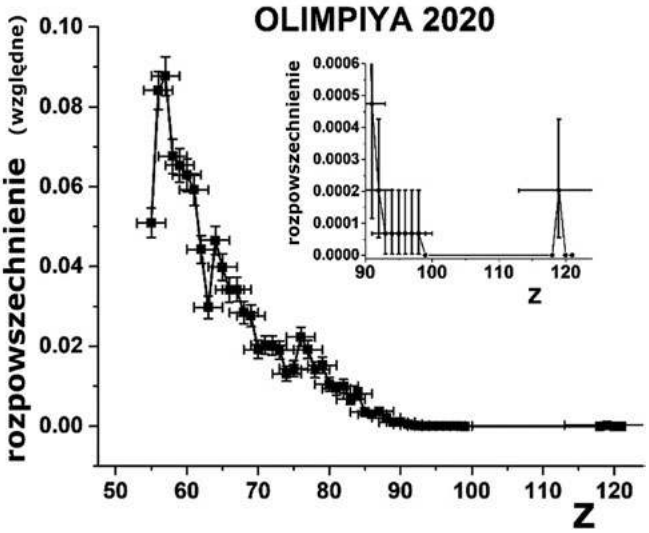
Jeszcze w latach 60. ubiegłego wieku zauważono, że w przestrzeni wokół nas krążą różne okruchy materii. Jako takie są one przez miliony, setki milionów lat bombardowane przez cząstki promieniowania kosmicznego, w którym co jakiś czas trafia się coś bardzo ciężkiego. Wewnątrz meteorytów kamienno-żelaznych znajdują się skrystalizowane milimetrowe okruchy minerałów z grupy oliwinów $(Mg_{0.88}\,Fe_{0.12})_2SiO_4$. Kryształki takie można, jeśli się umie, zeszlifowywać, podgrzać i trawić. Poprawna metodologia, a jest ona niezwykle wyrafinowana i oczywiście niełatwa, pozwala wyznaczyć ładunek cząstek, jakie zostawiły swe ślady, o ile oczywiście ładunek ten jest dostatecznie duży.

Przykłady śladów wytrawionych w ramach rosyjskiego projektu OLIMPIYA [11] pokazane są na rysunku 10. Eksperyment ten nastawiony był na poszukiwanie i identyfikację śladów ciężkich i superciężkich jąder w 442 kryształach z dwóch meteorytów *Marjalahti* z Finlandii i *Eagle Station* z USA. Kalibrację metody wykonany na akceleratorach GSI w Darmstadt i IMP w Lanzhou w Chinach. Przebadano ponad 10000 śladów i zidentyfikowano 384 jądra o ładunkach $Z \geq 75$, w tym 10 jąder aktynowców ($90 < Z < 103$). A co najciekawsze zidentyfikowano trzy ślady wytworzone przez jądra o ładunkach $113 < Z < 129$! Widać je na wtrąconym małym wykresie na rysunku 11. Autorzy nie chwaląc się przesadnie stwierdzili, że właśnie dotarli do Wyspy Stabilności.

Z drugiej stroną dążą też do niej fizycy w ziemskich laboratoriach zderzając ze sobą różne jądra licząc, że może im się uda. Pierwiastkiem o największym ładunku, jaki udało się dotąd uzyskać w jest pierwiastek o Z=118, który od roku 2016 nazywa się **oganesson**. Pierwszy raz zobaczono go w 2002 roku w Dubnej. Żyje on średnio mniej niż tysięczną część sekundy, a więc trudno spodziewać się go wśród jąder promieniowania kosmicznego. Może oczywiście być tak, że pierwiastki z Wyspy Stabilności żyją dostatecznie długo (miliony lat?!) i OLYMPIYA rzeczywiście je widzi, ale niewielu założyłoby się o to. Wyjaśnienie jest pilnie poszukiwane.

Chyba jednak do Wyspy Stabilności dobić się nie udało. Okazało się, że najprawdopodobniej chyba jej po prostu nie ma. Czyżby więc cały ten nasz rejs, wszystkie nasze wysiłki nie miały sensu?

Rysunek 10: Kryształ oliwinu z wytrawionymi śladami bardzo ciężkich jąder. Wielkość tych śladów to ~100 μm.



Rysunek 11: Rozpowszechnienie pierwiastków bardzo ciężkich zmierzone w meteorytach.

Oczywiście, że nie! Po pierwsze wynik negatywny też jest wynikiem i jest to wynik całkiem znaczący mówiący wiele o fizyce bardzo ciężkich jąder atomowych.

Trzeba też zauważyć, że badając rozpowszechnienie jąder o dużym Z dowiedzieliśmy się wiele o pochodzeniu promieniowania kosmicznego. Krótka tabelka zaczerpnięta z [9] pokazuje kluczowe z tego punktu widzenia stosunki ilości jąder grupy platyny ($74 \leq Z \leq 80$) ołowiu ($81 \leq Z \leq 83$), podaktynowców ($74 \leq Z \leq 87$) i aktynowców ($Z \geq 88$).

Eksperymenty kosmiczne wykazały, że stosunek Pb/Pt jest zdecydowanie mniejszy niż wynikający z różnych szacunków dla materii Układu Słonecznego i składu meteorytów (pierwsze trzy kolumny tabeli) i nie da się tego wyjaśnić zupełnie wpływem propagacji promieniowania kosmicznego w Galaktyce.

	A&E [12]	A&G [13]	Lodders [14]	LDEF [9]	HEAO [15]	TREK [16]
Pb/Pt	0.9553	1.0267	1.0338± 0.1166	0.25 ± 0.04	0.30 ± 0.081	0.27± 0.05
$\frac{\text{aktynowce}}{\text{Pt}}$	0.0117	0.0125	0.0128± 0.0014	0.025 ± 0.005	$0.025^{+0.022}_{-0.010}$	$0.0444^{+0.027}_{-0.018}$
$\frac{\text{aktynowce}}{\text{podaktynowce}}$	0.0060	0.0062	0.0063 ± 0.0006	0.020 ± 0.004	$0.0186^{+0.018}_{-0.010}$	$0.035^{+0.021}_{-0.014}$

eprasa.pl fc7cb87889

Galaktyczne promieniowanie kosmiczne definitywnie bogate jest w aktynowce. Porównując to z typowym składem Układu Słonecznego różnica jest o czynnik, powiedzmy, 3. Dodatkowo nie pokazana w tabeli mała wartość stosunku ^{92}U do ^{90}Th prowadzi do wniosku, że jądra promieniowanie kosmicznego podróżowały w Galaktyce na tyle długo (>10^8 lat), że te krócej żyjące zdążyły się w dużej mierze rozpaść.

Z drugiej strony istnienie w promieniowaniu kosmicznym jąder transuranowych, plutonu ^{94}Pu, a możliwe, że nawet kiuru ^{96}Cm wskazuje na to, że promieniowanie kosmiczne nie propagowało się na pewno dłużej niż 10^8 lat.

Jakiś problem?

Niekoniecznie. Wyjaśnienie może być zupełnie proste: ciężkie jądra promieniowania kosmicznego obserwowane dziś w okolicy Słońca to przyspieszona raczej standardowa i stara (ponad 10^8 lat) materia międzygwiezdna, zanieczyszczona kilkoma procentami świeżo wyprodukowanego materiału z jednej lub kilku niedawnych supernowych. Świadczyć o tym mogą dodatkowo różnice między wynikami pomiarów na satelitach i balonach z tymi obserwowanymi w meteorytach. W skali czasowej właściwej dla ekspozycji meteorytów (~35-200 milionów lat) strumień promieniowania kosmicznego mógł różnić się od tego, jaki obserwujemy dziś i aktualna, zwiększona ilość pierwiastków produkowanych głównie w procesach r- może być wynikiem niedawnej w kosmicznej skali eksplozji supernowej w pobliżu Układu Słonecznego.

Podsumowują nasz rejs ku Wyspie Stabilności możemy stwierdzić, że jesteśmy jak ten Kolumb: wprawdzie do Indii dopłynąć nam się nie udało, ale odkryliśmy po drodze zupełnie Nowy Świat, a więc chyba warto było.

Projekt „Kosmos widziany z Łodzi” jest dofinansowany ze środków budżetu Państwa (SONP/SN/516075/2021).

Tadeusz Wibig
Katedra Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Łódzkiego

LITERATURA:

[1] P. Freier, E. Lofgren, E. Ney, F. Oppenheimer, H. Bradt, B. Peters i in. *Evidence for Heavy Nuclei as a Component of Primary Cosmic Radiation*, Phys Rev 74. 213, (1948); The Heavy Component of Primary Cosmic Rays, Phys Rev 74 1818, (1948); H. L. Bradt i B. Peters, *Investigation of the Primary Cosmic Radiation with Nuclear Photographic Emulsions*, Phys. Rev. 74 1828 (1948); *The Heavy Nuclei of the Primary Cosmic Radiation*, Phys Rev 77, 54 (1950).
[2] T. Wibig, *CREDO-Maze: promieniowanie kosmiczne czyli właściwie co?* Fizyka w Szkole 67/6, 24 (2022).
[3] R. A. Alpher, H. Bethe i G. Gamow, *The origin of chemical elements*, Phys. Rev. 73, 803 (1948).
[4] P.H. Fowler, C. Alexander, V.M. Clapham, i in. *High resolution study of nucleonic cosmic rays with Z ≥ 34*, Nucl. Instrum. Methods, 147, 195 (1977).
[5] R. L. Fleischer, P. B. Price i R. M. Walker, *Nuclear Tracks in Solids*, University of California Press, Berkeley, 489, (1975).
[6] D. O'Sullivan, A. Thompson, i P.H. Fowler, *The abundance of actinide elements in the galactic cosmic radiation*, Nucl. Tracks Radiat. Meas., 11, 95 (1986).
[7] W.R. Binns, M.H. Israel, J. Klarmann, W.R. Scarlett, E.C. Stone i C.J. Waddington, *The UH-nuclei cosmic ray detector on the third high energy astronomy observatory*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 185, 415 (1981).
[8] P.H. Fowler, M.R.W. Masheder, R.T. Moses, R.N.F. Walker i A. Worley, *Ultra heavy cosmic rays, w Origin of cosmic rays*; Proceedings of the Symposium, Bologna, Italy, 1980 Dordrecht, D. Reidel Publishing Co. (1981) 77.
[9] J. Donnelly, A. Thompson, D. O'Sullivan, J. Daly, L. Drury, V. Domingo i K.-P. Wenzel, *Actinide And Ultra-Heavy Abundances* w *„Local Galactic Cosmic Rays: An Analysis Of The Results From The LDEF Ultra-Heavy Cosmic-Ray Experiment*", The Astrophysical Journal, 747, 40 (2012).
[10] V.G. Afanasyev i in., *TREK: A Cosmic Ray Experiment on The Soviet Space Station MIR*, Proceedings of the 22nd International Cosmic Ray Conference. Dublin, Ireland, 1, 623, Dublin: The Institute for Advanced Studies, (1991).
[11] A. Alexandrov i in. *History of heavy r-process elements in galactic cosmic rays from nuclei tracks in meteorite olivine*, Advances in Space Research 70, 2674 (2022).
[12] E. Anders i M. Ebihara, *Solar-system abundances of the elements* 1982, Geochim. Cosmochim. Acta, 46, 2363 (1982).
[13] E. Anders i N. Grevesse, *Abundances of the elements: Meteoritic and solar* 1989, Geochim. Cosmochim. Acta, 53, 197 (1989).
[14] K. Lodders, *Solar System Abundances and Condensation Temperatures of the Elements*, ApJ, 591, 1220 (2003).
[15] W.R. Binns, T.L. Garrard, P.S. Gibner i in. *Abundances of Ultraheavy Elements in the Cosmic Radiation: Results from HEAO 3*, ApJ, 346, 997 (1989).
[16] A.J. Westphal, P.B. Price, B.A. Weaver i V.G. Afanasiev, *Evidence against stellar chromospheric origin of Galactic cosmic rays*, Nature, 396, 50 (1998).

Co w fizyce piszczy

Szybciej niż światło?

Ruch z prędkością przekraczającą prędkość światła to jedno z najbardziej kontrowersyjnych zagadnień w fizyce. Hipotetyczne cząstki, które mogłyby poruszać się z prędkością nadświetlną, zwane tachionami (z greckiego *tachýs* – szybki, prędki) są „enfant terrible" współczesnej fizyki. Do niedawna były powszechnie uważane za twory niemieszczące się w szczególnej teorii względności. Znane były przynajmniej trzy powody nieistnienia tachionów w ramach teorii kwantowej. Pierwszy: stan podstawowy pola tachionowego miał być niestabilny, co oznaczałoby, że takie cząstki nadświetlne tworzyłyby się lawinowo same z siebie. Drugi: zmiana obserwatora inercjalnego miała prowadzić do zmiany liczby cząstek obserwowanych w jego układzie odniesienia, a przecież istnienie np. siedmiu cząstek nie może zależeć od tego, kto na nie patrzy. Trzeci powód: energia cząstek nadświetlnych mogłaby przyjmować wartości ujemne.

Tymczasem grono autorów: Jerzy Paczos, realizujący doktorat na Uniwersytecie w Sztokholmie, Kacper Dębski, kończący doktorat na Wydziale Fizyki UW, Szymon Cedrowski, student ostatniego roku Physics (Studies in English) tego Wydziału, dr Szymon Charzyński, dr hab. Krzysztof Turzyński, prof. dr hab. Andrzej Dragan z Wydziału Fizyki UW oraz prof. Artur Ekert z Uniwersytetu w Oksfordzie wskazali właśnie, że dotychczasowe trudności z tachionami miały wspólną przyczynę. Okazało się, że „warunki brzegowe" określające przebieg procesów fizycznych obejmują nie tylko stan początkowy, lecz także stan końcowy układu.

Pisząc „ludzkim głosem": aby obliczyć prawdopodobieństwo procesu kwantowego z udziałem tachionów należy znać nie tylko jego przeszły stan początkowy, ale również przyszły stan końcowy. Po uwzględnieniu tego faktu w teorii wszystkie wymienione wcześniej trudności całkowicie zniknęły a teoria tachionów nabrała matematycznej spójności. Rezultaty prac międzynarodowego zespołu badaczy właśnie ukazały się w prestiżowym piśmie „Physical Review D".

https://www.fuw.edu.pl/informacja-prasowa/news8879.html

eprasa.pl fc7cb87889

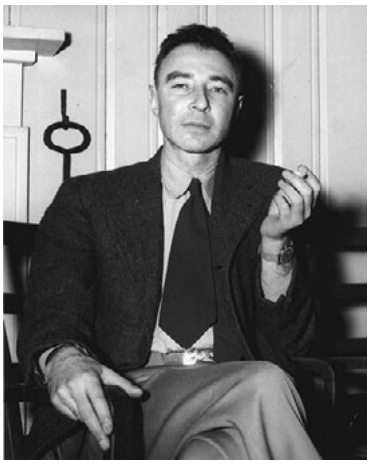
„Oppenheimer” – oscarowy film o ojcu bomby atomowej w ocenie dydaktyka fizyki

Edward **Rydygier**

Film *Oppenheimer* to historia amerykańskiego naukowca Roberta Oppenheimera (właściwie J. Roberta Oppenheimera, J. od imienia Julius) i jego roli w stworzeniu bomby atomowej w reżyserii Brytyjczyka Christophera Nolana i według jego scenariusza. Produkcja USA i Wielka Brytania. Film miał światową premierę 19 lipca 2023 r. Zdobył aż 7 nagród Oscara, w tym za najlepszy film, a także 78 innych nagród oraz 106 nominacji.

Scenariusz filmu oparty został na nagrodzonej Pulitzerem książce *Oppenheimer. Triumf i tragedia ojca bomby atomowej* Kaia Birda i Martina J. Sherwina (tytuł oryginalny *American Prometheus*, Wydawnictwo Replika, Poznań 2022). Przy budżecie szacowanym na 100 milionów dolarów *Oppenheimer* zarobił w USA i Kanadzie niecałe 330 milionów dolarów, a w pozostałych krajach równowartość około 630 milionów, łącznie blisko 960 milionów. Film zyskał dobre recenzje krytyków. Ciekawostką jest fakt, że premiera filmu miała miejsce tego samego dnia co filmu *Barbie* − amerykańsko-brytyjskiego filmu komediowego nawiązującego do lalki o tym samym imieniu, która jest jedną z najlepiej sprzedających się zabawek i jednocześnie najbardziej znanych ikon kultury masowej. Kontrast między dwiema produkcjami o radykalnie różnej tematyce wywołał zainteresowanie widzów, z których wielu wyraziło chęć obejrzenia obu filmów. Zbieżność dat premier stała się źródłem memów internetowych. Zjawisko to zaczęto określać przez zbitkę słów *Barbenheimer*. Film *Oppenheimer* jest do obejrzenia na platformie *Netflix*, obecnie już bez dodatkowej opłaty.

Rys.1. Reklama filmu „Oppenheimer”



Rys.2. Robert Oppenheimer”

Film o bombie czy studium psychologioczne?

Film *Oppenheimer* ma charakter biograficzny, ale wydarzenia z życia uczonego nie zostały ukazane chronologicznie, częste są reminiscencje, cofnięcia w czasie. Główny wątek to przesłuchania uczonego przed komisjami służb specjalnych w celu podjęcia decyzji o przedłużeniu mu certyfikatu bezpieczeństwa, czyli dostępu na tajnych dokumentów. Robert Oppenheimer był profesorem na Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley (w obrębie San Francisco), a w czasie II wojny światowej został dyrektorem programu rozwoju amerykańskiej broni jądrowej nazwanego *Projektem Manhattan.* Uznany jest za ojca bomby atomowej, ale poza działalnością związaną z bronią atomową miał także wymierne osiągnięcia w innych dziedzinach fizyki, między innymi w badaniach czarnych dziur, promieniowania kosmicznego i w zakresie fizyki kwantowej (rozwinięcie teorii tunelowania kwantowego, teorii relatywistycznej mechaniki kwantowej i kwantowej teorii pola).

Powojenne losy Ojca bomby atomowej

Resztę życia po zbudowaniu bomby atomowej Oppenheimer poświęcił na działalność na rzecz ograniczania rozprzestrzeniania broni jądrowej oraz zapobiegania wyścigowi zbrojeń atomowych z ZSRR. Taką działalność prowadził jako doradca Instytutu Energii Atomowej. Z powodu zaangażowania w działalność pacyfistyczną w okresie zimnej wojny, a także przedwojennych powiązań z ruchem komunistycznym został oskarżony przez amerykański rząd i służby specjalne o powiązania z ruchem komunistycznym oraz działalność szpiegowską.

W 1954 r. w trakcie publicznego, politycznego procesu został pozbawiony dostępu do tajnych dokumentów państwowych. Po tym wydarzeniu kontynuował swoją działalność pacyfistyczną, a także naukową, pisząc artykuły i prowadząc wykłady. Dopiero dziesięć lat później w 1963 r. prezydent John F. Kennedy przyznał mu Nagrodę Enrica Fermiego, co stanowiło akt politycznej rehabilitacji.

Oppenheimer założył amerykańską szkołę fizyki teoretycznej. Był dyrektorem Institute for Advanced Study w Princeton, gdzie pracował jako starszy profesor fizyki teoretycznej (stanowisko zajmowane wcześniej przez Alberta Einsteina). Oppenheimer jest dziś uznawany za jeden z symboli pacyfizmu i sprzeciwu wobec rozprzestrzeniania broni atomowej.

Reżyser w swoim autorskim filmie przedstawił zmagania wybitnego naukowca z politykami, którzy chcieli go zniszczyć. Wobec takiej koncepcji pierwszoplanowe stają się rozterki uczonego zdającego sobie sprawę z konsekwencji stworzenia potężnej broni masowej zagłady. Nie jest to

eprasa.pl fc7cb87889

Rys. 3. Scena przesłuchania Oppenheimera przed komisją rządową

więc „film o bombie", a raczej studium psychologiczne i to w szerszej perspektywie, gdyż ukazuje także utarczki i spory personalne między naukowcami, wojskowymi i politykami. Wszyscy oni pragną mieć swój wkład w dziedzinie amerykańskich badań i eksperymentów jądrowych od II wojny światowej po wyścig zbrojeń i zimną wojnę. Reżyser przypomina, że badania naukowe są rozwijane przez ludzi, a więc ważny jest też w nauce czynnik humanistyczny.

Jak już wspomniano wyżej chronologia w filmie nie jest zachowana, wydarzenia są rozbite na trzy przeplatające się warstwy: przesłuchania przed komisjami, prace zespołu naukowców w odosobnionym ośrodku Los Alamos w Nowym Meksyku i reminiscencje z życia osobistego uczonego. Same przesłuchania przed komisjami są trochę nudnawe dla zwyczajnego widza, ale krytycy podkreślają, że reżyser potrafił podtrzymać napięcie w scenach proceduralnych dziejących się w zamkniętych pokojach oraz w dialogach bogatych w cięte riposty, gdzie regularnie przypominane są moralne i intelektualne dylematy bohatera.

Reżyser nie stroni od nadmiaru faktografii, potrafi budować napięcie przy ukazaniu dziesiątków postaci, a epizody są tak celnie skonstruowane, że same są godne nagrodzenia Oscarami.

