FIZYKA
w Szkole z Astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI

389 (LXIV) indeks 35810X **Nr 6 listopad/grudzień 2023** CENA 40,00 zł (w tym 8% VAT)

Kryptografia kwantowa

Nowa dziedzina nauki i techniki

DYDAKTYKA INTERAKTYWNA

Nadzwyczajny sukces centrów nauki

ŻYWOTY FIZYKÓW

Antonio Meucci

48. Zjazd Fizyków Polskich o kondycji nauczania fizyki

Orientacja na sferze niebieskiej

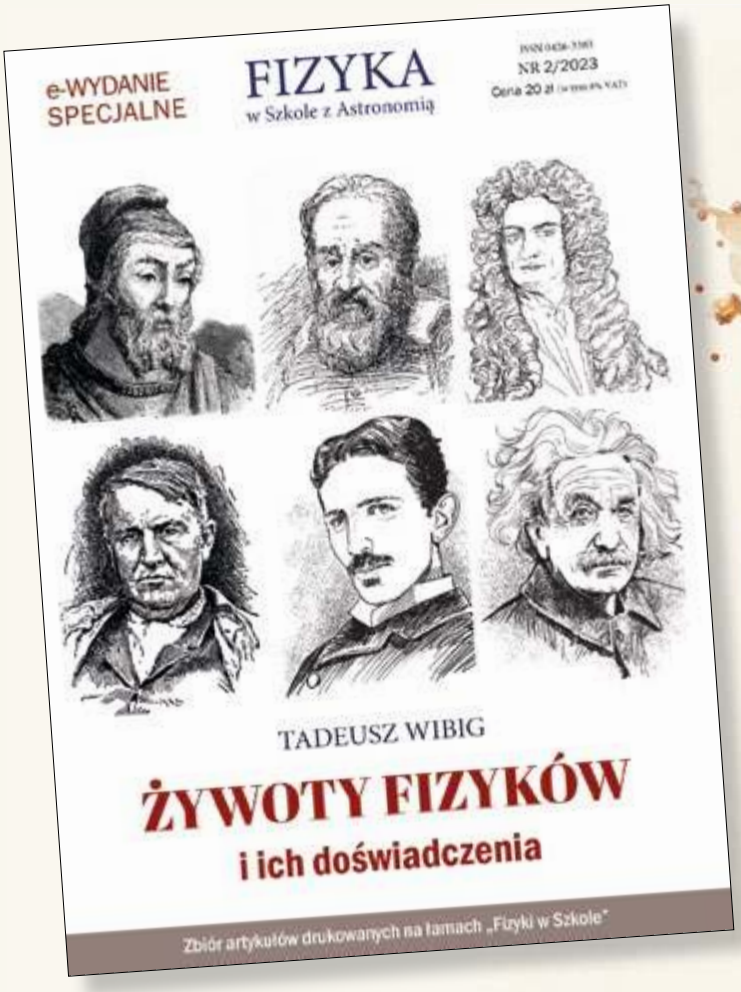
DOŚWIADCZENIA

Wyprowadzenie funkcji matematycznych na składowe ruchu ukośnego

ISSN 0426-3383

20 nierozwiązanych problemów i kwestii spornych z fizyki teoretycznej

Wielcy fizycy
i ich doświadczenia



- ✓ **Od Archimedesa po Einsteina**
- ✓ **Najważniejsze odkrycia**
- ✓ **27 wybitnych postaci**

Cena
20 zł
(w tym 8% VAT)

WYDANIE SPECJALNE *FIZYKI W SZKOLE*
W WERSJI ELEKTRONICZNEJ – PLIK PDF

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

eprasa.pl 19b3d3e593

Drodzy Czytelnicy!

Mam przyjemność przekazać Państwu ostatni w tym roku numer *Fizyki w Szkole*. Mam nadzieję, że mimo świątecznych przygotowań znajdą Państwo czas na lekturę naszego czasopisma. Jeśli tak się stanie to na samym początku znajdą Państwo artykuł Macieja Panczykowskiego: Nierozwiązane problemy i kwestie sporne w fizyce teoretycznej. We wspomnianym artykule autor udowadnia, że pomimo iż fizyka jako taka ma ponad 400 lat (moim zdaniem ponad 2500) to nadal jest w niej wiele do odkrycia. Autor dokonał niezwykle subiektywnego wyboru skupiając się głównie na zagadnieniach z dziedziny geometrii czasoprzestrzeni i pewnych elementach fizyki kwantowej, ale przedstawione przez niego zagadnienia są bez wątpienia niezwykle ciekawe a jego pogląd oryginalny.

Dowodem na to, że fizyka nie jest nauką skończoną, jest fakt, że każdego roku są przyznawane w tej dziedzinie Nagrody Nobla. W naszym czasopiśmie zajmujemy się co roku popularyzowaniem tematyki, za którą przyznawany jest Nobel. Dowodem na tą tezę jest cykl artykułów „Za co Nobel?", w którym przybliżamy tematykę Nobla przyznanego w roku 2022. Artykuł w tym numerze poświęcony jest niezwykle ważnej dziedzinie fizyki jaką jest kryptografia kwantowa.

Czas świąteczny sprzyja też amatorskim obserwacjom astronomicznym. Nadal na tysiąc sposobów rozważana jest zagadka Gwiazdy Betlejemskiej, a najmłodsi co roku wykonują amatorskie obserwacje wypatrując pierwszej gwiazdki. Jak jednak odnaleźć się na niebie? Jak znaleźć poszukiwany obiekt pośród innych 3000-6000 obiektów? Tym problemem z kolei zajmuj się artykuł Marcina Wesołowskiego – „Orientacja na sferze niebieskiej. Dobowy ruch sfery niebieskiej". Oczywiście w tym numerze są też inne warte polecenia artykuły, do których przeczytania serdecznie zachęcam. A na sam koniec chciałbym jeszcze raz życzyć Państwu Wesołych Świąt i Szczęśliwego Nowego Roku.

W imieniu redakcji

Zbigniew Wiśniewski

Fizyka wczoraj, dziś, jutro

4 **Nierozwiązane problemy i kwestie sporne w fizyce teoretycznej** ▮ Maciej Panczykowski
20 dużych pytań, na które fizycy powinni poznać odpowiedź w XXI wieku lub w dalszej przyszłości, w niektórych przypadkach – w przyszłości bardzo dalekiej.

12 **Za co Nobel 2022? Część 6. Kryptografia kwantowa** ▮ Jan Kurzyk
Potwierdzenie istnienia splątania kwantowego sprawiło, że narodziła się nowa dziedzina nauki i techniki związanej z przetwarzaniem informacji kwantowej.

20 **„Na ścieżkach Fizyki Współczesnej" – wystawy, wykłady, książki** ▮ Grzegorz Karwasz, Tomasz Wróblewski

27 **Żywoty fizyków. Antonio Santi Giuseppe Meucci** ▮ Tadeusz Wibig

30 **Kondycja nauczania fizyki w polskich szkołach. 48. Zjazd Fizyków Polskich** ▮ Edward Rydygier

Z naszych lekcji

36 **Dwie królowe** ▮ Arleta Biegańska
Matematyka i fizyka to dwie nauki, które w znaczący sposób wpływają na nasze poznawanie świata jak i na kształtowanie otaczającej rzeczywistości.

40 **Praca i energia w szkolnym programie fizyki. (Miniatura dydaktyczna)** ▮ Waldemar Reńda

44 **Analityczne formułowanie funkcji położenia ciała w ruchu ukośnym** ▮ Andrzej Sokołowski

Astronomia dla każdego

47 **Orientacja na sferze niebieskiej. Dobowy ruch sfery niebieskiej** ▮ Marcin Wesołowski
Obserwator, który znajduje się w dowolnym miejscu na powierzchni Ziemi odnosi wrażenie, że znajduje się w środku półkulistej czaszy usianej gwiazdami, a czasza ta wydaje się mu nieco spłaszczona.

FIZYKA w Szkole z Astronomią
CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI
NUMER 6 LISTOPAD/GRUDZIEŃ 2023
389 (LXIII) indeks 35810X ISSN 0426-3383
CENA 40,00 zł (w tym 8% VAT)

Komitet redakcyjny Krystyna Jabłońska-Ławniczak, Jerzy Kreiner, Andrzej Majhofer (Przewodniczący Komitetu), Zygmunt Mazur, Andrzej Szymacha, Mirosław Trociuk
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: Dreamstime

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 – Dreamstime

Nierozwiązane problemy i kwestie sporne w fizyce teoretycznej

Od czasów Galileusza, czyli od około 400 lat, fizyka teoretyczna jest w stanie nieustającego rozwoju. Odniosła wiele sukcesów, ale zbyt dużym optymizmem byłoby stwierdzenie, że wszystko już wie, rozwiązała już wszystkie problemy, a jeśli nie wszystkie – to skompletowanie rozwiązań jest w zasięgu ręki.

Maciej **Panczykowski**

W tej części artykułu przedstawiam 20 dużych pytań fizyki, na które fizycy powinni poznać odpowiedź w XXI wieku lub w dalszej przyszłości, w niektórych przypadkach – w przyszłości bardzo dalekiej.

Zdaję sobie sprawę, że poniższa lista może zostać uznana za kontrowersyjną, szczególnie przez pozytywistów fizyki – zwolenników instrumentalizmu matematycznego, z którego wynika przekonanie, że najważniejsze w fizyce jest osiąganie wyników obliczeń, nieważne jakimi środkami. Zdecydowanie uważam, że pomyślne obliczenia stanowią sukces i dają duże możliwości opracowywania nowych technologii, niemniej jednak odpowiedzi na pytania, które nieco niżej będą zadane są niezbędne do uzyskania przez fizyków pełnego obrazu fizycznej rzeczywistości.

1. Czy Wszechświat zaczął się od nieskończenie gęstego punktu, czy od niewielkiej struktury o skończonych rozmiarach i gęstości? Skąd wzięły się te obiekty? Musimy pamiętać, że hipoteza mówiąca, że wzięły się z nicości może być przez naukowców bardzo lubiana, może być popularna, ale nie zmieni to faktu, że jest tylko hipotezą.

2. Czy Wszechświat jest zamknięty (z krzywizną dodatnią), czy jego krzywizna jest zerowa lub ujemna i co za tym idzie, czy zapadnie się z powrotem, czy będzie rozszerzał się w nieskończoność?

DODATEK 1

Kosmolodzy lubią koncepcję Wszechświata (Uniwersum) skończonego i zamkniętego, gdyż wybuch wskazuje na symetrię sferyczną, a skończony wiek Wszechświata nie pasuje do nieskończonych rozmiarów przestrzennych. Niemniej jednak dotychczasowe obserwacje i pomiary w obrębie przestrzeni kosmicznej wskazują, że najprawdopodobniej jest ona niemal idealnie płaska. To duży znak zapytania...

3. Jeśli Wszechświat zapadnie się z powrotem w tzw. **Wielkim Kolapsie**, to czy będzie to definitywny koniec wszystkiego: przestrzeni, czasu i materii, czy po kolapsie nastąpi kolejny Wielki Wybuch?

4. Jaką część Wszechświata stanowi Wszechświat widzialny, czyli taki, z którego pochodzi informacja docierająca do przyrządów astronomicznych?

eprasa.pl 19b3d3e593

5. Jaki jest kształt Wszechświata? Czy jest trójwymiarową sferą, trójwymiarowym torusem czy jest jeszcze czymś innym?

6. Czym jest ciemna materia, której istnienie postuluje się w związku z obserwacją znacznie silniejszych zjawisk grawitacyjnych w galaktykach, niż wskazywałaby na to ilość materii emitującej światło? Czy składa się ona z nieznanych jeszcze cząstek czy może tak naprawdę nie istnieje, a przyczyną wspomnianych zjawisk jest inne prawo grawitacji na odległościach galaktycznych lub jeszcze inna przyczyna?

7. Czym jest ciemna energia, której istnienie postuluje się w związku z obserwacją coraz szybciej rozszerzającego się Wszechświata? Czy jest tylko postulatem ad hoc, a przyczyna tego przyspieszania jest inna?

8. Czy przestrzeń stanowi kontinuum, w którego każdym odcinku jest nieskończona liczba punktów, czy ma strukturę ziarnistą, czyli składa się z drobnych „komórek", tak jak pozornie ciągła sztabka złota składa się z atomów złota?

9. Czym tak naprawdę jest materia? Nie dysponujemy żadnym modelem teoretycznym cząstki elementarnej pokazującym źródła różnic między nią, a przestrzenią, źródła ładunku, masy spoczynkowej, spinu i „koloru". Nie wiemy też dlaczego niektóre cząstki są stabilne, a inne nie.

10. Jak obliczyć, wyznaczyć teoretycznie wartości mas spoczynkowych, ładunków i czasów życia cząstek elementarnych (przy przyjętych jednostkach). Przykładowo, dlaczego mion jest około 207 razy masywniejszy od elektronu? Dlaczego taka wartość, a nie inna, np. 184 lub 251?

11. Dlaczego istnieją tylko trzy generacje fermionów? Wyniki eksperymentów z rozpadem bozonu Z^0 na neutrina i antyneutrina wskazują, że rozpada się tylko na 3 ich rodzaje, a jako że jest on masywny, a neutrina – ultralekkie, to byłaby energia na neutrina czwartej generacji. Co ciekawe – nie jest pewne czy neutrina i odpowiadające im antyneutrina są odrębnymi cząsteczkami, czy są ze sobą tożsame (to drugie to koncepcja neutrin Majorany).

12. Czy Wszechświat zawiera materię i antymaterię w równych ilościach, czy zawiera właściwie tylko materię, a jeśli to drugie, to co na pewno jest przyczyną tej asymetrii?

13. Jaki jest dokładny mechanizm anihilacji i kreacji?

14. Dlaczego podstawowe siły przyrody mają takie, a nie inne natężenia?

15. Czy istnieją tylko 4 fundamentalne rodzaje oddziaływań? A jeśli tak, to dlaczego cztery, a nie trzy lub pięć albo sześć?

DODATEK 2

Nie jest pewne czy istnieją tylko 4 podstawowe siły przyrody, więc postuluje się istnienie innych rodzajów oddziaływań, np. między materią a antymaterią lub w obrębie wspomnianej w pkt. 7 ciemnej energii. To drugie miałoby być odpychające i odpowiadać za coraz szybsze rozszerzanie się Wszechświata. Postulować to jednak nie to samo co udowodnić istnienie. Zatem poszukiwania trwają.

16. Co jest przyczyną bezwładności ciał? Czy rację w tej kwestii miał Mach, który twierdził, że to wynik obecności innych ciał czy przyczyna jest inna?

DODATEK 3

Zasada bezwładności jest podstawową zasadą fizyki. Na tyle głęboką, że nikt nie wie co stanowi jej przyczynę. Dlaczego ciała takie są, że podtrzymują swój stan kinetyczny i potrzeba siły, by go zmienić? Zdaniem znanego fizyka XIX wieku – Ernsta Macha ciała takie są dlatego, że jest ich w kosmosie bardzo wiele. Innymi słowy, według **zasady Macha**, jedno, samotne ciało we Wszechświecie nie byłoby bezwładne. To cechy globalne mają wpływ na właściwości lokalne. Jest to jednak hipoteza, choć warta uwagi i poznania.

17. Czy fakt, że we Wszechświecie mogą istnieć złożone struktury i finalnie: inteligentne życie i cywilizacje jest dowodem na szczęśliwy przypadek, tajemniczy projekt czy na to, że Wszechświat jest jednym z wielu wszechświatów, o różnych, dowolnych prawach fizyki?

18. Czy jądra atomowe mają strukturę nieregularną, zmienną, czy nukleony układają się w nich w trwałe, krystaliczne formy?

19. Czy elektron porusza się w atomie w sposób różnorodny i ujmowalny tylko statystycznie (orbitale), czy porusza się po trajektoriach o ściśle określonych geometriach?

20. Jak powstały galaktyki? Skąd na pewno wzięły się fluktuacje gęstości materii u początku Wszechświata, które potem narastały zgodnie z „efektem kuli śniegu"?

Kwestie sporne

1. Czasoprzestrzeń – koncepcja czasoprzestrzeni nie pochodzi od Alberta Einsteina (szczególna teoria względności, STW, 1905 rok) ale od niemieckiego matematyka Hermanna Minkowskiego, który przedstawił ją po raz

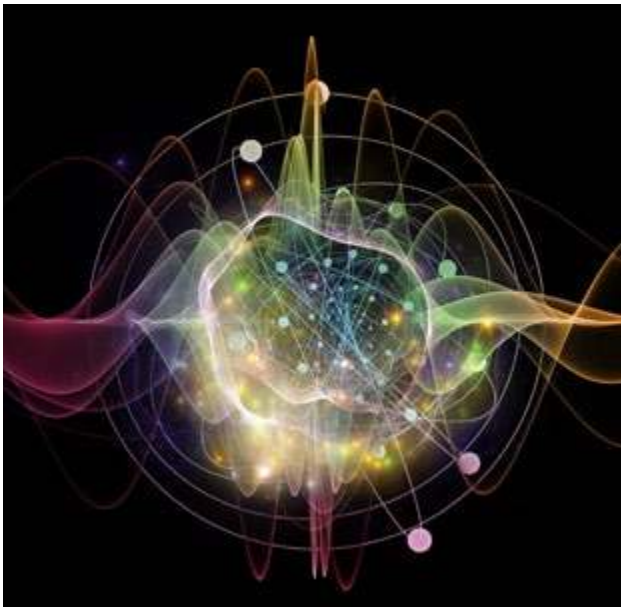
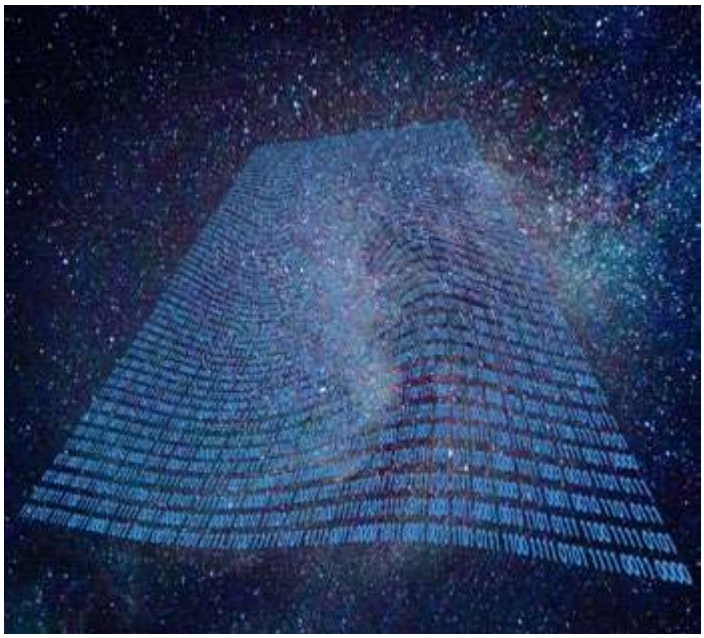


Foto – Dreamstime

eprasa.pl 19b3d3e593



pierwszy w 1908 roku. Zdaniem jednych – skoro współrzędne – przestrzenne i czasowa są współzależne (transformacje Lorentza), to znaczy, że możemy mówić o pewnym bycie, w którym żyjemy – czasoprzestrzeni. Zdaniem innych fizyków (do którego się przychylam) byt ten jest matematyczny i urealnianie go jest nadinterpretacją. Wystarczy spojrzeć w kąt pokoju, by zdać sobie sprawę, że żyjemy w trzech wymiarach, a czwarty wymiar – czas – jest niewidzialny, odrębny i mierzony w zupełnie inny sposób.

Postaram się nakreślić moją argumentację na obrazowym przykładzie: lis goni zająca. Poruszają się w tym samym kierunku, z taką samą prędkością. Ktoś zauważa taką zależność: położenie zająca minus położenie lisa równa się konstans. Jest to zależność ścisła. A czy to znaczy, że istnieje coś takiego jak zającolis? Na pewno nie. A co by było, gdyby w taki sposób pan gonił panią?

ZALEŻNOŚCI MATEMATYCZNE MIĘDZY A i B NIE IMPLIKUJĄ, ŻE SĄ ONE CZĘŚCIAMI CZEGOŚ WIĘKSZEGO

DODATEK 4

STW stwarza niestety szerokie pole do nadinterpretacji. Postaram się więc być precyzyjny. Skrócenie Lorentza nie oznacza, że pręt w ruchu sam w sobie kurczy się, a tylko, że jest tak postrzegany. Jest różnica między realnością a postrzeganiem (do oka dociera tylko informacja).

W przypadku dylatacji czasu – czas biegnie rzeczywiście wolniej w układach odniesienia znajdujących się naprawdę w ruchu (np. rakieta po włączeniu silników), a będzie tylko postrzegany jako biegnący wolniej na Ziemi, przez kosmonautów w rakiecie.

2. Czas kosmiczny, globalny – zdaniem jednych – czas jest względny i jego pomiar za pomocą zjawisk cyklicznych zawsze zależy od układu odniesienia.

Jeśli jednak wyobrazimy sobie rozszerzający się Wszechświat jako nadmuchiwany balon, to zauważymy, że jego promień cały czas rośnie i ma taką samą długość dla każdego punktu balonu. Z tym promieniem związany jest tak zwany czas kosmiczny – czas który powstał wraz z początkiem Wszechświata. Wiążąc powierzchnię balonu z naszą przestrzenią, widzimy, że mimo, że spoczynek lub ruch w obrębie tej przestrzeni ma wpływ na lokalny upływ czasu, to czas kosmiczny dla każdego w tej przestrzeni biegnie tak samo (Wszechświat ma wszędzie taką samą swoją lokalną krzywiznę, która maleje). Całkowity upływ tego czasu, od Wielkiego Wybuchu, szacowany jest na 13,8 miliarda lat. Nie dysponujemy metodami precyzyjnego mierzenia jego upływu w każdym układzie odniesienia.

Koncepcja czasu kosmicznego przypomina koncepcję minimalnego dochodu gwarantowanego w ekonomii. Ludzie mają różne swoje dochody, ale każdy otrzymuje, poza tym, tą samą kwotę.

3. Funkcja falowa – czy przedstawiono kiedykolwiek choć jedno zdjęcie funkcji falowej? Zdecydowanie nie... Tak jak nigdy nie widzimy przy ciałach żadnych wektorów (strzałek), a są one takie popularne w fizyce. To tylko obiekty matematyczne. W rzeczywistości ciało znajduje się we w jakiś sposób zmienionej przestrzeni i dlatego coś z nim się dzieje.

Przyzwyczajeni jesteśmy do tego, że ciała mają określone położenia i pędy i poruszają się po ściśle określonych torach nie dając nigdy efektów interferencyjnych. Albert Einstein wierzył, że jest tak zawsze, również w mikroświecie małych cząstek i mawiał, że „każdy element fizycznej rzeczywistości musi mieć swój odpowiednik w teorii". W związku z tym uważał mechanikę kwantową za teorię niepełną. Inne argumenty głoszą, że pojęcia i logika świata, w którym jesteśmy kształtowani, w którym efekty kwantowe są niezauważalne ze względu na duże masy, nie muszą pasować do tych z mikroświata.

Natomiast słynna w fizyce kwantowej **interpretacja kopenhaska** postuluje, że funkcja falowa to tylko nasz stan wiedzy a nie stan ontologiczny, czyli realnie istniejący. Kto ma zatem rację?

Z jednej strony bardzo klarowne są dowody korpuskularne (na istnienie cząstek) w efekcie fotoelektrycznym, zderzeniach cząstek w akceleratorach lub w obrazach uzyskiwanych z mikroskopu skaningowego tunelowego lub elektronowego (chociaż te dotyczą atomów).