Krytycy podkreślają świetną grę aktorską głównego bohatera, którego zagrał irlandzki aktor Cillian Murphy. Zwracają zwłaszcza uwagę na grę twarzą aktora, który nadał powierzchowności granej przez siebie postaci „oczy szaleńca, ale też żałobnika i showmana nauki, które z biegiem czasu wydają się coraz głębiej osadzać w kościach policzkowych, otulone skórą niemal przezroczystą od palonych bez przerwy papierosów" (z recenzji na portalu *filmweb.pl*).

Wcześniej Murphy zagrał postać Tommy Shelby, szefa rodzinnego gangu działającego w Birmingham w 1919 roku, w serialu telewizyjnym *Peaky Blinders* z 2013 r. (dalsze sezony do 2022 r.). Serial został oparty na prawdziwych faktach z kształtowania się brytyjskiej mafii po I wojnie światowej. Jest dostępny na platformie *Netflix*.

Fizyka i fizycy w filmie

Dla fizyka oczywiście najciekawsze są sceny pokazujące pracę zespołu wybitnych fizyków w zamkniętym ośrodku badawczym: organizacja pracy, dyskusje, pozyskiwanie nowych uczestników, postępy w konstrukcji bomby i gromadzenie materiału rozszczepialnego. Uczeni pracujący w zamkniętym ośrodku militarnym uważają się za cywilów tylko okresowo finansowanych przez władze wojskowe. Ze względu na takie nastawienie kolegów, Oppenheimer rezygnuje z noszenia munduru, a żeby wyróżniać się jako kierownik dużego zespołu badawczego nosi kapelusz z szerokim rondem.

Reżyser ukazuje relacje między cywilnymi naukowcami pracującymi na potrzeby militarne a politykami czy wojskowymi. Pokazane są także relacje między samymi naukowcami, którzy są indywidualistami, wyrwanymi z innych zespołów naukowych, często i z innych krajów, a zmuszonymi współpracować ze sobą na co dzień pod presją czasu i pod kontrolą wojska. Reżyser pokazał na przykład różnice w rozwiązywaniu problemów między Oppenheimerem, koordynatorem badań, posiadającym cechy przywódcze, a indywidualistą Edwardem Tellerem (pochodzącym z Budapesztu emigrantem z Węgier i Niemiec) źle czującym się w zbiurokratyzowanych warunkach pracy zespołowej. Teller wnosił cenne pomysły pomocne przy realizacji projektu, więc Oppenheimer pozwolił mu pracować samodzielnie, a jego rozwiązania nawet konsultował z samym Einsteinem.

Teller uważał, że program jądrowy powinien być ukierunkowany na konstrukcję bomby wodorowej, czyli wykorzystującej syntezę jądrową, a nie rozszczepienie jądra atomowego. Później, po powrocie do ośrodka w Los Alamos w 1950 r. (po jego opuszczeniu w 1946 r.) Tellerowi udało się przekonać prezydenta Trumana do dalszej kontynuacji programu jądrowego, ale budowania bomby wodorowej, której projekt opracował ostatecznie w Los Alamos wraz polskim fizykiem Stanisławem Ulamem. Mimo że ośrodek w Los Alamos Teller opuścił w 1952 r., nazywany jest ojcem amerykańskiej bomby wodorowej. W 1954 r. wystąpił jawnie przeciwko Oppenheimerowi w procesie o prawo posiadania certyfikatu bezpieczeństwa.

Rys. 4. Zestawienie portretów Oppenheimera i grającego jego postać aktora Cilliana Murphy

Rys. 5. Scena z filmu „Oppenheimer" – image przywódcy

eprasa.pl fc7cb87889

„Trinity" – test wybuchu bomby atomowej

Na filmie pokazano eksperymentalny wybuch pierwszej bomby atomowej, jego skutki i reakcję obserwatorów. Krytycy zarzucają reżyserowi, że pokazał tylko ten eksperymentalny wybuch, a nie wybuchy bomb atomowych w Japonii nad Hiroszimą i Nagasaki. Ta pierwsza bomba atomowa, a właściwie pierwszy naziemny test broni atomowej został nazwany przez Oppenheimera *Trinity* („Trójca"). Detonacja bomby atomowej (plutonowej, o sile 20 kiloton trotylu) nastąpiła 16 lipca 1945 roku. Test przeprowadzono na pustyni w pobliżu miasta Alamogordo w Nowym Meksyku na wojskowym poligonie w pustyni. Same przygotowania do eksplozji trwały niemal rok. W odległości 9-10 km od wyznaczonego punktu „zero" wybudowano trzy schrony obserwacyjne.

Do celów właściwego eksperymentu wybudowano 30-metrową stalową wieżę z platformą na szczycie do umieszczenia ładunku nuklearnego, aby uzyskać warunki w przybliżeniu podobne do rzeczywistych, gdy bomba zrzucona z samolotu eksploduje na pewnej wysokości nad celem.

Masę krytyczną konieczną do rozpoczęcia reakcji łańcuchowej uzyskano poprzez implozję ładunku konwencjonalnego, która spowodowała kompresję stałego rdzenia z plutonu powodując kilkukrotny wzrost jego pierwotnej gęstości. Bombę atomową o nazwie *Fat Man* („Grubas") o tej samej konstrukcji zdetonowano nad Nagasaki 9 sierpnia 1945 r. Natomiast nad Hiroszimą 6 sierpnia 1945 r. wybuchła bomba atomowa uranowa zwana *Little Boy* („Mały Chłopiec") o innym sposobie inicjacji reakcji rozszczepienia niż implozyjny (taki jak w przypadku bomb *Trinity* i *Fat Man*) przy użyciu działa wystrzeliwującego walcowaty pocisk powodujący połączenie materiału rozszczepialnego w masę krytyczną. Siła eksplozji bomby *Trinity* była na tyle duża, że spowodowała drżenie szyb w budynkach w odległości 320 km od punktu „zero". Grzyb atomowy osiągnął wysokość ok. 12 km.

Rys. 6. Scena z filmu „Oppenheimer", wybuch bomby atomowej

Wydarzenie było filmowane i fotografowane przez wiele kamer rozmieszczonych w różnych miejscach poligonu. Prowadzono także bieżące pomiary skażenia promieniotwórczego oraz obserwacje meteorologiczne. Większość naukowców zaangażowanych w budowę bomby obserwowała eksperyment z bunkrów lub z pobliskiej bazy wojskowej. Oficjalny komunikat dla prasy informował o przypadkowej eksplozji w magazynach amunicji na poligonie, która nie spowodowała żadnych ofiar w ludziach.

„Stałem się śmiercią, niszczycielem światów"

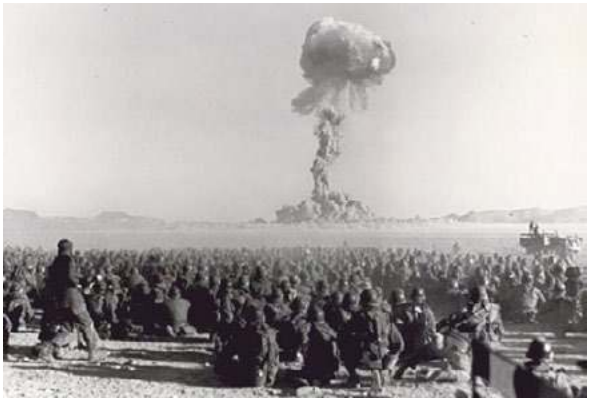
Pierwsze słowa, którymi Oppenheimer podsumował udany test broni jądrowej, to cytat z Bhagawadgity, świętej księgi hinduizmu: „Stałem się śmiercią, niszczycielem światów". Ten cytat miał wpływ na jego późniejsze działania w kierunku zahamowania wyścigu zbrojeń z możliwością użycia broni jądrowej. Uważał, że to naukowcy odpowiadają za oddanie potężnej broni masowego rażenia bezwzględnym politykom. Niestety jego apele o wstrzymanie programu rozwoju broni jądrowej zdolnej do masowego zabicia niewinnych ludzi, zostały zignorowane przez prezydenta Trumana, który wydał zgodę na prace nad budową bomby wodorowej.

W filmie pokazana została rozmowa Oppenheimera z Trumanem, kiedy to apel uczonego do sumienia Prezydenta został wyśmiany, a uczony został nazwany „beksą". Dlaczego Oppenheimer zacytował zdanie ze starożytnej księgi hinduizmu? Był oczytany, znał dzieła filozoficzne starożytnego Wschodu, w szkole prywatnie uczył się języków starożytnych, już jako dziewięciolatek znał starożytną grekę i łacinę. Przez kolegów i studentów uważany był za erudytę. Wpoił swoim studentom nawyk czytania dzieł w oryginale.

Spotkania z Einsteinem

Bardzo ciekawie przedstawione są w filmie trzy zrekonstruowane spotkania Oppenheimera z Einsteinem w ośrodku naukowym w Princeton w różnych odstępach

Rys. 7. Scena z filmu Oppenheimer. Uczony osobiście dogląda instalacji



Rys. 8. Archiwalne zdjęcie wybuchu pierwszej bomby atomowej na pustyni Nevada

eprasa.pl fc7cb87889

Rys. 9. Albert Einstein w Princeton i scena spotkania uczonych z filmu „Oppenheimer"

Rys. 10. Scena z filmu „Einstein i bomba"

czasowych. Spotkania te odbywały się na terenie rozległego ogrodu Institute for Advanced Study (IAS, Instytut Studiów Zaawansowanych). Instytut ten jako instytucja niezależna został utworzony w 1930 roku w okresie narodzin faszyzmu w Europie. IAS znajdujący się w sąsiedztwie Uniwersytetu w Princeton, stan New Jersey, odegrał kluczową rolę w transferze kapitału intelektualnego z Europy do Ameryki, przyciągnął wielu najlepszych naukowców z całego świata, w tym Noblistę Alberta Einsteina, twórcę szczególnej i ogólnej teorii względności.

IAS tylko formalnie powiązany jest z uniwersytetem, ale w praktyce zakres współpracy jest bardzo szeroki. Oppenheimer jako kierownik projektu badań nad bronią jądrową chciał przedyskutować z Einsteinem sprawy stricte naukowe, jednak genialny uczony nie podjął się oceny koncepcji obliczeń, gdyż mimo wsparcia swoim autorytetem badań nad bronią jądrową, nie chciał angażować się w te badania przewidując tragiczne dla ludzkości skutki użycia tej broni wskutek decyzji politycznych.

W filmie reżyser zrekonstruował także inne spotkanie Oppenheimera z Einsteinem w ogrodzie Instytutu w Princeton w przededniu przyznania Oppenheimerowi Nagrody Fermiego przez prezydenta Kennedy'ego. Oppenheimer wówczas pracował wraz z Einsteinem w Instytucie Studiów Zaawansowanych jako profesor fizyki teoretycznej i dyrektor Instytutu. Wielki uczony radzi młodszemu koledze przyjąć tę prestiżową Nagrodę, gdyż to wydarzenie będzie nie tylko aktem rehabilitacji osobistej laureata, ale pozytywnie wpłynie na dalsze stosunki z dawnymi kolegami i współpracownikami, którzy szkodzili swego czasu swojemu kierownikowi podczas pamiętnego procesu. Ta rehabilitacja dotyczy także ich, gdyż oni sami poniekąd także stali się ofiarami politycznej nagonki wykorzystanymi przez bezwzględnych polityków.

A odnośnie przedstawionego w filmie drugiego spotkania Oppenheimera z Einsteinem w ogrodzie Instytutu w Princeton i odmowie przez Einsteina konsultacji rozwiązań obliczeniowych, to w filmie dokumentalnym *Einstein i bomba* dostępnym na platformie *Netflix* można dowiedzieć się dokładniej o przyczynach takiej reakcji uczonego, który twierdził, że uwiarygodniając swoją osobą wystąpienie naukowców do prezydenta Roosevelta o poparcie dla programu rozwoju broni jądrowej był przekonany, że badania nad bombą atomową są badaniami wyłącznie teoretycznymi i nigdy nie dojdzie do wyprodukowania groźnej broni masowego rażenia. Ważny w firmowaniu tego listu był też argument o zagrożeniu ze strony hitlerowskich Niemiec, gdzie prowadzono zaawansowane badania nad bronią jądrową.

Einstein i bomba atomowa

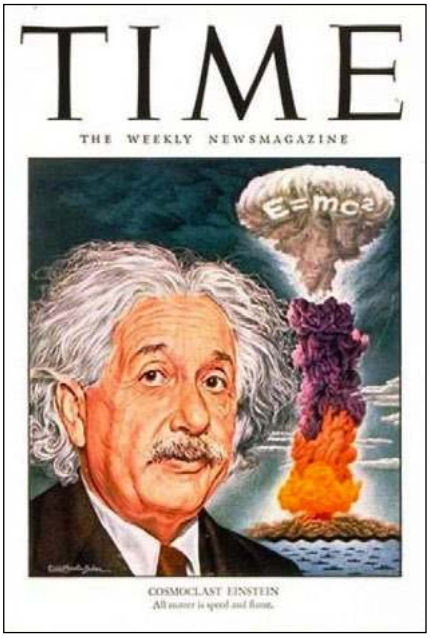
Film *Einstein i bomba* (tytuł oryginalny *Einstein and the Bomb,* produkcja Wielka Brytania, BBC Studios 2024) warto obejrzeć jako uzupełnienie filmu *Oppenheimer*; jest to fabularyzowany dokument z obszernymi fragmentami oryginalnych filmów archiwalnych. Akcja filmu zaczyna się w 1933 roku w Niemczech. Gdy Hitler przejmuje władzę i zaczyna systematyczne prześladowania Żydów, Einstein zostaje zmuszony do opuszczenia Niemiec. Miejscem, gdzie Einstein znalazł schronienie przed realnym zagrożeniem ze strony nazistowskich morderców w drewnianej chacie w lasach Norfolk (w Wielkiej Brytanii), o czym mało kto słyszał.

Odosobnienie uczonego w Norfolk to czas i miejsce, które okażą się zwrotnymi punktami w jego życiu, między Europą i Stanami Zjednoczonymi, między pacyfizmem a agresją, a także okres, który ostatecznie zdefiniuje jego powiązanie z najpotężniejszym ze wszystkich wynalazków, czyli bombą atomową. W scenariuszu dokumentu wykorzystano tylko własne słowa Einsteina z jego przemówień, listów i wywiadów, towarzyszące dramatycznym sekwencjom aktorskim połączonym z materiałami archiwalnymi przedstawiającymi życie naukowca. Na tle dwóch wojen światowych, rozwoju i upadku faszyzmu, nadejścia ery atomowej, przedstawiono w filmie wnikliwy i poruszający portret jednego z największych myślicieli XX wieku.

W dokumencie *Einstein i bomba* pokazano zdjęcia wybuchów bomb atomowych zrzuconych na Hiroszimę i Nagasaki oraz ich skutki, czyli obszar, którego nie było w filmie *Oppenheimer,* a krytycy zarzucali reżyserowi, że w jego filmie nie ma „Japonii". W dokumencie pokazano także zrekonstruowaną rozmowę Einsteina z młodym przedstawicielem rządu japońskiego w gabinecie uczonego w Princeton. W tej rozmowie Einstein przyznaje, że cały jego przeceniany przez media wkład w rozwój amerykańskiego programu budowy bomby atomowej polegał tylko na firmowaniu pisma w imieniu uczonych amerykańskich do prezydenta Roosevelta, w którym apelowali o przyznanie środków na badania nad bronią jądrową w obliczu zaawansowanych badań prowadzonych w hitlerowskich Niemczech. Sam Einstein przyznaje, że firmując swoim nazwiskiem to ważne pismo był przekonany, że badania nad bombą atomową są tylko badaniami teoretycznymi.

eprasa.pl fc7cb87889

W rozmowie z politykiem japońskim, zdawał sobie sprawę z przerażających skutków użycia potężnej broni masowej zagłady na rozkaz polityków. Einstein przebywając w ośrodku naukowym w Princeton organizował wokół siebie uczonych przeciwnych wyścigowi zbrojeń mogącym skutkować użyciem broni jądrowej. Jeśli chodzi o powszechnie przypisywany Einsteinowi wkład w budowę bomby atomowej, to do dzisiaj utrzymywany jest pogląd, że jego obliczenia, a zwłaszcza słynne równane szczególnej teorii względności o równoważności masy i energii wyjaśnia pozyskanie ogromnych ilości energii z rozszczepienia jądra atomowego. Faktycznie, w filmie *Einstein i bomba* wielokrotnie pokazano uczonego jak wyjaśnia słuchaczom wyprowadzony ze szczególnej teorii względności wzór na równoważność masy i energii, ale autorzy filmu wyraźnie nie dementują utrwalonego przez media faktu powiązania tego wzoru z badaniami nad bombą atomową.



Rys. 11. Okładka Tygodnika TIME z 1946 r.

Równanie, które zmieniło świat

Można znaleźć w Internecie filmik ukazujący wystąpienie Einsteina, w którym wyjaśnia po angielsku, że: „Jak wynika ze szczególnej teorii względności masa i energia są przejawami tej samej rzeczy. Równanie $E = mc^2$ wykazało, że bardzo mała ilość materii może zostać zamieniona na bardzo dużą ilość energii i na odwrót". Jak wyjaśnia znany matematyk i popularyzator nauki Ian Stewart, często osiągnięciom naukowym Einsteina przypisywany jest pogląd, że dzięki jego badaniom uczeni uświadomili sobie, jak wielkie ilości energii może uwolnić wybuch bomby atomowej.

W książce popularnonaukowej *17 równań, które zmieniły świat* (tytuł oryginalny *Seventeen equations that changed the world*, Wydawnictwo Prószyński i S-ka, Warszawa 2013) Ian Stewart tak pisze: „Niewątpliwie z taką intencją magazyn *Time* umieścił na okładce numeru z 1946 roku twarz uczonego na tle charakterystycznej chmury wywołanej wybuchem bomby atomowej oraz jego słynne równanie. Związek między wzorem a eksplozją o niezwykłej sile rażenia wydaje się oczywisty – równanie określa przecież energię związaną z masą każdego ciała, równą jej iloczynowi z kwadratem prędkości światła. Ponieważ prędkość światła jest ogromna, a jej kwadrat jeszcze większy, nawet niewielka masa staje się równoważna ogromnej ilości energii. Energia odpowiadająca jednemu gramowi materii to 90 TJ (teradżuli, TJ = 10^{12} J) – taką energię wytwarza się każdego dnia w elektrowniach jądrowych".

W rzeczywistości energia uwalniana w czasie wybuchu bomby atomowej jest zaledwie niewielkim ułamkiem relatywistycznej masy spoczynkowej. Poza tym, jeśli chodzi o pozyskanie energii z eksplozji jądrowej, trzeba umieć utrzymać w jednym miejscu odpowiednią ilość materiału radioaktywnego na tyle długo, aby doprowadzić do zajścia reakcji łańcuchowej. Jak przypomina Stewart: „W świadomości społecznej bardzo szybko zrodziło się przekonanie, że to właśnie wzór podany przez Einsteina zapoczątkował prace nad bombą atomową.

W raporcie Smytha, dokumencie wydanym na polecenie rządu Stanów Zjednoczonych mającym wyjaśnić obywatelom historię skonstruowania bomby atomowej i znaczenie tej broni, wzór Einsteina pojawił się już na drugiej stronie". Dlaczego tak się stało? Ian Stewart wyjaśnia: „Podejrzewam, że mieliśmy tu do czynienia ze zjawiskiem, które z Jackiem Cohenem nazwaliśmy: „kłamstwem dla dzieci" – uzasadnionym uproszczaniem wyjaśnień, mającym prowadzić do faktycznego oświecenia. Tak właśnie przebiega kształcenie – pełny obraz jest zazwyczaj zbyt skomplikowany, by mógł go zrozumieć ktokolwiek poza ekspertami w danej dziedzinie, a ci wiedzą tyle, że i tak w większość sami nie wierzą".

Czy „Oppenheimer" ma walory dydaktyczne?

Czy film można polecić go młodzieży jako uzupełnienie szkolnej wiedzy o skonstruowaniu bomby atomowej? W obecnych czasach nawet pokojowe wykorzystanie energii jądrowej wytwarzanej w reaktorach jądrowych jest kwestionowane. W Niemczech wstrzymano przecież rozwój energetyki jądrowej. Wartościowym przesłaniem filmu jest przestroga przed wykorzystaniem badań naukowych przez wojsko. Chodzi nie tylko o samo wykorzystanie osiągnięć naukowych na potrzeby militarne, czyli do produkcji śmiercionośnej broni, ale idące za tym utajnienie badań, kontrola działalności, izolacja uczonych od społeczeństwa, co odbija się też na życiu osobistym naukowców.

Wartościowym przesłaniem filmu *Oppenheimer* jest ukazanie aspektu humanistycznego pracy naukowców. W dzisiejszych czasach, aby osiągnąć istotne odkrycia naukowe naukowcy muszą pracować w dużych zespołach badawczych, często międzynarodowych, gdzie ważna jest umiejętność współpracy, sprawiedliwej oceny wkładu indywidualnego uczonych. Wyniki badań muszą być jawne, aby pozyskać od społeczeństwa środki finansowe na rozwój badań i budowę kosztownych urządzeń. Sam film pobudza odbiorców do samodzielnego pozyskania wiedzy o badaniach jądrowych, subatomowej budowie materii, wykorzystaniu energii jądrowej, oddziaływaniu promieniowania jądrowego z materią. Film przybliża już trochę zapomniane postacie wielkich fizyków, których osiągnięcia naukowe wywarły znaczący wpływ na rozwój nauki, ale też cywilizacji, gdyż zbudowane nowe urządzenia oddziałują na życie ludzi i zmieniają ich zachowania..