Z drugiej strony, inne eksperymenty z cząstkami elementarnymi ujawniły zjawiska charakterystyczne dla fal (interferencja, dyfrakcja), co zinterpretowano w ten sposób, że materia musi mieć też właściwości falowe (dualizm korpuskularno-falowy).

Matematyczna postać fali materii – funkcja falowa jest często przedstawiana w postaci funkcji zespolonej, mającej wartości w zbiorze liczb urojonych. Jest zatem zbyt abstrakcyjna, techniczna, aby mogła istnieć realnie. To tylko wygodne i skuteczne narzędzie matematyczne.

Jeżeli jednak odrzucimy realne istnienie fal materii i zaakceptujemy interpretację kopenhaską, to nie możemy osiąść na laurach. Dlaczego?

Foto – Dreamstime

eprasa.pl 19b3d3e593

Dlatego, że pozostaje zasadnicze pytanie: **co faluje**? Skąd biorą się wzory interferencyjne, które są faktem. Jaka jest ich przyczyna? Musi być ona realna, skoro skutki są realne.

Bardzo dobrą propozycję wyjścia z impasu interpretacyjnego zaproponował polski fizyk – Michał Gryziński (ur. 1930 – zm. 2004). Przyjął on, że cząstka jest zawsze strukturą oscylującą, która oddziałuje z atomami otoczenia i stąd biorą się efekty interferencyjne. Cząstka zatem nie faluje, lecz oscyluje.

Podejście Gryzińskiego jest uważane za awangardowe, mimo, że daje pełny obraz zjawisk i jest proste. Uważam, że ze względu na to, że obraz i rozumienie są dla wielu ludzi ważne, to warto hipotezie Gryzińskiego przyjrzeć się bliżej.

Wybitny fizyk i wykładowca – Richard Feynman powiedział kiedyś, że całą mechanikę kwantową można wyprowadzić z doświadczenia z dwiema szczelinami. Dużo jednak ciekawsze są wnioski z tego doświadczenia, które można wysnuć wtedy, gdy używamy w nim elektronów i to wysłanych w kierunku szczelin i ekranu za nimi pojedynczo.

Eksperyment ten uważany jest za koronny i dostarczający dowód na nieomylność mechaniki kwantowej, bo tylko ona dostarcza wyjaśnienia tego, co się w nim dzieje.

Elektrony emitowane w kierunku szczelin jeden za drugim tworzą na dalszym ekranie obraz interferencyjny „techniką punkt po punkcie". Czyli elektron trafiający w ten ekran jest dobrze zlokalizowaną cząstką, z tym, że w pewne obszary ekranu trafia, a w inne – nie. Dlaczego tak jest? Mechanika kwantowa twierdzi, że dlatego, że elektron między jego emisją a ekranem, gdy jego położenie nie jest śledzone, stanowi byt rozciągły; jest falą materii, reprezentowaną przez funkcję falową. Fala ta, jako że nie ma określonego położenia, może przebywać w obydwu szczelinach i stamtąd emitować fale wtórne w kierunku ekranu. Fale te interferują ze sobą pozytywnie lub negatywnie (lub w pośredni sposób) i dlatego na obszarach ekranu, gdzie się wzmacniają jest wiele śladów od uderzeń elektronów (wysokie prawdopodobieństwo stwierdzenia tych cząstek), a na obszarach gdzie się wygaszają – jest całkowicie pusto. I nie ma innego wyjaśnienia. Nie ma innej interpretacji.

Dualizm falowo-korpuskularny jest zatem wyraźnie widoczny i nieodzowny.

I z tymi ostatnimi tezami nie zgodził się Gryziński. Swoją argumentację przedstawił w słynnej pracy naukowej z 1987 roku (*Spin-Dynamical Theory of the Wave-Corpuscular Duality*). Praca ta oczekiwała 20 lat na publikację i ukazała się w roku, w którym przypadła trzechsetna rocznica wydania jednego z największych dzieł w historii fizyki: *Zasad matematycznych filozofii przyrody* autorstwa wielkiego Izaaka Newtona, które zawiera słynne trzy zasady dynamiki i prawo powszechnego ciążenia. Nota bene, sam Newton był również zwolennikiem poglądu, że wszystko składa się z cząstek, a nie fal, w tym także światło.

We wspomnianym artykule Gryziński wystąpił jako zdecydowany przeciwnik poglądów Louisa de Broglie'a (czytaj: *Luisa de Broja*). Było tak dlatego, że to od prac tego pana rozpoczął się rajd mechaniki kwantowej w głąb ślepej uliczki. Jak mawiał mój nauczyciel chemii kwantowej: „de Broj nabroił".

Gryziński zastosował z sukcesem uznaną metodę naukową, zwaną **brzytwą Ockhama** (Wilhelm Ockham to średniowieczny filozof, który wymyślił ją jako pierwszy). Polega ona na niemnożeniu bytów i ich cech ponad to, co potrzebne do wyjaśnienia zjawiska. Wyjaśniać trzeba zawsze maksymalnie oszczędnie. Przykładowo: jeżeli zjawiska elektromagnetyczne da się wyjaśnić istnieniem tylko dwóch rodzajów ładunków elektrycznych (plus i minus), to nie należy wprowadzać trzeciego rodzaju ładunku.

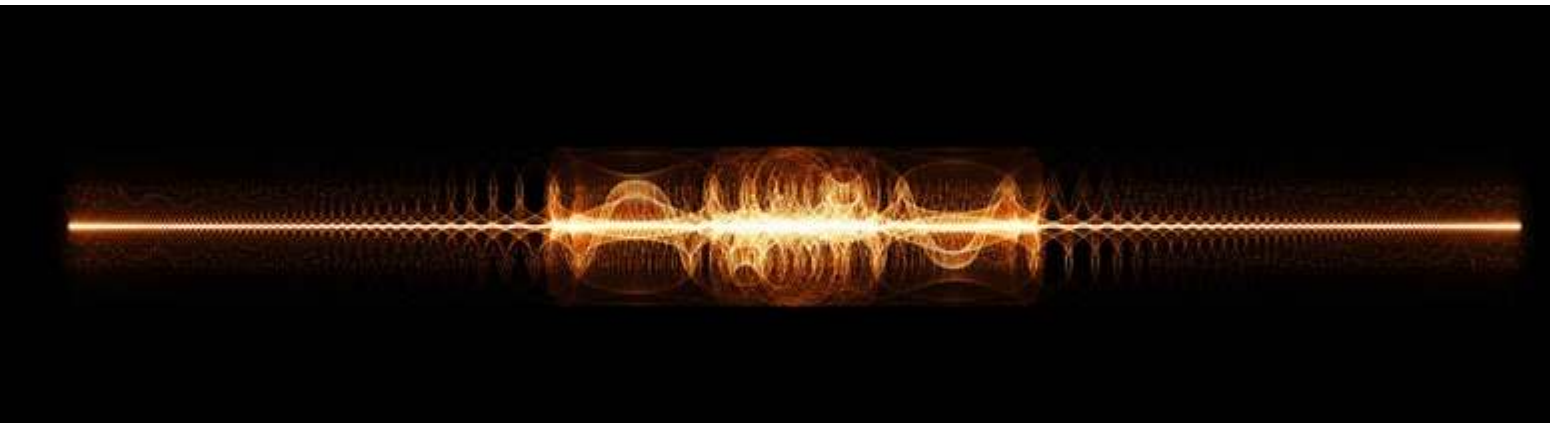
Postulat Gryzińskiego: **Cząstki nie mają właściwości falowych, fale materii nie istnieją a funkcja falowa to konstrukcja zbędna i myląca.**

Po przyjęciu tego postulatu trzeba skupić się na wyjaśnieniu co odpowiada za efekty interferencyjne, które są faktem i nie sposób ich kwestionować. I tu należy przytoczyć kolejny postulat:

Każda fala jest oscylacją, ale nie każda oscylacja jest falą.

Fala materii to byt rozciągły w przestrzeni i oscylujący, związany z prawdopodobieństwem stwierdzenia cząstki w jakimś miejscu. W to miejsce mamy cząstkę, która rozciągła nie jest, ale oscylują wokół niej pola magnetyczne i elektryczne. Są one związane z tzw. momentem magnetycznym cząstki, a ten ma po prostu związek z jej spinem.

Oscylacje te powstają wtedy, gdy oś spinowa dokonuje tak zwanej precesji. Jest to taki ruch, jaki wykonuje znana



eprasa.pl 19b3d3e593

zabawka dziecięca – bąk. Nakręcony bąk nie tylko kręci się wokół własnej osi, ale także jego oś zakreśla stożek z wierzchołkiem w punkcie styku z ziemią. Położenie osi zatem zmienia się z czasem.

Precesja osi spinowej ma, zdaniem Gryzińskiego, charakter translacyjny. To znaczy precesja jest wtedy, gdy cząstka zmienia położenie.

PODSUMOWUJĄC: GDY CZĄSTKA PORUSZA SIĘ, OSCYLUJĄ WOKÓŁ NIEJ POLA: ELEKTRYCZNE I MAGNETYCZNE.

Gryziński zwrócił uwagę na to, że szczelina nie jest tylko konturem na schemacie doświadczenia, ale w rzeczywistości składa się z warstw atomów, które na swoich brzegach mają przewagę ładunku ujemnego (dane eksperymentalne).

Oscylujące pola oddziałują z tymi ładunkami, co powoduje, w zależności od fazy drgań, że elektrony wylatują ze szczeliny tylko pod pewnymi kątami. A więc w niektóre obszary dalszego ekranu padają, a w niektóre nie i to jest przyczyna otrzymywania interferencyjnego wzoru prążkowego.

Ilościowe ujęcie translacyjnej precesji spinu przedstawia się następująco:

$$d\alpha = \frac{mv}{\hbar} dl$$

gdzie: $d\alpha$ – kąt o jaki obróci się oś spinu po przebyciu przez elektron drogi dl, m – masa elektronu, v – prędkość elektronu, $\hbar$ – stała Plancka (h) podzielona przez 2π.

Nietrudno zauważyć, że obrót o kąt pełny ($d\alpha = 2\pi$) następuje na drodze:

$$dl = h/mv = h/p$$

Wielkość „h/p" jest nam już znana. Pochodzi ze wzoru de Broglie'a na długość fali materii. Jednak w nowej interpretacji nie jest to odległość między grzbietem a następnym grzbietem fali materii, ale maksimum oscylujących pól cząstki a kolejnym maksimum, przesuniętym w czasie, a nie w przestrzeni.

Dzięki Gryzińskiemu możemy dokładnie wiedzieć co dzieje się w doświadczeniu, zamiast wprowadzać tajemniczą funkcję falową i postulować tajemnicze własności falowe materii. Elektron jest najpierw falą, a po dotarciu do ekranu staje się cząstką – to niejasne wyjaśnienie, zwłaszcza, że nie jest znany mechanizm przejścia fali w cząstkę. Czyżby tajemnicze zjawisko kwantowe...?

Wyraźnie widać, że popełniono błąd nie biorąc pod uwagę struktury szczelin i nie postulując dynamicznej struktury cząstki. Było po prostu za wcześnie na tak nowatorskie podejście. A wzięcie tego pod uwagę w doświadczeniu z dwiema szczelinami było niezbędne i kluczowe (podobnie w przypadku eksperymentu Davissona-Germera). Gryziński nie zakwestionował wyniku doświadczenia, tylko jego interpretację.

Ktoś mógłby zapytać: jeśli teorie kwantowe mają taki kluczowy problem, to dlaczego tak dobrze radzą sobie w obliczeniach? Jest tak dlatego, że w modelowaniu przez nie zjawisk przyczynki strukturalne są pomijalne lub kasują się. Tak jak w przypadku modelu gazu doskonałego. Można pominąć struktury cząsteczek gazu i otrzymać dobre, użyteczne równanie Clapeyrona. Jednak, gdybyśmy chcieli wyjaśnić, dlaczego na przykład, chlor jest żółtozielony, to nie możemy traktować cząsteczki Cl_2 jako punktu, gdyż to właśnie jej struktura odpowiada za kolor tego gazu. Takim doświadczeniem, w którym struktura np. elektronu okazała się kluczowa jest doświadczenie z dwiema szczelinami, a także eksperyment Davissona-Germera.

4. Spin – w mechanice kwantowej spin uważany jest za wewnętrzną własność cząstek i nie próbuje się go w żaden sposób zobrazować. Myślę jednak, że uprawnione może być przypuszczenie, że cząstka wiruje (gdy jest strukturalna). Przedstawię teraz dlaczego tak uważam.

Wartości spinu wyrażane są za pomocą poznanej już stałej Plancka (h). Ma ona wymiar: dżul razy sekunda (J · s). Dżul jest jednostką pracy i energii. Można go wyrazić za pomocą jednostki siły (niuton – N) i odległości (metr – m)

$$J = N \cdot m$$

Niuton można wyrazić za pomocą jednostki masy i przyspieszenia (co wynika z drugiego prawa dynamiki Newtona, F = masa · przyspieszenie):

$$N = kg \cdot (m/s^2)$$

Zbierając wszystko w całość otrzymujemy:

$$kg \cdot (m/s^2) \cdot m \cdot s = kg \cdot (m/s) \cdot m$$

Jest to iloczyn jednostek trzech wielkości: masy (m – nie mylić z metrem), prędkości (v) i odległości (r). Wielkości te składają się w ten sposób na tak zwany **moment pędu** (L):

$$L = mvr$$

Moment pędu to wielkość cechująca każde ciało, które kręci się wokół jakiejś osi, także własnej. A więc wyraźnie obrót jest obecny.

Obraz hipotetyczny (dla inspiracji)

W nowoczesnych teoriach kwantowych (QED, QCD) istnieje konieczność włączenia do teorii kluczowych parametrów uzyskanych eksperymentalnie, takich jak na przykład masy spoczynkowe cząstek elementarnych. Jest to duża wada. Znakomita teoria powinna być pozbawiona nieskończoności i nie powinna być „łatana" danymi doświadczalnymi. Marzeniem fizyków jest wyznaczenie ich z teorii. Poza tym, usuwanie wielkości nieskończenie dużych nie wydaje się być uprawnione, gdyż usunąć lub zaniedbać można coś, co jest nieskończenie małe (tak uważał słynny fizyk Paul Dirac).

Jestem pewien, że problemy i niepełność zarówno mechaniki kwantowej jak i kwantowej teorii pola wynikają z tego, że teorie te nie zawierają ani jednego modelu ani jednej cząstki elementarnej. Funkcja falowa jest jedynie matematycznym bytem pozwalającym obliczać prawdopodobieństwa znalezienia punktowej, bezstrukturalnej cząstki w jakimś położeniu. A dobrym i prostym dowodem logicznym na to, że cząstki jednak struktury mają jest taki schemat wnioskowania: **skoro są to punkty, to co**

eprasa.pl 19b3d3e593

Foto – Dreamstime

jest przyczyną różnic między nimi w wartościach mas, ładunków, spinu? Ta przyczyna musi tkwić w różnych strukturach. Przecież punkty są bezstrukturalne.

Z modelowaniem przestrzeni i cząstek elementarnych jest jednak fundamentalny problem. Z czego składają się te podstawowe byty? Jak wyjaśnić ich cechy za pomocą czegoś jeszcze bardziej podstawowego?

Moim zdaniem, jedynym wyjściem i jedyną odpowiedzią na te pytanie jest postulowanie istnienia struktur geometrycznych. Sprowadzenie fizyki do geometrii. Tu nie możemy bazować na konkretnych obiektach, takich jak cząstki materialne, cząsteczki, ściany naczynia i ciała materialne.

Struktury geometryczne będą jednak zakreślane tylko przez nas, na papierze. Skąd pewność, że istnieją obiektywnie? To skrajnie głębokie zagadnienie. Nie wiemy bowiem co stanowi podłoże materii i przestrzeni. Jeśli struktura myślowa, to na pewno nie nasza struktura. Tylko jakaś obiektywna, istniejąca poza naszymi myślami. Bo nasze myśli nie potrafią stwarzać... Mająca się do naszych myśli i rysunków, jak to mawia ksiądz Michał Heller – wybitny fizyk, tak jak muzyka do zapisu nutowego. Można więc tylko próbować kreślić takie struktury i wyciągać z nich wnioski oraz mieć nadzieję, że nasze twory umysłu są tutaj łudząco podobne do tworów obiektywnych, gdy nasze wnioski okażą się zgodne z tym, co o przestrzeni i cząstkach elementarnych wiemy.

Jeden z najwybitniejszych filozofów wszechczasów – Platon, którego dzieła czytane są nawet dzisiaj, mimo, że mają około 2400 lat, miał wizję tworzywa, które pośredniczy między światem materialnym a odmiennym światem idei. Nazwał je z grecka „**chora**”. Być może było to po prostu tworzywo geometryczne...

DODATEK 5

Oprócz poglądów Platona, warto poznać poglądy innego filozofa – Plotyna (III wiek n.e.). Stworzył on ostatni znaczący system filozoficzny starożytności – neoplatonizm. Był to system monistyczny, panteistyczny, emanacyjny. Plotyn wierzył, że byt jest jeden (absolut) i z niego wyłoniły się: świat idei, a potem – świat materii. W kolejności – coraz mniej doskonałe.

Przestrzeń – zawsze istniała w fizyce jako byt trójwymiarowy i ciągły, złożony z nieskończonej liczby pozbawionych objętości i struktury punktów (R^3). Przyjmowano powszechnie również, że w każdym odcinku znajduje się nieskończona liczba punktów.

Na problem związany z ciągłością i nieskończonością zwracał uwagę już starożytny filozof – Zenon z Elei. Jeden z przytaczanych przez niego paradoksów nosi nazwę: *dychotomia* i brzmi następująco: biegacz ma do pokonania skończony dystans. Aby go pokonać, musi najpierw przebiec połowę. A potem ćwiartkę, a dalej – jedną ósmą. Dystans ten można dzielić na coraz mniejsze połówki w nieskończoność. Wynika z tego, że biegacz nigdy nie przebiegnie tej odległości w całości, bo ma do pokonania nieskończoną liczbę odcinków, a każda z nich zajmuje skończony przyrost czasu. Nieskończona liczba skończonych wielkości daje nieskończony czas, czyli de facto niemożność ukończenia biegu.

Paradoks ten rozwiązuje się współcześnie dość prosto. Suma niekończenie wielu skończonych wielkości może być skończona, o czym Zenon z Elei nie wiedział. I tak właśnie jest w przypadku omawianego szeregu:

$$\frac{1}{2}+\frac{1}{4}+\frac{1}{8}+\ldots+\frac{1}{2^n}+\ldots$$

Gdyby jednak dystans był złożony ze skończonej liczby „skoków”, ziaren przestrzeni, to wtedy paradoksu nie byłoby i wszystko dałoby się zrozumieć w prosty sposób. Biegacz pokonuje dystans w czasie „x”, dlatego, że każde z „y” ziaren przestrzeni przeskakuje w czasie „x/y”.

Jest jednak inna przyczyna, dla której chciałbym postulować ziarnistość przestrzeni. Jest to problem jej rozszerzania się. Nie wiemy co stoi u podłoża tego zjawiska. Gdy założymy jej strukturę geometryczną, dużo łatwiej jest o odpowiedź. Ziarna przestrzeni stają się coraz większe, co skutkuje jej rozdęciem.

Konkretnie, zakładam, że ziarna to po prostu zachodzące na siebie sfery (każda sięga zawsze powierzchnią środka następnej), które zajmują wobec siebie takie położenie, jak wierzchołki czworościanu foremnego – bryły, która składa się z czterech ścian będących trójkątami równobocznymi. To najprostsza i zarazem – bardzo regularna struktura, którą miałaby przestrzeń pozbawiona materii. Owe elementarne sfery nazwałbym: **dyskretonami** (ang. *discrete* – nieciągły).

Przy takim założeniu Wszechświat o skończonych rozmiarach składałby się ze skończonej liczby dyskretonów, które z czasem stawałyby się coraz większe, być może nawet zwiększałyby swój promień skokowo, ale ich liczba

eprasa.pl 19b3d3e593

pozostawałaby zawsze niezmienna. Swoją drogą, byłoby bardzo ciekawie znać tę liczbę. Skoro przyjmujemy, że dyskreton to najmniejszy składnik Wszechświata, liczba ta musiałaby być nadkosmiczna; na pewno większa niż liczba wszystkich cząstek elementarnych.

Masa – trudno zakładać, że cząstki elementarne są punktami w ziarnistej przestrzeni. Należy zatem przypuszczać, że stanowią pewne struktury, które są zaburzeniem w gładkiej, regularnej strukturze samej przestrzeni i że te struktury budowane są w specyficzny sposób przez dyskretony.

Zakładam, że przy powstaniu Wszechświata, cząstki mogły wyłaniać się razem z powstawaniem dyslokacji i zawirowań w samej przestrzeni. Wielki Wybuch przecież nie był zjawiskiem gładkim i spokojnym, ale nagłym i burzliwym.

Na obrzeżach niektórych obszarów przestrzeni znajdowały się dyskretony, które wszystkie nachodziły na siebie bardziej niż w pustej przestrzeni, co powodowało skurczenie się obrzeża i przesunięcie w kierunku centrum obszaru. Przenosiło się to na dyskretony poza cząstką i powodowało, że przesuwały się one również bardziej w kierunku cząstki, z tym, że wraz z odległością od cząstki to zjawisko malało, aby zniknąć zupełnie w bardzo dalekiej odległości (teoretycznie: w nieskończonej odległości). Tak tworzyło się pole grawitacyjne, które objawia się tym, że cząstka przelatująca obok cząstki wyjściowej nie porusza się prosto (jak w wolnej przestrzeni), tylko jej tor jest zakrzywiany wskutek obecnych dyslokacji. Jest ona po prostu przyciągana grawitacyjnie.

Przy okazji warto tu nadmienić, że aby nastąpiło nieznane nam odpychanie grawitacyjne (*antygrawitacja*) dyskretony na obrzeżach cząstek musiałyby nachodzić na siebie mniej niż w pustej przestrzeni. Nie jest znany sposób, aby tego dokonać. Być może umieszczenie cząstki elementarnej w środku dużej, sferycznej masy spowodowałoby odkształcenie obrzeża cząstki w kierunku zewnętrznym. Gdyby było ono trwałe, cząstka brałaby udział w odpychaniu grawitacyjnym. Jest to oczywiście hipoteza.

Najprostszą strukturą cząstki mogą być cztery dyskretony w wierzchołkach tetraedru, które nachodzą na siebie bardziej i formują cząstkę o niewielkiej masie. Może być nią ultralekkie neutrino, które w zależności od stopnia tego nachodzenia jest neutrinem elektronowym, mionowym lub taonowym. Objętości cząstek cięższych, np. elektronu, mionu, taonu i kwarków mogą być większe i opasane bardziej skomplikowanymi układami (z wieloma osiami symetrii) bardziej nachodzących na siebie dyskretonów. Różnice w masach między nimi mogą wynikać nie tylko i nie zawsze z różnych objętości, lecz z różnego stopnia nachodzenia się dyskretonów.

Trzeba zauważyć, że jeżeli dyskretony zwiększają swój promień w związku z ekspansją przestrzeni Wszechświata, a budują one obrzeża cząstek elementarnych, to może istnieć zależność rozmiarów Wszechświata od własności tych cząstek. Idea nie jest nowa, ale jest bardzo ciekawa. Makroparametry mają związek z mikroparametrami.