Dr Edward Rydygier

Autor fizyk jądrowy, dr nauk techn. Specjalista w zakresie dozymetrii promieniowania jonizującego i badań termojądrowych. Jest aktywistą Sekcji Nauczycielskiej PTF, posiada tytuł Fizyka Europejskiego (EurPhys), uzyskał szerokie doświadczenie dydaktyczne na różnych poziomach kształcenia w szkolnictwie. Interesuje się nowoczesną popularyzacją fizyki i wykorzystaniem mediów w edukacji i popularyzacji wiedzy.

eprasa.pl fc7cb87889

Zasady tworzenia i przetwarzania testów

Valentyna **Shvets**

Szybki rozwój społeczeństwa informacyjnego stymuluje poszukiwanie nowych form i metod nauczania dyscyplin, w szczególności form kontroli wiedzy studentów. W artykule „Wykorzystanie e-learningowej platformy Moodle w procesie edukacyjnym" [1] były opisane różne rodzaje zadań testowych w platformie e-learningowej Moodle bez rozważania kwestii przekształcenia zestawu zadań testowych w narzędzie pomiaru wiedzy. Ten artykuł rozpatruje kwestie tworzenia testów, które stają się, po odpowiednim przetwarzaniu, prawdziwymi narzędziami do pomiaru wiedzy.

Ogólne informacje o formach zadań testowych. Test to jest system zadań określonej formy, który pozwala zmierzyć poziom wiedzy oraz umiejętności [2]. Test spełnia funkcje *diagnostyczne*, *edukacyjne* oraz *organizacyjne* [3, 4]. Główną cechą testu jest to, że ma on technologie, które pozwalają na zautomatyzowanie procesów uczenia się i kontroli. Istnieją cztery formy zadań testowych, które służą różnym celom kontroli wiedzy.

Zamknięta forma zadań testowych.

Jest to forma, w której oferowanych jest kilka odpowiedzi, a tylko jedna jest prawidłową. Zadanie testowe zamkniętej formy jest sformułowane w postaci jasnej, krótkiej instrukcji (5-9 słów), która może przyjąć 2 wartości: prawda lub fałsz. Liczba odpowiedzi na zadanie testowe może wynosić od dwóch do pięciu. Niepożądane jest podawanie większej liczby odpowiedzi ze względu wzrostu czasu testowania.

Testowanie za pomocą zadań z dwoma wariantami odpowiedzi jest używane jako test wstępny ze względu na wysokie prawdopodobieństwo zgadnięcia poprawnej odpowiedzi. Zazwyczaj podczas testowania stosuje się *dychotomiczny system oceniania*, w którym student dostaje 1 punkt za poprawną odpowiedź, a 0 punktów za błędną.

Podczas kompilacji testów w systemie oceny dychotomicznej stosuje się szereg zasad: *alternatywny*, *klasyfikacyjny*, *kumulatywny*, *asocjacyjny*.

Podajemy przykłady zadań testowych, zestawionych przy użyciu tych zasad.

- Zasada alternatywna:

Zadanie: Dwa dyski o różnym promieniu są sztywno posadzone na wspólnej osi. Podczas obracania dysków stała jest:

Odpowiedzi:
A) prędkość liniowa,
B) prędkość kątowa.

Jak widać z zadania, student otrzymuje alternatywę: *albo ... albo ...*, ponieważ w mechanice istnieją tylko 2 rodzaje prędkości: liniowa i kątowa.

- Zasada klasyfikacyjna:

Zadanie: Formuła $X = \frac{X_1 + X_2 + \ldots + X_n}{n}$ jest używana do obliczenia

Odpowiedzi:
A) średniej arytmetycznej wartości,
B) średniej geometrycznej wartości.

Podczas tworzenia pytania testowego student otrzymuje opcje odpowiedzi, które wykorzystują klasyfikację wartości średniej.

- Zasada kumulatywna:

Zadanie: W procesie adiabatycznym gazu doskonałego zmieniają się takie parametry:

Odpowiedzi:
A) ciśnienie,
B) ciśnienie i objętość,
C) ciśnienie, objętość i temperatura.

Podczas opracowywania pytania testowego zgodnie z zasadą kumulatywną, następna odpowiedź jest równa sumie poprzedniej i nowej wartości.

- Zasada asocjacyjna:

Zadanie: W procesie izobarycznym gazu doskonałego zmieniają się takie parametry:

Odpowiedzi:
A) ciśnienie i objętość,
B) objętość i temperatura.

W zadaniach tego typu opcje odpowiedzi są łączone z elementami poprawnych lub niepoprawnych odpowiedzi.

Otwarta forma zadań testowych.

Odpowiadając na pytania testowe w formie otwartej, student nie wybiera opcji poprawnej odpowiedzi, sam formułuje odpowiedź. Poniżej znajduje się przykład zadania testowego w formie otwartej.

Zadanie: Siła działająca na ładunek poruszający się w polu magnetycznym, jest nazywana siłą „_____".

Odpowiedź: „Lorentza" student musi wpisać sam.

Zadanie na dopasowanie. Zadanie na dopasowanie ma formularz:

Zadanie. Określ dopasowania strzałką, dopasując równania ruchu punktu materialnego (PM) do rodzaju ruchu:

Ruch jednostajny prostoliniowy PM

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Ruch jednostajnie przyspieszony prostoliniowy PM

$$x = x_0 + vt$$

eprasa.pl fc7cb87889

Ruch jednostajnie przyspieszony PM po okręgu

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t$$

Ruch jednostajny PM po okręgu

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}$$

Zadanie typu „poprawna sekwencja”. Tego typu zadania służą do sprawdzania wiedzy o kolejności chronologicznej wydarzeń w historii lub do sprawdzania wiedzy o kolejności działań zawodowych.

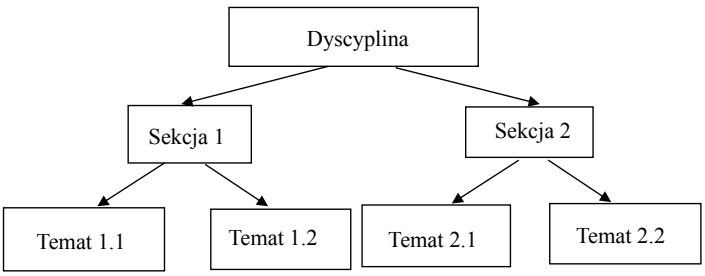
Zadanie. Podaj prawidłowe numery porządkowe w komórkach podczas włączania obwodu elektrycznego:

- [ ] Ustaw regulator napięcia na zero przy źródle napięcia
- [ ] Odblokuj wyłącznik w obwodzie elektrycznym
- [ ] Włącz źródło napięcia do sieci energetycznej
- [ ] Zablokuj wyłącznik w obwodzie elektrycznym
- [ ] Stopniowo zwiększaj napięcie na źródle napięcia

Rodzaje zadań testowych dostarczanych przez platformię Moodle.

Platforma e-learningowa Moodle zawiera potężny system badania wiedzy studentów przy użyciu 15 możliwych rodzajów pytań: „Wybór wielokrotny”, „Prawda/Fałsz”, „Krótka odpowiedź”, „Numeryczne”, „Obliczeniowe”, „Dopasowanie”, „Esej”, „Losowe pytanie krótkiej odpowiedzi z dobieraniem”, „Pytanie zagnieżdżone”, „Obliczeniowe proste”, „Obliczeniowe wielokrotnego wyboru”, „Przeciągnij i upuść markery”, „Przeciągnij i upuść na tekst”, „Wybierz brakujące słowa”, „Złap i przeciągnij na obrazek”. Wśród nich są pytania typu zamkniętego, na przykład, „Wybór wielokrotny”, „Prawda/Fałsz”, a także pytania typu otwartego: „Numeryczne”, „Obliczeniowe”. Szczegółowy opis rodzajów pytań w e-learningowej platformie Moodle znajduje się w artykule W. Szwec [1].

Tworzenie schematu logiczno-strukturalnego zadań testowych. Podczas budowania testu sprawdzającego wiedzę dyscypliny konieczne jest opracowanie schematu strukturalnego, zgodnie z którym test zostanie wykonany. Wiedza kontrolowana podczas studiowania dyscypliny podzielona jest na sekcje. Sekcje to zbiór tematów, a tematy to zbiór akapitów (rys. 1). Dopiero po skonstruowaniu takiego logiczno-strukturalnego schematu dyscypliny możliwe jest rozpoczęcie budowy testu.



Rys.1. Fragment logiczno-strukturalnego schematu dyscypliny.

Budowanie planu testu. Zgodnie z logiczno-strukturalnym schematem dyscypliny, zadania testowe są podzielone na sekcje. Następnie należy rozdzielić pytania testowe proporcjonalnie do godzin nauki zarezerwowanych dla badania każdej sekcji [5]. Na przykład konieczne jest sprawdzenie wiedzy w zakresie mechaniki, fizyki molekularnej, elektrodynamiki. 70 godzin poświęconych jest mechanice, 65 godzin fizyce molekularnej, 49 godzin to elektrodynamika. To daje 184 godziny lekcyjne. Oznacza to, że 38% całkowitego czasu nauki poświęcono na badania mechaniki, 35% na badania fizyki molekularnej, a 27% na badanie elektrodynamiki. W związku z tym w teście sprawdzającym wiedzę w tych sekcjach powinien istnieć taki stosunek liczby zadań: 38:35:27. Jeśli test, który sprawdza wiedzę w tych sekcjach, zawiera 160 zadań, rozkład liczby zadań testowych powinien być taki sam, jak w tabeli 1.

Tabela 1. Dystrybucja zadań testowych według sekcji

Sekcje dyscypliny	Liczba zadań testowych	Procent całości zadań
Mechanika	61	38
Fizyka molekularna	56	35
Elektrodynamika	43	27
Suma	160	100

Kolejny podział jest stosowany w celu uwzględnienia wiedzy i umiejętności. Na przykład w procesie testowania sprawdzana jest wiedza i umiejętności w zakresie mechaniki: A – znajomość podstawowych pojęć; B – znajomość podstawowych praw mechaniki. Aby przetestować wiedzę o typie A, przypisano 67% zadań testowych, do testowania wiedzy o typie B – 33% zadań testowych. W tym przypadku rozkład zadań w teście dotyczącym mechaniki przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Podział zadań testowych w celu kontrolowania wiedzy i umiejętności z zakresu mechaniki

Rodzaje wiedzy i umiejętności	Liczba zadań testowych	Procent całości
A	41	67
B	20	33
Suma	61	100

Podobne zestawienia są tworzone dla każdej sekcji, a następnie tworzony jest ogólny plan testów uwzględniający zadania każdej sekcji.

Podczas tworzenia testu należy zauważyć, że w procesie matematycznego przetwarzania wyników testu 75% zadań testowych zostanie usuniętych z testu, ponieważ nie spełniają one wskaźnika złożoności lub wskaźnika zdolności różnicowania. Z tego powodu, aby utworzyć prawidłowy test, który zawiera 40 zadań, należy utworzyć wstępny test, który zawiera 120 zadań.

Opracowywanie wyników testów. Proces oceny jakości wiedzy jest procesem pomiarowym, do którego można

eprasa.pl fc7cb87889

stosować wszystkie prawa odnoszące się do pomiarów [6], w szczególności założenie, że zmierzona ilość jest dystrybuowana zgodnie z normalnym prawem (rozkład Gaussa). Zgodnie z normalnym rozkładem wartości empirycznych, których gęstość ma postać (1),

$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{\Delta x^2}{2\sigma^2}\right) \tag{1}$$

średnie odchylenie kwadratowe oblicza się za pomocą wzoru (2):

$$\sigma=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta x_i)^2}{n(n-1)}}, \tag{2}$$

gdzie n jest liczbą empirycznych wartości, $\Delta x_i = x_i - \overline{x}$ – odchylenie i-tej mierzonej wartości od średniej.

Główną cechą rozkładu normalnego jest to, że najbardziej prawdopodobna wartość jest równa średniej arytmetycznej wartości. Przy najbardziej prawdopodobnej wartości pochodna od $f(x)$ zmierza do zera.

Znajdujemy pochodną, biorąc pod uwagę, że odchylenie standardowe jest stałe:

$$f'(x)=-\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\left(-\frac{\Delta x}{\sigma^2}\right)\exp\left(-\frac{\Delta x^2}{2\sigma^2}\right). \tag{3}$$

Z wyrażenia (3) widzimy, że pochodna $f'(x)$ wynosi zero tylko w przypadku, gdy różnica $\Delta x = x - \overline{x}$ wynosi zero.

W ten sposób, ze średnią wartością $x=\overline{x}$, osiąga się maksimum rozkładu.

Ta cecha jest podstawą do obliczania błędów w pomiarach eksperymentalnych: jeśli wartości empiryczne są rozdzielone zgodnie z normalnym rozkładem, wówczas średnia arytmetyczna jest równa najbardziej prawdopodobnej wartości.

Aby uwzględnić błędy pomiaru, używamy innych cech rozkładu normalnego.

1. w zakresie $(\overline{x}-\sigma;\overline{x}+\sigma)$ znajduje się 68% obszaru pod wykresem;
2. w zakresie $(\overline{x}-2\sigma;\overline{x}+2\sigma)$ znajduje się 95% obszaru pod wykresem;
3. w zakresie $(\overline{x}-3\sigma;\overline{x}+3\sigma)$ znajduje się 99.7% obszaru pod wykresem.

Zgodnie z treścią matematyczną obszar pod wykresem *f(x)*, wyrażony w ułamkach jedynki, jest równy prawdopodobieństwu znalezienia wartości x w przedziale $(\overline{x}-A;\overline{x}+A)$. Interwał $(-\infty;+\infty)$ wynosi 100% powierzchni pod wykresem $f(x)$, a prawdopodobieństwo zmienia się w autentyczność.

Procent obszaru pod wykresem $f(x)$ wyrażony w ułamkach jedynki nazywany jest *prawdopodobieństwem ufności.*

Aby określić przedział ufności, należy określić wartość prawdopodobieństwa ufności α. Przedział dla wartości pożądanej wielkości x z ufnością α jest $(\overline{x}-\Delta x;\overline{x}+\Delta x)$, gdzie $\Delta x = t_{\alpha n}\cdot\sigma$ jest absolutny błąd pomiaru.

Współczynnik $t_{\alpha n}$ zależy od prawdopodobieństwa ufności α, liczby empirycznych wartości n i jest określany przez tabele Studenta.

W oparciu o prawa statystyki matematycznej definiowana jest procedura tworzenia testów jako narzędzi do pomiaru wiedzy, jeśli rozkład poziomu wiedzy odpowiada normalnemu rozkładowi.

Do testów musimy mieć reprezentatywną próbkę co najmniej 50 studentów.

Na podstawie wyników testu kompiluje się tabelę, w której pierwsza linia pozioma zawiera numery zadań testowych, ostatnia linia pionowa wskazuje całkowity wynik każdego studenta po udzieleniu odpowiedzi na pytania testowe, ostatnia pozioma linia zawiera liczbę poprawnych odpowiedzi dla każdego zadania testowego.

Określimy całkowity wynik, jaki uzyskał student z numerem i w tabeli, przez $x(i)$, a liczbę poprawnych odpowiedzi na każde pytanie przez $R(j)$. Następnie uporządkujemy tabelę odpowiedzi według kolejności zwiększania $x(i)$ i zmniejszania $R(j)$.

Pytania o tej samej wartości $R(j)$ nie powinny być w teście, jeśli odnoszą się do jednego tematu, ponieważ $R(j)$ wskazuje na ten sam poziom trudności. Jeśli są na przykład 3 pytania z tym samym $R(j)$, to dwa z nich powinny zostać usunięte z testu, pozostawiając tylko jedno pytanie.

Po usunięciu pytań o tym samym poziomie trudności otrzymujemy uporządkowaną tabelę, w której dodamy kolumną $[x(i)]^2$. Używamy danych w tej tabeli do przetwarzania wyników testów.

Najpierw obliczamy średnią punktację:

$$\overline{x}=\frac{\sum_{i=1}^{N}x(i)}{N} \tag{4}$$

Następnie obliczamy sumę kwadratów odchyleń $x(j)$ od $\overline{x}$:

$$SS_x=\sum_{i=1}^{N}\left[x(i)-\overline{x}\right]^2 \tag{5}$$

Wykonując proste transformacje, możemy otrzymać

$$SS_x=\sum_{i=1}^{N}\left[x(i)\right]^2-\frac{\left[\sum_{i=1}^{N}x(i)\right]^2}{N} \tag{6}$$

Po podzieleniu wyniku na (N-1), mamy rozproszenie wyników testu.

$$\overline{S}_x^2=\frac{S\cdot S_x}{N-1} \tag{7}$$

Kwadrat podstawy jest standardowym odchyleniem wyników testu:

$$\overline{S}_x=\sqrt{\overline{S}_x^2} \tag{8}$$

W rozkładzie normalnym $\overline{x}\approx 3\cdot\overline{S}_x$.

Grupa studentów musi być podzielona jest na 3 części: grupy silne, średnie i słabe [7].

Obliczymy następujące wartości: H – liczbę poprawnych odpowiedzi na pytania testowe w silnej grupie, L – liczbę poprawnych odpowiedzi w słabej grupie, N – całkowitą liczbę uczniów poddawanych testom.

eprasa.pl fc7cb87889

Obliczymy dla każdego zadania:
wskaźnik złożoności

$$I_z = \frac{H+L}{N} \cdot 100 \tag{9}$$

wskaźnik zdolności różnicowania

$$I_R = 2 \cdot \frac{H-L}{N} \tag{10}$$

Jeżeli wskaźnik złożoności znajduje się w interwale $50 < I_z < 60$, pytanie testowe jest uważane za *idealnie skomponowane.*

Jeśli indeks złożoności znajduje się w $30 < I_z < 50$ lub w $60 < I_z < 70$ pytanie uznaje się za *dopuszczalne.*

Dla indeksu zdolności różnicowania obowiązują następujące limity:

1. jeśli $I_R > 0.35$, to pytanie jest uważane za *idealne*;
2. jeśli $0.25 < I_R < 0.34$, to pytanie jest uważane za *dobrze uformowane*;
3. jeśli $0.15 < I_R < 0.24$, to pytanie jest *sprzeczne* pod względem umiejętności różnicowania wiedzy;
4. kiedy $I_R < 0.15$, pytanie testowe jest uważane za *słabo napisane*.

Po obliczeniu tych wskaźników w teście należy pozostawić tylko te pytania, które są idealnie lub dobrze skomponowane.

Dalsza praca z testem sprowadza się do sprawdzenia jego *niezawodności.*

Istnieje wiele metod testowania niezawodności testu:

- obliczając korelację Pearsona między dwoma równoległymi testami na tej samej próbie uczniów;
- obliczając korelację między powtarzanymi testami w określonym czasie, stosując ten sam test na tej samej próbie uczniów;
- poprzez obliczenie współczynnika niezawodności rt za pomocą wzoru Spearmana-Browna:

$$r_{nt} = \frac{2r_k}{1+r_k} \tag{11}$$

gdzie r_k – współczynnik korelacji między parzystymi i nieparzystymi zadaniami testowymi;

- poprzez obliczenie współczynnika niezawodności według wzoru:

$$r_{nt} = 1 - \frac{S_e^2}{S_x^2} \tag{12}$$

gdzie S_e^2 – dyspersja błędu, S_x^2 – dyspersja punktów podczas testu.

Uważa się, że test jest bardziej niezawodny, im większa jest jego długość. Optymalna liczba pytań w teście mieści się w zakresie od 40 – 60 pytań.

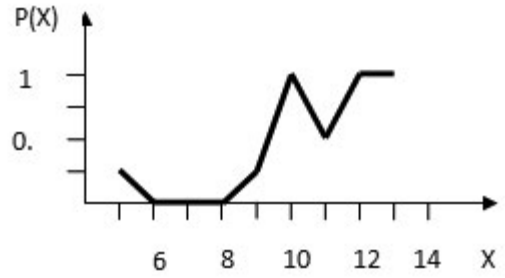
Jakość testu jest oceniana pod względem niezawodności i ważności. Warto zauważyć, że nie ma wiarygodności pojedynczego testu, ani nie ma jednej ważności testu, ale dane eksperymentalne dotyczące wyników testu porównuje się z wymaganiami podanymi w tabeli 3.

W procesie wyboru ważnych pytań testowych bierze się pod uwagę geometryczny obraz pytania testowego. Rysunek 1 przedstawia geometryczny obraz idealnie skompilowanego zadania. Z tego rysunku jest oczywiste, że prawdopodobieństwo odpowiedzi na zadanie dla uczniów o niskim poziomie wiedzy wynosi zero, a dla uczniów o wysokim poziomie wiedzy – wynosi jeden.

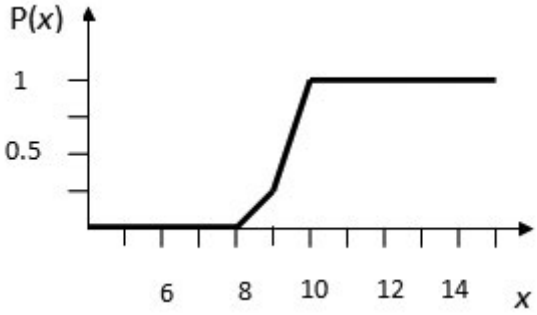
Na rys. 2 przedstawia geometryczny obraz kontrowersyjnego zadania. Rysunek 2 pokazuje, że uczniowie o niskim poziomie wiedzy mogą rozwiązać zadanie testowe,

Tabela 3. Wymagania dotyczące niezawodności i ważności testu.

Współczynnik korelacji	Niezawodność	Ważność
0,90 – 0,99	Doskonale	Doskonale
0,85 – 0,89	Bardzo dobrze	Doskonale
0,80 – 0,84	Dobrze	Doskonale
0,75 – 0,79	Zadowalające	Doskonale
0,70 – 0,74	Trochę satysfakcjonujące	Dobrze
0,60 – 0,69	Kontrowersyjne	Dobrze
0,50 – 0,59	Niezadowalające	Dobrze
0.40 – 0,49	Niezadowalające	Zadowalające
0,10 – 0,39	Niezadowalające	Trochę satysfakcjonujące
0,00 – 0,09	Niezadowalające	Niezadowalające



Rys. 1. Geometryczny obraz idealnie skomponowanego zadania.



Rys. 2. Geometryczny obraz pytania kontrowersyjnego.

eprasa.pl fc7cb87889

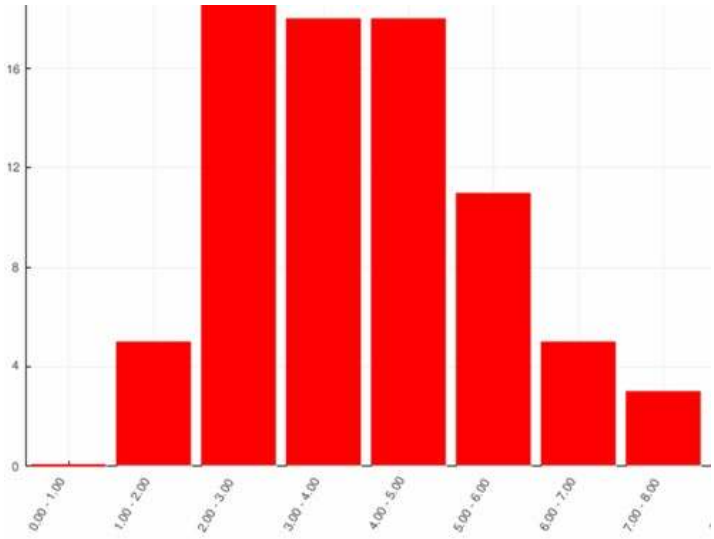
a uczniowie o wysokim poziomie wiedzy mogą go nie rozwiązać. To jest nielogiczne, dlatego te pytanie musi być usunięte z testu.

Do testowania studentów w Państwowym Uniwersytecie Telekomunikacji w Kijowie opracowano ważne testy fizyki, które składają się ze 120 pytań (30 pytań do każdego z 4 modułów), które wybrano z 400 pytań testowych [8, 9]. W procesie walidacji 280 pytań testowych zostały usunięte z testu jako niemożliwe do zastosowania, ponieważ nie pasowały do wskaźniku złożoności lub indeksu zdolności różnicowania.

Podczas przygotowywania pytań testowych zadanie zostało ustawione:

- weryfikacja wiedzy o formułach, definicjach;
- weryfikacja zrozumienia istoty fizycznych pojęć i stałych;
- weryfikacja znajomości o związkach między różnymi wielkościami fizycznymi.

Rysunek 3 przedstawia jeden z testowych histogramów rozkładu skonstruowanych przez platformę Moodle po przetestowaniu uczniów z modułu nr 1 z wykorzystaniem testu walidacyjnego.



Rys. 3. Histogram rozkładu wyników badań studentów (moduł n 1) z wykorzystaniem testu trafnościowego.

Widzimy z rysunku 3, że histogram zawiera wyraźne maksimum, które mieści się w zakresie 3.0-5.0 punktów, co odpowiada oszacowaniom w systemie ECTS w zakresie od 40 do 63; to oznacza, że główna część tej grupy studentów ma niski poziom wiedzy. Narzędzia platformy Moodle umożliwiają wyświetlanie i drukowanie profilu wiedzy każdego ucznia w systemie dychotomicznym, dając nauczycielowi możliwość indywidualnego zalecenia dla każdego ucznia w celu poprawy jakości wiedzy i przygotowania go do egzaminu semestralnego.

Wniosek. Konsekwentne stosowanie podstawowych wymagań do tworzenia walidacyjnych testów w połączeniu z możliwościami e-learningowej platformy Moodle umożliwia tworzenie testu jako narzędzi do pomiaru wiedzy i wdrażać zasady różnicowania uczenia się w praktyce.

ŹRÓDŁA

[1] Szwec W. *Wykorzysanie e-learningowej platformy Moodle w procesie edukacyjnym*// Fizyka w Szkole z Astronomią. – 2017. –Nr.3. – S.32–39.

[2] Аванесов В.С. *Композиция тестовых заданий* // уч. кн. Для преподавателей вузов, техникумов и училищ, учителей школ, гимназий и лицеев, для студентов и аспирантов педагогических вузов – 3 издание., доп. – М.: Центр тестирования, 2002 (w języku rosyjskim).

[3] Нейман Ю.М., Хлебников В.А. *Введение в теорию моделирования и параметризации педагогических тестов*. – М. – 2000. – 168 с. (w języku rosyjskim).

[4] Олейник Н.М. *Учебное пособие по курсу «Тест как инструмент измерения уровня знаний и трудности заданий в современной технологии обучения»* – Донецк: ДГУ, 1991(w języku rosyjskim).

[5] Швець В. Д. *Управління навчальною діяльністю майбутніх фахівців з інформатики та обчислювальної техніки*: монографія – Київ: Видавництво НПУ імені М. П. Драгоманова, 2013 (w języku ukraińskim)

[6] Каденко І.М., Плюйко В.А. *Основи методів оцінок статичних даних та функцій їх розподілу* // Навчальний посібник. – К., ВУП Київський університет, 2003 (w języku ukraińskim).

[7] *Про порядок розробки складових нормативного та методичного забезпечення підготовки фахівців з вищою освітою.* Наказ Міністерства освіти України від 31 липня 1998 р. № 285// Законодавчі та нормативні акти про освіту в Україні. – вип. 12. – ч.III. – К.: 1998 р. (w języku ukraińskim).

[8] Авторське свідоцтво № 45753 Україна. *Валідні тести для тестування студентів вищих навчальних закладів інформаційного та телекомунікаційного профілів з дисципліни „Загальна фізика"*// В. Д. Швець (Україна). – № 46023; заявлено 24.07.2012; опубліковано 25.09.2012 (w języku ukraińskim).

[9] Szwec W. *E-learningowy podręcznik „Podstawy fizyki klasycznej" dla edukacji na odległość*/ Materiały XVII sympozjum „Komputer w Edukacji". Recenzent: prof. zw. dr. hab. Władysław P. Zaczyński. – Kraków. – 2007. – S. 242–248.

W następnych wydaniach polecamy m.in.

- **Fizyka cząstek elementarnych – dlaczego nas interesuje?**
  Fizycy ciągle poszukują odpowiedzi na pytania: jakie są elementarne składniki materii, jakie są ich właściwości, oraz jakie są siły, które kontrolują ich zachowania?
- **Czy koło Maxwella może być w stanie nieważkości?**
  Powszechna dostępność wag elektronicznych pozwala wykorzystać znany od dawana przyrząd, którym jest koło Maxwella do przeprowadzenia innych doświadczeń, ilustrującego stany nieważkości i przeciążenia.
- **Dydaktyka konstruktywistyczna**
  Konstruktywiz i kognitywizm - trudno rozdzielić te dwa pojęcia – oba podkreślają aktywny udział ucznia, tak w samokształceniu jak w trakcie budowania wiedzy w szkolnej klasie.
- **Żywoty fizyków – Carl Friedrich Gauss – książę matematyków**
  Urodził się w ubogiej rodzinie i od młodości bez żadnej racjonalnej, genetycznej przyczyny wykazywał szczególne uzdolnienia matematyczne.

eprasa.pl fc7cb87889

Grawitacja w praktyce

Andrzej **Sokołowski**

Uczniowie mają trudności z odróżnieniem wykresu funkcji pozycji w czasie od wykresu przedstawiającego ścieżkę (trajektorię) poruszającego się ciała. Celem tego ćwiczenia jest pomoc uczniowi w uświadomieni sobie tych różnic.

Uczniowie będą wystrzelać rakietę-zabawkę pionowo w górę. Mając dane tego ruchu, będą oni konstruować dwa wykresy, wysokości H(t) i trajektorii pionowej H(x) przy użyciu rzeczywistych pomiarów. Skonstruują oni również wykres prędkości względem czasu dla tego ruchu.

Ogólny opis ćwiczenia

W celu zebrania rzeczywistych danych, ćwiczenie to, zaprojektowane na jedną lekcję, zostanie przeprowadzone na boisku (poza salą lekcyjną). Uczniowie mogą pracować w grupach 4-osobowych. Po zebraniu danych wracają do klasy i pracują nad analizą danych.

Każda z grup musi posiadać następujące przyrządy pomiarowe:

Rakieta kosmiczna; zabawka	Taśma miernicza
Stoper	Kątomierz

Przyrządy te można kupić na Amazon.

Wymagane podstawy fizyki; właściwości swobodnego spadku i równań, które opisują ten ruch.

Wymagana wiedza matematyczna: umiejętność narysowania i konstruowania paraboli korzystając ze wzoru $y = at - bt^2 = t(a - bt)$.

Sugeruję wyjaśnić uczniom ogólne procedury tego ćwiczenia przed wyjściem na zewnątrz.

Każdy uczeń otrzyma kopie tego konspektu tak by mógł indywidualnie pracować nad jego analizą.

Ćwiczenie: Grawitacja w praktyce

Cel: W tym ćwiczeniu uczeń poznaje właściwości swobodnego spadania i trajektorię ruchu rakiety. Określa jego maksymalną wysokość i prędkość początkową za pomocą wzorów na swobodny spadek. Szkicuje również położenie i ścieżkę funkcji ruchu rakiety.

Przyrządy pomiarowe: Rakieta, stoper, kątomierz, taśma miernicza.

Odpowiedz na poniższe pytania przed przystąpieniem do pobierania danych.

1. Jakiego rodzaju wykresu oczekujesz dla ruchu rakiety, jeśli wysokość jest oznaczona na osi pionowej, a czas na osi poziomej? Uzasadnij swoją odpowiedź.
2. Jakiego rodzaju wykresu oczekujesz dla ruchu rakiety, jeśli wysokość jest oznaczona na osi pionowej, a jej pozycja pozioma na osi poziomej? Załóżmy, że nie ma oporu powietrza i ruchu wiatru. Uzasadnij swoją odpowiedź.

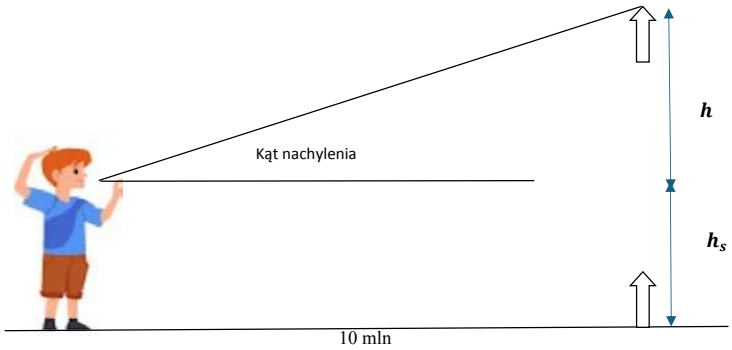
Ogólny przebieg ćwiczenia

1. Będziemy pracować w czteroosobowych grupach.
2. Jeden członek grupy będzie rejestrował dane.
3. Wszyscy członkowie grupy będą pracować indywidualnie nad analizą.
4. Wykresy muszą być wykonane ołówkiem, a wszystkie obliczenia muszą być pokazane.

Na boisku

1. Ustal miejsce do wystrzelenia rakiety, aby mogła poruszać się poziomo na około 20 m.
2. Zmierz 10 m od podstawy rakiety. Jeden uczeń stanie w tym miejscu i użyje kątomierza do zmierzenia kąta nachylenia rakiety, gdy znajdzie się ona na maksymalnej wysokości. Zwróć uwagę, że kąt nachylenia jest mierzony od poziomu w górę.
3. Dwóch uczniów zmierzy czas, w którym rakieta jest w ruchu.
4. Jeden z uczniów nadepnie na pompkę nożną, aby wystrzelić rakietę.

Jednym z najważniejszych atrybutów wystrzelanych obiektów jest znajomość ich maksymalnych wysokości. Dlatego twoim zadaniem jest teraz przedstawienie procedury obliczania maksymalnej wysokości przy użyciu dostępnych tobie urządzeń pomiarowych. Użyj formularza



eprasa.pl fc7cb87889

punktowego, aby przedstawić listę zadań. Poniższy schemat powinien pomóc ci w ustaleniu procedury.

Aby znaleźć maksymalną wysokość rakiety, użyj $\boldsymbol{H = h + h_s}$ gdzie $\boldsymbol{h = 10\tan\theta}$ i $\boldsymbol{h_s}$ jest wzrostem ucznia który mierzy kąt.

- Zapisz wzrost ucznia, który zmierzył kąt $\boldsymbol{h_s}$ = _____
- Utworzysz trzy wersje próbne i uzupełnisz tabelę. Uczeń, który skoczy na pompę, musi użyć podobnej siły w każdej próbie.
- Do dalszej analizy użyjesz średnich wartości czasu i średniej całkowitej wysokości.

Proces #	Czas całkowity (s)	Kąt nachylenia (°)	Wysokość w (m) $h = 10\tan\theta$	Całkowita wysokość rakiety w (m) $h = 10\tan\theta$ Zwróć uwagę, że h_s jest to wzrost ucznia, który zmierzył kąt.
1				
2				
3				
Średnie wartości				

Analiza

1. **Znajdowanie prędkości początkowej rakiety, $\boldsymbol{v_i}$**

Zakładamy, że nie ma oporu powietrza, a więc przyspieszenie ziemskie wynosi około $-10\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$. Na znalezienie prędkości początkowej wykorzystasz tylko połowę całkowitego czasu ruchu rakiety i maksymalną wysokość rakiety.

- Użyj poniższego równania $H = \left[\frac{v_i + v_f}{2}\right]\cdot t.$
- Zauważ, że na maksymalnej wysokości prędkość rakiety wynosi zero, dlatego $H = \left[\frac{v_i}{2}\right]\cdot t.$

v_i – prędkość początkowa rakiety, v

v_f – prędkość rakiety, kiedy osiąga ona maksymalną wysokość

- Zastąp $\boldsymbol{H}$ całkowitą wysokością, i $\boldsymbol{t}$ połową całkowitego średniego czasu i rozwiąż to równanie dla $\boldsymbol{v_i}$.

$\boldsymbol{v_i}$ = _____

2. **Znalezienie funkcji wysokości rakiety wyrażonej w czasie; Funkcja wysokości $\boldsymbol{H(t)}$.**

Aby obliczyć wysokość rakiety w dowolnym momencie *t*, zamień v_i na obliczoną wcześniej prędkość i podstaw do $H(t) = v_i \cdot t - 5t^2 v_i$, tak więc:

$H(t) =$ _____ $\cdot t - 5t^2$

3. **Szkicowanie wysokości rakiety wyrażonej w czasie, $\boldsymbol{H(t)}$.**

- Oznacz os pionową $H(m)$ i pozioma $t(s)$.
- Zaznacz wartość liczbową całkowitego czasu ruchu t_T po prawej stronie siatki A.
- Znajdź punkt środkowy, $t_w = \frac{0 + t_T}{2}$ między t = 0 a zmierzonym końcowym czasem ruchu t_T. Ta średnia wartość czasu jest „współrzędną *x*" wierzchołka paraboli. Kiedy czas ruchu jest t_w, rakieta osiąga maksymalna wysokość.
- Oznacz współrzędną wierzchołka *y* tej paraboli i zlokalizuj wierzchołek tej paraboli na siatce A.
- Narysuj ciągły wykres paraboliczny na siatce A.
- Korzystając z wykresu, przybliż pionowe, $H(t)$ położenie rakiety, kiedy

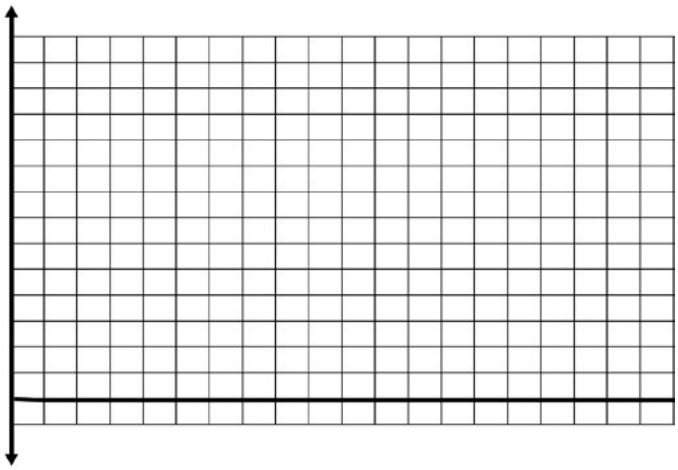
a) $t = \frac{1}{4}t_T$ b) $t = \frac{3}{4}t_T$

Czy oczekujesz takich samych położeń? _____

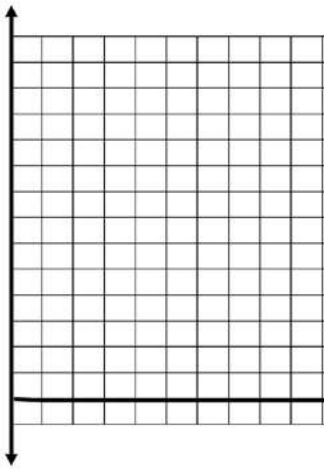
4. **Szkicowanie wykresu trajektorii wysokości w funkcji pozycji poziomej $\boldsymbol{H(x)}$**

- Czy zmienia się poziome położenie rakiety? _____
- Załóżmy, że wystrzeliłeś rakietę z położenia $x = 1m$.
- Czy wykres $\boldsymbol{H(x)}$ będzie wyglądał na paraboliczny? Umotywuj swoją odpowiedz.
- Czy maksymalna wysokość rakiety na wykresie $H(x)$ będzie taka sama jak na wykresie $H(t)$?

A. Wykres $H(t)$



B. Wykres $H(x)$



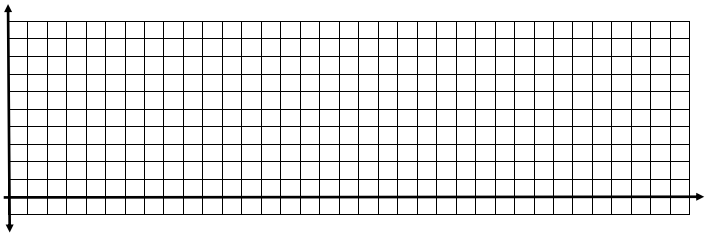
eprasa.pl fc7cb87889

- Czy $H(x)$ reprezentuje funkcję algebraiczną?
- Podczas gdy tor ruchu rakiety narysowany na $H(x)$ jest pionowy, wykres pozycji-czasu $H(t)$ jest parabolą. Wyjaśnij przyczyny różnic.

5. **Konstrukcja funkcji prędkości rakiety; $v(t) = v_i - 10t$**

a) Oznacz prędkość v (m/s) na osi pionowej i czas $t(s)$ na osi poziomej.

b) Jakiego typu wykresu $v(t)$ oczekujesz; paraboliczny czy liniowy?



c) Zastąp v_i w $v(t) = v_i - 10t$ obliczoną wcześniej początkową prędkością i naszkicuj ten wykres poniżej.

d) Policz nachylenie linii i jaka wielkość fizyczna to nachylenie reprezentuje w kontekście ruchu rakiety?

e) Jaka jest dziedzina i przeciwdziedzina funkcji prędkości, $v(t)$?

Dodatkowe pytania

1. Czy dane dla wykresu $H(x)$ mogą być użyte do skonstruowania wykresu $v(t)$? Uzasadnij swoją odpowiedź.
2. Czy dane z $H(t)$ można wykorzystać do skonstruowania wykresu $v(t)$? Uzasadnij swoją odpowiedź.
3. Załóżmy, że ten eksperyment przebiegał na Księżycu. Jak się zmienia wykresy $H(t)$ i $H(x)$? Naszkicuj te wykresy na osiach, które wcześniej wykorzystanych w ćwiczeniu.