Ładunek – przedstawienie grawitacji nie jako siły, ale jako wyniku zmiany geometrii przestrzeni okazało się być sukcesem. Jako że apetyt wzrasta w miarę jedzenia, kusząca jest wizja geometryzacji trzech pozostałych oddziaływań. Oddziaływanie słabe postrzegałbym jednak jako coś odrębnego, wynikającego z emisji ciężkich bozonów przez wysokoenergetyczne fermiony i pochłaniania ich przez inne. Zjawisko jest mało prawdopodobne, bo emisja ciężkiego bozonu jest mało prawdopodobna, a poza tym jest on niestabilny, więc „żyje" tylko na krótkim dystansie i na tym dystansie musi spotkać fermion absorbujący go.

Sam ładunek elektryczny byłby związany z wirowaniem dyskretonów na obrzeżach cząstki (zgodnie lub niezgodnie z ruchem wskazówek zegara). Jeśli chodzi na przykład o cząstki: elektron i pozyton, to mogą one mieć takie same kierunki spinu i oddziałują identycznie grawitacyjnie. Różnica jest taka, że w przypadku elektronu dyskretony na jego obrzeżach kręcą się „w prawo", a w przypadku pozytonu, kręcą się tak samo szybko, ale „w lewo" (ładunek dodatni). Dyskretony obrzeża nie oddziałują na siebie nawzajem, ale oddziałują zawsze tylko całe cząstki (pogląd Richarda Feynmana) za pomocą pola, które tworzy się na tej samej zasadzie, co grawitacyjne. Różnica jest taka, że, przeciwnie niż w przypadku grawitacji, cząstki o takich samych ładunkach odpychają się, a nie przyciągają.

Kolor – próba geometryzacji oddziaływań silnych nie jest łatwym zadaniem. Hipotetyczne obrzeże kwarka składać się może z dyskretonów tworzących sieć trójkątów (nie zawsze równobocznych) w taki sposób, że każdy dyskreton sąsiaduje bezpośrednio z sześcioma innymi, tworzącymi sześciokąt. Element ten wywodzi się od trójkątów tetraedrów, które współtworzą coś podobnego do sfery geodezyjnej (trójkąty pokrywające jak dachówki powierzchnię sfery). Zatem każdy dyskreton ma sześć możliwości przesunięcia po powierzchni sfery (trzy dla trzech kolorów i trzy odpowiednio przeciwne dla antykolorów). Kierunki tych przesunięć są stałe względem wektora spinu.

Tak więc, przykładowy kwark o ładunku niebieskim ma jedną, ściśle ustaloną względem spinu dyslokację powierzchniową wszystkich dyskretonów swojego obrzeża. Struktura wnętrza cząstki pozostaje regularna, bez przesunięć.

Być może jest tak, że dyslokacje powierzchniowe, również przenoszące się na przestrzeń wokół cząstki, rosną z odległością, co jest przyczyną poznanej już asymptotycznej swobody.

Być może jest też tak, że ładunki kwarków są ułamkowe (-1/3e, +2/3e) dlatego, że generowanie dyslokacji powierzchniowych przy powstawaniu kwarków tuż po Wielkim Wybuchu pochłaniało część przypadającej energii i dlatego wirowanie odpowiedzialne za ładunek było już wolniejsze niż w przypadku elektronów i pozytonów.

Energia – energia związana z każdym przesuniętym dyskretonem jest skończona, a więc jeśli Wszechświat budowany jest przez skończoną ich liczbę, to jego całkowita energia też musi być skończona. Może być ona związana albo z polem, albo z samymi cząstkami elementarnymi.

Każda taka cząstka niesie energię, która zależy od jej masy. Jej wartość wyrażana jest słynnym wzorem Einsteina, który dla masy spoczynkowej (m_0) ma postać:

eprasa.pl 19b3d3e593

Foto – Dreamstime

$$E_0 = m_0 c^2$$

a dla dowolnej masy (m):

$$E = mc^2$$

gdzie: c – prędkość światła

Mówimy, że energia jest użyteczna wtedy, gdy może ona posłużyć do wykonania pracy. Problem polega na tym, że energia masy nie jest użyteczna, gdyż nikt nie wie, jak zamienić ją w pracę. Cząstka musiałaby zniknąć i zamienić się w foton, a takie zjawisko jest możliwe tylko podczas anihilacji materii i antymaterii. Przykładowo: elektron wolno poruszający się anihiluje z pozytonem wolno poruszającym się i powstają dwa fotony gamma (rzadziej trzy). Jako że nasz świat zbudowany jest z materii, musielibyśmy produkować antymaterialne pozytony, a to pochłaniałoby tyle energii, że późniejsze otrzymywanie jej z anihilacji na nic by się zdało. Bilans byłby zerowy, a w praktyce – ujemny.

Pozostaje zatem problem teoretyczny „rozpakowania" cząstki materialnej. Dziś nikt nie wie, jak to zrobić. Być może zjawiska tego typu zdarzają się w przyrodzie przypadkowo, na przykład wtedy, gdy elektron przypadkowo znajdzie się dokładnie pomiędzy sześcioma jądrami atomowymi (w pozycji: północ, południe, wschód, zachód, góra, dół) i wskutek ich przyciągania elektrycznego zostanie rozerwany. Tego typu zjawiska mogą zdarzać się w plazmie lub w metalach, gdzie elektrony mają dużą swobodę ruchu. Potrzebne są dokładne badania ukazujące czy plazma lub metale emitują nieco więcej fotonów o energii (hν) równej energii masy elektronu niż wynika ze zjawisk znanych i naturalnych:

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

gdzie: m_e – masa spoczynkowa elektronu

Energię taką mają fotony o częstotliwości drgań (ν) równej:

$$\nu = \frac{m_e c^2}{h}$$

Ta częstotliwość drgań odpowiada fotonom z zakresu promieniowania gamma.

Ciemna materia – wysuwam hipotezę, mówiącą, że ciemna materia składa się z cząstek, które mają nieregularne kształty (brak osi symetrii lub jest ich niewiele). Powstawały one tuż po Wielkim Wybuchu i ich produkcja wymagała większej energii niż wynikałoby to z ich masy, dlatego że w ich przypadku energia związana jest nie tylko z masą, ale i z odkształceniami. To wyjaśnia, dlaczego na razie nie potrafimy ich wyprodukować. Zwyczajnie, nie dysponujemy wystarczającą mocą akceleratorów. Nasuwa mi się na myśl porównanie futbolowe. Kopnięcie piłki wymaga energii, ale takie kopnięcie, aby doznała ona trwałego odkształcenia wymaga energii dużo większej.

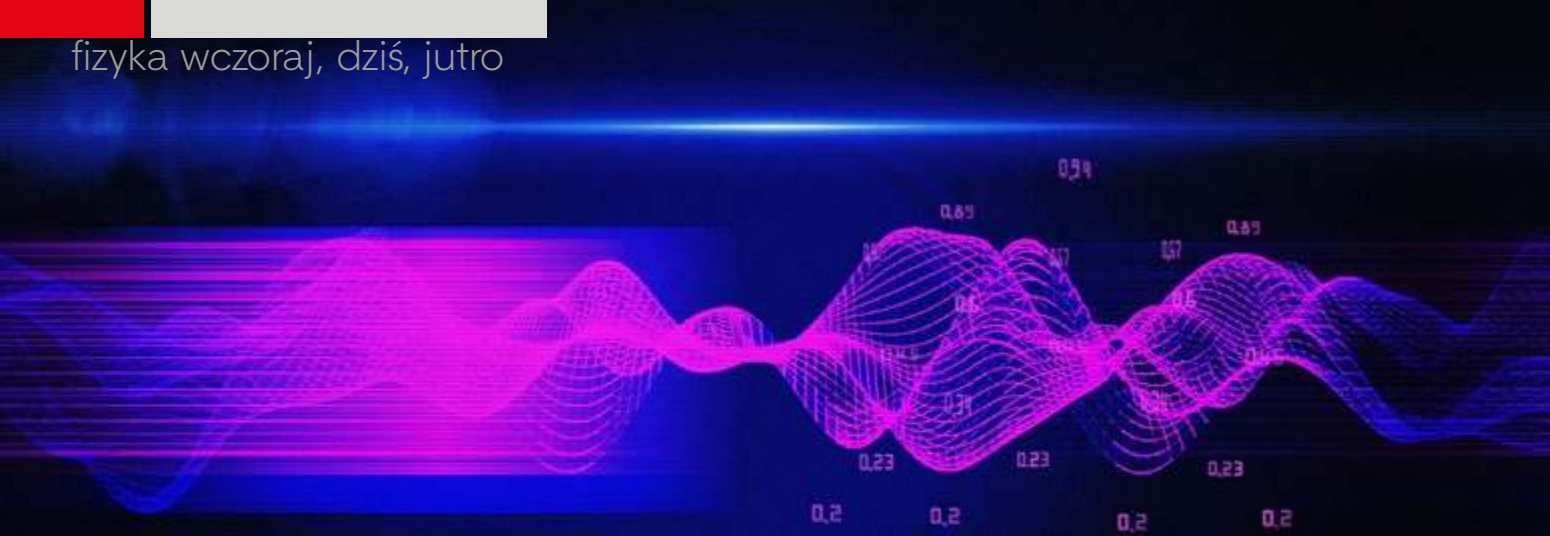
Zakończenie

Matematyka jest dla fizyki bardzo ważna. Współczesna fizyka jest wyrafinowana matematycznie; jest pełna ciekawych obiektów matematycznych, które okazują się mieć wiele interesujących właściwości. Wyraźnie widać w niej wpływ matematyków lub fizyków kładących nacisk na matematyczne przekształcanie.

Głęboko wierzę, że w fizyce teoretycznej jest też miejsce dla fizyków, którzy przywiązują wagę do rozumienia zjawisk fizycznych. A takie rozumienie osiąga się wyobrażając sobie w pełni przebieg zjawiska. Słowo „wyobraźnia" ma związek ze słowem „obraz", a ten nierzadko ginie w gąszczu wyrafinowanego formalizmu.

Maciej Panczykowski
Katowice, 2023.07.10

eprasa.pl 19b3d3e593



Za co Nobel 2022?
Część 6. Kryptografia kwantowa

Foto – Dreamstime

Potwierdzenie istnienia splątania kwantowego sprawiło, że narodziła się nowa dziedzina nauki i techniki związanej z przetwarzaniem informacji kwantowej.

Jan **Kurzyk**

W poprzedniej części opisałem próby wykorzystania informacji zapisanej w stanach kwantowych do budowy komputera kwantowego. Ale splątanie kwantowe otwiera również drogę do stworzenia nowego typu łącz komunikacyjnych. Co prawda, jak już tłumaczyłem w poprzednich częściach, nie będzie to komunikacja z szybkością większą niż prędkość światła w próżni, ale za to będzie całkowicie bezpieczna, uniemożliwiająca podsłuchiwanie.

Jak zwykle sugeruję zapoznanie się z poprzednimi odcinkami cyklu [1-5], gdyż w artykule będę posługiwał się pojęciami, które omówiłem wcześniej.

Gęste kodowanie

Jednym z zastosowań splątania kwantowego jest tzw. gęste kodowanie pozwalające na zakodowanie i przesłanie dwóch bitów informacji za pomocą jednego kubitu[1]. Przyjrzyjmy się temu procesowi na najprostszym przykładzie. Załóżmy, że Alicja chce przekazać Bobowi dwa bity informacji, czyli jedną z sekwencji: 00, 01, 10 lub 11. Protokół składa się z pięciu etapów: przygotowania, udostępniania, kodowania, przesyłania i dekodowania. Proces przygotowania polega na utworzeniu dwóch splątanych kubitów A i B i doprowadzenie ich do jednego z czterech stanów Bella [3], np. do stanu

$$\left|\Phi^{+}\right\rangle_{AB} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\left|0\right\rangle_A\left|0\right\rangle_B + \left|1\right\rangle_A\left|1\right\rangle_B\right).$$

Następnym etapem jest wysłanie (udostępnienie) kubitu A do Alicji i kubitu B do Boba. Między etapem przygotowania i etapem udostępnienia może upłynąć dowolny czas. W momencie, gdy Alicja zamierza wysłać informację do Boba koduje swój kubit. W tym celu przepuszcza go przez odpowiednią bramkę kwantową [4]. Wybór bramki będzie zależał od informacji, którą zamierza przesłać:

1) Jeśli chce przesłać informację w postaci dwóch bitów 00, to przepuszcza go przez bramkę tożsamościową (innymi słowy nie musi niczego robić ze swoim kubitem). Wówczas stan układu kubitów nie zmieni się. Oznaczmy go tak

$$\left|B_{00}\right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\left|0\right\rangle_A\left|0\right\rangle_B + \left|1\right\rangle_A\left|1\right\rangle_B\right).$$

2) Jeśli chce przesłać informację w postaci dwóch bitów 01, to stosuje bramkę kwantową NOT. Stan kubitów będzie miał teraz postać

$$\left|B_{01}\right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\left|1\right\rangle_A\left|0\right\rangle_B + \left|0\right\rangle_A\left|1\right\rangle_B\right).$$

3) Jeśli chce przesłać informację w postaci dwóch bitów 10, to użyje bramki kwantowej Z, która zmieni znak fazy stanu $\left|1\right\rangle_A$. Stan kubitów będzie miał teraz postać

$$\left|B_{10}\right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\left|0\right\rangle_A\left|0\right\rangle_B - \left|1\right\rangle_A\left|1\right\rangle_B\right).$$

4) Jeśli chce przesłać informację w postaci dwóch bitów 11, to użyje bramki kwantowej $i\sigma_y$. W konsekwencji stan wynikowy kubitów przyjmie postać

[1] Bez splątania kwantowego za pomocą jednego kubitu moglibyśmy przesłać tylko jeden bit informacji klasycznej. Jest tak z tego powodu, że stany nieortogonalne są nierozróżnialne.

eprasa.pl 19b3d3e593

$$|B_{11}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(-|1\rangle_A|0\rangle_B + |0\rangle_A|1\rangle_B\right)$$
$$= \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|0\rangle_A|1\rangle_B - |1\rangle_A|0\rangle_B\right).$$

Po wykonaniu operacji kodowania Alicja wysyła Bobowi swój kubit. Bob jest teraz w posiadaniu obu splątanych kubitów i może zdekodować informację zakodowaną przez Alicję. Najpierw przepuszcza kubity przez bramkę CNOT traktując kubit A jak kubit kontrolny, a kubit B jak kubit docelowy [4]. Następnie przepuszcza kubit A przez bramkę Hadamarda [4]. Po tych operacjach kubity będą nadal tworzyły stan splątany, ale ich stan nie będzie już stanem Bella, lecz jednym z czterech stanów bazy standardowej $|0\rangle_A|0\rangle_B$, $|0\rangle_A|1\rangle_B$, $|1\rangle_A|0\rangle_B$, $|1\rangle_A|1\rangle_B$. Ten stan będzie wprost odpowiadał informacji zakodowanej przez Alicję.

Sprawdźmy to na przykładzie. Załóżmy, że Alicja zamierza przesłać Bobowi informację 01. Po operacji kodowania stan kubitów ma postać

$$|B\rangle_{10} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|0\rangle_A|0\rangle_B - |1\rangle_A|1\rangle_B\right).$$

Po przepuszczeniu kubitów przez bramkę CNOT Bob dostanie stan

$$|B'_{10}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|1\rangle_A|1\rangle_B + |0\rangle_A|1\rangle_B\right).$$

Teraz Bob działa bramką Hadamarda na kubit A i dostaje

$$|B''_{10}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\left(|0\rangle_A - |1\rangle_A\right)|1\rangle_B + \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|0\rangle_A + |1\rangle_A\right)|1\rangle_B\right).$$

Ostatecznie po uproszczeniu tego wyrażenia dostajemy

$$|B''_{10}\rangle = |0\rangle_A|1\rangle_B \equiv |01\rangle_{AB}.$$

Gęste kodowanie ma jeszcze jedną ważną własność. Tak przesłanej wiadomości nie da się podsłuchać! Zauważmy, że nawet jeśli postronna osoba przechwyci kubit wysłany przez Alicję Bobowi nie będzie w stanie odczytać przekazanej informacji, gdyż nie dysponuje kubitem Boba splątanym z kubitem przesłanym przez Alicję. Ponadto, jeśli wyśle Bobowi kubit przygotowany przez siebie, to Bob nie będzie w stanie poprawnie odczytać wiadomości wysłanej przez Alicję, gdyż kubit wysłany przez osobę podsłuchującą nie jest splątany z kubitem Boba. W ten sposób Alicja i Bob zorientują się, że ktoś ich próbuje podsłuchiwać.

Kryptografia kwantowa

Jak widzieliśmy przesyłanie informacji z wykorzystaniem mechaniki kwantowej pozwala nam na uzyskanie pewności, że wiadomość nie została przechwycona. Ale o tym dowiadujemy się *post factum*. Nie możemy zatem uniknąć konieczności szyfrowania wiadomości.

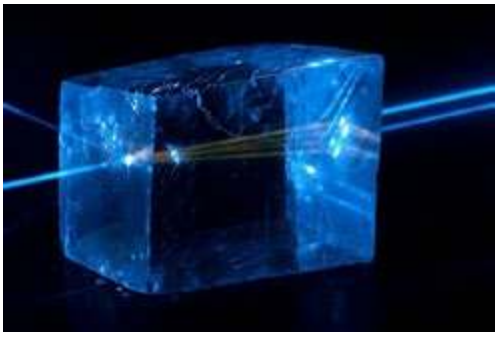
W poprzednim odcinku opisałem algorytm Shora, który stanowi potencjalne zagrożenie dla metod szyfrowania typu RSA wykorzystujących klucz publiczny do szyfrowania wiadomości. Jak na razie tego klucza nie musimy utajniać, choć teoretycznie jego znajomość wystarcza do odtworzenia tajnego klucza służącego do deszyfrowania wiadomości. Jest tak dlatego, że odtworzenie klucza tajnego na podstawie znajomości klucza publicznego jest niemożliwe do zrealizowania w sensownym czasie przy użyciu klasycznych algorytmów i komputerów [5].

Oczywiście w przypadku, gdyby został skonstruowany komputer kwantowy zdolny do realizacji algorytmu Shora dla odpowiednio dużych liczb pierwszych klucz publiczny też powinien być utajniony. Ale przesłanie tego klucza klasycznymi sposobami nigdy nie gwarantuje nam tego, że klucz nie zostanie przechwycony. Ten problem dotyczy wszystkich metod szyfrowania. W każdej z nich przed rozpoczęciem komunikacji obie strony muszą się wymienić tajnym kluczem kryptograficznym i nigdy nie mamy pewności czy klucz nie trafi w niepowołane ręce.

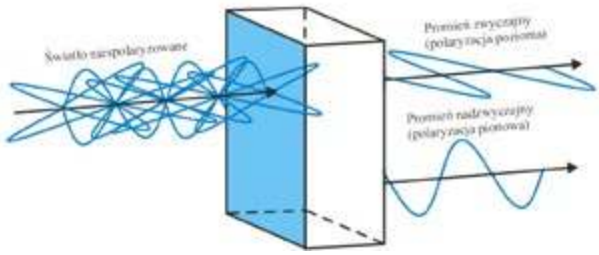
Kryptografia kwantowa jest bardzo obszernym pojęciem [6]. W tym artykule skoncentruję się na najbardziej znanym i najbardziej rozwiniętym mechanizmie kryptografii kwantowej – tzw. kwantowej dystrybucji klucza. W tej wersji kwantowa kryptografia nie proponuje nowych metod szyfrowania, oferuje za to bezpieczną wymianę kluczy kryptograficznych.

Baza prosta i ukośna

Do wymiany informacji kwantowej wykorzystuje się fotony, które polaryzujemy przez odpowiednio ustawione polaryzatory. Po stronie odbiorcy fotony przepuszczamy przez kryształ kalcytu, za którym znajdują się dwa detek-



(a)



(b)

Rysunek 1. (a) Zjawisko fluorescencji oraz dwójłomności w krysztale kalcytu, oświetlonego niebieskim laserem o długości fali 445 nm (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fluorescence_in_calcite.jpg). (b) Schematyczne przedstawienie zjawiska dwójłomności.

eprasa.pl 19b3d3e593

tory. Kryształ kalcytu należy do kryształów wykazujących zjawisko dwójłomności. Promień światła padający na kryształ dwójłomny rozdwaja się na dwa promienie spolaryzowane w kierunkach do siebie prostopadłych. Pierwszy z nich nazywany promieniem zwyczajnym spełnia prawo załamania (prawo Snelliusa [7]) i spolaryzowany jest poziomo, a drugi nazywany promieniem nadzwyczajnym nie spełnia tego prawa i jest spolaryzowany pionowo (patrz rysunek 1).

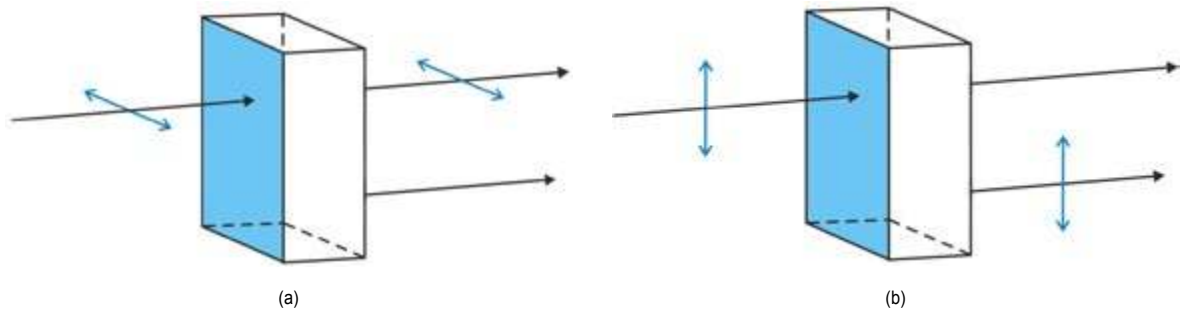
Kryształ kalcytu oświetlony światłem spolaryzowanym poziomo przepuści jedynie promień zwyczajny, a oświetlony światłem spolaryzowanym pionowo przepuści tylko promień nadzwyczajny. Jeśli w kierunku kryształu kalcytu będziemy kierować pojedyncze fotony, to foton o polaryzacji poziomej przejdzie przez kryształ bez zmiany kierunku (zakładamy, że kąt padania wynosi 0º) zachowując polaryzacje poziomą, a foton o polaryzacji pionowej zachowa swoją polaryzację, ale zmieni kierunek propagacji. Obie sytuacje pokazano na rysunku 2.

A co się stanie, gdy ten kryształ oświetlimy światłem spolaryzowanym ukośnie pod kątem 45º lub 135º? Taki promień możemy traktować jak złożenie dwóch promieni o polaryzacjach: pionowej i poziomej przesuniętych w fazie odpowiednio o 0º lub 180º. Wobec tego na wyjściu zobaczymy oba promienie: zwyczajny i nadzwyczajny. W przypadku pojedynczych fotonów o polaryzacji ukośnej (45º lub 135º) fotony będą z jednakowym prawdopodobieństwem ½ trafiać do wiązki zwyczajnej zmieniając swoją polaryzację na poziomą lub do wiązki nadzwyczajnej zmieniając swoją polaryzację na pionową (patrz rysunek 3). Jest to podobne do sytuacji, którą opisywałem w części czwartej cyklu [4] opisując zachowanie się fotonu przechodzącego przez płytkę światłodzielącą. Foton po przejściu przez kryształ znajdzie się w stanie będącym superpozycją stanu „zwyczajnego" i „nadzwyczajnego" i dopiero pomiar spowoduje kolaps funkcji falowej do jednego z tych dwóch stanów.