Podsumowanie

Zadanie zintegrowania algebry z rzeczywistymi eksperymentami jest dla uczniów ekscytujące. Laboratorium może mieć kilka rozszerzeń, jednym z głównych jest zapewnienie uczniom problemów podobnych do tych, które rozwiązują w swobodnym spadaniu, korzystając z zadań podręcznikowych. To pomoże uczniowi referować to tego ćwiczenia na testach lub kartkówkach i pomoc rozwiązać takie zadania. Częste podkreślanie różnic między wykresami $H(t)$ i $H(x)$ jest sugerowane, aby pomóc uczniom utrwalić różnice i przygotować ich do bardziej kompleksowej analizy ruchu ukośnego.

Co w fizyce piszczy

Ogniwa perowskitowe – technologia przyszłości

Polska wynalazczyni dr Olga Malinkiewicz, współzałożycielka i dyrektorka technologiczna firmy *Saule Technologies*, została wyróżniona przez Europejski Urząd Patentowy wraz z zespołem w kategorii „Małe i średnie przedsiębiorstwa" (SMEs). Polska fizyczka pokonała konkurentów za sprawą „technologii energii słonecznej wykorzystującej opłacalne i przyjazne dla środowiska perowskitowe ogniwa słoneczne" – jak napisano w uzasadnieniu werdyktu.

Oto fragment wywiadu, którego udzieliła Polskiej Agencji Prasowej:

PAP: Czym Pani i Pani zespół zawojowaliście jury konkursu?

Olga Malinkiewicz: Jesteśmy w stanie wydrukować panel słoneczny, który jest elastyczny i lekki. Można zastosować go na każdej dostępnej powierzchni. Na zewnątrz, ale – i to jest nowość – również wewnątrz budynków. Tradycyjne panele słoneczne są super, już wiele lat nam służą, produkują energię, możemy zbudować z nich farmę fotowoltaiczną, postawić je na dachach. Ale na tym się ich zastosowanie kończy. Nasze panele umożliwiają zastosowanie każdej powierzchni: fasady, dachu, lekkich konstrukcji, na których nie można położyć zwykłych paneli. Ale także na środkach transportu takich jak łodzie albo tiry. Ogniwa perowskitowe można stosować wszędzie tam, gdzie energia jest potrzebna.

PAP: Jakie właściwości perowskitów powodują, że jest to tak wyjątkowy materiał?

O.M.: Przede wszystkim są bardzo wydajne – możemy dzięki nim generować wystarczająco dużo elektryczności i konkurować z krzemem. Z kolei ich elastyczność sprawia, że możemy je integrować z wieloma przedmiotami codziennego użytku oraz istniejącymi konstrukcjami i środkami transportu. Jeśli chodzi o proces produkcji, to wyjątkową cechą materiału perowskitowego jest jego rozpuszczalność. Możemy stworzyć tusz, który służy do druku paneli słonecznych.

PAP: Czy produkcja paneli perowskitowych jest szkodliwa dla środowiska?

O.M.: W przeciwieństwie do innych zakładów produkcyjnych, z których działalnością wiążą się dymy, hałas, ogromne zużycie wody do chłodzenia maszyn, nasza fabryka może działać w centrum miasta. Nikt nie musi nawet o niej wiedzieć, bo linia produkcyjna to ciąg drukarek podłączonych do prądu.

PAP: A czym właściwie są perowskity?

O.M.: To duża grupa różnych materiałów o tej samej strukturze krystalicznej. Nie wszystkie nadają się do zastosowań w panelach słonecznych. My stosujemy syntetycznie stworzone materiały. Mieszamy składniki w odpowiednich proporcjach, dodajemy odpowiednie rozpuszczalniki i tak powstaje tusz. Wkładamy go do dużej drukarki Ink Jet i drukujemy warstwa po warstwie na cienkiej, elastycznej, lekkiej folii. Kiedy tusz spadnie na folię, rozpuszczalnik wyparowuje, zostają kryształki, które przywierają do powierzchni. Wyspecjalizowaliśmy się w technologii, w której zawsze powstaje produkt tej samej jakości, bez defektów, taki, który może zasilać urządzenia elektryczne (…)

https://naukawpolsce.pl/aktualnosci/news%2C103613%2Cdr-malinkiewicz-ogniwa-perowskitowe-technologia-przyszlosci.html

eprasa.pl fc7cb87889

Nierealne, ale… fizycznie poprawne

(Miniatury dydaktyczne)

Waldemar **Reńda**

Foto – Dreamstime

Tadeusz Wybig w artykule[1] „Dlaczego warto uczyć się fizyki" pisze o tym, żeby rozwijać u uczniów fizyczną **wyobraźnię**. Zachęcony tymi słowami, proponuję popuścić wodze owej wyobraźni i omówić pewien eksperyment, który wprawdzie nie jest możliwy do realizacji, ale jego analiza fizyczna jest w pełni poprawna.

A zatem do rzeczy! W szkolnym programie fizyki omawia się różne rodzaje ruchu ciał w polu grawitacyjnym Ziemi, a więc swobodne spadanie oraz wszelkiego rodzaju rzuty. Oblicza się też wartości I i II prędkości kosmicznej itp. Wszystko to odbywa się nad powierzchnią Ziemi. A ja zapytam, jakim ruchem spadałoby ciało w wydrążonym aż do środka Ziemi tunelu? Powiecie, że czegoś takiego nie da się zrealizować. Zgoda, ale sam problem jest fizycznie niezwykle ciekawy, bo dotyczy również opisu pola grawitacyjnego wewnątrz rozciągłych ciał. Dodam, że problem ten powróci przy omawianiu pola elektrycznego wewnątrz przewodników. Przeanalizujmy zatem ów ruch.

Zacznijmy od pytania: jakim ruchem będzie poruszało się to ciało w głąb Ziemi, przy założeniu, że będzie to ruch swobodny, a więc w próżni? Pomińmy też efekty związane z siłą Coriolisa. Dla uproszczenia analizy przyjmijmy również, że Ziemia jest jednolitą kulą o gęstości: $\rho = M_Z/V_Z$.

Rozpocznę od ustalenia postaci funkcji a(r). Ponieważ przyspieszenie ciał w polu grawitacyjnym jest równocześnie natężeniem tego pola w danym jego punkcie, zatem:

$$a(r) = \gamma_r = G\cdot M_r/r^2 = G\cdot\rho\cdot{}^4/_3\cdot\pi\cdot r^3/r^2 = {}^4/_3\,\pi\cdot G\cdot\rho\cdot r = C\cdot r,$$

gdzie γ_r to natężenie pola grawitacyjnego w odległości *r* od środka Ziemi, zaś M_r to masa części Ziemi zawarta w kuli o promieniu *r*.

Jak widać funkcja a(r) jest funkcją liniową. Zatem przyspieszenie tego ciała jest wprost proporcjonalne do r. Również działająca na to ciało siła grawitacji będzie wprost proporcjonalna do odległości tego ciała od środka Ziemi.[2]

Następnie pozwólmy temu ciału poruszać się dalej ruchem swobodnym ku powierzchni Ziemi. Zauważmy, że w czasie całego tego ruchu wektor siły grawitacji ($\mathbf{F}_{gr}$) ma zwrot przeciwny do zwrotu wektora położenia **r**. Możemy zatem napisać: $\mathbf{F} = -C\cdot m\cdot\mathbf{r}$ lub: $\mathbf{F} = -C'\cdot\mathbf{r}$, co – jak wiemy – jest cechą charakterystyczną ruchu harmonicznego. Tak więc ciało, poruszające się swobodnie wzdłuż średnicy Ziemi, będzie wykonywać ruch harmoniczny z amplitudą $A = R_Z$.

Obliczmy pozostałe parametry tego ruchu.

Zacznę od prędkości, z jaką ciało mijałoby środek Ziemi. Skorzystam tu z zasady zachowania energii. Muszę więc najpierw obliczyć energię potencjalną tego ciała na powierzchni Ziemi, ale względem jej środka.

Z definicji wynika, że energia ta równa jest pracy, jaką wykona siła zewnętrzna (równoważąca siłę grawitacji), przenosząc to ciało ruchem jednostajnym z położenia od $r_1 = 0$ do $r_2 = R_Z$.

Ponieważ F(r) jest funkcją liniową, zatem:

$$E_P = W = ½\,F_{max}\cdot R = ½\,m\cdot\gamma_o\cdot R,$$

gdzie γ_o to natężenie pola grawitacyjnego na powierzchni Ziemi.[3]

Z równości: $E_k = E_P$ mamy: $½\,m\cdot v^2 = ½\,m\cdot\gamma_o\cdot R$. Stąd: $v = (\gamma_o\cdot R)^{½}$

Jak widać, otrzymaliśmy wartość równą wartości I prędkości kosmicznej.

Przypomnę: obliczaliśmy ją, korzystając z faktu, że w ruchu orbitalnym przyspieszenie dośrodkowe tego ruchu jest przyspieszeniem grawitacyjnym, a więc równe jest natężeniu tego pola w danym jego punkcie:

$$a_d = \gamma,\ \text{czyli:}\ v^2/R = \gamma.\ \text{Stąd:}\ v = (\gamma_o\cdot R)^{½}$$

Otrzymaliśmy tę samą wartość. Zatem ruch po średnicy Ziemi byłby rzutem ruchu orbitalnego z I prędkością kosmiczną i z okresem równym okresowi ciała poruszającego się wokół Ziemi z I prędkością kosmiczną, co

[1] Zob.: e-Wydanie Specjalne zatytułowane: „Zadania z fizyki z elementami dydaktyki".

[2] Można udowodnić, że pozostała część masy Ziemi nie ma wpływu na wartość tej siły.

[3] Jego wartość na biegunach równa się przyspieszeniu ziemskiemu: $\gamma = g = 9{,}8322\ m/s^2$. W innych punktach Ziemi wartość wektora natężenie pola (γ) jest nieco większa od wartości wektora przyspieszenia ziemskiego (**g**). Wynika to stąd, że wektor **g** jest wypadkową wektorów natężenia pola grawitacyjnego i przyspieszenia odśrodkowego w danym punkcie powierzchni Ziemi. I tak na 45° szer. geogr. na poziomie morza $g = 9{,}80665\ m/s^2$, a $\gamma = 9{,}8322\ m/s^2$, natomiast na równiku $g = 9{,}7905\ m/s^2$ zaś $\gamma = 9{,}8144\ m/s^2$. Dodam, że wartości te są wyznaczane z bardzo dużą dokładnością.

eprasa.pl fc7cb87889

również definiuje ruch harmoniczny. Dodam, że wówczas przelot ciała przez centrum Ziemi trwałby zaledwie 42 minuty i tyle też trwałaby np. nasza podróż owym tunelem z Warszawy do Wellington w Nowej Zelandii. Dodam, że cały czas pozostawalibyśmy w stanie nieważkości.

Wróćmy do energii potencjalnej ciał i korzystając ze szkolnej definicji energii potencjalnej, obliczmy jej wartość na powierzchni Ziemi. Ma być ona równa pracy, jaką wykona siła **zewnętrzna** równoważąca w każdym punkcie siłę grawitacji i przenosząca to ciało ruchem jednostajnym z nieskończoności do danego punktu pola.

Pracę siły **grawitacyjnej** przy przeniesieniu ciała o masie m od r_1 do r_2 obliczymy następująco:[4]

$$W_{r1\to r2} = \int_{r1}^{r2} F(r)\,dr = \int_{r1}^{r2} G\,\frac{M\cdot m}{r^2}\,dr = G\cdot M\cdot m\int_{r1}^{r2}\frac{1}{r^2}\,dr$$

$$= G\cdot M\cdot m\cdot\left(\frac{1}{r_2}-\frac{1}{r_1}\right)$$

Jeżeli: $r_1 \to \infty$, to: $1/r_1 \to 0$. Zatem ową pracę obliczymy ze wzoru: $W_G = GMm/r^2$.

W tym przypadku praca siły zewnętrznej będzie miała wartość: $W_Z = -GMm/r^2$.

Wynika to stąd, że praca jest iloczynem skalarnym wektora siły i wektora przemieszczenia:[5] $W = \mathbf{F}\circ\Delta\mathbf{r} = F\cdot r\cdot\cos\alpha_{(\mathbf{F},\Delta\mathbf{r})}$. A ponieważ kąt pomiędzy tymi wektorami jest równy 180^0, zatem cosinus tego kąta równy jest –1. A więc, zgodnie z w/w definicją, energia potencjalna ciała w tym polu będzie miała wartość ujemną. W przypadku ciała znajdującego się na powierzchni Ziemi: $E_P = -GMm/R_Z$, A ponieważ: $GM/r^2 = \gamma$, więc:[6] $E_P = -m\gamma_o R$.

Jak widać, otrzymaliśmy inną wartość. Która z nich jest poprawna?[7]

Uważam, że obie są poprawne, bo są to dwa pola, w których pracę i energię obliczamy z dwóch różnych funkcji F(r). Zauważmy, że w przypadku pola zewnętrznego masa ciała centralnego jest jedną ze stałych tej funkcji, a w przypadku pola wewnętrznego masa jest zmienną tej funkcji. Wprawdzie udało się nam ją wyeliminować, to jednak jest to zupełnie inna funkcja.

Co zatem wynika z obu funkcji? A mianowicie to, że energia ciała w nieskończoności[8] będzie równa zero, bo jeżeli: $r \to \infty$, to: $1/r \to 0$. Natomiast na powierzchni Ziemi:

$$E_P = -m\gamma_o R.$$

Jeżeli jednak będziemy opisywać pole wewnętrzne i obliczać energię potencjalną tam umieszczonego ciała, to w środku Ziemi energia ta będzie miała wartość zerową, bo r = 0, a na powierzchni: $E_P = ½\, m\cdot\gamma_o\cdot R$. Dodam, że energia to zdolność do wykonania pracy. Ciało znajdujące się w środku Ziemi nie może wykonać pracy, a zatem jego energia jest tam równa zeru, a nie: $-\,{}^3/_2\, m\gamma_o R$.

Problem wynika stąd, że energia potencjalna jest wielkością względną, zależną od tego, w jakim układzie ją obliczamy. I o tym zawsze trzeba pamiętać, by nie wpaść w matematyczną pułapkę. Na szczęście zwykle obliczamy jedynie zmianę tej energii, na co nie mają wpływu wspomniane wyżej różnice. Zawsze bowiem zmiana tej energii równa jest pracy siły zewnętrznej towarzyszącej tej zmianie.[9] Dlatego też, obliczając np. wartość II prędkości kosmicznej, korzystać będziemy z równości:

$$½\, mv^2 = m\gamma_o R.\ \text{Stąd: } v = (2\gamma_o R) = 2\sqrt{v_I}$$

A teraz pytanie: jaka jest wartość natężenia pola grawitacyjnego w środku Ziemi oraz w nieskończoności? Odpowiedź jest prosta. Natężenie pola to wielkość wektorowa, będąca stosunkiem siły działającej na masę umieszczoną w danym punkcie pola do tej masy: $\boldsymbol{\gamma} = \mathbf{F}_{gr.}/m$. Jeżeli zatem: F = 0, to i $\gamma = 0$. Tak więc natężenie pola grawitacyjnego zarówno w nieskończoności jak i w środku Ziemi będzie równe zeru. Natomiast na powierzchni Ziemi będzie miało wartość, o której mowa w odnośniku 3.

I jeszcze **potencjał** pola grawitacyjnego. Definiujemy go jako stosunek energii potencjalnej ciała w danym punkcie pola do masy tego ciała: $V = E_P/m$ (jednostka m^2/s^2). Jest to wielkość skalarna charakteryzująca dane pole.

Z powyższej definicji wynika, że potencjał pola jest równy zeru w punkcie, w którym energia potencjalna ciała przyjmuje zerową wartość. Tak jest zarówno w środku Ziemi jak i w nieskończoności.

Dodam, że nasze rozważania dotyczyły Ziemi jako układu odosobnionego. W przypadku, gdy mamy więcej wzajemnie nakładających się pól grawitacyjnych, np. Ziemi i Księżyca, to potencjały owych pól sumują się algebraicznie.

A teraz przez chwilę zabawmy się w kosmologów.

Jeżeli energia potencjalna ciał wchodzących w skład Kosmosu jest ujemna, a Wszechświat się rozszerza, to w granicy osiągnie ona zerową wartość. Również wzajemna prędkość ciał niebieskich spadnie do zera, zatem i energia kinetyczna układu będzie równa zeru. Zanikną wówczas siły wzajemnego oddziaływania grawitacyjnego ciał i na tym się skończy historia Kosmosu. Jeżeli jednak mimo to z niewiadomych przyczyn nasz Kosmos zacznie się kurczyć, to jego ujemna energia potencjalna zacznie się zamieniać w energię kinetyczną równą ubytkowi energii potencjalnej. A ponieważ energia kinetyczna jest dodatnia, to w każdej chwili suma obu energii będzie równa zeru.[10] Jeżeli suma ta na początku kurczenia była równa zeru, zatem i na końcu też powinna być równa zeru. Czyż-

[4] W polu centralnym, praca ta nie zależy od drogi, po której ciało uległo przemieszczeniu, byleby nie występowały opory ruchu. Nie występuje tu również stała całkowania, bo nie ma pracy początkowej.

[5] W danym układzie odniesienia.

[6] Wzory te ułatwiają obliczeni energii potencjalnej oraz I i II prędkości kosmicznej.

[7] Korzystając z powyższej definicji energii potencjalnej ciała w polu grawitacyjnym, otrzymalibyśmy w środku Ziemi wartość równą: $-½\, m\gamma_o R + (-m\gamma_o r) = -3/2\, m\gamma_o R$.

[8] Mam tu na myśli nieskończoność matematyczną.

[9] Zob. W. Reńda, *Praca i Energia w szkolnym programie fizyki, Fizyka w Szkole, 6/2023.*

[10] Jak wiemy, w czasie swobodnego spadania ciała w polu grawitacyjnym Ziemi, suma energii potencjalnej ciała względem danego poziomu i jego energii kinetycznej nie ulega zmianie, i jest to zgodne z zasadą zachowania energii

eprasa.pl fc7cb87889

by Świat powstał z zerowej energii? To skąd się wzięły masy ciał niebieskich?

Ależ to proste! Weźmy dwa wzory: $E = mc^2$ i $\varepsilon = hc/\lambda$. Łatwo z nich obliczyć, że do powstania Ziemi wystarczy „fotonik", którego $\lambda = 4\cdot10^{-65}$ m. Do $\lambda = 0$ jeszcze daleko, więc wszystko jest możliwe… A może jednak energia potencjalna wzajemnych oddziaływań grawitacyjnych ciał niebieskich jest dodatnia, co spowoduje kontrakcję tak, jak w przypadku wahadła odchylonego z położenia równowagi?

Resztę rozważań pozostawiam wyobraźni i twórczej inwencji czytelnika, o którą postuluje pan Tadeusz Wybig. W nauce bowiem ważna jest wyobraźnia i coś, co w psychologii nazywamy ciekawością poznawczą. Wędrowca zaciekawia i intryguje to, co jest za widzianym przez niego horyzontem Ziemi, a uczonego to, co jest za horyzontem dotychczasowej wiedzy.

Na koniec pozwolę sobie na pewną refleksję dydaktyczną. Pracą tą pragnę zachęcić czytelnika do myślenia. Albert Einstein zapytany, czemu zawdzięcza swoje naukowe osiągnięcia, odpowiedział: „myśleniu. Po prostu, gdy chcę rozstrzygnąć jakiś problem, to się w niego wmyślam." A myślenie może prowadzić do mądrości. Rzymski poeta i filozof Horacy proponował: *Sapere aude!* Czyli „Odważ się być mądrym!" W Polsce medalem „*Sapere auso*" („Temu, który odważył się być mądrym!) Stanisław August Poniatowski w 1756 roku uczcił Stanisława Konarskiego – jednego z twórców Komisji Edukacji Narodowej.

W. Reńda
Olkusz, marzec 2024

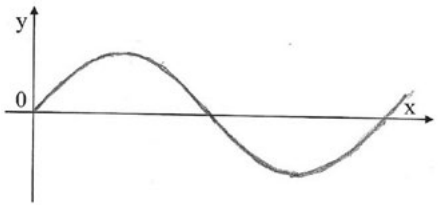
Kłopoty z równaniem falowym

W podręcznikach szkolnych spotykamy równanie falowe następującej postaci:[1]

$$y = A \sin 2\pi(t/T - x/\lambda)$$

Jak widać, jest to funkcja dwóch zmiennych: czasu *t* i położenia punktu fali *x*, któremu przyporządkowuje się określone tym równaniem wychylenie *y*.

Funkcji tej towarzyszy zwykle następujący wykres:



Rys. 1.

Dokonajmy analizy tej funkcji oraz porównajmy ją z jej graficznym obrazem.

O ile ze zmienną *x* nie ma problemów, to jest problem ze zmienną *t*. W jednym z podręczników znalazłem wzmiankę, że jest to czas, jaki upłynął od chwili, gdy punkt o współrzędnej x = 0 przechodził przez położenie równowagi.

Tak jest na rysunku. Skorzystajmy zatem z w/w postaci równania i obliczmy wychylenie punktu, dla którego: $x = \lambda/12$. Łatwo zauważyć, że temu punktowi powinna odpowiadać faza drgań $\varphi = 30^0$, a więc wychylenie *y* tego punktu powinno być równe: ½ A.

Obliczmy tę wartość z w/w równania, przyjmując zgodnie z instrukcją: t = 0.

$y = A \sin 2\pi(0 - 1/12) = A \sin(-2\pi/12) = A \sin(-\pi/6) = -A \sin 30^0 = -\frac{1}{2} A$

Dlaczego otrzymaliśmy wynik niezgodny z rysunkiem?

Zobaczmy, że gdy fala przemieszcza się w prawo, to w tym momencie punkt fali o współrzędnej x = 0 porusza się w dół. Zatem jego faza, w jego ruchu harmonicznym, nie jest równa zeru, ale jest równa π lub $n\cdot\pi$, gdzie: n = 1, 3, 5, …

Jak to uwzględnić w równaniu?

Wrócę do owej zmiennej *t*. Pisałem wyżej, że jest to czas, jaki upłynął od chwili, gdy punkt o współrzędnej x = 0 przechodził przez położenie równowagi. Niestety, nie jest to precyzyjne stwierdzenie, bo jest to czas jaki upłynął od chwili, gdy punkt o współrzędnej x = 0 przechodził przez położenie równowagi w chwili, gdy jego faza $\varphi = 0$. A tak tu nie jest. W tym przypadku: $\varphi = \pi$ lub: $n\cdot\pi$, gdzie: n = 1, 3, 5,...

Należy zatem przyjąć, że: $t = {}^{T}/_{2}$ lub: $T = n\cdot{}^{T}/_{2}$, gdzie: n = 1, 3, 5,...

Wykonajmy ponownie obliczenia, przyjmując: $t = {}^{T}/_{2}$.

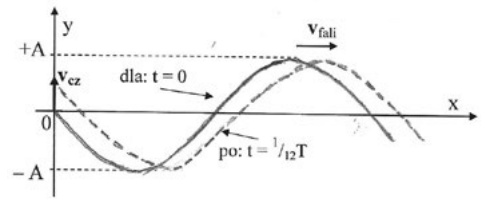
$y = A \sin 2\pi(\frac{1}{2} - {}^{1}/_{12}) = A \sin 2\pi({}^{5}/_{12}) = A \sin {}^{5}/_{6}\,\pi = A \sin 150^0 = \frac{1}{2} A$

Tym razem otrzymaliśmy wynik zgodny z rysunkiem.

Jeżeli: t = 0, to otrzymamy prostszą postać funkcji: y = f(t, x), a mianowicie:

$$y = -A \sin 2\pi({}^{x}/_{\lambda})$$

Wykres tej funkcji należałoby narysować tak:



Rys. 2.

Wniosek: W poprawnie sformułowanym zadaniu, w którym będziemy stosować funkcję falową, należy podać fazę początkową tej fali. Mając tę wartość, łatwo obliczyć zmienną *t* potrzebną do rozwiązania tego zadania.

W. Reńda
Olkusz, kwiecień 2024

[1] W podręczniku R Resnick, D. Halliday, Fizyka 1, Wydawnictwo PWN, Warszawa 1999, na s. 471, jest taka jego postać: $y = y_m \sin 2\pi(x/\lambda - t/T)$, ale tej wersji, nie będę analizował, bo nie występuje ona w polskich podręcznikach szkolnych.

eprasa.pl fc7cb87889

Powtórz, utrwal, poszerz wiedzę

Zadania z fizyki. Cz. 1.

Waldemar **Reńda**

Od autora

Proponuję takie zadania, które nie tylko pozwalają powtórzyć i utrwalić materiał lekcyjny, ale przede wszystkim poszerzają wiedzę uczniów o przyrodzie i technice. Wymagają też określonej wiedzy z zakresu matematyki oraz innych nauk przyrodniczych jak geografia czy astronomia. Ich poziom sprawia, że na ogół adresowane są do tych, którzy realizują rozszerzony program z fizyki, ale ich wyniki mogą stanowić ciekawe informacje dla pozostałych uczniów.

Na ogół podaję warunki rozwiązania danego zadania (np. brak sił oporu) oraz większość potrzebnych danych, choć uważam, że warunki rozwiązania zadania powinien uczeń umieć sam ustalić, a potrzebne dane odszukać w tablicach, encyklopedii lub innych wydawnictwach.

*Zadanie 1. * (swobodne spadanie ciał)*

Starożytni Grecy sądzili, że niebo jest tak wysoko, iż gdyby z niego spuścić na Ziemię kowadło to spadałoby 9 dni i 9 nocy. Przyjmując własne założenia co do rodzaju ruchu, oblicz jak wysoko wg Greków było niebo. Oblicz wartość uzyskanej przez kowadło prędkości końcowej w zależności od przyjętych założeń.

(Najprawdopodobniej Grecy wiedzieli, że ciało spadając z wysokości odpowiadającej 5 m spada ok.1 sek. i że czas spadania jest proporcjonalny do wysokości. Możesz jednak przyjąć inne założenia!)

Zadanie 2. *(swobodne spadanie ciał)*

Ciało swobodnie spadające przebyło w ostatniej sekundzie drogę s = 23,1 m. Z jakiej wysokości spadało ciało. Przyjąć g = 9,8 m/s^2. *Odp.: 40 m.*

Zadanie 3. *(swobodne spadanie ciał)*

Oblicz stosunek czasów swobodnego spadania ciała I i II połowy wysokości toru ruchu.

Odp.: ⅓(√2 + 1)

Zadanie 4. (swobodne spadanie ciał)

Jak – mając stoper i kamień – zmierzyć głębokość wąwozu?

Zadanie 5. (swobodne spadanie ciał)

Chłopiec, stojąc na brzegu skały wznoszącej się 60 m ponad dnem doliny, rzucił pionowo w górę kamień z prędkością początkową 20 m/s. Oblicz czas spadku kamienia na dno doliny, sporządź wykres $a_y(t)$, $v_y(t)$, y(t) oraz s(t).

Zadanie 6. *(ruch jednostajny prostoliniowy)*

Osoby A i B przemieszczają się wzdłuż alejki w parku. Wiążąc z nią oś OX, ruch tych osób można opisać równaniami: x = – 40 + t oraz x = 30 – 0,4t. Sporządź wykresy tych funkcji od (t_0 = 0). Oblicz współrzędną spotkania (x_s) tych osób oraz moment spotkania (t_s). Po jakim czasie osoby te miną punkt o współrzędnej x = 0 (miejsca zerowe funkcji)? Podaj współrzędne wektora prędkości tych ruchów oraz ich szybkości. Sporządź wykresy $v_x(t)$, v(t) oraz s(t) tych ruchów.

Odp.: $x = 10$ m, $t_s = 5$ s, $t_{0A} = 40$ m, $t_{0B} = 7{,}5$ s, $v_{xA} = 1$ m/s, $v_{xB} = -0{,}4$ m/s, $v_A = 1$ m/s, $v_B = 0{,}4$ m/s.

Zadanie 7. *(rzut pionowy w górę)*

Pionowo w górę rzucono I ciało z prędkością o wartości v_o. Po czasie t_o rzucono II ciało z tą samą wartością prędkości. Po jakim czasie i na jakiej wysokości spotkają się te ciała? Oblicz wartość prędkości wzajemnej.

(Odp.: $t = v_o/g + ½\, t_o$, $h = v_o^2/2g - {}^1/_8\, g\, t_o^2$, $\Delta v = gt$*)*

Wskazówka: $y = h$, $h_1 = v_o t - ½\, gt^2$, $h_2 = v_o(t - t_o) - ½\, g(t - t_o)^2$. *Napisz funkcję Δh(t) i przyrównaj ją do zera. Oblicz* $t_{spotkania}$ *i wstaw do równania* $h_1(t)$*.)*

Przyjmując v_o = 30 m/s oraz t_o = 2 s, oblicz $t_{spotkania}$ oraz $y_{spotkania}$. Sporządź wykresy y(t) dla obu ruchów. Sprawdź uzyskane wyniki.

Zadanie 8. * *(analiza rzutu ukośnego)*

Na płaskim polu golfowym nadano piłce prędkość o wartości v_o = 50 m/s i tak, że α = arc tg 4/3. Pomijając opory ruchu, oblicz zasięg i czas lotu.

Sporządź dla tego ruchu wykresy funkcji: y(x), $v_x(t)$, $v_y(t)$, v(t) oraz s(t).

Wskazówka:

a) Zauważ, że funkcja *v(t)* w układzie SI ma postać $v = 10\,(25 - 8t - t^2)^{½}$. Następnie należy oblicz wartości prędkości po 1, 2, 3 itd. sekundach ruchu.
b) W przypadku funkcji s(t) należy skorzystać z faktu, że drogi przebyte w kolejnych sekundach ruchu można odczytać (obliczyć) z wykresu funkcji v(t).
c) Zauważ też, że miarą (współrzędną) wektora przyspieszenia ziemskiego na osi OY jest: $a_y = -10$ m/s^2.
d) Oblicz współrzędne piłki w chwili t = 2 s, 5 s, 10 s.
e) Oblicz współrzędną *y* dla x = 10 m, 20 m, 50 m, 400 m.

Zadanie 9. * *(ruch jednostajny po okręgu)*

Punkt materialny porusza się ruchem jednostajnym po okręgu o promieniu 1m z prędkością o wartości v = 4 m/s.

Sporządź wykresy funkcji: x(t), y(t), v(t), s(t), $v_x(t)$, $v_y(t)$, $a_x(t)$, $a_y(t)$ oraz a(t), gdzie v = |**v**| oraz a = |**a**|. Sprawdź, że w przypadku a_x oraz a_y otrzymujemy wzory o tej samej postaci: $a_x = -\omega^2 x$ oraz $a_y = -\omega^2 y$.

eprasa.pl fc7cb87889

Porównaj ze wzorami na przyspieszenie w ruchu harmonicznym: $\mathbf{a}_h = -\omega^2\mathbf{x}$ lub $\mathbf{a}_h = -\omega^2\mathbf{y}$.

Zadanie 10. *(ruch harmoniczny)*

Sprężyna po działaniem siły 5 N wydłuża się o 10 cm. Na tej sprężynie umocowano masę 0,5 kg i wprawiono w poziome drgania o amplitudzie 20 cm. Oblicz okres drgań, ich częstotliwość, maksymalne wartości prędkości, przyspieszenia, siły, energii potencjalnej i kinetycznej, energię całkowitą, a także wartości prędkości, przyspieszenia i siły oraz energii potencjalnej i kinetycznej dla wychylenia $x = ½ A$, przy braku sił oporu. Oblicz fazę tego ruchu dla tego wychylenia oraz czas trwania ruchu od położenia równowagi do x.

Odp.: $k = 50$ N/m, $T = 0{,}2\pi$s, $t_x = T/12$, $E = 1$J, $Ep_x = 0{,}25$J, $Ek_x = 0{,}75$J, $v_{max} = 2$ m/s, $v_x = \sqrt{3}$ m/s, $a_{max} = 2$ m/s^2, $a_x = 10$ m/s^2.

Zadanie 11. *(składanie prędkości)*

Pod jakim kątem względem brzegu powinien płynąć pływak, mogący płynąć z szybkością v_p względem wody, aby w najkrótszym czasie przepłynąć rzekę płynącą z szybkością v_{rz}?

Zadanie 12. *(kinematyka)*

Przyjmując, że sprinter rozpędza się do swojej maksymalnej szybkości w czasie 2 s, a cały dystans 100 m przebiega w 10 s, oblicz maksymalną wartość szybkości, średnią wartość przyspieszenia oraz drogę przebytą w czasie przyspieszania.

Przyjmij dane: $s = 100$ m, $t_1 = 2$ s, $t_2 = 8$ s, $s = ½ at_1^2 + v_{max} t_2$, *przy czym:* $a = v_{max}/t_1$, $v_{max} = 2s/(t_1 + 2t_2) = 100/9$ m/s, $a = 100/18$ m/s^2.

Zadanie 13. (*kinematyka*)

W pewnym momencie (t = 0), obok punktu kontroli szybkości, przejeżdża samochód z szybkością 30 m/s. po 10 s od tej chwili rusza za tym samochodem policjant na motocyklu, który – poruszając się ruchem jednostajnie przyspieszonym – po 20 s od startu osiąga szybkość 40 m/s i dalej jedzie ruchem jednostajnym z tą szybkością. Po jakim czasie od momentu t = 0 policjant dogoni samochód i jaką w tym czasie oba pojazdy przebędą drogę?

Sporządź wykresy v(t) i s(t) dla obu ruchów oraz zinterpretuj je.

Zadanie 14. *(kinematyka ruchu obrotowego)*

Bęben pralki uzyskuje częstotliwość obrotów 900 $^1/_{min}$ w czasie 5 s. Oblicz wartość przyspieszenia punktów na obwodzie bębna w chwili, gdy wykonuje 60 obrotów na minutę. Promień bębna r = 25 cm.

Rozwiązanie: $a = (a_{st}^2 + a_d^2)^{½} \approx 11$m/s^2.

Zadanie 15. *(kinematyka)*

Na wysokości h nad poziomem Ziemi wyrzucono pionowo w górę ciało z prędkością początkową v_o. Oblicz wartość prędkości z jaką ciało uderzy o Ziemię. (Przyjmujemy, że nie występują opory ruchu oraz że w obszarze rzutu pole grawitacyjne jest jednorodne, a przyspieszenie ziemskie ma wartość g.)

A. Rozwiązanie kinematyczne:

Tu: $v_k = v_o - gt$, ale równocześnie: $y = y_o + v_o t - ½ gt^2$, przy czym $y_o = h$, a w chwili upadku: $y = 0$. Mamy więc równanie kwadratowe postaci: $-½ gt^2 + v_o t + h = 0$.

Stąd obliczmy Δ, $\sqrt{\Delta}$ oraz t_1 i t_2. Pierwsza wartość na t jest ujemna, więc ją odrzucamy (czas nie jest ujemny). Drugą wartość wstawiamy do wzoru na v_k i przekształcamy uzyskane wyrażenie do postaci: $v_k = (v_o^2 + 2gh)^{½}$.

B. Rozwiązanie oparte na zasadzie zachowania energii:

Ciało na wysokości h w chwili wyrzutu ma energię: $mgh + ½ mv_o^2$.

Tuż przed zderzeniem z Ziemią ma energię: $½ mv_k^2$.

Obie te energie są równe, więc: $½ mv_k^2 = mgh + ½ mv_o^2$.

Stąd: $v_k^2 = 2mgh + v_o^2$, co pokrywa się z pierwszym rozwiązaniem.

Zadanie 16. *(kinematyka)*

Chłopiec, stojąc na brzegu pionowej skały o wysokości $h = 25$ m, rzucił kamień pod kątem $\alpha = 30°$ do poziomu w górę z prędkością o wartości $v_0 = 40\ \frac{m}{s}$.

Pomijając działającą na kamień siłę oporu powietrza, oblicz:

a) czas lotu kamienia (t),

b) wartość prędkości z jaką kamień uderzy o ziemię (v_k),

c) zasięg rzutu (z) oraz

d) wykonaj odpowiedni rysunek toru ruchu kamienia wraz z wektorami: $\vec{v}_0$, $\vec{v}_k$ oraz ich składowymi (v_{ox}), (v_{oy}), (v_{kx}) i (v_{ky}). Zachowaj skalę długości wektorów.

Zadanie 17. *(kinematyka)*

Ciało rzucono pionowo w dół z prędkością początkową o wartości 20 m/s. W ostatniej sekundzie ruchu przebyło ono ¼ całej wysokości. Oblicz czas spadania. Przyjmij wartość g = 10 m/s^2 oraz pomiń opory ruchu. Odp.: 6 s.

Wskazówka.

Zastosuj wzory: $\Delta s = s_2 - s_1$; $s_2 = v_o t + ½ gt^2$, $s_1 = v_o(t-1) + ½ g(t-1)^2$; $4\Delta s = s_2$.

Zadanie 18. *(kinematyka)*

Stojąc na ruchomych schodach można wyjechać z peronu metra w czasie 2 min, a idąc po unieruchomionych schodach w czasie 6 min. W jakim czasie wyjedziemy, idąc po ruchomych schodach?

Oto rozwiązanie:

$s = (v_1 + v_2) \cdot t_3$

ale: $v_1 = s/t_1$ oraz $v_2 = s/t_2$

wstawiają to do równania, otrzymamy:

$s = (s/t_1 + s/t_2) \cdot t_3$

Dzieląc przez s i przez t_3, otrzymamy: $^1/t_3 = {}^1/t_1 + {}^1/t_2$

Stąd: $^1/t_3 = ½ + {}^1/_6 = {}^4/_6 = {}^2/_3$ Więc: $t = {}^3/_2$ min.

Zadanie 19. *(kinematyka)*

Rzut poziomy (bez uwzględniania oporów powietrza).

Obliczenia w układzie SI. Przyjęto g = 10 m/s^2.

Stosujemy wzory:

eprasa.pl fc7cb87889

a) zasięg: $Z = v^2*\sin 2\alpha/g$,
b) maksymalna wysokość rzutu: $H = v^2*\sin^2\alpha/2g$

A. Pod jakim kątem należy pchnąć kulę, aby uzyskać maksymalny zasięg rzutu.

Ze wzoru a) wynika, że maksymalną wartość tego wyrażenia otrzymamy dla $\alpha = 45^0$,
bo $\sin 2\alpha = \sin 90^0 = 1$.

B. Jaką prędkość należy nadać młotowi, by dotarł na odległość 80 m?

Korzystamy ze wzoru a).

Stąd: $(z*g/\sin 2\alpha)^{½} = (80*10/\sin 90^0)^{½} = \sqrt{800} \approx 28{,}3$ m/s $\approx$ 102 km/h.

C. Jaką maksymalna wysokość osiąga ten młot?

Ze wzoru: $H = v^2*\sin^2\alpha/2g = 28{,}3*(\sqrt{2}/2)^2/20 = 20$ m.

D. Jaką prędkość ma ten młot w najwyższym punkcie toru?

Prędkość ta to składowa wektora prędkości w chwili wyrzutu.

Zatem $v_H = v*\cos\alpha \approx 28{,}3*\cos 45^0 = 28{,}3*0{,}71 = 20$ m/s.

D. Ustal relację pomiędzy energią kinetyczna a energią potencjalną młota w najwyższym punkcie toru.

Obliczam wartość stosunku $E_p/E_k = mgh/½\ mv_H^2 = \sin^2\alpha/\cos^2\alpha = 1$, bo dla $\alpha = 45^0$ $\sin\alpha = \cos\alpha$.

E. Jaka jest relacja pomiędzy maksymalnym zasięgiem rzutu a jego wysokością?

$Z/H = 4\cos\alpha/\sin\alpha = 4/\mathrm{tg}\alpha$. Zatem dla $\alpha = 450$, $Z = 4H$.

F. Pod jakim kątem należałoby rzucić ciało, by uzyskać maksymalna wysokość równą zasięgowi rzutu? Zatem: $H = Z \Rightarrow 2\sin 2\alpha = \sin^2\alpha$.

Ponieważ $\sin 2\alpha = 2\sin\alpha*\cos\alpha$, zatem: $4\sin\alpha*\cos\alpha = \sin^2\alpha \Rightarrow \mathrm{tg}\,\alpha = 4 \Rightarrow \underline{\alpha = 76^0}$.

Zadanie 20. *(kinematyka)*

Ze stoku o długości 20 m i kącie nachylenia 45° zjechały sanki i zatrzymały się na poziomym odcinku toru w odległości 50 m od końca stoku.

Oblicz wartość współczynnika tarcia płóz sanek o śnieg, przyspieszenie sanek na stoku, opóźnienie na odcinku poziomym oraz czas trwania ruchu.

Sporządź wykresy: v(t), a(t) oraz s(t) dla tego ruchu. Jakie założenia należy przyjąć w tym zadaniu?

Zadanie 21. *(kinematyka)*

Dwa ciała poruszają się po osi OX tak, że w układzie „SI" równania funkcji x(t) tych ruchów mają postać: a) x = – 45 + 5t, b) x = 15 + 5t. Sporządź wykresy tych funkcji od t = 0 do t = 5. Oblicz współrzędne spotkania x_s oraz t_s. Sprawdź uzyskany wynik na rysunku. Sporządź wykresy v(t) oraz s(t) dla obu ruchów. Oblicz szybkość względną (wzajemną) tych ciał. Jakim ruchem ciała te zbliżają się do siebie przed momentem spotkania i oddalają po tym momencie? *(Odp.: $x_s = 35$ m oraz $t_s = 4$ s).*

Polak poleci w Kosmos

5 sierpnia br. polski astronauta projektowy Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) dr Sławosz Uznański rozpoczyna praktyczną część szkolenia przygotowującego do polskiej misji na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS – International Space Station). Misja planowana jest na 2025 rok.

W pierwszym etapie szkolenie odbywać się będzie w zlokalizowanych w Stanach Zjednoczonych ośrodkach Axiom Space, NASA i SpaceX.

Misję AX-4 tworzą**: Peggy Whitson** (USA) – dowódca misji**,** biochemiczka. Była pierwszą kobietą, która dowodziła Międzynarodową Stacją Kosmiczną (ISS). Jest też rekordzistką wśród kobiet pod względem najdłuższego łącznego pobytu w kosmosie, **Sławosz Uznański** (Polska/ESA) – specjalista misji, **Shubhanshu Shukla** (Indie) – pilot misji**, Tibor Kapu** (Węgry) – specjalista misji.