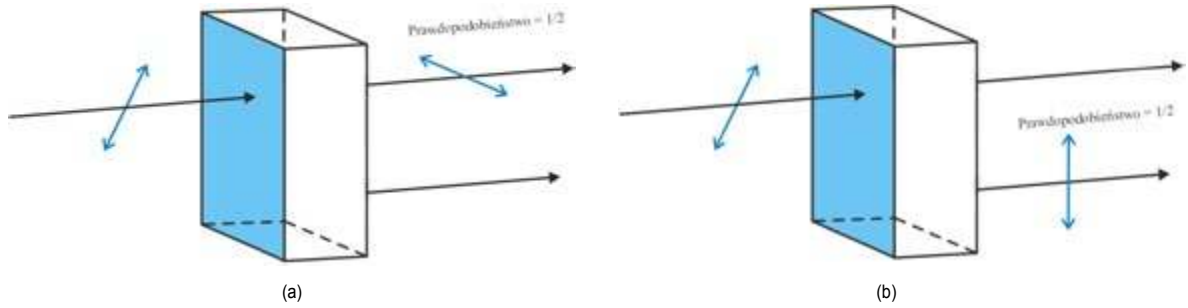
Jeśli w przypadku fotonu spolaryzowanego ukośnie pod kątem 135º obrócimy kryształ o kąt 45º, to foton w tym nowym układzie stanie się fotonem spolaryzowanym poziomo i trafi zawsze do wiązki zwyczajnej. Zaś foton spolaryzowany ukośnie pod kątem 45º stanie się w tym układzie fotonem spolaryzowanym pionowo i trafi zawsze do wiązki nadzwyczajnej (patrz rysunek 4).

Układ pomiarowy składa się z kryształu kalcytu i dwóch detektorów rejestrujących fotony w wiązce zwyczajnej i nadzwyczajnej. Jeśli kryształ ustawiony jest „pionowo", to mierzy w sposób pewny polaryzację fotonów spolaryzowanych poziomo (0º) lub pionowo (90º). Taki układ nazywamy *bazą prostą*. Układ wyposażony w kryształ kalcytu obrócony o kąt 45º (lub 135º) i dwa detektory rejestrujące fotony w wiązce zwyczajnej i nadzwyczajnej stanowi *bazę ukośną*. W bazie ukośnej rejestrujemy w sposób pewny fotony o polaryzacji ukośnej (45º lub 135º). Pomiary w bazie prostej nie dają nam żadnej informacji o polaryzacji ukośnej. Z kolei wykonując pomiary w bazie ukośnej nie dostaniemy żadnych informacji o polaryzacji prostej. Wynika to z tego, że polaryzacja prosta i ukośna są wielkościami fizycznymi, które w myśl mechaniki kwantowej nie są współmierzalne. Mierząc jedną z nich tracimy informację o drugiej. Jest to konsekwencja zasady nieoznaczoności Heisenberga.

Opisane wyżej własności polaryzacji prostej i ukośnej pozwalają nam stosować dwa alfabety, za pomocą których

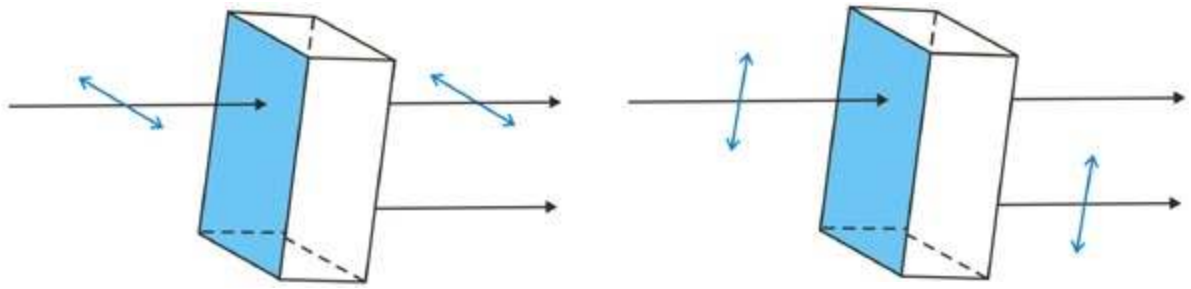


Rysunek 2. (a) Foton o polaryzacji poziomej padający pod kątem 0º przejdzie przez kryształ kalcytu bez zmiany kierunku zachowując polaryzację poziomą. (b) Foton o polaryzacji pionowej padający pod kątem 0º przejdzie przez kryształ kalcytu zmieniając kierunek propagacji i zachowując polaryzację pionową.

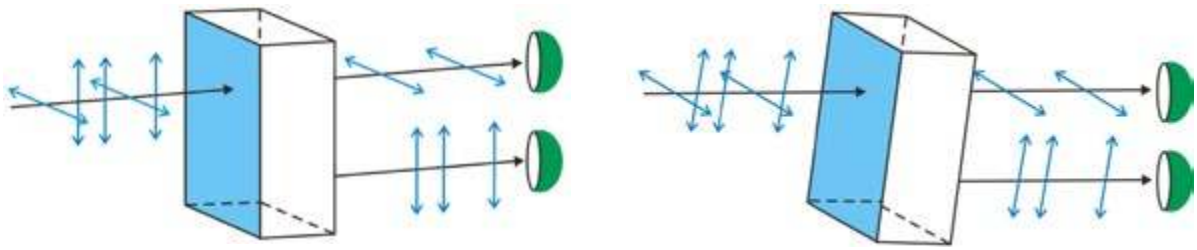


Rysunek 3. Foton o polaryzacji ukośnej 45º (lub 135º) trafi z prawdopodobieństwem ½ do wiązki zwyczajnej (a) lub nadzwyczajnej (b).

eprasa.pl 19b3d3e593



Rysunek 4. Foton o polaryzacji ukośnej 135º padając na kryształ obrócony o 45º trafi zawsze do wiązki zwyczajnej (a), foton spolaryzowany pod kątem 45º trafi zawsze do wiązki nadzwyczajnej (b).



Rysunek 5. (a) Baza prosta. (b) Baza ukośna.

możemy kodować informację przesyłaną kanałem kwantowym. W alfabecie prostym fotonom o polaryzacji poziomej możemy przypisać wartość 0, a fotonom o polaryzacji pionowej wartość 1. W alfabecie ukośnym wartość 0 możemy przypisać fotonom o polaryzacji 45º, a wartość 1 fotonom o polaryzacji 135º. Zamiast polaryzacji ukośnej można również użyć polaryzacji kołowej. Lewoskrętnej polaryzacji kołowej przypisujemy wartość 0, a prawoskrętnej 1.

Protokół Bennetta-Brassarda

Pierwszy protokół kwantowej dystrybucji klucza kryptograficznego powstał w 1984 roku. Został on opracowany przez amerykańskiego fizyka i teoretyka informacji Charlesa Bennetta oraz kanadyjskiego profesora Uniwersytetu w Montrealu Gillesa Brassarda. Od pierwszych liter nazwisk obu twórców i roku powstania protokół ten nazywany jest również protokołem BB84.

W metodzie nie chodzi o przesłanie odbiorcy konkretnego z góry założonego klucza, ale uzgodnienie wspólnego dla obu uczestników ciągu bitów, który następnie zostanie użyty jako jednorazowy klucz kryptograficzny np. w klasycznym szyfrze Vernama [8] (opiszę go w następnym punkcie).

Schemat postępowania jest następujący:

- Alicja wysyła Bobowi odpowiednio długi ciąg sygnałów w postaci fotonów spolaryzowanych prosto lub ukośnie za każdym razem wybierając losowo polaryzację 0º, 90º, 45º lub 135º.
- Bob odbiera te sygnały i dokonuje pomiaru polaryzacji fotonów wybierając losowo bazę: prostą lub ukośną.
- Następnie Bob przesyła Alicji informację o wybranej sekwencji baz bez podawania jakie wyniki pomiaru uzyskał. Może to śmiało zrobić korzystając z publicznego kanału komunikacyjnego.
- Teraz Alicja, również publicznym kanałem informuje Boba, w których przypadkach jego wybór bazy był właściwy (odpowiedni dla prawidłowego odczytania polaryzacji fotonu).
- Bob przekształca sekwencję pomiarów wykonanych prawidłowo wybranymi bazami na ciąg zer i jedynek przypisując 0 dla przypadków polaryzacji 0º lub 45º oraz 1 dla polaryzacji 90º lub 135º. Ta sekwencja zer i jedynek będzie stanowiła klucz kryptograficzny.

Ale zanim klucz zostanie użyty Alicja i Bob sprawdzają czy nie doszło do podsłuchu. W tym celu porównują zwykłym kanałem komunikacji wybraną losowo część bitów z uzgodnionego klucza. Następnie tę część bitów usuwają z klucza zabezpieczając się w ten sposób przed przechwyceniem tej części klucza. W idealnym przypadku, jeśli nie doszło do podsłuchu i różnego rodzaju błędów, porównywane bity (wysłane przez Alicję i odebrane przez Boba) będą identyczne. Ale inaczej będzie, gdy w wymianę informacji między Alicją a Bobem wtrąci się Ewa[2] i będzie przechwytywać fotony wysyłane przez Alicję a następnie wysyłać Bobowi fotony o polaryzacji, którą odczytała. Taka sytuacja jest łatwa do zauważenia i w takim przypadku uzgodnienie klucza zaczyna się od nowa.

Zastanówmy się jakie jest prawdopodobieństwo, że Bob trafiając z wyborem bazy na wybór zastosowany

[2] Historię pierwszego użycia imion Alicja, Bob, Ewa (i innych) w opisach protokołów wymagających kilku uczestników opisałem w części trzeciej [3].

eprasa.pl 19b3d3e593

Tabela 1. Przykład transmisji 14 bitów zgodnie z protokołem BB84 bez podsłuchu. Znak + oznacza bazę prostą, a znak × bazę ukośną. Kolorem zielonym zaznaczono przypadki, gdy Bob wybierając losowo bazę ustawił bazę tak jak Alicja.

Alicja	Baza	+	+	×	+	×	+	+	×	+	×	+	×	×	+
	Polaryzacja	90º	90º	45º	0º	45º	90º	90º	135º	90º	45º	0º	135º	135º	90º
	Bity	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
Bob	Baza	+	×	×	×	×	+	×	+	×	×	+	×	+	×
	Polaryzacja	90º	135º	45º	135º	45º	90º	135º	90º	45º	45º	0º	135º	90º	45º
	Bity	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0

Tabela 2. Przykład transmisji 14 bitów zgodnie z protokołem BB84 w przypadku podsłuchu. Znak + oznacza bazę prostą, a znak × bazę ukośną. Kolorem zielonym zaznaczono przypadki, gdy Bob wybierając losowo bazę ustawił bazę tak jak Alicja. Kolorem szarym zaznaczono przypadki, gdy podsłuchująca Ewa wybrała bazę tak jak Alicja. Kolorem czerwonym zaznaczono bity niezgodne mimo wyboru takich samych baz przez Alicję i Boba. Kolorem pomarańczowym zaznaczono bity zgodne pomimo tego, że Ewa wybrała inną bazę niż Bob i Alicja.

Alicja	Baza	+	+	×	+	×	+	+	×	+	×	+	×	×	+
	Polaryzacja	90º	90º	45º	0º	45º	90º	90º	135º	90º	45º	0º	135º	135º	90º
	Bity	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
Ewa	Baza	+	×	×	+	+	×	+	+	×	+	+	+	+	×
	Polaryzacja	90º	45º	45º	0º	0º	45º	90º	90º	135º	0º	0º	0º	90º	45º
	Bity	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0
Bob	Baza	+	×	×	×	×	+	×	+	×	×	+	×	+	×
	Polaryzacja	90º	45º	45º	135º	135º	90º	45º	90º	135º	45º	0º	45º	90º	45º
	Bity	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0

przez Alicję (bo tylko takie sytuacje porównujemy) dostanie prawidłową polaryzację odbierając foton wysłany przez Ewę. Ewa z jednakowym prawdopodobieństwem ½ trafi lub nie trafi w prawidłową bazę. W pierwszej sytuacji Bob otrzymałby w wyniku pomiaru polaryzację taką, jaką miał wysłany przez Alicje foton, więc byłby nieświadomy podsłuchu. Ale w drugiej sytuacji Ewa otrzyma z prawdopodobieństwem ½ jedną z dwóch polaryzacji z niewłaściwej bazy i wyśle Bobowi foton o polaryzacji z innej bazy niż mieli Alicja i Bob. Odbierając foton z niewłaściwej bazy Bob może mimo wszystko otrzymać polaryzację prawidłową, ale prawdopodobieństwo takiej sytuacji jest równe ½. Zatem ostatecznie prawdopodobieństwo tego, że Bob mierząc polaryzację fotonu wysłanego przez Ewę otrzyma taką polaryzację jaką miał foton wysłany przez Alicję wynosi

$$\frac{1}{2}\cdot 1+\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2}=\frac{3}{4}.$$

W przypadku porównania zgodności k bitów prawdopodobieństwo, że Alicja i Bob nie wykryją podsłuchu, bo porównywane bity będą zgodne wynosi $(3/4)^k$. Dla przykładu, gdy Alicja i Bob wybiorą do porównania $k = 100$ bitów, to prawdopodobieństwo, że bity będą zgodne pomimo podsłuchu wyniesie około $3{,}2\cdot 10^{-13}$.

Dokładniejszy i bardziej formalny schemat protokołu BB84 wraz z opisem etapów korekcji błędów można znaleźć w [9].

W tabeli 1 przedstawiłem przykład transmisji krótkiego ciągu bitów zgodnie z protokołem BB84 w idealnej sytuacji bez podsłuchu. Zaś w tabeli 2. mamy ten sam przykład w przypadku podsłuchu.

Szyfr Vernama

Szyfr Vernama, o którym wspomniałem w poprzednim punkcie został opracowany przez amerykańskiego inżyniera AT&T Bell Labs Gilberta Vernama w 1917 roku. Jest to szyfr, którego przy poprawnym użyciu nie można złamać. Vernam skonstruował urządzenie szyfrujące przystosowane do łączności telegraficznej, w której korzystano z 32-znakowego kodu Baudota [10]. Każdy z 32 znaków w tym kodzie jest zapisywany w postaci kombinacji pięciu bitów. Do zaszyfrowania wiadomości należy wygenerować jednorazowy klucz składający się z losowej sekwencji bitów, których musi być tyle ile bitów ma przesyłana wiadomość.

Klucz służy zarówno do szyfrowania wiadomości jak i jej deszyfrowania, czyli jest tak zwanym kluczem symetrycznym. Informacja, jaką chce wysłać Alicja jest najpierw zapisywana w kodzie Baudota (lub innym), a następnie na każdym kolejnym bicie wykonywana jest operacja logiczna XOR[3] z bitem klucza znajdującym się na tej samej pozycji co bit szyfrowanej wiadomości. Po odebraniu zaszyfrowanej wiadomości Bob musi wykonać identyczną czynność: na kolejnych odebranych bitach wykonuje operację XOR z kolejnymi bitami tego samego klucza, którego użyła Alicja. Na koniec stosując kod Baudota odczytuje odszyfrowany tekst.

Załóżmy, że Alicja chce wysłać Bobowi słowo ALA. W kodzie Baudota litera A ma postać 00011, a litera L ma postać 10010. Przesyłany tekst zapisany w kodzie Baudo-

[3] Operacja XOR jest inaczej dodawaniem modulo 2, czyli 0 XOR 0 = 0, 0 XOR 1 = 1, 1 XOR 0 = 1 i 1 XOR 1 = 0.

eprasa.pl 19b3d3e593

Tabela 3. Przykład szyfrowania i deszyfrowania słowa ALA metodą Vernama.

Alicja	Tekst do wysłania	A L A
	Tekst zapisany w kodzie Baudota	00011 10010 00011
	Klucz kryptograficzny	10110 01110 10010
	Tekst zaszyfrowany	10101 11100 10001
Bob	Tekst zaszyfrowany	10101 11100 10001
	Klucz kryptograficzny	10110 01110 10010
	Odebrany tekst zapisany w kodzie Baudota	00011 10010 00011
	Odszyfrowany tekst	A L A

ta składa się z 15. bitów i ma postać 00011 10010 00011. Niech wygenerowany losowo klucz jest sekwencją następujących 15. bitów 10110 01110 10010. Proces szyfrowania i deszyfrowania tego słowa przestawia tabela 3.

Protokół Bennetta

W 1992 roku Charles Bennett zaproponował inny protokół kwantowej dystrybucji klucza kryptograficznego (protokół B92). Tym razem alfabet zbudowany jest na dwóch stanach nieortogonalnych. Podobnie jak w protokole BB84 Alicja wysyła Bobowi ciąg fotonów dla każdego fotonu wybierając losowo bazę prostą lub ukośną. Ale tym razem wysyła Bobowi jedynie fotony spolaryzowane poziomo 0º z bazy prostej lub fotony spolaryzowane pod kątem 45º z bazy ukośnej. Pierwszy rodzaj polaryzacji oznacza bit 0, a drugi bit 1. Bob dysponuje dwoma polaryzatorami: polaryzatorem z bazy prostej i polaryzatorem z bazy ukośnej. Ale oba jego polaryzatory są obrócone o 90º względem polaryzatorów Alicji.

W takiej sytuacji, gdy Alicja i Bob wybiorą te same bazy (oboje bazy proste lub oboje bazy ukośne), to płaszczyzna polaryzacji fotonów wysyłanych przez Alicję będzie tworzyć z płaszczyzną polaryzacji polaryzatora Boba kąt $\alpha = 90º$, a gdy wybiorą różne bazy to kąt $\alpha = 45º$. Prawdopodobieństwo przejścia fotonu Alicji przez polaryzator Boba wynosi $P = \cos^2(\alpha)$ [2]. A zatem jeśli Alicja i Bob wybiorą te same bazy, to Bob nie zarejestruje fotonu, gdyż $\cos^2(90º) = 0$, a gdy wybiorą różne bazy, to Bob zarejestruje foton statystycznie tylko w połowie przypadków, gdyż $\cos^2(45º) = ½$. W tej ostatniej sytuacji zarejestrowanie fotonu przy wyborze bazy ukośnej oznacza, że bitem wysłanym przez Alicję jest 0, a zarejestrowanie fotonu przy wyborze bazy prostej oznacza bit 1.

Bob podobnie jak Alicja losowo wybiera swoje bazy, a po zakończeniu transmisji informuje Alicję (zwykłym kanałem komunikacyjnym), które fotony zarejestrował nie przekazując informacji jak wówczas ustawione były jego polaryzatory. Oboje zapisują uzgodniony w ten sposób ciąg bitów, który posłuży im jako klucz kryptograficzny.

Podobnie jak w protokole BB84 podsłuch sygnałów wysyłanych przez Alicję zaburzy kwantowe korelacje powodując błędy w kluczu, co Alicja i Bob łatwo będą mogli wykryć.

Opisane wyżej protokoły dystrybucji klucza są w 100% bezpieczne w przypadku wysyłania sygnałów składających się z pojedynczych fotonów. Jednak źródła zdolne do wytwarzania pojedynczych fotonów są ciągle na etapie badań. Poza tym takie sygnały są trudne do detekcji przy dużych odległościach. W praktyce używa się laserów wytwarzających krótkie impulsy składające się z pojedynczych fotonów. Ich liczba w pojedynczym impulsie jest zmienną losową podlegającą rozkładowi Poissona. W danym impulsie może nie być żadnego fotonu, może być dokładnie jeden foton lub dwa i więcej. Liczba fotonów w impulsie nie może być zbyt duża, gdyż w takim przypadku podsłuchująca Ewa mogłaby oddzielić część fotonów, a pozostałe przesłać niezmienione Bobowi.

Przechwycone fotony Ewa musi przechować do czasu, gdy Alicja i Bob zakończą proces transmisji i wymienią się odpowiednimi informacjami. Jeśli Ewa przechwyciłaby również te informacje, co jest już prostsze, gdyż przesyłane są one klasycznym kanałem komunikacyjnym, to będzie wiedziała w jakich bazach zmierzyć polaryzacje przechwyconych fotonów i będzie znała uzgodniony klucz kryptograficzny bez możliwości wykrycia tego faktu przez Alicję i Boba. Pokazano jednak, że mimo możliwości ataku polegającego na przechwytywaniu części fotonów przez Ewę możliwe jest wygenerowanie bezpiecznego klucza. Wymaga to jednak zwiększenia tzw. prywatności. W tej metodzie wygenerowany klucz wykorzystany zostaje do wygenerowania nowego, krótszego klucza w taki sposób, że podsłuchująca Ewa nie jest w stanie uzyskać wystarczających informacji na temat nowego klucza.

Protokół Ekerta

Protokoły BB84 i B92 używają „zwykłych" spolaryzowanych fotonów. W 1991 roku polski fizyk Artur Ekert[4] z Uniwersytetu w Oksfordzie opracował metodę transmisji klucza kryptograficznego z wykorzystaniem splątanych fotonów. Pary splątanych fotonów przygotowywane są w taki sposób, żeby znajdowały się one w stanach Bella [3]. Alicja i Bob otrzymują po jednym fotonie z każdej pary. Oczywiście, tak jak w poprzednich protokołach, obie strony mają dokładnie zsynchronizowane kierunki. Załóżmy, że pary splątanych fotonów są w stanie Bella:

$$\left|\Phi^+\right\rangle_{AB} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\left|0\right\rangle_A\left|0\right\rangle_B + \left|1\right\rangle_A\left|1\right\rangle_B\right)$$

lub

$$\left|\Phi^-\right\rangle_{AB} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\left|0\right\rangle_A\left|0\right\rangle_B - \left|1\right\rangle_A\left|1\right\rangle_B\right).$$

Wówczas, jeśli Alicja i Bob wykonają pomiar polaryzacji swoich fotonów w tym samym kierunku, to z prawdopodobieństwem równym 1 uzyskają ten sam wynik. Statystycznie w połowie przypadków będzie to polaryzacja pozioma, a w połowie pionowa.

[4] Artur Ekert urodził się 1961 roku we Wrocławiu. Fizykę studiował na Uniwersytecie Jagiellońskim i Uniwersytecie Oksfordzkim. Spekulowano, że w tym roku może dostać nagrodę Nobla z fizyki jednak tak się nie stało.

eprasa.pl 19b3d3e593

Alicja mierzy polaryzację swoich fotonów wybierając losowo jedną z trzech baz: prostą 0, ukośną $\pi/8$ lub ukośną $\pi/4$. Bob również losowo wybiera do pomiaru jedną z trzech baz, ale są to bazy: prosta 0, ukośna $\pi/8$ lub ukośna $-\pi/8$. Oboje odczytanemu stanowi $|0\rangle$ (w danej bazie) przypisują bit 0, a stanowi $|1\rangle$ bit 1. Po tym etapie Alicja i Bob przekazują sobie zwykłym kanałem komunikacyjnym informację o swoich sekwencjach baz nie podając jakie wyniki pomiarów uzyskali. Mając te informacje dzielą swoje bity na dwie grupy. Pierwsza grupa zawiera sekwencję bitów uzyskanych przy jednakowym wyborze baz (Alicja 0 i Bob 0 lub Alicja $\pi/8$ i Bob $\pi/8$). Ze względu na własności stanów splątanych te sekwencje bitów Alicji i Boba są identyczne. Będą one stanowiły klucz kryptograficzny. Druga grupa bitów wykorzystana jest do wykrywania podsłuchu poprzez wyliczenie statystyk testowych podobnych do tych jakich używano w testowaniu nierówności Bella [2]. Niezgodność wyliczonej statystyki z przewidywaniami mechaniki kwantowej świadczy o podsłuchu i komunikacja zostaje przerwana. Alicja i Bob ponawiają próbę uzgodnienia klucza kryptograficznego.