Członkowie załogi muszą otrzymać jeszcze zatwierdzenie międzynarodowego komitetu odpowiedzialnego za Międzynarodową Stację Kosmiczną – Multilateral Crew Operations Panel (MCOP), w którego skład wchodzą przedstawiciele wszystkich pięciu międzynarodowych partnerów ISS: NASA, ESA, Roskosmos, JAXA i Kanadyjskiej Agencji Kosmicznej.

Start misji planowany jest na przyszły rok z należącego do NASA Kennedy Space Center na Florydzie. Lot na ISS zostanie zrealizowany rakietą Falcon 9 firmy SpaceX, która wyniesie na orbitę kapsułę załogową Dragon. W ramach misji, astronauci spędzą na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej około 14 dni.

Ax-4 będzie kolejną komercyjną załogową misją Axiom Space. Udział Polaka w tej misji to wynik podpisanej pomiędzy Ministerstwem Rozwoju i Technologii a ESA umowy na przygotowanie i przeprowadzenie polskiej misji technologicznej na ISS. Po stronie Polski w przygotowanie misji jest również zaangażowana Polska Agencja Kosmiczna (POLSA), jako agencja wykonawcza MRiT.

Program misji będzie przede wszystkim skupiony wokół eksperymentów opracowanych przez przedstawicieli polskiego sektora kosmicznego, pod kierunkiem ESA.

https://polsa.gov.pl/wydarzenia/kolejny-etap-szkolenia-polaka-do-misji-na-iss/

eprasa.pl fc7cb87889

Foto – NASA

Nasze Słońce

Kto nie lubi wygrzewać się w promieniach letniego słońca. W kwietniu i maju wykorzystujemy każdy słoneczny dzień i czekamy na długie słoneczne letnie dni. Zwykle nie zastanawiamy się nad tym skąd Słońce czerpie te ogromne ilości energii, które stale promieniuje już od kilku miliardów lat.

Marek **Demiański**

Źródła energii Słońca

Starożytni Grecy uważali, że Słońce jest olbrzymią kulą ognia. Kiedy astronomowie oszacowali dokładniej odległość do Słońca okazało się, że ten pierwszy model jest mało prawdopodobny. Dalsze badania procesów chemicznych i fizycznych towarzyszących spalaniu doprowadziły do całkowitego odrzucenia tego modelu. Odkrycie analizy spektralnej w XIX wieku pozwoliło astronomom stwierdzić, że Słońce składa się w około 75% z wodoru i w 25% z helu w stosunku wagowym z małą domieszką innych lekkich pierwiastków takich jak węgiel i tlen. Odkryte w XVI wieku przez Newtona prawo powszechnego ciążenia pozwoliło wyznaczyć masę Słońca, która okazała się być około milion razy większa od masy Ziemi.

Prawo powszechnego ciążenia Newtona wprowadziło też nowe pojęcie potencjalnej energii grawitacyjnej. Lord Kelvin (ten od skali temperatur Kelvina) sugerował, że Słońce świeci, bo w jego środku zachodzi przemiana potencjalnej energii grawitacyjnej w energię cieplną. Bardzo szybko okazało się, że taki mechanizm wytwarzania energii zapewniłby świecenie Słońca z mierzoną obecnie jasnością 3.8 10^{26} W tylko przez kilkanaście milionów lat.

Problem pochodzenia tych ogromnych ilości energii, które Słońce promieniuje został ostatecznie rozwiązany, gdy Albert Einstein odkrył równoważność masy i energii wyrażoną prostym związkiem $E = m c^2$, a wkrótce potem fizycy odkryli reakcje jądrowe, które pozwalały na zamianę masy na energię i choć efektywność tego procesu wynosiła zaledwie ułamek procenta otwierało to drogę do uzyskiwania ogromnych ilości energii.

Pierwsze próby wykorzystania reakcji termojądrowych do wyjaśnienia źródeł energii Słońca podjął Arthur Eddington w latach 20-tych ubiegłego wieku. Pełen schemat reakcji termojądrowych zachodzących we wnętrzu Słońca zaproponował Hans Bethe. Ten cykl reakcji termojądrowych prowadzi do przemiany wodoru w hel.

Pierwszy krok na tej drodze to prosta reakcja jądrowa

$$p + p \rightarrow D + e^+ + \nu_e, \qquad (1)$$

dwa protony trzeba zbliżyć na odległość około 10^{-15} m, wtedy powstaje jądro deuteru D, pozyton e^+ i neutrino elektronowe ν_e. Reakcje termojądrowe, jak każdy proces fizyczny muszą spełniać zasadę zachowania energii i pędu, zasadę zachowania ładunku elektrycznego, oraz zasadę zachowania liczby barionowej i leptonowej.

Aby sprawdzić, czy spełniona jest zasada zachowania energii i pędu trzeba byłoby dokładnie zmierzyć energię

eprasa.pl fc7cb87889

i pęd wszystkich cząstek występujących z lewej i prawej strony wzoru opisującego reakcję (1). To jest bardzo trudne i skomplikowane zadanie i dlatego przyjmiemy, że zasada zachowanie energii i pędu jest w tej reakcji spełniona.

Łatwo sprawdzić, że zasada zachowania ładunku elektrycznego jest spełniona, z lewej strony mamy dwa dodatnie ładunki elektryczne a z prawej strony D – jądro deuteru jest złożone z protonu i neutronu, więc jego ładunek elektryczny wynosi + 1, ładunek elektryczny pozytonu wynosi + 1, a ładunek elektryczny neutrino wynosi zero. Zatem ładunek elektryczny cząstek po prawej stronie wzoru też wynosi dwa.

Liczba barionowa protonu wynosi + 1, zatem liczba barionowa cząstek występujących po lewej stronie wynosi +2. Jądro deuteru składa się z protonu i neutronu, obie te cząstki mają liczbę barionową + 1, liczba barionowa pozyton i neutrino wynosi zero. Zatem całkowita liczb barionowa cząstek występujących po prawej stroni wzoru opisującego reakcję wynosi +2. Protonowi przypisuje się liczbę leptonową zero, zatem liczba leptonową cząstek występujących po lewej stronie wzoru (1) wynosi zero. Z prawej strony natomiast liczba leptonowa jądra deuteru wynosi zero, pozyton jako antycząstka elektronu ma przypisaną liczbę leptonową -1, a liczba leptonowa neutrino elektronowego wynosi +1, zatem całkowita liczba leptonowa cząstek występujących po prawej stronie wzoru (1) jest zero.

Jądro deuteru jest jądrem bardzo aktywnym i jak tylko powstanie we wnętrzu Słońca natychmiast przyłącza proton i zamienia się w jądro trytu

$$D + p \rightarrow {}^{3}He + \Upsilon, \qquad (2)$$

Υ oznacza foton o dużej energii, który jest emitowany przez powstające w stanie wzbudzonym jądro trytu. Kolejna reakcja to połączenie dwóch jąder trytu i utworzenie jądra helu 4

$${}^{3}He + {}^{3}He \rightarrow {}^{4}He + 2\,p. \qquad (3)$$

Ten cykl reakcji prowadzi do zamiany 4 protonów w jądro helu 4:

$$4\,p \rightarrow {}^{4}He + 2\,e^{+} + 2\,\nu_e\,. \qquad (4)$$

Powstające w tym cyklu reakcji pozytony niemal natychmiast spotykają elektrony i anihilują

$$e^{+} + e^{-} \rightarrow 2\,\Upsilon, \qquad (5)$$

tworząc dwa wysoko energetyczne fotony gamma. Natomiast powstający w tym cyklu reakcji neutrina swobodnie ulatują z centrum Słońca unosząc część energii wydzielanej podczas przemiany protonów w deuter.

Energia przemian

Obliczmy teraz ile energii jest generowanej podczas jednego cyklu przemian wodoru w hel. W tym celu porównamy masy cząstek wchodzących w reakcje z masą cząstek końcowych i dla prostoty zaniedbamy energię unoszoną przez neutrina i tę wyzwalaną podczas anihilacji pozytonów. Energię uzyskiwaną podczas zamiany 4 protonów w jadro helu 4 oznaczymy przez E_{pp}, zatem

$$\begin{aligned} E_{pp} &= (4m_p - m_{He})\cdot c^2 \\ &= (4\cdot 1{,}67 - 6{,}63)\,10^{-27}\ \mathrm{kg}\cdot c^2 \\ &= 5\cdot 10^{-29}\mathrm{kg}\cdot c^2 = 4{,}5\cdot 10^{-12}\mathrm{J}. \end{aligned} \qquad (6)$$

Znając energię wydzielaną w jednym cyklu reakcji p-p oraz jasność Słońca możemy obliczyć, ile reakcji p-p zachodzi w centrum Słońca w ciągu jednej sekundy. Oznaczmy tę liczbę przez N, wynosi ona

$$N = \frac{\textit{Jasność słońca}}{Epp} = \frac{4\cdot 10^{26}}{4{,}5\cdot 10^{-12}} \simeq 10^{38}\,. \qquad (7)$$

Znając liczbę reakcji p-p zachodzących w centrum Słońca w czasie jednej sekundy można łatwo oszacować masę wodoru, która w tym czasie jest zamieniana w hel. Oznaczmy tę masę przez Δm, wówczas

$$\Delta m = 4\cdot m_p\cdot N = 4\cdot 1{,}67\cdot 10^{-27}\cdot 10^{38} = 6{,}68\cdot 10^{11}\ \mathrm{kg}. \qquad (8)$$

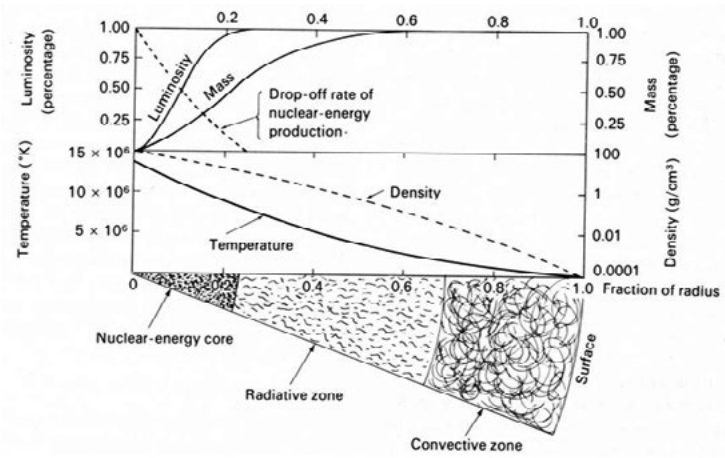
Można teraz oszacować, jak długo Słońce będzie świeciło promieniując energię wyzwoloną w procesie p-p. Jeżeli oznaczymy ten czas przez τ, to

$$\tau = \frac{M_\odot}{\Delta m} = \frac{1{,}98\cdot 10^{30}}{6{,}68\cdot 10^{11}} \sim 3\cdot 10^{18}\ \mathrm{s} \sim 10^{11}\ \mathrm{lat}, \qquad (9)$$

gdzie $M_\odot$ to masa Słońca. Jak wynika z tego oszacowania Słońce będzie świeciło jeszcze bardzo, bardzo długo.

Energia, która jest uwalniana w procesie p-p w centrum Słońca jest transportowana ku jego powierzchni początkowo przez strumień fotonów. Z modelowych opisów procesów zachodzących w centrum Słońca wynika, że panuje tam temperatura około $15\cdot 10^{6}$ K, a gęstość wynosi około 10^{5} kg/m^{3}.

W takich warunkach nie mogą istnieć atomy, materię w centrum Słońca tworzą protony, cząstki alfa, czyli jądra helu, elektrony, fotony i neutrina. Średnia droga swobodna fotonu jest tam bardzo krótka i wynosi około 10^{-3} m. Chaotyczne rozpraszanie fotonów na elektronach i oddziaływanie elektronów z innymi naładowanymi elektrycznie cząstkami zapewnia utrzymanie w centrum Słońca stanu bliskiego stanowi równowagi termodynamicznej.



Rys. 1. Diagram przedstawiający jak zmieniają się podstawowe parametry słońca wraz z odległością od środka Słońca. Luis Berman, Exploring the Cosmos, Little, Brown and Company, Boston 1973.

eprasa.pl fc7cb87889

Niewielkie różnice temperatur między obszarami znajdującymi się w różnej odległości od środka Słońca prowadzą do powstania strumienia fotonów skierowanego ku jej powierzchni. Ten promienisty rodzaj transportu energii dominuje aż do odległości około 0,7 $R_\odot$, gdzie $R_\odot$ to promień Słońca. Promienisty rodzaj transportu energii nie powoduje ruchów materii. W centralnej części Słońca powoli zaczyna wzrastać stężenie helu.

Gdy w odległości około 0,7 $R_\odot$ temperatura spada poniżej 10^6 K okazuje się, że bardziej efektywnym sposobem transportu energii staje się konwekcja.

W tej najbardziej zewnętrznej warstwie Słońca powstają konwekcyjne ruchy materii i spontanicznie pojawiają się komórki konwekcyjne. Gorący element plazmy ma mniejszą gęstość od swojego otoczenia i zgodnie z zasadą Archimedesa unosi się do góry. W pobliżu powierzchni Słońca wypromieniowuje część swojej energii, ochładza się, kurczy się, staję się gęstszy od otoczenia więc opada niżej, gdzie znowu ogrzewa się i ten proces powtarza się. Ruchy konwektywne plazmy organizują się w misterną sieć komórek konwektywnych. Jaki to ma wpływ na najbardziej zewnętrzne warstwy Słońca i fotosferę, którą możemy obserwować wyjaśnimy następnym razem.

Ulatujące neutrina

W każdym cyklu reakcji termojądrowych prowadzących do zamiany czterech protonów w jedno jądro helu 4 powstają dwa neutrina elektronowe. Oszacowaliśmy, że w ciągu sekundy zachodzi 10^{38} takich reakcji, zatem w centrum Słońca powstaje $2\cdot10^{38}$ neutrin elektronowych w ciągu sekundy. Neutrina są cząstkami elektrycznie obojętnymi, nie biorą udziału w silnych oddziaływaniach jądrowych, powstają i anihilują w procesach z udziałem oddziaływań słabych i jak wszystko we wszechświecie oddziałują grawitacyjnie.

Do niedawna uważano, że masa spoczynkowa neutrin podobnie jak fotonów wynosi zero. Ponieważ neutrina praktycznie rzecz biorąc nie oddziałują z materią barionową, to te które powstają w centrum Słońca swobodnie ulatują w przestrzeń międzyplanetarną. Znając odległość Ziemia-Słońce 1 AU = $1{,}49\cdot10^{11}$ m łatwo można oszacować strumień neutrin przenikający przez powierzchnię 1 m^2 ustawioną w kierunku Słońca w ciągu sekundy. Jeżeli oznaczymy ten strumień neutrin przez SN to

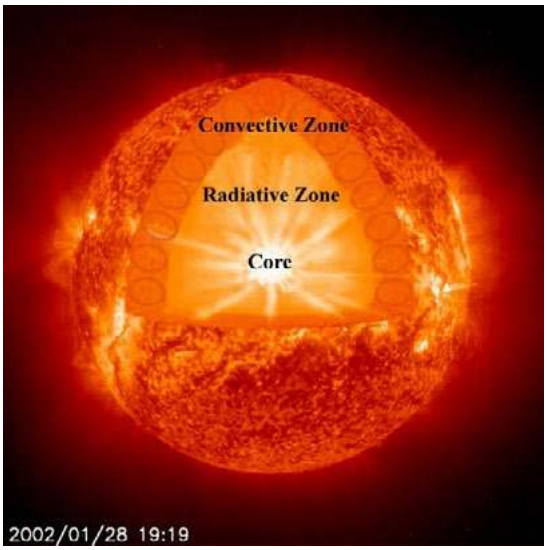
$$SN = \frac{2\cdot10^{38}}{4\cdot\pi\cdot\left(1{,}5\cdot10^{11}\right)\wedge 2} = 7\cdot10^{14}\ 1/s. \qquad (10)$$

Jakie było zaskoczenie fizyków, gdy w końcu po wielu próbach w 1968 roku udało się zmierzyć strumień słonecznych neutrin elektronowych, który okazał się być zaledwie 1/3 spodziewanego strumienia. Przez następne trzy dekady podejmowano różne próby wyjaśnienia tej zagadki. Fizycy uważali, że astronomowie nie do końca wiedzą co się dzieje w centrum Słońca, a astronomowie uważali, że fizycy nie znają dostatecznie dokładnie własności neutrin.

Okazało się, że istnieją trzy rodzaje neutrin, są one stowarzyszone z trzema podstawowymi leptonami elektronem, mionem i cząstką tau. Na początku XXI wieku w Japonii zbudowano ogromny detektor neutrin w Kamiokande, który rejestruje nie tylko neutrina elektronowe. Zmierzony przez ten detektor strumień neutrin słonecznych był wprawdzie mniejszy od oczekiwanego, ale był większy od zmierzonego wcześniej strumienia neutrin elektronowych.

Neutrina okazały się cząstkami bardziej złożonymi niż początkowo przypuszczano. Teraz wiemy, że neutrina posiadają bardzo małą, ale różną od zera masę spoczynkową. Podczas przelotu z centrum Słońca na ziemią część neutrin elektronowych zamienia się w neutrina mionowe i tau. Ten proces zmiany typu neutrin fizycy nazywają oscylacjami neutrin. Tak to procesy zachodzące w centrum Słońca przyczyniły się do lepszego poznania fizyki neutrin.

Prof. Marek Demiański



Rys. 2. Wewnętrzna struktura Słońca. https://soho.nascom.nasa.gov/gallery/images/large/cutaway00_prev.jpg

Rys. 3. Detektor neutrino w Kamiokande, Japonia. https://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/sk/experience/gallery/

eprasa.pl fc7cb87889

Foto – Dreamstime

Zderzenia w Układzie Słonecznym – fakty i mity

cz. III

Kontynuując nasze rozważania związane z zderzeniami w Układzie Słonecznym określmy częstotliwość takich kosmicznych kolizji wykorzystując standardową metodę estymacji.

Marcin **Wesołowski**

Prawdopodobieństwo kolizji pomiędzy dwoma ciałami kosmicznymi może być obliczone poprzez zastosowanie koncepcji tzw. „gęstości przestrzennej" obiektów, czyli średniej liczby obiektów w jednostkowym elemencie objętości (Kessler 1981, Steel 1985). Metoda ta wykazuje duże podobieństwo do opisu kinematyki gazów, jest ona bardzo użyteczna numerycznie i znajduje szerokie zastosowanie w prognozowaniu kosmicznych kolizji.

Celem przedstawionych rozważań będzie więc znalezienie prawdopodobieństwa kolizji dwóch ciał, z których każde porusza się wokół centrum grawitacji (Słońca) po elipsach keplerowskich. W tym celu dzielimy dopuszczalny obszar ruchu ciał na tak małe elementy objętości, aby można było przyjąć, że w każdym z nich ruch ciał jest jednostajny i prostoliniowy. Jeśli założymy, że jedno z ciał jest nieruchome to zgodnie z koncepcją „gęstości przestrzennej" strumień od drugiego ciała $\Delta\Phi$ oddziaływujący na pierwszy obiekt (ilość zderzeń przypadających na jednostkową powierzchnię przekroju czynnego pierwszego ciała zachodzących w jednostce czasu) dany jest zależnością:

$$\Delta\Phi = nv, \tag{1}$$

gdzie n oznacza właśnie gęstość przestrzenną drugiego ciała a v jego prędkość względną. Tempo kolizji $\frac{\Delta N}{\Delta t}$, czyli ilość zderzeń ΔN przypadających na jednostkę czasu Δt wyraża formuła:

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = \Delta\Phi\sigma = nv\sigma. \tag{2}$$

W równaniu (2) σ oznacza przekrój zderzeniowy (przekrój kolizyjny) dla rozpatrywanych ciał. Zauważmy, że równanie (2) odnosi się do przypadku, gdy mamy pewność, że jedno z ciał znajduje się w rozważanym elemencie przestrzeni. W ogólności, aby kolizja była możliwa musimy założyć, że oba ciała muszą się znaleźć w tym samym czasie w tym samym elemencie objętości. Dlatego też w ogólnym przypadku częstość zderzeń $\frac{\Delta N_i}{\Delta t}$ zachodzących pomiędzy rozpatrywanymi dwoma ciałami w elemencie objętości ΔV_i w jednostce czasu Δt wyraża wzór:

$$\frac{\Delta N_i}{\Delta t} = n_{1i} \times n_{2i} \times v_i \times \sigma_i \times \Delta V_i\,. \tag{3}$$

W równaniu (3) n_{1i} *oraz* n_{2i} oznaczają: prawdopodobieństwo znalezienia się pierwszego i drugiego ciała w danym elemencie objętości ΔV_i (inaczej mówiąc, są to gęstości przestrzenne prawdopodobieństwa przebywania ciał w wybranym miejscu), natomiast v_i jest ich prędkością względną, a σ_i jest przekrojem zderzeniowym. Należy podkreślić, że Δt oznacza długość czasu odpowiadającą wspólnemu przebywaniu obu ciał w elemencie objętości ΔV_i. Wówczas całkowite prawdopodobieństwo kolizji p jest sumą częstości zderzeń rozciągniętą na wszystkie elementy objętości dostępne dla tych dwóch ciał:

$$p = \int_V n_1 \times n_2 \times v \times \sigma \times dV\,. \tag{4}$$

Powyższa formuła sprowadzi się do podanego poniżej wzoru pod warunkiem, że występujące w niej parametry nie ulegają istotnym zmianom w danym elemencie objętości ΔV_i:

eprasa.pl fc7cb87889

$$p = \sum_i \langle n_{1i} \rangle \times \langle n_{2i} \rangle \times \langle v_i \rangle \times \langle \sigma_i \rangle \times \Delta V_i. \quad (5)$$

Zauważmy, że sumowanie rozciągnięte jest na wszystkie możliwe elementy objętości ΔV_i, które są dostępne dla obu ciał, a nawiasy $\langle\ \rangle$ oznaczają uśrednienie odpowiednich wielkości w danym elemencie objętości. Zakładamy, że argumenty peryhelium orbit rozważanych ciał mają rozkład przypadkowy. Wtedy prawdopodobieństwo *n* znalezienia się danego ciała w wybranym elemencie objętości jest funkcją odległości *R* do Słońca oraz szerokości ekliptycznej β tegoż ciała, tzn. $n = n(R, \beta)$. Zależność tę wyrazimy oddzielnie od zmiennych *R* i β, w sposób następujący:

$$n = n(R)\, n(\beta). \quad (6)$$

W równaniu (6) n(R) oznacza gęstość przestrzenną ciała w odległości *R* od centrum ruchu uśrednioną po wszystkich szerokościach ekliptycznych, n(β) jest stosunkiem gęstości przestrzennej ciała na szerokości ekliptycznej β do średniej (względem β) gęstości przestrzennej. Poniżej przedstawiony został sposób oddzielnego obliczenia tych dwóch wielkości.

Dla przykładu rozważmy warstwę sferyczną o środku pokrywającym się z centrum ruchu ciał (Słońce) ograniczoną dwiema sferami o promieniach R_1 i R_2, przy czym jej grubość: $\Delta R = R_2 - R_1$ jest znacznie mniejsza od promieni granicznych. Objętość tej warstwy możemy wyrazić jako:

$$\Delta V = 4\pi \langle R \rangle^2 \Delta R, \quad (7)$$

gdzie: $\langle R \rangle = \dfrac{R_1 + R_2}{2}$.

Ponieważ w czasie jednego pełnego okresu obiegu T ciało dwukrotnie przecina wspomnianą warstwę sferyczną przebywając w niej za każdym razem interwał czasu Δt, więc gęstość przestrzenna n(R) prawdopodobieństwa przebywania ciała w tej warstwie jest równa:

$$n(\langle R \rangle) = \frac{2\Delta t}{T \Delta V}. \quad (8)$$

Wykorzystując równanie Keplera:

$$\frac{2\pi}{T} t = E - e\sin E, \quad (10)$$

w którym E oznacza anomalię mimośrodową ciała, e mimośród orbity, a t *czas* ruchu od perycentrum do danego punktu położonego wewnątrz sfery uzyskamy:

$$\Delta t = \frac{T}{2\pi}\left[(E_2 - E_1) - e(\sin E_2 - \sin E_1)\right]. \quad (11)$$

W oparciu o równania orbity eliptycznej:

$$R = a(1 - e\cos E), \quad (12)$$

gdzie a *oznacza* półoś dużą orbity dla danych wartości R_1 *i* R_2 znajdujemy potrzebne nam wartości anomalii mimośrodowej E_1 i E_2, po wykorzystaniu równania (8) otrzymujemy:

$$n(\langle R \rangle) = \frac{(E_2 - E_1) - e(\sin E_2 - \sin E_1)}{4\pi^2 \langle R \rangle^2 \Delta R}. \quad (13)$$

Zauważmy, że wzór (13) wyraża gęstość przestrzenną prawdopodobieństwa znalezienia ciała w warstwie sferycznej o danym średnim promieniu $\langle R \rangle$. W obszarach dalekich od linii apsyd (linia łącząca dwa punkty orbity ciała niebieskiego, w których jest ono odpowiednio najbliżej i najdalej od ciała obieganego) orbity można zastosować, zamiast formuły (13) przybliżony wzór, którego wyprowadzenie podano poniżej. W oparciu o równanie (10) można napisać:

$$\Delta t = \frac{T}{2\pi} \times \Delta E(1 - e\cos E). \quad (14)$$

Promień średni sfery $\langle R \rangle$ musi również spełniać równanie orbity:

$$\langle R \rangle = a(1 - e\cos E), \quad (15)$$

w którym anomalia mimośrodowa E odpowiada średniej odległości ciała $\langle R \rangle$ od centrum ruchu. Z równania (12) wynika, że:

$$\Delta R = ae\sin E\, \Delta E. \quad (16)$$

Wykorzystując powyższe równania gęstość przestrzenną prawdopodobieństwa $n(\langle R \rangle)$ określoną formułą (8) wyrażamy w sposób następujący:

$$n(\langle R \rangle) = \frac{1}{4\pi^2 a^2 \langle R \rangle e\sin E}. \quad (17)$$

Pamiętając o równaniu orbity ostatni wzór można wyrazić jako:

$$n(\langle R \rangle) = \frac{1}{4\pi^2 a \langle R \rangle \left[(\langle R \rangle - q)(q' - \langle R \rangle)\right]^{1/2}}. \quad (18)$$

W równaniu (18) q = a(1 - *e*) i *q'* = a(1 + *e*) oznaczają odpowiednio odległości perycentrum i apocentrum orbity ciała od Słońca. Wyrażenie na gęstość przestrzenną prawdopodobieństwa $n(\langle R \rangle)$ daną wzorem (18) można wyprowadzić również w inny, alternatywny sposób wykorzystując prawa zachowania energii i momentu pędu w zagadnieniu dwóch ciał.

Składowa radialna v_R prędkości ciała *v w* momencie, gdy ciało przelatuje przez rozważaną powyżej warstwę sferyczną jest równa:

$$v_R = v\sin\gamma, \quad (19)$$

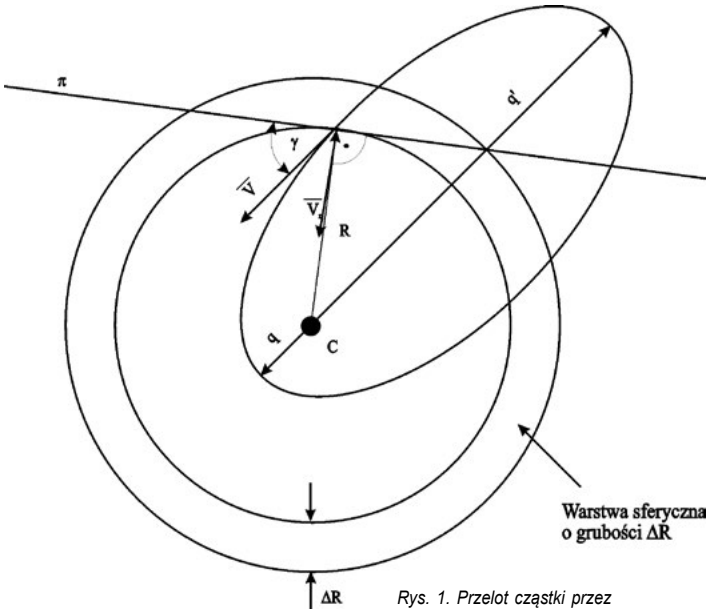
przy czym γ jest kątem pomiędzy kierunkiem prędkości ciała *v* a płaszczyzną π styczną do warstwy sferycznej (Rys 1.). Czas Δ*t* przejścia ciała przez warstwę o grubości Δ*R* obliczamy następująco:

$$\Delta t = \frac{\Delta R}{v_R}. \quad (20)$$

Prawo zachowania energii mechanicznej prowadzi do następującego znanego wyrażenia na wartość prędkości ciała w zależności od odległości *R* od Słońca:

$$v = \sqrt{GM_\odot \left(\frac{2}{R} - \frac{1}{a}\right)}. \quad (21)$$

eprasa.pl fc7cb87889



Rys. 1. Przelot cząstki przez warstwę sferyczną.

Z drugiej strony prawo zachowania momentu pędu pozwala napisać następujące związki:

$$qv(q) = q'v(q') = Rv\cos\gamma, \tag{22}$$

gdzie $v(q) = \sqrt{GM\left(\frac{2}{q} - \frac{1}{a}\right)}$ oraz $v(q') = \sqrt{GM\left(\frac{2}{q'} - \frac{1}{a}\right)}$ oznaczają odpowiednio wartości prędkości ciała w pery i apocentrum. Na podstawie powyższych zależności można pokazać, że:

$$\cos^2\gamma = \frac{2qa - q^2}{R(2a - R)} = \frac{2q'a - q'^2}{R(2a - R)}. \tag{23}$$

Ponieważ $a = \frac{(q + q')}{2}$, więc równanie (23) jest równe:

$$\cos^2\gamma = \frac{qq'}{R(2a - R)}. \tag{24}$$

Wtedy równanie (19) określające składową radialną prędkości, po wykorzystaniu zależności

$$\sin\gamma = \sqrt{\left(1 - \cos^2\gamma\right)}$$

przyjmuje następującą postać:

$$v_R = \sqrt{GM\left(\frac{2}{R} - \frac{1}{a}\right)\left(1 - \frac{qq'}{R(2a - R)}\right)}. \tag{25}$$

Następnie uwzględniając, że: $T = 2\pi\left(\frac{a^3}{GM}\right)^{1/2}$ przestrzenną gęstość prawdopodobieństwa $n\left(\langle R\rangle\right)$ możemy wyrazić następująco:

$$n\left(\langle R\rangle\right) = \frac{1}{4\pi\langle R\rangle^2 a^{3/2}\left[\left(\frac{2}{R} - \frac{1}{a}\right)\left(1 - \frac{qq'}{R(2a - R)}\right)\right]^{1/2}}. \tag{26}$$

Uwzględnienie w równaniu (26) zależności $a = \frac{(q + q')}{2}$, pozwala nam znowu uzyskać formułę (18).

Wyznaczmy teraz zależność gęstości prawdopodobieństwa od szerokości ekliptycznej $n(\beta)$. Niech będzie dany kartezjański układ współrzędnych XYZ o początku pokrywającym się z centrum ruchu ciał. Załóżmy, że ciało kosmiczne porusza się wokół centrum ruchu po orbicie eliptycznej i jest oddalone od niego w danej chwili t o odległość $\langle R\rangle$.

Ponieważ płaszczyzna orbity może mieć dowolną orientację w przestrzeni więc każdy możliwy argument perycentrum jest jednakowo prawdopodobny. Aby uwzględnić powyższy fakt zakładamy, że ciało jest chwilowo unieruchomione na swojej rzeczywistej eliptycznej orbicie, lecz argument perycentrum orbity zmienia się ze stałą prędkością kątową ω. Inaczej mówiąc, ciało względem linii swojej orbity jest nieruchome, lecz orbita zmienia swoje położenie względem przyjętego układu współrzędnych. W ten właśnie sposób uwzględniamy wspomniany powyżej fakt, że wszystkie możliwe argumenty perycentrum ruchu są jednakowo prawdopodobne.

Powyższe założenia prowadzą do tego, że w rozpatrywanym układzie współrzędnych ciało porusza się ze stałą prędkością kątową ω po orbicie kołowej o promieniu $\langle R\rangle$, której płaszczyzna pokrywa się z płaszczyzną orbity rzeczywistej. Jeśli θ oznacza kąt zawarty pomiędzy osią OX a kierunkiem R (rys. 2) to na podstawie elementarnej geometrii sferycznej wnioskujemy, że zachodzi związek:

$$\sin\beta = \sin i \sin\theta. \tag{27}$$

Czas $\Delta t'$ potrzebny na przejście przez ciało pasa o szerokości $\Delta\beta$ jest równy:

$$\Delta t' = \int_{\beta}^{\beta+\Delta\beta} \frac{d\theta}{\omega}. \tag{28}$$

Wykorzystując równanie (27) zależność (28) możemy wyrazić jako:

$$\Delta t' = \frac{1}{\omega}\int_{\beta}^{\beta+\Delta\beta} \frac{d(\sin\beta)}{\sin i\cos\theta} = \frac{1}{\omega}\int_{\beta}^{\beta+\Delta\beta} \frac{d(\sin\beta)}{[\sin^2 i - \sin^2\beta]^{1/2}}. \tag{29}$$

Po scałkowaniu równania (29) otrzymujemy, że:

$$\Delta t' = \frac{1}{\omega}\left[\arcsin\left(\frac{\sin(\beta + \Delta\beta)}{\sin i}\right) - \arcsin\left(\frac{\sin\beta}{\sin i}\right)\right]. \tag{30}$$

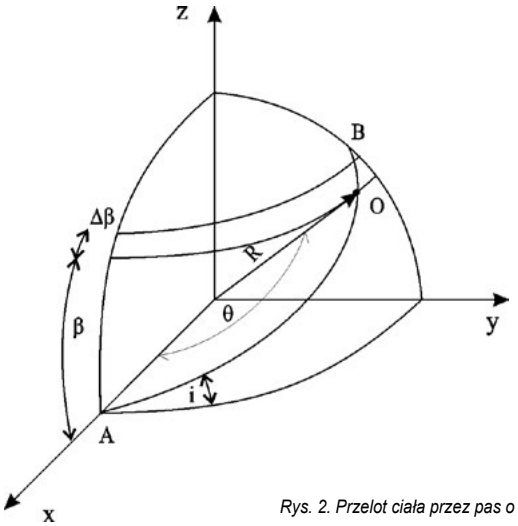
Zgodnie z przyjętym określeniem względnej gęstości prawdopodobieństwa $n(\beta)$ możemy zapisać:

$$n(\beta) = \frac{2\frac{\Delta t'}{T'}\frac{1}{\Delta V'}}{\frac{1}{\Delta V}}, \tag{31}$$

gdzie T' jest okresem ruchu perycentrum, ΔV *jest* dane formułą (7), natomiast $\Delta V'$ jest objętością wycinka warstwy sferycznej o grubości ΔR odpowiadającej szerokości ekliptycznej zawartej w pasie pomiędzy β a β + Δβ. Objętość tego wycinka wyrażona jest wzorem:

$$\Delta V' = \frac{1}{\omega}\int_{\beta}^{\beta+\Delta\beta} 2\pi\langle R\rangle^2 \cos\beta\,\Delta R\,d\beta = \\ = 2\pi\langle R\rangle^2 \Delta R\left(\sin(\beta + \Delta\beta) - \sin\beta\right). \tag{32}$$

eprasa.pl fc7cb87889



Rys. 2. Przelot ciała przez pas o szerokości Δβ

Uwzględniając fakt, że okres T' ruchu peryhelium spełnia warunek: $T' = \frac{2\pi}{\omega}$, to na podstawie równań (30-32) obliczymy:

$$n(\beta) = \frac{2}{\pi(\sin(\beta+\Delta\beta) - \sin\beta)} \cdot \left[\arcsin\left(\frac{\sin(\beta+\Delta\beta)}{\sin i}\right) - \arcsin\left(\frac{\sin\beta}{\sin i}\right)\right]. \quad (33)$$

Tak więc aby wyznaczyć numerycznie wartość przestrzennej gęstości prawdopodobieństwa przebywania ciała w wybranym elemencie przestrzeni musimy w równaniu (6) zastosować podstawienia (13) i (33). W celu obliczenia prawdopodobieństwa zderzenia się dwóch ciał należy w podany wyżej sposób wyznaczyć gęstości przestrzenne dla obu ciał oraz ich prędkości względne oraz przekroje zderzeniowe a następnie wykorzystać wzór (5). W przypadku szerokości ekliptycznych β niezbyt bliskich inklinacji *i* wyrażenie określające gęstość przestrzenną prawdopodobieństwa istotnie się upraszcza. W tej sytuacji równanie (29) może być w przybliżeniu zapisane w postaci:

$$\Delta t' = \frac{1}{\omega}\frac{\cos\langle\beta\rangle\Delta\beta}{[\sin^2 i - \sin^2\langle\beta\rangle]^{1/2}}, \quad (34)$$

gdzie $\langle\beta\rangle = (\beta + \frac{1}{2}\Delta\beta)$. Wyrażenie na zależność gęstości prawdopodobieństwa od szerokości ekliptycznej przyjmuje wtedy postać:

$$n(\langle\beta\rangle) = \frac{2}{\pi[\sin^2 i - \sin^2\langle\beta\rangle]^{1/2}}. \quad (35)$$

Zatem wyrażenie określające gęstość przestrzenną $n(\langle R\rangle, \beta)$ ostatecznie może być zapisane w postaci:

$$n(\langle R\rangle, \beta) = \frac{1}{2\pi^3\langle R\rangle a[(\sin^2 i - \sin^2\langle\beta\rangle)(\langle R\rangle - q)(\langle R\rangle - q')]^{1/2}}. \quad (36)$$

Jeśli pierwsze ciało przebywa w czasie *t* w obszarze scharakteryzowanym przez promień wodzący o długości *R* i średnią długość ekliptyczną $\langle\beta\rangle$, a drugie ciało porusza się po orbicie eliptycznej o parametrach q, *q'* oraz *i* to ilość wzajemnych kolizji pomiędzy tymi dwoma obiektami wyrazi się wtedy na podstawie równania (2) następującym wzorem:

$$p = \frac{v\sigma t}{2\pi^3\langle R\rangle a[(\sin^2 i - \sin^2\langle\beta\rangle)(\langle R\rangle - q)(\langle R\rangle - q')]^{1/2}}. \quad (37)$$

Występującą w równaniu (37) prędkość względną v rozpatrywanych dwóch ciał wyrażana jest za pomocą równania, które jako pierwszy wyprowadził Öpika w 1961. Dodatkowo zależność ta została także wyprowadzona w naszych wcześniejszych rozważaniach:

$$v = \sqrt{\left(3 - \frac{R}{a} - 2\sqrt{\frac{a}{R}(1-e^2)}\cos\Delta i\right)\frac{GM_\odot}{R}}, \quad (38)$$

gdzie Δ*i* oznacza różnicę inklinacji orbit rozpatrywanych ciał. Przypomnijmy w tym miejscu, że inklinacja (nachylenie) oznacza kąt pomiędzy płaszczyzną orbity a płaszczyzną odniesienia.

Występujący w równaniu (37) przekrój czynny σ wyznacza się w ogólnym przypadku na podstawie rozwiązania zagadnienia dwóch ciał. Dlatego też z powodu tzw. ogniskowania grawitacyjnego efektywny przekrój czynny na zderzenie dwóch ciał kulistych o promieniach i masach odpowiednio równych r_1, r_2 oraz m_1, m_2, które poruszają się względem siebie z prędkością *v* opisuje następujący wzór:

$$\sigma = \pi(r_1 + r_2)^2\left[1 + \frac{2G(m_1 + m_2)}{(r_1 + r_2)v^2}\right]^{1/2}, \quad (39)$$

gdzie *G* oznacza stałą grawitacji. Jeśli kolizji ulegają dwa ciała o tak małych masach, że ich wzajemne oddziaływanie grawitacyjne wobec dominującej grawitacji słonecznej można zaniedbać, wtedy drugi składnik nawiasu kwadratowego staje się bardzo mały i przekrój zderzeniowy tych ciał staje się po prostu ich względnym przekrojem geometrycznym:

$$\sigma_g = \pi(r_1 + r_2)^2. \quad (40)$$

Wyprowadzone powyższej zależności można zastosować do numerycznego oszacowania prawdopodobieństwa zderzeń komet z drobnymi ciałami orbitującymi w Układzie Słonecznym.

dr hab. Marcin Wesołowski, prof. UR
Uniwersytet Rzeszowski, Kolegium Nauk Przyrodniczych, Instytut Nauk Fizycznych, Centrum Innowacji i Transferu Wiedzy Techniczno- Przyrodniczej Uniwersytetu Rzeszowskiego.

LITERATURA

[1] Artymowicz, P., 1995, Astrofizyka układów planetarnych, PWN, Warszawa.
[2] Kessler, D. J., 1981, Derivation of the collision probability between orbiting objects: the lifetimes of jupiter's outer moons, Icarus 109, 121.
[3] Mc-Fadden, L., Weissman, P., Johnson, T. (ed.); 2007, Encyclopedia of the Solar System, second edition, ELSEVIER, Amsterdam.
[4] Steel, D. I., 1985, Collisions in the solar systems. II - Asteroid impacts upon Mars, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 215, 396.
[5] Wierzbiński, S., 1973, Mechanika nieba, PWN, Warszawa.

eprasa.pl fc7cb87889

Roczniki 2023 z rabatem 75%!

Oferta ważna do wyczerpania nakładu!

Szczegóły i formularz zamówienia na www.aspress.com.pl/roczniki/

eprasa.pl fc7cb87889

- Eksperymenty ze splątanymi fotonami
- Nierówności Bella
- Kubity, teleportacja
- Bramki kwantowe
- Komputery i algorytmy kwantowe
- Kryptografia kwantowa
- Kropki kwantowe

Plik PDF
20 zł
(w tym 8% VAT)

Nowe wydanie specjalne – wersja cyfrowa – plik PDF

Szczegóły i formularz zamówienia – www.aspress.com.pl/wydania-specjalne/

eprasa.pl fc7cb87889