Kryptografia kwantowa w praktyce

Pierwsze prototypowe urządzenie wykorzystujące protokół Bennetta-Brassarda skonstruował zespół naukowców IBM w 1989 roku. Urządzenie pozwalało przesyłać 10 bitów na sekundę na odległość zaledwie 32 centymetrów. Dopiero początek XXI wieku przyniósł ogromny postęp w tej dziedzinie. Kryptografia kwantowa ma obecnie status produktu rynkowego. Jest szereg firm zajmujących się produkcją i sprzedażą systemów kryptografii kwantowej np. MagiQ Technologies (Somerville, Massachusetts), ID Quantique (Genewa), SeQureNet (Paryż), QuintessenceLabs (Canberra, Australia), Toshiba (Tokio) i QNu Labs (Indie). W 2004 roku Unia Europejska zdecydowała się zainwestować 11 milionów euro w projekt Secure Communication based on Quantum Cryptography (SECOQC), którego celem jest rozwój kryptografii kwantowej.

Pierwszą transakcję finansową wykonaną przy wykorzystaniu kryptografii kwantowej przeprowadzono w kwietniu 2004 roku. Było to przesłanie czeku na kwotę 3000 euro między magistratem Wiednia i bankiem Austria Creditanstalt. Transmisja odbyła się na dystansie 300 metrów. Twórcą systemu kryptograficznego był zespół pracowników austriackiej firmy ARC Seibersdorf Research oraz naukowców z Uniwersytetu Wiedeńskiego pracujący pod kierownictwem Antona Zeilingera.

Firmy komercyjne budują swoje systemy z wykorzystaniem światłowodów. Ma to jednak swoje ograniczenia. Problemem jest wykładnicze tłumienie natężenia światła w funkcji długości światłowodu. Zauważmy, że nie da się tu stosować wzmacniaczy sygnału czy przekaźników umożliwiających wydłużenie odległości transmisji. Wynika to wprost z twierdzenia o zakazie klonowania [3]. To sprawia, że kwantowa dystrybucja klucza kryptograficznego oparta na światłowodach nie może przekraczać dystansu 400 kilometrów [11]. W praktyce ten dystans musi być dużo mniejszy, gdyż wraz z odległością szybko maleje przepustowość linii transmisyjnej. Przy niewielkich odległościach (rzędu kilkuset metrów) możliwa jest transmisja z szybkością 10 Mb/s. Przy odległościach rzędu 50 km szybkość spada do około 1 Mb/s. Przy odległościach rzędu 400 km udaną dystrybucję klucza kryptograficznego można przeprowadzić z szybkością zaledwie jednego bitu na sekundę co czyni system niepraktycznym.

Rozwiązaniem omijającym problem spadku prędkości transmisji w układach wykorzystujących światłowody jest przesyłanie fotonów w przestrzeni otwartej z wykorzystaniem przestrzeni kosmicznej. Testy tego typu systemów są bardzo obiecujące. W 2017 roku przeprowadzono udany eksperyment wykorzystania kwantowej dystrybucji klucza do przesyłania szyfrowanych informacji na dystansie międzykontynentalnym. Eksperyment przeprowadzili naukowcy z Austrii (zespół pod kierownictwem Antona Zeillingera) i z Chin [12].

W pierwszym teście przesłano z Chin do Austrii obrazek chińskiego filozofa Mo Di w postaci niewielkiego pliku o rozmiarach kilku kilobajtów. A następnie z Austrii do Chin przesłano analogiczny obrazek przedstawiający Erwina Schrödingera. W eksperymencie uczestniczyły ośrodki w Graz (Austria) i Nanshan oraz Xinglong (Chiny). Odległość między Nanshan i Xinglong to 2500 km, a odległość między ośrodkami w Xinglong i w Graz to 7600 km.

Klucz kryptograficzny, za pomocą którego zaszyfrowano, a następnie odszyfrowano przesyłki był dystrybuowany kwantowym protokołem BB84 za pośrednictwem satelity Micius[5] krążącym na wysokości 500 km nad powierzchnią Ziemi. Szyfrowanie wykorzystywało symetryczny, jednorazowy klucz kryptograficzny co jest najsilniejszym sposobem szyfrowania stosowanym w przypadku wiadomości o najwyższej klauzuli tajności. Ma on jednak swoje wady. Przede wszystkim długość klucza musi być taka jak przesyłanej wiadomości, co nie jest praktyczne i nie nadaje się do przesyłania długich wiadomości.

Drugi test wykonany przez oba zespoły polegał na przeprowadzeniu telekonferencji pomiędzy Chińską Akademią Nauk, a jej austriackim odpowiednikiem. Wymiana informacji odbywała się klasycznym kanałem komunikacyjnym, ale była szyfrowana kluczem dystrybuowanym kwantowo znowu poprzez satelitę Micius. Użycie poprzedniej metody do szyfrowania transmisji wideo byłoby niemożliwe. Zamiast tego wykorzystano metodę szyfrowania AES-128 (Advanced Encryption Standard), która używa kluczy o długości 128 bitów. Jest to szyfr z kluczem symetrycznym. Standard AES jest certyfikowany przez Amerykańską Narodową Agencję Bezpieczeństwa (National Security Agency) i używany jest do szyfrowania ściśle tajnych informacji. W celu zapewnienia odpowiedniego poziomu zabezpieczenia, w trakcie 75 minutowej telekonferencji, zmiana 128-bitowego klucza następowała co jedną sekundę. Wymagało to przesłania kanałem kwantowym łącznie ok. 72 kilobajtów danych.

[5] Inny eksperyment z udziałem tego satelity opisywałem przy okazji opisu teleportacji kwantowej w [2]

eprasa.pl 19b3d3e593

Wyjście poza metody kwantowej dystrybucji kluczy

W artykule skoncentrowałem się jedynie na najbardziej znanym i najbardziej rozwiniętym mechanizmie kryptografii kwantowej – tzw. kwantowej dystrybucji klucza. Mechanizm pozwala na bezpieczną dystrybucję kluczy, ale jest nieefektywny i nie nadaje się do stosowania w dużych sieciach obejmujących wielu użytkowników. Ponadto nie umożliwia wielu innych zadań kryptograficznych znanych z metod klasycznych takich jak np. podpis elektroniczny.

Powstają jednak inne techniki kryptografii kwantowej wykraczające poza metody dystrybucji kluczy. Przykładem może być trójstopniowy protokół bezpiecznej kwantowej wymiany informacji zaproponowany przez indyjsko-amerykańskiego informatyka Subkasha Kaka [13]. Metoda wykorzystuje fotony o polaryzacji kołowej z losowo wybieraną skrętnością i jest nazywana kryptografią z podwójnym zamkiem. Alicja przygotowuje przesyłkę dla Boba zabezpieczając ją swoim zamkiem. Zabezpieczenie to polega na wykonaniu na przesyłanych kubitach operacji unitarnej U_A przez użycie odpowiedniej bramki kwantowej. Bob nie odczytuje tej informacji, lecz zakłada na przesyłce swój zamek, czyli wykonuje na niej swoją operację unitarną U_B i odsyła pakiet Alicji. Teraz Alicja, korzystając z tego, że operacja unitarna jest odwracalna usuwa swój zamek operacją $U^{\dagger}_A$ i odsyła Bobowi, który może teraz otworzyć swój zamek, czyli wykonać operację $U^{\dagger}_B$ i odczytać oryginalną informację wysłaną przez Alicję.

Jak widzimy, w przeciwieństwie do metod ograniczających się do kwantowej dystrybucji klucza, nie potrzebujemy tu korzystać z żadnego klasycznego algorytmu szyfrującego. Informacja jest przesyłana całkowicie kwantowo i bezpiecznie. Jakakolwiek próba podsłuchu będzie bezwartościowa dla podsłuchującego i natychmiast wykrywalna przez Alicję i Boba.

Tym tekstem kończę cykl artykułów poświęconych pojęciom, jakie znalazły się w uzasadnieniu przyznania nagrody Nobla z Fizyki w roku 2022. Uważny czytelnik z pewnością zwrócił uwagę na pojawiające się w tych artykułach nazwiska laureatów ubiegłorocznej nagrody: Alaina Aspecta, Johna Clausera i Antona Zeilingera.

Niech podsumowaniem tych artykułów będą słowa Nielsa Bohra: *„Nikt, kogo nie szokuje teoria kwantowa nie zrozumiał jej”*.

dr Jan Kurzyk
Katedra Fizyki Politechniki Krakowskiej

LITERATURA

[1] J. Kurzyk, *Za co Nobel 22. Część 1. Interpretacja kopenhaska, paradoks EPR, stany splątane.* Fizyka w Szkole 1, 2023.
[2] J. Kurzyk, *Za co Nobel 22. Część 2. Nierówność Bella, eksperymenty ze splątanymi fotonami.* Fizyka w Szkole 2, 2023.
[3] J. Kurzyk, *Za co Nobel 22. Część 3. Kubity, stany Bella, teleportacja.* Fizyka w Szkole 3, 2023.
[4] J. Kurzyk, *Za co Nobel 22. Część 4. Bramki kwantowe.* Fizyka w Szkole 4, 2023.
[5] J. Kurzyk, *Za co Nobel 22. Część 5. Komputery i algorytmy kwantowe.* Fizyka w Szkole 5, 2023.
[6] https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_cryptography [Dostęp 09.10.2023].
[7] https://pl.wikipedia.org/wiki/Prawo_Snelliusa [Dostęp 09.10.2023].
[8] https://pl.wikipedia.org/wiki/Szyfr_z_kluczem_jednorazowym [Dostęp 09.10.2023].
[9] https://cs.stanford.edu/people/eroberts/courses/soco/projects/2004-05/cryptography/quantum.html [Dostęp 09.10.2023].
[10] https://pl.wikipedia.org/wiki/Kod_Baudot [Dostęp 19.10.2023].
[11] https://jakubmielczarek.com/2019/05/08/kwantowa-dystrybucja-klucza [Dostęp 16.10.2023].
[12] https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1801/1801.04418.pdf [Dostęp 17.10.2023].
[13] https://en.wikipedia.org/wiki/Three-stage_quantum_cryptography_protocol [Dostęp 18.10.2023].

Albert Michelson (1852-1931) – noblista z Kujaw

Rafał **Simon**, Marta **Wąsik**

Albert Michelson to amerykański fizyk pochodzenia polsko-żydowskiego – laureat Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki w 1907 r. za konstrukcję interferometru (1880). Interferometr to przyrząd fizyczny służący do pomiaru interferencji (nakładania się) fal, co umożliwiło w przyszłości dokładniejsze określenie prędkości światła (fali elektromagnetycznej fotonów), a także innych pomiarów z metrologii.

W roku 1877 przeprowadził eksperyment wraz z E. Morleyem (doświadczenie Michelsona-Morleya) dowodzący, iż prędkość światła nie zależy od ruchu Ziemi. To doświadczenie dowodzące, że ruch obrotowy (wirowy) i obiegowy nie mają wpływu na prędkość światła miało donośne znaczenie, szczególnie w teorii względności. Oprócz tych odkryć był on także autorem urządzenia do produkcji siatek dyfrakcyjnych. Prowadził także badania dotyczące sztywności Ziemi.

Kilka słów o jego życiu prywatnym. Urodził się w Strzelnie na Kujawach w rodzinie kupieckiej (udzielanie kredytów na rynku w Strzelnie) o korzeniach żydowsko-polskich. W roku 1855 rodzice Alberta wraz siostrami wyemigrowali do Kalifornii. Dorastał w miejscach, gdzie panowała gorączka złota – Murphy’s Camp w Kalifornii oraz gorączce srebra – Virginia City w Nevadzie.

Rodzina Michelson utrzymywała się ze sprzedaży narzędzi potrzebnych poszukiwaczom tych minerałów. Lata szkoły średniej (high school) spędził w San Francisco. Studiował w U.S. Naval Academy w Annapolis w latach 1869-1873, gdzie po raz pierwszy zetknął się z obserwacjami astronomicznymi. Na świadectwie miał bardzo dobre oceny z matematyki, fizyki i rysunku a słabe z przedmiotów wojskowych. Dalszą naukę kontynuował w Europie w Berlinie w latach 1880-1882. Po powrocie w maju 1882 r. został dyrektorem wydziału fizyki Szkoły Nauki Stosowanej Case’a, gdzie przeprowadzał wiele różnych eksperymentów. Lata 1892-1929 spędził na Uniwersytecie Chicagowskim.

W roku 1899 poślubił Edne Stanton, z którą miał syna i trzy córki. Michelson pamiętał o swoim polskim pochodzeniu, a swoje poświęcenie ciężkiej pracy tłumaczył tym, że pracowitość to cecha Polaków. Mimo, iż nie urodził się na terenie państwa polskiego, przez całe życie konsekwentnie wpisywał w dokumentach Polskę jako miejsce urodzenia.

mgr Rafał Simon, dr Marta Wąsik

eprasa.pl 19b3d3e593

„Na ścieżkach Fizyki Współczesnej” – wystawy, wykłady, książki

Grzegorz **Karwasz**, Tomasz **Wróblewski**

Dydaktyka interaktywna, w tym właśnie fizyki, jak to pokazuje nadzwyczajny sukces centrów nauki, okazała się w Polsce prawdziwą rewolucją. Dwie z wystaw, „Fiat Lux” o optyce i „Z górki na pazurki” opisaliśmy w poprzednich numerach „Fizyki w Szkole”.

Początek naszych wystaw interaktywnych sięga 1998 roku i „Fizyki i zabawek”. Czterdzieści cztery eksponaty, z kolekcji naszego kolegi, Vittorio Zanettiego z Uniwersytetu w Trydencie, okazały się prawdziwą sensacją. Opisaliśmy je niezwłocznie w Internecie, co zapewniło im natychmiastową popularyzację. Do dziś, szczególnie w maju, setki uczniów korzystają codziennie ze strony http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki.

„Fizyka zabawek” doczekała się też niezliczonych powtórzeń, począwszy od XXXV Zjazdu Fizyków Polskich [1] w 1999 roku oraz podobnie wielu „klonów”. Proste eksponaty fizyczne stały się podstawą powstających centrów nauki, od „Hevelianum” w Gdańsku (w 2009 roku) do „Kopernika” (w 2011 roku). Obszerne studium centrów nauki w Polsce, Europie i na świecie zawarliśmy (GK) w książce „Idee i realizacje dydaktyki interaktywnej” [2].

W 2003 roku poczuliśmy się zmęczeni sukcesem pomysłu Vittorio Zanettiego i na Zjeździe Fizyków Polskich w Gdańsku postanowiliśmy zaprezentować coś nowego. „Fizyka zabawek” musiała się pojawić, ale w formie sekwencyjnej (a nie gniazd tematycznych, jak to było wcześniej), z krótkimi opisami (awers i rewers), a nauczyciele otrzymywali proste eksponaty (kawałki drutu, gwoździki, korek od butelki wina dla wykonania nurka Kartezjusza, itd.). Drugą salę lekcyjną na Wydziale Fizyki i Matematyki Uniwersytetu Gdańskiego zajęliśmy na szkolne doświadczenia z elektromagnetyzmu, nieco na kanwie wystawy „200 lat ogniwa Volty” [3]. Eksponaty zostały ustawione w gniazda (elektrostatyka, magnetostatyka itd.) i uzupełnione w życiorysy odkrywców (przygotowanych przez studentów Akademii Pomorskiej w Słupsku, pod kierunkiem mgr Anny Okoniewskiej-Kamińskiej).

Największą salę, jaką otrzymaliśmy do dyspozycji na Uniwersytecie Gdańskim, wykorzystaliśmy na wystawę zupełnie nowatorską: fizyki współczesnej. Idea zrodziła się w 2002 roku w trakcie zwiedzania czwartego, przedostatniego piętra w Science Museum w Londynie (na ostatnim piętrze, jakby poddaszu, umiejscowiono muzeum przyrządów farmaceutycznych). Dominowały w tym czasie w Museum, oczywiście, duże, kolorowe interaktywne eksponaty pozwalające, zrównoważonej zazwyczaj angielskiej młodzieży, na rodzaj „treningu” siłowego.

Drugie piętro zawierało kolekcję instrumentów naukowych króla Jerzego III. Dziś można je obejrzeć na stronach internetowych wpisując w wyszukiwarce Museum „George III”: są to mosiężne półkule magdeburskie, budzik pod próżniowym kloszem, stożek na równi itd. Ale naprawdę unikalne pozostają w Museum nieliczne, autentyczne eksponaty, które w XX wieku wyznaczyły drogę do fizyki współczesnej: pierwsza dioda próżniowa Fleminga, proste przyrządy używane przez małżeństwo Joliot-Curie do badań neutronów w latach 30-tych zeszłego wieku (Joliot Curie emigrowali do Anglii na czas wojny), ryc. 1a, pierwszy spektrometr masowy Astona, za pomocą którego odkrył on w 1921 roku w neonie dwa *izotopy* (o masach atomowych 20 i 22), ryc. 1b, co z kolei wskazywało na istnienie neutronu.

Trzy sposoby wizualizacji

Autentyczne instrumenty, które posłużyły epokowym odkryciom to tylko jeden z aspektów naszego sposobu na

Ryc. 1. Oryginalne przyrządy, na których dokonano epokowych odkryć w fizyce (i chemii) w kolekcji Science Museum w Londynie w 2003 roku. (a) Spektrometr masowy Astona z 1919 roku, za pomocą którego odkrył on dwa stabilne izotopy neonu. (b) Przyrządy do badań nad sztuczną (tzn. indukowaną) radioaktywnością, które w 1940 roku małżeństwo Joliot-Curie przewiozło do Anglii. Zdjęcia (GK) są, niestety, nieostre i niedoświetlone: ot! początki fotografii cyfrowej.

eprasa.pl 19b3d3e593

Ryc. 2. Okładki czasopism jako sposób na „konceptualizację" zjawisk, rozbudzenie wyobraźni i trwalsze zapamiętywanie. (a) Kondensat Bosego-Einsteina, 22/12/2005. (b) Okrycie grobu króla Midasa i spektroskopia resztek po uczcie (23/12/1999). (c) Rozproszenie elektronu na atomie wodoru: funkcje falowe elektronu padającego, rozproszonego i wybitego z atomu (24/12/1999).

prezentację fizyki współczesnej. Drugim jest oczywiście współczesność, czyli dzisiejsze artykuły w „gorących" tematach nauki. Jakie są te tematy? Można przyjrzeć się okładkom prestiżowych czasopism, jak „Science" czy „Nature". Jest to znakomity przegląd, na rzut oka, najnowszych odkryć w biologii, chemii, fizyce, technologii.

Bez wątpienia, jednym z największych odkryć XX wieku, najpierw teoretycznym, a dziesięciolecia później – realizacją doświadczalną, jest kondensat Bosego-Einsteina (BEC). W artykule o stanach materii (https://www.aspress.com.pl/fizyka-stany/) zdefiniowaliśmy go jaki szósty stan materii, coś pośredniego między uporządkowanym kryształem a bardzo zimnym i rozrzedzonym gazem. „Science" poświęciło okładkę zaraz po uzyskaniu kondensatu w laboratorium. Oddaje ona znakomicie sens zjawiska: atomy tracą swoją indywidualność, a stają się uporządkowanym, wojskowym szykiem (ryc. 2a).

Przeglądanie okładek (najlepiej w wydaniach papierowych, w jakiejś dobrze zaopatrzonej bibliotece uniwersyteckiej) jest znakomitym sposobem na „konceptualizację" (nieładne słowo!) odkryć współczesnej nauki: kolorowa grafika, oddająca sens odkrycia, a przy tym korzystająca często z unikalnych zdjęć, znajduje swoje miejsce w głębokiej, trwałej pamięci ucznia/ nauczyciela/ naukowca.

Na ryc. 2b pokazujemy sensacyjne w swej interdyscyplinarności odkrycie archeologów/ kulturoznawców/ fizyków z Uniwersytetu w Pensylwanii – pełną kosztowności zawartość grobu z VII w. p.n.e. z centralnej Turcji, rejonu nazywanego kiedyś Frygią. W grobie tym znaleziono też kielichy i talerze z pogrzebowej uczty. Metodami fizycznymi (spektrometrii masowej i spektrometrii optycznej w podczerwieni) udało się zidentyfikować potrawy i napoje, którymi delektowali się biesiadnicy. Historyjka na naszej stronie internetowej nosi tytuł „Na stypie u króla Midasa".

Na stypie u króla Midasa

Czy można stwierdzić, co jedzono na uczcie 3000 lat temu? Okazuje się, że tak!

W 1999 roku archeolodzy odkryli w Azji Mniejszej, na terenie dawnej Frygii, grób pełen wszelkich kosztowności, pereł, kamieni szlachetnych, ciężkich tkanin i wyszukanych naczyń z brązu. Bogactwo pochówku wskazywało na wysoką rangę zmarłego, zaś miejsce znaleziska i jego wiek – na pokrewieństwo kulturowe z przedklasyczną Grecją. Prawie, że prawie, grób króla Midasa.

Na dnie kielichów z brązu w formie owczych głów były jakieś resztki, niewidoczne niemalże gołym okiem. Czyżby okruchy ze stypy? Było ich jednak zbyt mało (no i nieco nieświeże!) aby pokusić się o skosztowanie. Ślinka jednak leci! Na szczęcie, na cóż współczesna nauka. Powie Ci (i policji), nie tylko ile wypiłeś, ale i jaką markę alkoholu! Różne techniki, które posłużyły do określenia, co jedzono na stypie u króla Midasa, określamy wspólnie nazwą **spektroskopii** (od łacińskiego słowa *spectrum*, czyli widmo).

Okazuje się, że na stypie króla Midasa bynajmniej sobie nie żałowano: na dnie ponad 100 kielichów i waz do mieszania trunków znaleziono ślady 16 różnych napojów alkoholowych: gatunkowych win, jęczmiennego piwa i fermentowanego pszczelego miodu. Na dnie półmisków zidentyfikowano co najmniej 14 gatunków mięsiw, głównie z kóz i baraniny. Mięsa były najpierw podpiekane na ruszcie, później oddzielane od kości a następnie mieszane z ziołami i przyprawami. Wina i piwa mieszane były w różnych proporcjach i serwowane w wyszukanych pucharach. Co zostało, załadowano królowi Midasowi na drogę przez Styks.

Już sama taka stypa wystarczy, aby przejść do **mitu**!

Ryc. 3. Nasz krótki, zajmujący i zabawny, ale naukowo dokładny opis odkrycia grobu króla Midasa i badania resztek pożywienia z uczty sprzed prawie trzech tysięcy lat. (http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/stypa.html)

eprasa.pl 19b3d3e593

Podobnego odkrycia dokonano również w Polsce, w Brześciu Kujawskim, niedaleko od Torunia. Stosowna historyjka nosi tytuł „Od kiedy pijemy krowie mleko?" i zahacza o genetykę, migrację ludów, współczesne recepty kulinarne. Otóż, dorośli ludzie, nie trawią mleka (dziś mówimy o nietolerancji na laktozę). Tak! zdecydowana większość mieszkańców Chin, Afryki, a nawet Sycylii, nie trawi mleka. Ale jakieś 9 tysięcy lat temu, kiedy kończyła się epoka lodowcowa w Europie, na terenie dzisiejszej Turcji udomowiono krowy. A u niektórych mieszkańców tego regionu pojawiła się mutacja genetyczna pozwalająca na trawienie laktozy. I ci hodowcy krów ruszyli na zachód, do Europy. W Brześciu Kujawskim znaleziono resztki ceramicznych kubków: niektóre z małymi otworami. Służyły one do wytwarzania kwaszonego mleka, takiego bez cukru. A inne kubki, bez dziur, zawierały resztki krowiego tłuszczu. W badaniach uczestniczyli polscy archeolodzy, ale leader grupy, Peter Bogucki, pracuje w Princeton. Polecamy tę lekturę na naszych stronach „W tym dwutygodniu" [4] aktualizujących, o ile starcza nam czasu, wystawę z 2003 roku.

Kolorowa grafika może też oddać to, co sobie *wyobrażam*y, ale nie bardzo ortodoksyjne podręczniki uniwersyteckie pokazują – np. funkcję falową rozproszonego na atomie elektronu, ryc. 2c. Na wystawie w Gdańsku zwiedzający mieli do wglądu kompletne artykuły naukowe związane z tytułowymi okładkami; w wersji internetowej podajemy, niestety, tylko linki (zazwyczaj zabezpieczone przez copyright).

Trzecim sposobem wizualizacji fizyki współczesnej, obok oryginalnej, lecz zabytkowej aparatury doświadczalnej i obok współczesnego artykułu naukowego jest eksponat interaktywny – prosty, a przez to najciekawszy. Służy on ilustracji *koncepcji*. O tym poniżej.

Pokazać niepokazywalne

Wzmianka o kondensacie Bosego-Einsteina w postaci okładki „Science" nie niesie dostatecznej porcji informacji dla nie-specjalistów. Zwykłemu odbiorcy należy przekazać nieco szczegółów – główne punkty zjawiska: zgodnie z naszymi zasadami dydaktycznymi pierwsze wyjaśnienie powinno być proste i obrazowe. Dla uzyskania BEC było niezbędne pułapkowanie atomów w polu magnetycznym. A ponieważ najistotniejszym elementem decydującym o możliwości BEC jest spin atomu (musi on być całkowity, aby się stosowała statystyka bozonów), ilustrujemy to pułapkowanie za pomocą szybko kręcącego się bąka (z Nowego Meksyku) umieszczonego na płaskim talerzu z małym zagłębieniem w środku (fot. 4a). Bąk, po kilkunastu sekundach dość chaotycznego przemiatania powierzchni talerza, umiejscawia się w tej płytkiej pułapce.

Drugim kluczowym zjawiskiem w BEC jest schładzanie atomów poprzez zderzenia z fotonami. Atom (a właściwie źródło fotonów, czyli laser) musi więc być „odpowiedni" – tzn. energia fotonów musi odpowiadać określonym przejściom elektronowym w atomie. Pierwszy BEC został uzyskany w rubidzie. Fotony, zderzając się z atomami, przekazują im nie tylko energię, ale i pęd. Celem „chłodzenia" jest spowolnienie najgorętszych (czyli najszybszych) atomów. Uzyskuje się to odstrajając laser w kierunku „podczerwieni" – tak, aby tylko najszybsze atomy, poruszające się w kierunku padającej wiązki lasera absorbowały fotony. No tak! ale atom po wzbudzeniu ulega „de-ekscytacji", czyli odsyła ponownie zaabsorbowany foton. Tak! ale odsyła w kierunku przypadkowym, czyli średni pęd odrzutu nie jest już skierowany na zewnątrz chmury atomu. Jest to dość trudne do zrozumienia z opisu słownego, więc schemat, jak na naszym dydaktycznym plakacie, zob. ryc. 5a, okazuje się absolutnie niezbędny.

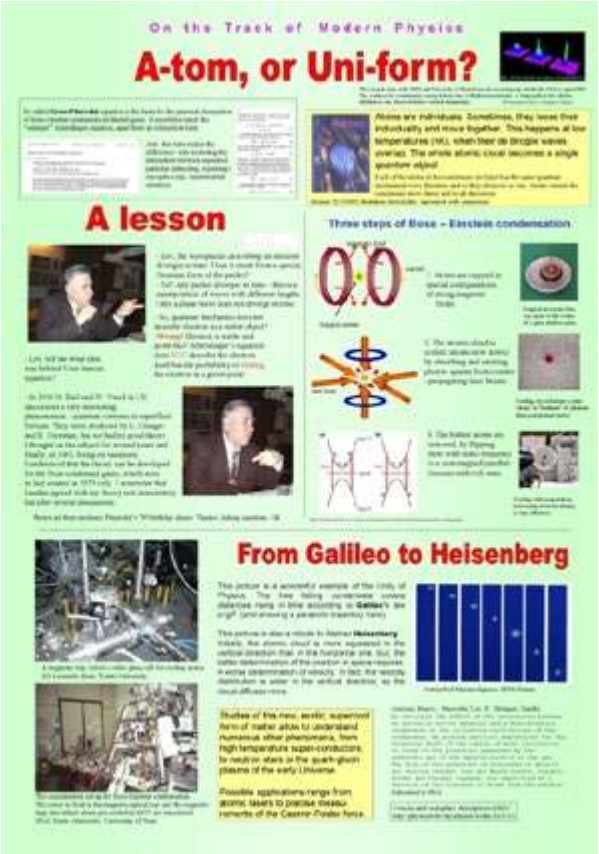
Czy można „namacalnie" pokazać chłodzenie atomu rubidu w zderzeniach z (lekkimi) fotonami nadlatującymi ze wszystkich stron? Nasz pomysł jest taki: rubinowa kulka w filiżance wypełnionej lekkimi, plastikowymi kulkami umiejscawia się w centrum już po kilku potrząśnięciach naszym „kondensatem", ryc. 4b. Drogi Albercie – widzisz, że wszystko można pokazać?

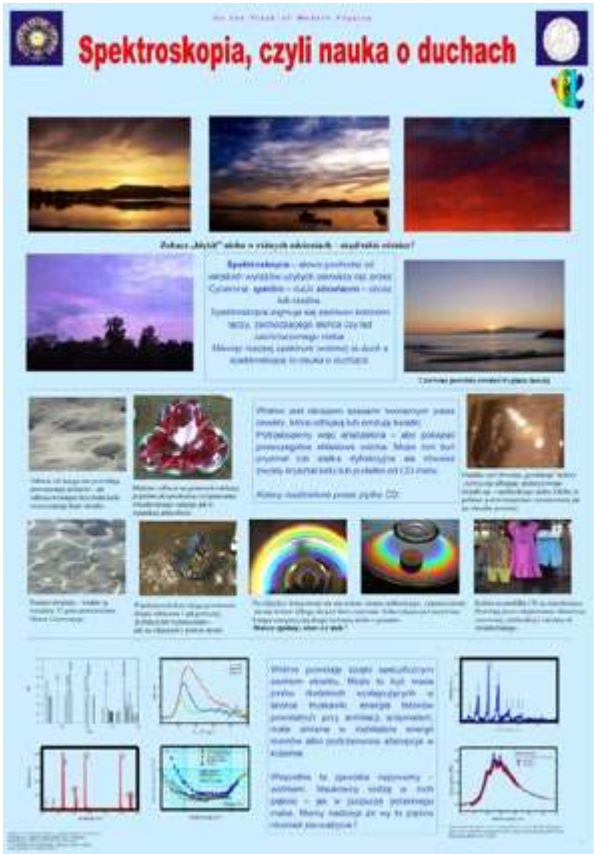
Pozostaje trzeci element techniczny, który okazał się decydujący w wyścigu kilku grup doświadczalnych: chłodzenie wymuszone. Pokazujemy to w doświadczeniu bardzo pouczającym, niezwykle prostym do powtórzenia w szkole. Wiemy, choćby dmuchając na spoconą rękę, że przepływ powietrza, nawet ciepłego z naszych ust – „chłodzi". Dokładniej: przepływ powietrza wspomaga parowanie wody z powierzchni ręki, a do odparowania jednego grama wody, nawet przy temperaturze 100ºC potrzeba aż 540 kalorii. To reszta potu na ręce dostarcza tej energii, czyli się ochładza. (Celowo przytaczamy nielegalne kalorie, bo są one dydaktycznie obrazowe.)

Doświadczenie, które pokazujemy na ryc. 4c (i proponujemy do powtórzenia w szkolnej klasie), to pomiar tem-

Ryc. 4. „Namacalna" interpretacja trzech etapów tworzenia się kondensatu Bosego-Einsteina. (a) Pułapkowanie atomów (o spinie całkowitym) w płytkiej pułapce magnetycznej. (b) Chłodzenie w „melasie" pola fotonów zderzających się z atomami – kulka ze szkła w filiżance pełnej plastikowych paciorków. (c) Wymuszone parowanie, czyli usuwanie najgorętszych atomów. Tu – chłodzenie ciepłej wody przez strumień gorącego powietrza z suszarki do włosów. Współpraca: mgr A. Krzysztofowicz.

eprasa.pl 19b3d3e593





Ryc.5. Plakaty dydaktyczne jako uzupełnienie eksponatów interaktywnych niosą w miarę kompletną informację o opisywanym zjawisku: oryginalny artykuł, wywiad z prof. Lvem Pijaevskim, który zjawisko przewidział, dwie realizacje praktyczne i piękne doświadczenie dydaktyczne - spadek swobody kondensatu. Autor GK. http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/html/posters.html

peratury w polistyrenowym kubku od kawy. Wlewamy do niego gorącą wodę i sprawdzamy szybkość ochładzania się: bez przepływu powietrza, przy chłodzeniu z góry zimnym strumieniem powietrza, po czym, w trzecim doświadczeniu – gorącym strumieniem. Najlepiej użyć trzech kubków obok siebie – termometr wystarczy jeden. Wynik zaskakujący, ale znakomicie ilustrujący doświadczenie BEC.

W kondensacie obniżenie temperatury poniżej 170 mK osiągnięto poprzez „odparowanie" z pułapki najszybszych, choć już bardzo zimnych atomów. A ponieważ mówimy o bardzo niskich energiach, „fotonami" wymuszającymi parowanie są kwanty pola mikrofalowego. Po tych wszystkich etapach chłodzenia, w pułapce pozostało nie więcej niż milion atomów. Ale to wystarczyło do otrzymania nagrody Nobla. Praktyczną realizację BEC pokazujemy na plakacie, powstałym w 2005 roku, w ramach naszego projektu EU „Science is Fun" (ryc. 5a).

Idea, nie obiekt

Błędem (a właściwie ekonomiczną koniecznością) większości centów nauki jest pokazywanie obiektu, a nie idei, która u podstaw tego eksponatu leży. Laser (też idea Einsteina), w latach 60. ubiegłego wieku był podobną sensacją, jak BEC trzydzieści lat później. Dziś lasery, te półprzewodnikowe, kosztują pojedyncze grosze: wystarczy dobrać odpowiednio domieszkowanie arsenku galu lub innego podobnego kryształu.

Lasery gazowe, jak te używane do cięcia blach (w co drugim miasteczku w Polsce widnieją stosowne reklamy) są dużo bardziej skomplikowane. Przede wszystkim niezbędne jest wyładowanie elektryczne w gazie: można je pokazać za pomocą rurek Plückera (zob. inne nasze artykuły w FwSz) a widmo obejrzeć za pomocą siatki dyfrakcyjnej. Nawet jeśli nie mamy tego rodzaju rurek, linie widmowe gazu można obserwować za pomocą płyty CD i żarówki „energo-oszczędnej": tak to pokazaliśmy w Gdańsku w 2003 roku, ryc. 6.

Drugim istotnym elementem konstrukcji lasera gazowego są selektywne zwierciadła, przepuszczające ściśle określoną długość fali światła. Ich otrzymanie wymaga dość skomplikowanego procesu nakładania na przemian warstw o dużym i małym współczynniku załamania i grubości ściśle dobranej do potrzebnej długości fali. Trudne? Bynajmniej! Tak działają najpopularniejsze, „kolorowe" okulary przeciwsłoneczne. To też warstwy tlenków metali naniesione na powierzchnię plastiku. Okulary te to „zwierciadła interferencyjne" – jak mydlana bańka i jak podstawa piramidy Swarovskiego [5]. Okulary oglądane z zewnątrz są czerwone, a świat oglądany przez nie – zielonkawy. Dwa kolory dopełniające. Jeśli okulary są żółte, to świat oglądany będzie… Spróbujcie sami.

Pozostaje trzecie zjawisko istotne w laserze gazowym: zwierciadła są przyklejone pod tzw. kątem Brewstera, dla zapewnienia polaryzacji światła. I znów zjawisko banalne do pokazania. Okulary polaryzacyjne (niekoniecznie Polaroidu) kosztują kilkanaście lub kilkadziesiąt złotych. A źródło światła spolaryzowanego? Niebieskie niebo, czyli to oglądane pod kątem 90º do pozycji Słońca. A jeszcze lepiej – ekran telefonu komórkowego lub innego wyświetlacza ciekło-krystalicznego. Wystarczy kręcić okularami

eprasa.pl 19b3d3e593

Ryc. 6. Eksponaty wyjaśniające pułapkowanie atomów i działanie laserów, m.in. żarówka energo-oszczędna i płyta CD do obserwacji linii widmowych, z przodu – „spojrzenie w nieskończoność" – półprzepuszczalne lustro jak w laserze, nieco głębiej – elektrostatyczna pułapka na fusy od kawy (courtesy prof. V. Tomin), na prawo - meksykański bączek na płytkim talerzu i trzy kubki do obserwacji wymuszonego chłodzenia gorącej wody. W tle - plakaty tak z najnowszymi jak z historycznymi artykułami naukowymi, kluczowymi dla danego tematu. Koncepcja GK, opowiada KW, pomagają studentka, Uniwersytet Gdański, 2003 r.

(zob. internetowe wydanie FwSz pt. „Cztery i pół stany skupienia" https://www.aspress.com.pl/fizyka-stany/).

Zabawa w kolory dopełniające filtrów interferencyjnych wyzwala kolejne pytanie: a w świecie dookoła nas, skąd się biorą kolory? Co to są kolory dopełniające? Co widzą malarze impresjoniści? I tak, zarówno na wystawie w Gdańsku, jak na kolejnym plakacie dydaktycznym powstałym w 2005 roku, ryc. 5b, pokazujemy dopełniające kolory zachodów słońca. W szczególności, niebo nad tą samą zatoką w San Paolo w Brazylii każdego wieczoru jest innego koloru: pomarańczowego i fioletowego, niebieskiego i krwisto-czerwonego itd. Ale i niebo po letniej burzy w Berlinie też jawi się kolorami dopełniającymi. Historia o spektroskopii, czyli widmach, wyzwala zachwyt nad tym, co widzimy codziennie „na własne oczy". Dlatego zarówno w wersji internetowej [6] jak plakatowej [7] dział „Spektroskopia, czyli nauka o duchach" pojawia się zaraz po „A-tomos, czyli o-soba".

Fizyka jako nauka użyteczna

Ostatnim – po historii odkrycia, jego aktualności, interaktywnej wizualizacji – elementem narracji o fizyce współczesnej musi być pokazanie jej przydatności, czyli zastosowań.

Wilhelm Röntgen opublikował swoje odkrycie w Boże Narodzenie 1895 roku, po pięciu tygodniach spędzonych w laboratorium. W pierwszych dniach stycznia 1896 roku wiadomość o promieniach X pojawiła się na łamach gazet w Wiedniu, Londynie, Nowym Jorku. Już w lutym przeprowadzono, w USA, pierwszą operację złamanej nogi korzystając z nowego odkrycia. A Maria Curie-Skłodowska otrzymała Legię Honorową nie za nagrodę Nobla, ale za ochotniczą służbę na froncie w czasie I wojny światowej: ambulanse rentgenowskie przez nią zorganizowane uratowały dziesiątki, jeśli nie setki tysięcy żołnierzy. Dziś kamery rentgenowskie prześwietlają nie tylko walizki na lotniskach, ale całe wagony towarowe na przejściach granicznych.

Ale najważniejszym argumentem na rzecz przydatności fizyki współczesnej są zastosowania interdyscyplinarne. Jednym z najczęściej pokazywanych obrazków naukowych, obok atomu z orbitującymi elektronami (zazwyczaj trzema na kolistych orbitach, o horror! – żaden atom nie ma trzech orbitali *s*), jest podwójna, poskręcana drabinka DNA. I ta drabinka, i struktura molekularna korona-wirusa to zastosowanie promieni X (o korona-wirusie, fizyce i statystyce też poczytasz na naszych stronach internetowych).

Internetowe zwierciadło

Jak widać z podanych tu opisów, wystawie nadaliśmy celowo wysoki, naukowy poziom: nawet dla „zawodowego" fizyka dobór tematów, przedstawione eksponaty, artykuły naukowe są za trudne do asymilacji w ciągu kilkunastu minut zwiedzania. Niezbędne było więc natychmiastowe przeniesienie wystawy do świata internetowego. Odnośnik do „Fizyki współczesnej" umieściliśmy na głównej stronie http://dydaktyka.fizyka.umk.pl

Czytelnik, w okienku „Fizyka współczesna" znajdzie trzy edycje tej tematyki: internetowe zwierciadło wystawy z Gdańska z 2003 roku, w którym poszczególne „działy" fizyki, jak fizyka cząstek elementarnych, fizyka jądrowa,

eprasa.pl 19b3d3e593

fizyka półprzewodników pojawiają się na tłach o różnych kolorach, ryc. 7. Tytuły tych działów nie są podręcznikowe. Ba! skupiamy się na historycznych etapach, jak „odkrycie" elektronu w 1897 roku przez J. J. Thompsona (a w zasadzie pomiar ładunku i masy *e*/*m*), promieniowanie Röntgena, pomiary widma atomowego wodoru – od wzoru Balmera po elektrodynamikę kwantową. Tytuły są nieco żartobliwe, jak całość wystawy: „Niewidzialny Bursztyn", „Zagadkowe promienie", „Never-ending story". Te hasła to, zgodnie z naszą koncepcją dydaktyki hyper-konstruktywistycznej – pale wbite w dno jeziora, na których konstruujemy gmach wiedzy ucznia/ studenta/ czytelnika internetowego.

Większość tekstów to „fraszki" tak aby gości internetowych nie zmęczyć narracją. Teksty serio są napisane inną czcionką, aby je łatwo zidentyfikować. Nasza dydaktyka pozostaje jak zawsze – interdyscyplinarna. I tak, pisząc o liczbie Avogadra, wiadomości serio – że w Niemczech jest to liczba Loschmidta, przeplatamy z literackim żartem, z „Pana Tadeusza"

Jak zmierzyć 6,022045(31) x 10^{23} ? Ile to będzie? Bilion bilionów czy miliard miliardów milionów? Pierwsze numeryczne określenie liczby Avogadro znajdujemy u Mickiewicza w Księdze VII: „do milijonów krocset kroci tysięcy fur beczek furgonów (diabłów!!!)", ale było ono wysoce nieprecyzyjne!

Sam Avogadro, prawnik z wykształcenia, „rzucił" pomysł o stałej ilości atomów w molu jako hipotezę, nie podając, jak ją zmierzyć. Dlatego w literaturze niemieckiej używa się określenia „liczba Loschmidta", który podał pierwszą receptę (z lepkości cieczy).

Inne sposoby: obok...

Pisząc o liczeniu (i wizualizacji) atomów mamy na myśli mikroskop sił atomowych (AFM), którego najważniejszym elementem jest bardzo cienka, kończąca się pojedynczymi atomami, igła wolframowa. Igła ta jest prowadzona nad powierzchnią kryształu, tak aby „widzieć" pojedyncze atomy fot. 8a. Ale żart jest obrazowy. „Jak policzyć atomy? Za pomocą palca. Ale trzeba mieć odpowiednio mały palec." Żart jest jednocześnie dydaktyczny: ilustrujący, że fizyk mierzy przyrodę niejako „w ciemno".

Scenariusz zabawy, fot. 8a, jest prosty: zawiązujemy wybranemu „badaczowi" oczy, po czym pozwalamy mu wodzić palcem po powierzchni „pagórkowatej" gąbki, używanej do pakowania delikatnych instrumentów. Badacz nie od razu potrafi zrozumieć, co mierzy. Podobnie nie-bezpośredni jest obraz z AFM, widmo optyczne odległej gwiazdy, tory cząstek po zderzeniu w wielkim akceleratorze. Innymi słowy: fizyka to odkrywanie z zawiązanymi oczyma. Nie tylko nauczyciele, ale i naukowcy mają z tym kłopoty: potrzebna jest spora doza wyobraźni. I dlatego, nasze kwarki, protony i neutrony to nie kolorowe punkciki, ale zabawne pieski z własną fizjonomią, ryc. 8b.

Od wystawy do projektu EU

Wystawa w 2003 roku pokazywała okładki „Nature", profesjonalną rurę lasera gazowego i okulary słoneczne jako model zwierciadła selektywnego. Była niemałym zaskoczeniem, nawet dla studentów i asystentów Akademii Pomorskiej w Słupsku, którzy oprowadzali gości, fot. 6. Pokazaliśmy również przykłady nowoczesnych, zaawansowanych zestawów do laboratoriów studenckich, jak na przykład szklany torus Pasco pozwalający zobrazować

Ryc. 7. Wersja internetowa [6] wystawy o fizyce współczesnej pozwala na wzajemne zazębienie różnych elementów – niektóre proste i zabawne, inne serio, jak w szkolnych podręcznikach. Różne tła odpowiadają różnym tematom, ale nie są to p/odręcznikowe działy fizyki, ale raczej wciągające czytelnika mini-opowiastki, jak w „Baśniach 1001 nocy".

eprasa.pl 19b3d3e593

Ryc. 8. (a) Zabawa dydaktyczna w mikroskop sił atomowych. Student będzie prowadził palec nad pagórkowatą gąbką, symulującą powierzchnię kryształu. Studentka pomaga badaczowi w pozycjonowaniu sondy (czyli jego palca) nad badanym kryształem (gąbka, ukryta pod lewą ręką autora). Kurs podyplomowy dla nauczycieli, Uniwersytet w Udine, 2006. Na wklejce powierzchnia kryształu krzemu obserwowana za pomocą mikroskopu sił atomowych (AFM): doskonałe kryształy układają się w formie sześciokątów. W kilku miejscach brakuje atomów – są to tzw. wakanse. Źródło: Omikron. (b) Fizyka współczesna w wydaniu dla szkoły podstawowej: kwarki w postaci zabawnych piesków (autor rysunku TW), proton i neutron w postaci ciężkich, żelaznych sześcianów (na stole, pod plakatem). XI 2011, Dzierzgowo, woj. mazowieckie, współpraca mgr Irena Wierzejska.

zakrzywianie się trajektorii elektronów w polu magnetycznym czy elektrostatyczna pułapka (na fusy do kawy). Pomysł został podchwycony w kilku ośrodkach uniwersyteckich, które zmodernizowały swoje laboratoria dydaktyczne fizyki współczesnej.

Wystawa, jej kopia internatowa, a w konsekwencji również projekt UE (2005 r.) noszą tytuł „Na ścieżkach fizyki współczesnej". Skąd taki tytuł? Otóż fizyka współczesna nie jest nauką zamkniętą, ale w ciągłym rozwoju – w kroczeniu po ścieżkach. I to właśnie z tego względu nie jest ona podzielona na tradycyjne sektory fizyki: atomową, jądrową, cząstek elementarnych: te wszystkie działy wzajemnie się zazębiają, a wystawa ma na celu pokazanie szczególnych, interesujących i możliwie interdyscyplinarnych tematów.

Zasoby dydaktyczne pt. „Physics is Fun", w tym plakaty pokazane na ryc. 2 i pięciojęzyczna wersja „Fizyki zabawek" to druga grupa na wspomnianej (?q=node/182) stronie internetowej fizyki współczesnej. Ale ta tematyka przyniosła jeszcze inne formy, np. kurs podyplomowy dla nauczycieli na Uniwersytecie w Udine, wykłady interaktywne dla szkół i wykład ogólno-uniwersytecki na UMK. Szczegółowe opisy doświadczeń pokazowych, do przeprowadzenia w klasie (lub zamówienia w Toruniu) zawiera podstrona [8] (współpraca mgr K. Służewski).

Książki, jak wierzchołki archipelagów

Jerome Bruner, twórca dydaktyki kognitywistycznej, tak zaczyna „Acts of meaning": „Książki są jak wierzchołki gór archipelagów rozciągających się w oceanach". Są one podsumowaniem różnych działań, rozmaitych myśli, alternatywnych przedstawień. Podobnie z naszą wizją dydaktyki fizyki współczesnej. W trakcie którejś z minionych (tej z 2009 roku) reform fizyka współczesna (grawitacja, atomowa i jądrowa) została przeniesiona z programu gimnazjum do pierwszej klasy szkoły ponad-gimnazjalnej. Pomysł Ministerstwa był oczywiście niewypałem, ale zachęcił nas (w 2011 r.) do napisania książki o fizyce współczesnej na poziomie prawie licealnym. Została ona ostatnio (2020) wydana przez Wydawnictwo Naukowe UMK [9], ale bezpłatny preprint można pobrać ze stron Katedry Dydaktyki Fizyki [10]. W ramach kolejnego projektu EU powstała książka „Dydaktyka fizyki współczesnej" (tę przesyłamy bezpłatnie, na zamówienie) [11].

Fizyka jest nauką humanistyczną, bo nadal fizykami są ludzie, a nie roboty. Co prawda wiele danych meteorologicznych zbieranych przez automatyczne boje rozsiane po Pacyfiku nosi etykietę „These data have never been seen by humans", ale wystawy interaktywne tworzą konkretne osoby. Dwa zdjęcia zamykają naszą retrospekcję „Ścieżek fizyki współczesnej".

Grzegorz Karwasz,
Katedra Dydaktyki Fizyki, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

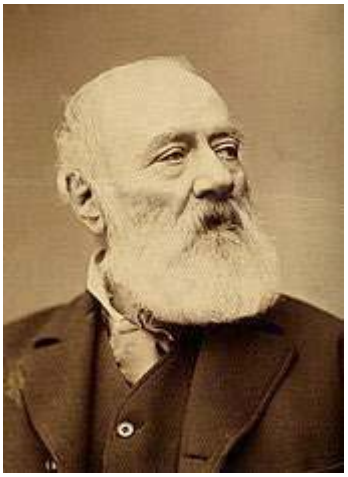
Tomasz Wróblewski
Instytut Nauk Ścisłych i Technicznych, Uniwersytet Pomorski w Słupsku

LITERATURA

[1] G. Karwasz, *Fizyka i zabawki – obrazki z wystawy*, Postępy Fizyki 51 (2000), Zeszyt Dodatkowy, str. 97.
[2] G. Karwasz, J. Kruk, *Idee i realizacje dydaktyki interaktywnej – wystawy, muzea i centra nauki*, Wydawnictwo Naukowe UMK, 2012, ISBN 978-83-231-2957-8.
[3] A. Okoniewska (Kamińska), G. Karwasz, *Wystawa „Ogniwo Volty"*, PAP Słupsk, 2001. http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/files/zrodla/ogniwa.html
[4] http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/mleczna_rewolucja.html
[5] http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/files/short/optyka/piramida.html
[6] http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/index-pl.html
[7] http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/html/posters.html
[8] http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Pokazy_2012/
[9] G. Karwasz, *Toruński po-ręczniki do fizyki. IV Fizyka współczesna i astrofizyka*, Wyd. Nauk. UMK, Toruń, 2020.
[10] http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/264
[11] G. Karwasz, A. Karbowski, K. Fedus, *Dydaktyka fizyki współczesnej*, materiały KDF UMK, 2021.

eprasa.pl 19b3d3e593

Żywoty fizyków
Antonio Santi Giuseppe Meucci



Tadeusz Wibig

Antonio Santi Giuseppe Meucci (1808-1889) urodził się przy Via dei Serragli 44 w dzielnicy San Frediano we Florencji będącej wtedy częścią Cesarstwa Francuskiego Napoleona I i był pierwszym z dziewięciorga rodzeństwa.

W wieku 13 lat został przyjęty do Accademia di Belle Arti (Akademii Sztuk Pięknych) we Florencji i studiował tam w szkole chemicznej i mechanicznej. Warto zaznaczyć, że „mechanika" obejmowała całą znaną wówczas fizykę, między innymi „elektrologię", najnowszą gałąź fizyki zawierającą w szczególności elektrostatykę i nowo odkryty galwanizm, czyli naukę o elektryczności rozwiniętą na bazie odkryć Galvaniego i Volty.

Meucci spędził w Akademii w sumie sześć lat pracując jednocześnie jako asystent strażnika i urzędnika celnego Wielkiego Księstwa Toskanii. Znalazł potem zatrudnienie w „Teatro della Pergola" we Florencji i tam pierwszy raz przejawił swą inwencję techniczną i pasję wynalazczą konstruując połączenie audio pomiędzy sceną i zapleczem. Oczywiście nie był to jeszcze telefon, a jedynie rura, do której można było mówić z jednej strony i słuch ać przykładając ucho do jej drugiego końca. Podobne urządzenia widuje się na starych filmach, gdy kapitan statku wydaje polecenia do maszynowni.

W tym też czasie ożenił się z projektantką kostiumów Esterre Mochi. Fakt ten, jak miało się okazać później, miał niemałe znaczenie dla wynalezienia już prawdziwego telefonu.

Meucci był od jakiegoś czasu podejrzewany, a można nawet powiedzieć inwigilowany, przez służby bezpieczeństwa Wielkiego Księstwa za sprawą wybuchu fajerwerków na pokazie podczas państwowych uroczystości obchodów urodzin żony Leopolda II, Wielkiego Księcia Toskanii. Zarzucano mu uczestnictwo w antypaństwowym spisku, co w jakimś stopniu przyczyniło się do jego emigracji wraz z żoną na Kubę. Zaproponowano mu tam stanowisko głównego inżyniera, a jego żonie stanowisko głównego projektanta kostiumów we wspaniałym budowanym właśnie, największym w obu Amerykach teatrze Teatro Tacón w Hawanie.

Po wygaśnięciu kontraktu Meucci zajął się reformowaniem kubańskiej służby zdrowia. Modnym w tamtych czasach sposobem pojmowania niektórych aspektów funkcjonowania ludzkiego ciała był mesmeryzm. Doktor Mesmer proponował już kilkadziesiąt lat wcześniej w Europie możliwość leczenia wszelkich schorzeń bez konieczności stosowania jakichkolwiek medykamentów za pomocą dotyku, czy też oddziaływania tajemniczych sił magnetycznych, czy elektrycznych. Coś z tego zostało gdzieniegdzie do dziś. Jedną z popularnych metod leczenia rożnych dolegliwości były elektrowstrząsy. Meucci znając się na elektryczności wymyślił system zdalnego podłączania pacjentów do potężnej baterii znajdującej się w oddzielnym pomieszczeniu. Nie było to szczególnie skomplikowane, wystarczyło trochę drutu, acz drut nie był wtedy tak łatwo dostępny, jak dziś. Rysunek 1 ilustruje sytuację, jaka zdarzyła się pewnego razu Meucciemu przy okazji podłączania chorego delikwenta do baterii o napięciu ponad 100 V. Oczywiście musiało to leczonego zaboleć, nic więc dziwnego, że wrzasnął donośnie.

Rys. 1: Muecci słyszy krzyki zza ściany.

Po latach w procesie sądowym w roku 1885 Meucci zeznał: „*Mężczyzna, którego zatrudniałem, gdzieś około 1849 roku, skarżył się, że jest chory, i pomyślałem, aby wypróbować na nim elektryczność ... Zawołałem do niego, aby włożył miedzianą część instrumentu do ust [...] Mężczyzna, gdy miał miedzianą część w ustach, krzyknął pod wpływem szoku. Wydawało mi się, że słyszałem ten dźwięk wyraźniej niż naturalnie. Następnie przyłożyłem miedź mojego instrumentu do ucha i usłyszałem dźwięk jego głosu przez przewód. To było moje pierwsze wrażenie i początek mojego pomysłu na transmisję ludzkiego głosu przez elektryczność...*"

Inni są zdania i jest to zapewne bliższe prawdy, że prąd nie miał tu nic do rzeczy, a dźwięk przenosił się po prostu po rozciągniętym drucie. Taki rodzaj telefonu znany był już Hooke'owi. Nazywano go telefonem zakochanych („*lover's phone*", „*téléphone de l'amant*").

W1850 roku Meucci wyjechał do Stanów. Zamieszkał na Staten Island w stanie Nowy Jork. Zainwestował swój kapitał zarobiony na Kubie (na dzisiejsze pieniądze było to jakieś pół miliona dolarów) w fabrykę świec łojowych zamienioną później w browar i zatrudniał w niej włoskich uchodźców i przyjaciół zaangażowanych we włoski ruch zjednoczeniowy. Sam Garibaldi, wygnany z Włoch, spędził jakiś czas w domu Meucciego.

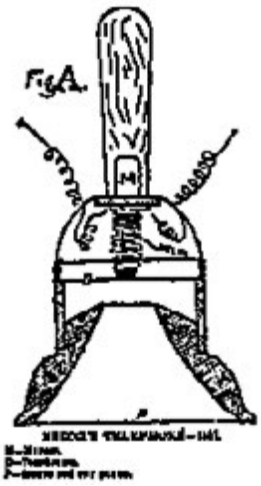
W 1854 r. żonę Meucciego reumatoidalne zapalenie stawów przykuło do łóżka w pokoju na drugim piętrze ich domu. Aby mógł się komunikować

eprasa.pl 19b3d3e593

Rys. 2: Telefon zakochanych.

z nią ze swego laboratorium w piwnicy, w 1956 zainstalował w domu coś jakby pierwowzór telefonu.

Notatki Meucciego z 1857 roku opisują jego ideę: wibrująca membrana znajdująca się nad stałym magnesem z nawiniętą nań cewką powoduje niewielkie zmiany prądu płynącego przez jej uzwojenie (Rys. 3). Te zmiany przekazywane są na drugi koniec przewodu, powodując analogiczne drgania membrany odbiorczej i to już wszystko! W następnych latach Meucci opracował ponad 30 różnych rodzajów telefonów działających na tej zasadzie. Około 1858 r. artysta Nestore Corradi naszkicował koncepcję komunikacji telefonicznej Meucciego (Rys.4).



Rys. 3: „The Chicago Tribune" z 9 listopada 1885.

W 1860 roku, gdy jego wynalazek stał się już zupełnie praktyczny, Meucci zorganizował demonstrację, aby przyciągnąć potencjalnych inwestorów. Podczas niej głos śpiewaka był wyraźnie słyszany przez słuchaczy znajdujących się w znacznej odległości. Opis wynalazku został też opublikowany podobno w *L'Eco d'Italia,* włoskiej gazecie w Nowym Jorku, a raport wraz z modelem wynalazku wysłano do Włoch w celu zorganizowania tam produkcji, ale nic z tego w sumie nie wyszło, podobnie jak z wielu innych obietnic finansowego wsparcia.

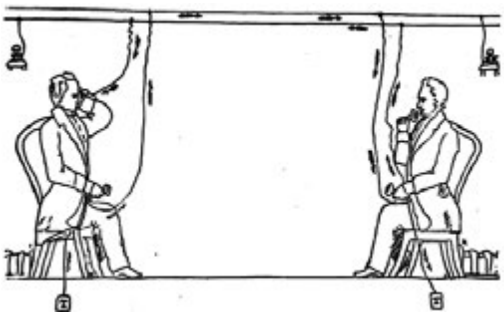
Meucci nie miał już pieniędzy na utrzymanie swojej firmy. Jego przedsięwzięcia biznesowe zakończyły się w końcu bankructwem, a on sam znalazł się na granicy nędzy. Jego dom został sprzedany na aukcji, choć nabywca okazał się na tyle miły, że pozwolił Meuccim mieszkać w nim dalej z darmo, ale, tak czy inaczej, prywatne środki Meucciego kurczyły się i wkrótce musiał już żyć z zasiłku i pomocy przyjaciół.

W sierpniu 1870 roku Meucci był podobno w stanie przeprowadzić transmisję artykułowanego ludzkiego głosu na odległość jednej mili. Nazwał swoje urządzenie „telettrofonem".

W dniu 12 grudnia 1871 r. Meucci zawarł umowę z sekretarzem włoskiego konsulatu w Nowym Jorku i dwoma włoskimi biznesmenami, w celu utworzenia *Telettrofono Company*. Firma ta miała zapewnić środki na ochronę patentową wynalazku. Za zgłoszenie patentowe trzeba było zapłacić 250$ (ponad 4000 dzisiejszych dolarów), na co partnerzy Meucciego się nie zgodzili. Jeden z nich wyłożył 20$, co wystarczyło zaledwie na zgłoszenie w Urzędzie Patentowym Stanów Zjednoczonych zastrzeżenia patentowego. Stało się to 28 grudnia 1871 r. Meucci był w stanie odnowić swoje zastrzeżenie (za 10$) w grudniu 1872 roku, a także w 1873 roku. Nie mógł jednak znaleźć pieniędzy na trzecie odnowienie, które miało nastąpić 28 grudnia 1874 roku. W międzyczasie podjął jeszcze jedną próbę zawalczenia o patent. Przedstawił opis swojego systemu wraz z kopią zastrzeżenia i rysunkami wiceprezesowi American District Telegraph Company Edwardowi B. Grantowi. Po dwóch latach Grant powiedział, że zgubił wszystkie dokumenty i nic zrobić już nie może.

Na krótko przed 1875 rokiem zastrzeżenie patentowe Meucciego definitywnie wygasło i to zakończyło jego plany biznesowe związane z telettrofonem, choć historia wynalezienia telefonu, to oficjalna, właśnie się zaczynała.

14 lutego 1876 roku Alexander Graham Bell za pośrednictwem swojego prawnika złożył w Urzędzie Patentowym wniosek na urządzenie do transmisję głosu za pomocą prądu elektrycznego. Tak się złożyło, że dokładnie tego samego dnia z wnioskiem o zastrzeżenie patentowe na „urządzenie transmitujące dźwięki i głos ludzki" przyszedł do Urzędu prawnik Elishy Gray'a. Rozstrzygnąć, kto wynalazł telefon, miał ekspert, egzaminator Urzędu Patentowego niejaki Zenas F. Wilber. Zapewne



Rys 4: Dwukierunkaowa jednoczesna rozmowa telefoniczna.

eprasa.pl 19b3d3e593

w „ramach konsultacji" skontaktował się z Bellem, który zaraz przyjechał do Waszyngtonu. Rozmowy były na tyle owocne, że 7 marca patent przyznano Bellowi. Słynne słowa, które przeszły do historii, jako pierwsza rozmowa telefoniczna „*Watsonie, niech pan tu przyjdzie, chcę pana widzieć.*" (*Mr. Watson, come here. I want to see you.*) Bell wypowiedział do swojego współpracownika znajdującego się w sąsiednim pokoju dopiero 10 marca.

Ale to jeszcze nie koniec, w1886 roku w gazecie „The Washington Post" na pierwszej stronie pojawił się tekst zatytułowany „Wilber się przyznał". Przyznał się, że Bell, podczas starań o opatentowanie telefonu, wręczył mu 100$. W artykule znajduje się ręcznie nakreślony szkic urzędu patentowego, z zaznaczonym miejscem wręczenia łapówki. Miała być ona gratyfikacją na niezgodne z prawem pokazanie prawnikowi Bella zgłoszenia Graya. Z tego można by sądzić, że to on właśnie przedstawił wniosek na telefonu zanim zrobił to Bell. Sam Bell oczywiście zaprzeczył i sprawa oparła się o Sąd Najwyższy, który mimo najszczerszych chęci sprawy definitywnie nie rozstrzygnął. Firma *Bell Telephone Company* i *Western Union Telegraph Company* reprezentująca Greya zawarły ugodę, podzieliły się rynkiem i dobrze się mają do dziś.

A Meucci? Meucci też się procesował z Bellem. Z gorszym rezultatem. Nie uzyskał niczego, choć może nie do końca. W 2002 roku Izba Reprezentantów Stanów Zjednoczonych uchwaliła rezolucję nr 269 w jego sprawie. Stwierdzono w niej, że „*gdyby Meucci był w stanie uiścić opłatę w wysokości 10 dolarów, aby utrzymać zastrzeżenie po 1874 roku, żaden patent nie mógłby zostać wydany Bellowi*" i podsumowując: „*życie i osiągnięcia Antonio Meucciego i jego praca nad wynalezieniem telefonu powinny zostać należycie docenione*". Podobną rezolucję chciano przeforsować w Senacie USA, ale w końcu nie przeprowadzono tam nad nią głosowania. Z kolei włoskie *Ministero per i Beni e le Attività Culturali* (Ministerstwo Dziedzictwa Kulturowego i Działalności) wspierało obchody 200. rocznicy urodzin Meucciego w 2008 r., używając tytułu „*Inventore del telefono*" (Wynalazca telefonu)

Meucci był postacią w sumie tragiczną. Mimo iż doceniają go Włosi: w domu, gdzie się urodził, wmurowali tablicę pamiątkową, a na Staten Island postawili mu pomnik, reszta świata o nim nie pamięta. Może to niesprawiedliwe, ale można powiedzieć, że sam był sobie winien. Pozbawiony był niestety zupełnie talentu do zarządzania i do robienia pieniędzy, w czym pomagała mu niewątpliwie niezdolność do komunikowania się w jakimkolwiek innym niż włoski języku. I właśnie w tym miejscu z historii tej można wyciągnąć głęboki morał: poza fizyką uczmy się też języków, najlepiej angielskiego.

Doświadczenie domowe:

Telefon zakochanych

A. Potrzebne materiały
1. Dwa plastikowe kubeczki do napojów (mogą być też metalowe puszki).
2. Sznurek o długości takiej, na jaki dystans chcemy rozmawiać.
3. Dwie zapałki, wykałaczki, spinacze, patyczki (cokolwiek podobnego).
4. Drugi człowiek, z którym będziemy rozmawiać.

B. Narzędzia: nożyczki

C. Kolejność czynności
1. W dnach kubeczków robimy niewielkie otworki dla przeciągnięcia przezeń sznurka (jeśli używamy puszek, wycinamy z nich najpierw górną część tak, aby przypominały kubeczki).
2. Przeciągamy sznurek przez otwory w kubeczkach.
3. Na końcach sznurka przywiązujemy zapałki, spinacze, patyczki lub coś takiego, aby dać im oparcie o dno kubeczka, gdy naciągniemy sznurek.
4. Naciągamy sznurek trzymając jeden z kubeczków, a drugi dając osobie, z którą chcemy rozmawiać.
5. Rozmawiamy: jedna osoba mówi do swojego kubeczka, a druga swój kubeczek przykłada do ucha – a potem zmiana.

W ramach doświadczeń możemy zbadać, jak jakość rozmowy zależy od naprężenia sznurka. Możemy też sprawdzić, czy da się rozmawiać, jeśli po drodze sznurek będzie stykał się z różnymi przeszkodami i czy można rozmawiać „zza węgła". Możemy też telefon rozmontować i złożyć ponownie używając innego rodzaju nośnika: żyłki, cienkiego drutu, innego rodzaju sznurka, nici i obserwować efekty tych zmian.

eprasa.pl 19b3d3e593

Kondycja nauczania fizyki w polskich szkołach. 48. Zjazd Fizyków Polskich

W dniach 1-7.09.2023 r. w Gdańsku odbył się 48. Zjazd Fizyków Polskich. W odróżnieniu od poprzednich zjazdów dydaktyka fizyki została oddzielona od popularyzacji. Także nauczanie fizyki w szkole zyskało oddzielną sesję, a ponadto został przeprowadzony panel dyskusyjny „Kondycja nauczania fizyki w polskich szkołach – szanse i ryzyko”.

Edward **Rydygier**

Zjazd powrócił do formuły udziału bezpośredniego, zrezygnowano z charakteru hybrydowego. Wyjątkowo wykład „A voyage through Quontum Wonderland” Antona Zeilingera, austriackiego badacza, ubiegłorocznego laureata Nagrody Nobla za eksperymenty w dziedzinie informacji kwantowej i splątania kwantowego transmitowany był „na żywo”.

Fot. 1. Gmach Główny Politechniki Gdańskiej.

Podczas uroczystego otwarcia Zjazdu został przyznany Medal Smoluchowskiego oraz inne nagrody PTF. Medal otrzymał prof. dr hab. Ryszard Horodecki z Międzynarodowego Centrum Teorii Technologii Kwantowych na Wydziale Matematyki, Fizyki i Informatyki UG, światowej sławy specjalista w dziedzinie kwantowej informacji, ostatnio rozsławionej spektakularnymi odkryciami w zakresie kryptologii kwantowej, kwantowej teleportacji i gęstości kwantowej. Laureat wygłosił pierwszy wykład w sesji plenarnej pt. „Niezwykłe cechy kwantowej korelacji.

Drugi wykład plenarny prof. Jerzego Garbarczyka z Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej był poświęcony I Zjazdowi Fizyków Polskich w Warszawie w kwietniu 1923 roku. W 2020 r. w Roku Fizyki fizycy obchodzili 100-lecie Polskiego Towarzystwa Fizycznego, bo w 1920 roku odbył się w Warszawie Zjazd Założycielski, ale pierwszy zwyczajny Zjazd PTF odbył się w 1923 r., na którym prezesem wybrano prof. Stefana Pieńkowskiego z UW. Niestety, zorganizowany w 2020 roku 47. Nadzwyczajny Zjazd Fizyków Polskich w Warszawie z powodu pandemii musiał odbyć się w formule zdalnej.

Konkursy

W pierwszym dniu Zjazdu wydarzeniem interesującym nauczycieli było uroczyste wręczenie nagród w konkursach dla dzieci i młodzieży oraz wyróżnień OG PTF za popularyzację fizyki – Medalu im. Ignacego Adamczewskiego. Nagrody uczniom

Fot. 2. Uroczyste rozpoczęcie 48 Zjazdu Fizyków Polskich.

Fot. 3. Wykład prof. Jerzego Garbarczyka „W stulecie I Zjazdu PTF 1923-2023”.

eprasa.pl 19b3d3e593

wręczyła Prezeska PTF Teresa Rząca-Urban.

W korytarzu przed aulą Audytorium Maximum w Gmachu Głównym PG zostały zaprezentowane prace konkursowe uczniów klas I, II i III szkół podstawowych, które zostały nagrodzone w konkursach na plakat zjazdowy, portret fizyka oraz maskotkę zjazdową.

W holu przed Audytorium Maximum w Gmachu Głównym PG przeprowadzono „Bazar dobrych praktyk", gdzie fizycy mogli zaprezentować opracowane przez siebie eksperymenty dydaktyczne. Przedstawiciele Działu Edukacji i Szkoleń w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku zapraszali uczniów na warsztaty z wykorzystaniem liczników promieniowania jonizującego pod hasłem „Nasze detektory – Twoje pomiary", a także proponowali nieodpłatne wypożyczenie detektorów do przeprowadzenia pomiarów w szkole. Ponadto Dział Edukacji i Szkoleń NCBJ rekomendował udział uczniów szkół ponadpodstawowych i klas 7 i 8 szkół podstawowych w Ogólnopolskim Konkursie Fizycznym „Fizyczne ścieżki". Na konkurs należy przesyłać swoje autorskie projekty w kategoriach: praca naukowa, pokaz zjawiska fizycznego, esej. Termin nadsyłania prac: 31.01.2024 r. Z autorami najlepszych prac Organizatorzy spotkają się na Seminarium Finałowym Konkursu.

Wernisaż wystawy artystycznej LOGOS & TECHNE w nowoczesnym budynku Nanotechnologii można zaliczyć do wydarzeń popularyzujących wiedzę naukową poprzez dzieła sztuki. Na wystawie zaprezentowano prace artystów inspirujących się fizyką, astronomią czy matematyką i tworzących swoje wizje artystyczne z wykorzystaniem narzędzi informatycznych.

Popularyzacja

W drugim dniu obrad odbyły się trzy sesje interesujące nauczycieli: sesja popularyzatorska, sesja nauczycielska i sesja dydaktyczna, a ponadto została przeprowadzona dyskusja panelowa nt. „Kondycja nauczania fizyki w polskich szkołach – szanse i ryzyko". W sesji „Popularyzacja fizyki" z referatami wystąpili Eliza Szwec „Strategia pracy z projektami", Piotr Sujkowski „Zapytaj fizyka", Jerzy Jarosz „Ogólnopolski Klub Demonstratorów Fizyki – Narzędzia popularyzacji nauk przyrodniczych", Adam Buczek „Jak przygotować popularyzatorski pokaz fizyczny?", Grzegorz Musiał „Festiwale, konkursy naukowe, webinaria i ich znaczenie dla popularyzacji fizyki w Polsce".

Eliza Szwec reprezentująca Profi Competence Europe przedstawiła jedną ze strategii podejścia do projektów, tzw. strategię Walta Disneya. Strategia została opracowana przez Roberta Diltsa zajmującego się modelowaniem zachowania i strategią działania. Strategia Disneya dzięki swojej użyteczności wprowadzona została szeroko do świata biznesu i jest aktualnie wprowadzana do przestrzeni edukacji. Strategia daje przestrzeń do tworzenia wizji, planowania poszczególnych kroków działania, jak również przyjrzenia się słabym punktom planu tak, aby go udoskonalić. Strategia pomaga rozszerzyć punkt widzenia i uczy systemowego podejścia do projektów osobistych, edukacyjnych czy zawodowych.

„Zapytaj fizyka" jest popularnonaukowym portalem internetowym zarządzanym przez dwóch fizyków z WF UW Piotra Sułkowskiego i Krzysztofa Turzyńskiego. Portal ten nakierowany jest na odpowiadanie na pytania szerokiego grona zainteresowanych dotyczące zjawisk fizycznych, nowych odkryć naukowych, czy wykorzystania fizyki w życiu codziennym. Fizycy prowadzący portal korzystają z wiedzy specjalistów pracujących na Wydziale Fizyki UW, ale dbają, aby w odpowiedziach używać języka zrozumiałego dla laików.

Działacze portalu „Zapytaj fizyka" organizują wykłady, wygłaszane przez znamienitych naukowców i popularyzatorów nauki. Wykłady wygłosili nobliści Roger Penrose i Shuji Nakamura, jak też laureatka medalu Fieldsa Maryna Viazovska. Organizacja tej inicjatywy została doceniona m.in. przyznaniem nagrody popularnonaukowej PAP i MNiSW oraz medalu Ernsta i nagrody popularnonaukowej Polskiego Towarzystwa Fizycznego.

Popularyzować fizykę można za pomocą odpowiednio przygotowanego pokazu popularyzatorskiego. Dr Jerzy Jarosz z Wydziału Nauk Ścisłych Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach przedstawił inicjatywę Ogólnopolskiego Klubu Demonstratorów Fizyki organizowania corocznych spotkań w formie konferencji dydaktycznych grupujących naukowców z wiodących uczelni i zainteresowanych nauczycieli.

Na zajęciach Klubu powtarzane są m.in. historyczne doświadczenia prezentowane szerokiej publiczności, jak np. eksperyment z 1654 roku z półkulami magdeburskimi, ale wykonany kameralnie z dwoma przyssawkami. Organizatorzy pragną poprzez użycie w eksperymentach przedmiotów z życia codziennego, w tym zabawek ukazać, że fizyka jest fundamentem rozwoju cywilizacyjnego a wiedza fizyczna przyczynia się do rozwoju nowoczesnych i innowacyjnych rozwiązań technicznych takich, jak koleje dużych prędkości czy pojazdy z napędem wodorowym.

Fot. 4. Rozdanie nagród laureatom konkursu na maskotkę 48. ZFP.

Fot. 5. Prace laureatów konkursu na portret fizyka.

Fot. 6. Prace laureatów wojewódzkiego konkursu na maskotkę 48. ZFP.

eprasa.pl 19b3d3e593

Fot. 7. Ekspozycja „Rozbitkowie" Czesława Podleśnego z wystawy „Logos & Techne".

Fot. 8. Sesja Popularyzacja fizyki, Jerzy Jarosz.

Fot. 9. Sesja Popularyzacja fizyki, Adam Buczek.

Fot. 10. Sesja Popularyzacja fizyki, Grzegorz Musiał.

Widowiskowym wystąpieniem okazał się pokaz dr Adama Buczka z Politechniki Poznańskiej, który przybliżył słuchaczom zasady przygotowania pokazu popularyzatorskiego. Przestrzegał, aby eksperymentatorzy zwracali uwagą na często pomijane szczegóły, jak np. miejsce przeprowadzenia pokazu, bezpieczeństwo własne i widzów, transport, czas całkowity pokazu obejmujący przywiezienie, montaż instalacji i rozbiórkę.

Referent omówił także źródła inspiracji do przeprowadzenia eksperymentu popularyzatorskiego (festiwale nauki, działania OKDF, filmy i programy telewizyjne, wnikliwa obserwacja otoczenia i przyrody, sieci społecznościowe). Do przeprowadzenia udanego eksperymentu popularyzatorskiego nie trzeba używać drogich urządzeń, można wykorzystać sprzęt codziennego użycia albo zabawki. Jako ilustrację ciekawego pokazu, Adam Buczek przeprowadził błyskotliwy pokaz z użyciem … papieru toaletowego.

Do zdolnych uczniów skierowane są festiwale nauki, werbinaria i konkursy naukowe. Zestawienie konkursów, w tym międzynarodowych przedstawił prof. Grzegorz Musiał z WF UAM w Poznaniu. Prof. Musiał zachęcał nauczycieli, aby mobilizowali zdolnych uczniów do udziału w tego typu konkursach, jak np. turniej IYPT, którego 37 edycja będzie miała miejsce latem 2024 r. w Budapeszcie. Skrót IYPT oznacza International Young Physicists' Tournament (Międzynarodowy Turniej Młodych Fizyków). Referent rozpowszechnił wśród słuchaczy wykładu zadania turniejowe ze strony internetowej IYPT (wraz z ich tłumaczeniem na język polski), które są konieczne do samodzielnego wykonania przez uczniów, aby zostać zakwalifikowanym na wyjazd do Budapesztu.

Tematy dotyczące popularyzacji fizyki zostały zawarte także w plakacie dr Edwarda Rydygiera z Sekcji Nauczycielskiej PTF pt. „Nowoczesna popularyzacja fizyki", który został przedstawiony w sesji plakatowej w dniu 4 września. Autor plakatu przypomniał, że od zreformowania systemu edukacji w 1999 roku, w rządowej polityce edukacyjnej uwzględniane jest pozyskiwanie wiedzy naukowej ze źródeł pozaszkolnych, takich jak muzea nauki, zajęcia organizowane przez uczelnie, pikniki i festyny naukowe oraz media i Internet.

W założeniu twórców reformy media miały spełniać rolę edukacyjną i popularyzatorską. Tymczasem środki masowego przekazu uległy komercjalizacji, wobec czego dziennikarze traktują doniesienia naukowe tak jak ciekawostki lub sensacje, a z naukowców chcą zrobić celebrytów. Jako źródła pozyskiwania wiedzy, medialne informacje naukowe i artykuły popularyzatorskie często nie są wiarygodne, gdyż zawierają wiele błędów, czy też pomyłek świadczących o tym, że ich autorzy posiadają niepełną i ograniczoną wiedzę na tematy naukowe. Odbiorcy mediów otrzymują zatem niepełnowartościowe wiadomości naukowe, których nie potrafią skorygować korzystając z innych źródeł: podręczników, encyklopedii, czy z Internetu.

Niestety, źródła internetowe są również obarczone błędami. Mimo deklaracji, szkoła realizująca wymóg umiejętności i przygotowania uczniów do egzaminów, nie nauczyła absolwentów selekcji pozyskiwanej wiedzy oraz umiejętności porównywania informacji z różnych źródeł. Tymczasem na świecie fizycy uprawiający popularyzację nauki korzystają z nowych technologii informatycznych konstruując gry sieciowe, a w opracowaniach książkowych wykorzystują nowatorskie przekazy polegające na rozmowie z psem o fizyce kwantowej, tworzenie nieistniejącej korespondencji między naukowcami, wstawianie rysunków komiksowych czy też nadają narracji formę science-fiction. Godny polecenia jest tu światowy bestseller chińskiego inżyniera elektryka Cixin Liu pt. „Problem trzech ciał", laureata nagrody Hugo dla najlepszej powieści w 2015 r. Jest to fantastyka oparta na „twardej" nauce rozgrywająca się w środowisku fizyków. Mark Zuckerberg, twórca Facebooka, uznał ją za jedną z najbardziej wartych przeczytania książek. Godną uwagi i wartościową poznawczo jest popularyzacja w wykonaniu wielkich fizyków, jak

eprasa.pl 19b3d3e593

Albert Einstein, a w obecnych czasach Stephen Hawking.

Nauczanie fizyki

Drugiego dnia Zjazdu została przeprowadzona też dyskusja panelowa na temat „Kondycja nauczania fizyki w polskich szkołach – szanse i ryzyko" pod przewodnictwem prof. Andrzeja Wysmołka z WF UW, członka Zarządu PTF. Plan dysputy obejmował takie tematy, jak:

1. Rola fizyki jako przedmiotu ogólnego (czy wszyscy powinni uczyć się fizyki?),
2. Czy potrzeba wiedzy i kształcenie kompetencji mogą iść w parze?
3. Jaka podstawa programowa w szkole podstawowej, a jaka w liceum/technikum?
4. Jak się mają relacje uczeń-mistrz oraz relacje między uczniami we współczesnej szkole?
5. Jak ważna jest czasoprzestrzeń, która sprzyja uczeniu się uczniów od siebie nawzajem oraz pomaga w rozwoju kreatywności?
6. Czy właściwym rozwiązaniem jest ograniczenie materiału obowiązkowego, ale z możliwością poszerzenia wynikającego z zainteresowania uczniów?
7. Czy aktualne programy i formy studiowania fizyki są adekwatne do potrzeb i możliwości wynikających z rozwoju technologicznego?
8. Jak ważne jest dla nauczyciela fizyki umożliwienie realizacji na uczelniach badań dydaktycznych w formie doktoratu oraz habilitacji w ramach dyscypliny fizyka.
9. Czy wykorzystanie sztucznej inteligencji w dydaktyce to dobry pomysł, czy konieczność, zarówno na etapie szkolnym, jak też na uczelniach?

Dyskutanci na postawione we wstępnie pytania udzielili różnych odpowiedzi i oczywiście nie udało się uzgodnić jednego stanowiska. Do tego przewodniczący dopuścił do dyskusji także głosy z sali, więc dysputa w sumie przypominała burzę mózgów. Pewnym wspólnym postulatem okazała się wyrażona w dyskusji potrzeba gruntownego przebudowania procesu nauczania w szkole, definitywne odejście od modelu „pruskiej szkoły" na rzecz aktywizacji uczniów i wspomagania ich indywidualnych zainteresowań. Nauczyciel powinien pomagać uczniom w rozwoju intelektualnym, a nie sucho egzekwować znajomość materiału zapisanego w programach. Obecnie modny liberalny trend indywidualizacji nauczania niszczy życie wspólnotowe i relacje między uczniami, natomiast model relacji mistrz-uczeń w klasie szkolnej jest najlepszy w kontakcie nauczyciela z uczniami i nie ma dla tego modelu alternatywy.

Poruszone w trakcie dyskusji panelowej tematy zostały uszczegółowione na sesji „Nauczanie fizyki" obejmującej wystąpienie Andrzeja Wysmołka „Kto będzie uczył fizyki w szkole? – propozycje PTF przeciwdziałania zapaści kadrowej", referat Anity Miki „O maturze z fizyki słów kilka", referat Joanny Godek „Nauczanie fizyki … czyli czego?", referat Anny Kaczorowskiej „Fizyka dla szkoły ponadpodstawowej na Zintegrowanej Platformie Edukacyjnej" oraz referat Witolda Zawadzkiego „Jak przygotować ucznia do udziału w Olimpiadzie Fizycznej i innych konkursach".

Wystąpienie prof. Andrzeja Wysmołka dotyczyło aktualnej sytuacji kadry nauczycielskiej. Z powodu niskich zarobków w szkolnictwie nauczyciele przechodzą do innych zawodów, a kandydaci na studia nie chcą studiować na uczelniach pedagogicznych. Mimo odpływu kadry Ministerstwo Edukacji i Nauki utrzymuje wysokie kryteria kompetencji dla specjalistów z fizyki, którzy nie skończyli studiów nauczycielskich a chcieliby pracować w szkolnictwie. W obecnych warunkach tacy kandydaci, mimo że posiadają wiedzę merytoryczną, muszą ukończyć płatne dwusemestralne studia podyplomowe przygotowania pedagogicznego.

Aneta Mika z XIV L.O. w Szczecinie podjęła się analizy wyników z matury z fizyki z arkuszy egzaminacyjnych. Egzamin maturalny obecnie zastępuje egzamin wstępny na uczelnie wyższe. Analiza wyników egzaminu maturalnego miała na celu zwrócenie uwagi na stale obniżającą się liczbę maturzystów wybierających

Fot. 11. Dyskusja panelowa o kondycji nauczania fizyki w szkołach.

Fot. 12. Sesja Nauczanie fizyki, Andrzej Wysmołek.

Fot. 13. Sesja Nauczanie fizyki, Witold Zawadzki.

Fot. 14. Sesja dydaktyczna, Michał Warda.

eprasa.pl 19b3d3e593

Fot. 15. Wykład dla uczniów i nauczycieli, prof. Grzegorz Karwasz.

Fot. 16. Sesja plakatowa.

Fot. 17. Wystawa „Zanim powstały komputery" w hallu przed Biblioteką PG.

fizykę jako przedmiot dodatkowy. Wysoki poziom trudności egzaminu z fizyki połączony z obowiązkiem uzyskania w przyszłości progu punktowego może spowodować poważny spadek liczby zdających. Ponieważ egzamin maturalny jest zarazem egzaminem wstępnym na wyższe uczelnie, to poniekąd zrozumiała jest tendencja autorów arkusza maturalnego do stawiania abiturientom wysokich wymagań egzaminacyjnych. Takie działanie być może zapewni dobrych studentów nielicznym wydziałom najlepszych polskich uczelni (wysoki wynik uzyskuje zaledwie kilka procent zdających), ale przy okazji powoduje „odpływ" zdających, a w konsekwencji drastyczny spadek liczby studentów na pozostałych uczelniach wymagających egzaminu z fizyki w procesie rekrutacyjnym.

Trzeba też pamiętać o tym, że nauka w szkole ponadpodstawowej nie jest wyłącznie treningiem przedmaturalnym, a podstawę programową realizuje się w różnorodny sposób i ze wszystkimi uczniami (również tymi, którzy do matury z fizyki nie przystępują). Niestety, z praktyki nauczania widać, że fizyka nie jest dla wszystkich i zgodnie z tą zasadą wybiera ją rokrocznie zaledwie kilka procent przystępujących do egzaminów maturzystów (w roku 2022 – 7%). Ale i ta nieliczna grupa żywo zainteresowanych przedmiotem młodych ludzi uzyskuje w rezultacie wyniki poniżej oczekiwań. Referentka podkreśliła, że warto dostrzec problem i zastanowić się nad jego systemowym rozwiązaniem.

Prof. Joanna Gondek z WMFI Uniwersytetu Gdańskiego w swoim referacie poruszyła powracający na różnych zjazdach problem uproszczenia w podręcznikach i programach nauczania dla szkół podstawowych wzorów definiujących wielkości fizyczne. Do ich prawidłowego opisu i wyprowadzenia potrzebna jest znajomość rachunku różniczkowego i całkowego. Dr Anna Kaczorowska przybliżyła słuchaczom wykorzystanie do prowadzenia zajęć w szkole ponadpodstawowej internetowej Zintegrowanej Platformy Edukacyjnej, na której znajdują się narzędzia do przygotowania materiałów ubarwiających wykład, jak film edukacyjny, gry edukacyjne, audiobooki, symulacje zjawisk fizycznych. Referentka podkreśliła, że są to tylko pomoce edukacyjne i nie wyręczają nauczyciela z prowadzenia zajęć.

Dr Witold Zawadzki z Uniwersytetu Jagiellońskiego omówił pracę nauczyciela nad przygotowaniem zdolnego ucznia do udziału w Olimpiadzie Fizycznej i innych konkursach i turniejach naukowych.

Dydaktyka

W drugim dniu zjazdu została jeszcze przeprowadzona sesja dydaktyczna, która była publiczną prezentacją plakatów z sesji plakatowej wybranych przez Organizatorów. Prezentacje przedstawili: Piotr Piskorski „Wykorzystanie kalkulatorów w edukacji", Andrzej Zięba „Dopasowanie prostej do punktów z niepewnościami dla obydwu współrzędnych. Nowe wyniki dla problemu zapoczątkowanego w XIX wieku", Piotr Kamiński „Wyzwania, przed jakimi stoją uczniowie, studenci oraz nauczyciele przedmiotów ścisłych w kontekście nauczania osób ze specjalnymi potrzebami?", Grzegorz Bergmański „Wirtualne laboratoria fizyczne w edukacji szkolnej i wyższej", Michał Warda „Pogotowie Przedmaturalne z Fizyki na UMCS w Lublinie", Piotr Zieliński „Spontaniczne łamanie symetrii: tekstury w przyrodzie, sztukach plastycznych i w muzyce", Ryszard Barczyński „Wiek XX wiekiem elektroniki – początki: lampa elektronowa", Jarosław Rybicki „O błędnym używaniu i nadużywaniu terminologii z zakresu nauk ścisłych".

Grzegorz Bergmański, nauczyciel fizyki w XI L.O. w Olsztynie, przedstawił wykorzystanie w edukacji wirtualnych laboratoriów opracowanych przez specjalistów amerykańskich wraz z gotowymi scenariuszami lekcji. Z tych pomocy mogą korzystać szkoły, które mają powszechny dostęp do komputerów i sieci internetowej. Taką szkołą jest XI L.O. w Olsztynie, która wyposażona jest w komputery, projektory, 86 calowe ekrany dotykowe oraz korzysta z dziennika elektronicznego. XI L.O. w Olsztynie wraz z S.P. nr 311 i Technikum Informatyczno-Ekonomicznym nr 9 tworzą razem tzw. „Cyfrowe szkoły". Prof. Michał Warda z Instytutu Fizyki na

eprasa.pl 19b3d3e593

Wydziale Matematyki, Fizyki i Informatyki UMCS w Lublinie przedstawił ciekawą inicjatywę naukowców z IF UMCS polegającą na organizowaniu krótkich, intensywnych kursów powtórzeniowych przed maturą dla uczniów liceów. Zajęcia obejmują 5 dni po 4-5 godzin dziennie, a są to wykłady i demonstracje, a także zwiedzanie laboratoriów naukowych. Dzięki dofinansowaniu z MEiN kursy są darmowe dla uczestników i cieszą się dużym zainteresowaniem wśród młodzieży.

Prof. Ryszard Jan Barczyński z Instytutu Nanotechnologii WKiMS PG przestawił rys historyczny rozwoju elektroniki ze szczególnym omówieniem lampy elektronowej. Prof. Barczyński udostępnił uczestnikom Zjazdu swoją prywatną kolekcję różnych lamp elektronowych, w tym egzemplarzy unikatowych.

Prof. Piotr Zieliński z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN wskazał na tekstury (termin z krystalografii) w przyrodzie, sztukach plastycznych i muzyce, gdzie można zaobserwować spontaniczne łamanie symetrii zwane zasadą Curie, gdyż została opisana przez Piotra Curie (1859-1906) w 1894 roku w *Journal de Physique*. Prof. Zieliński w latach 1974-79 studiował fizykę na Uniwersytecie Jagiellońskim, a jednocześnie w 1976 roku ukończył Państwową Szkołę Muzyczną II Stopnia w Krakowie w klasie fortepianu i publikuje artykuły na temat fizycznej interpretacji zjawisk muzycznych.

Na koniec sesji prof. Ryszard Rybicki z PG odwołując się do znanych przykładów odmiennego rozumienia wielkości w fizyce i języku potocznym wskazał na postmodernistyczne interpretacje pojęć i praw wypracowanych w naukach ścisłych. Okazuje się, że nurt filozoficzny zwany ogólnie postmodernizmem (ponowoczesność) podający w wątpliwość wszelkie systemy wartości jako arbitralne i determinujące człowieka, nie tylko szerzy się w socjologii i w sztuce, ale ostatnio wkracza w obszary nauk przyrodniczych.

Wykład dla uczniów i nauczycieli

Wydarzeniem interesującym nauczycieli był specjalny wykład prof. Grzegorza Karwasza z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu pt. „Dlaczego ciała spadają? – czyli kognitywistyczna ścieżka dydaktyczna z podstaw fizyki". Na wykład ten zostały zaproszone grupy uczniów ze szkół podstawowych i z liceów wraz z nauczycielami.

Prof. Karwasz powtórzył na wykładzie znany eksperyment Galileusza, który upuszczając różne przedmioty z Krzywej Wieży w Pizzie udowodnił, że ciała spadają z jednakową prędkością. Sam profesor odegrał Galileusza stojąc na drabinie malarskiej.

Sesja plakatowa

Sesja plakatowa na 48. Zjeździe Fizyków została rozbudowana, gdyż najpierw umożliwiono oddzielną prezentację plakatów o tematyce dydaktycznej, a podczas samej sesji autorzy wybranych przez Organizatorów prac mogli je przedstawić w oddzielnej sali. W sesji posterowej plakaty popularyzatorskie, dydaktyczne czy nauczycielskie zgrupowano w jedną grupę plakatów dydaktycznych w odróżnieniu od plakatów naukowych.

Wystawy

Dla nauczycieli interesujące były różnorodne wystawy zorganizowane w czasie trwania Zjazdu. Biblioteka Główna PG zorganizowała trzy wystawy ze swoich zbiorów: „Zanim powstały komputery" – zabytkowe przyrządy kreślarskie, „Stare druki i manuskrypty" – wybór egzemplarzy z Kolekcji Zbiorów Zabytkowych i Starych Druków oraz „Pionierzy fizyki na Politechnice Gdańskiej".

Atrakcyjna była też wystawa zabytkowych przyrządów fizycznych, pochodzących z pierwszych lat istnienia Politechniki Gdańskiej. Ponadto można było obejrzeć bogatą kolekcję (w tym unikatowych) lamp elektronowych z prywatnych zbiorów prof. Ryszarda Jana Barczyńskiego. W budynku Nanotechnologii zorganizowano interaktywną wystawę optyczną.

Podsumowanie

Gdańsk to centrum kulturalne, naukowe i gospodarcze. W Gdańsku znajduje się 6 publicznych placówek edukacyjnych: Uniwersytet Gdański, Politechnika Gdańska, Gdański Uniwersytet Medyczny, Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu im. Jędrzeja Śniadeckiego, Akademia Sztuk Pięknych oraz Akademia Muzyczna im. Stanisława Moniuszki. Ponadto w Gdańsku funkcjonuje 11 uczelni niepublicznych.

Obywatele miasta Gdańsk wnieśli istotny wkład do fizyki i nauk pokrewnych. W Gdańsku działał astronom Hans Hewelke, nazywany Janem Heweliuszem (1611-1687), który miał zostać kupcem, z zawodu był piwowarem, ale do historii przeszedł jako astronom. W swoim obserwatorium badał księżyc, planety, komety i gwiazdy, a choć jego prace nie mają znaczenia tak fundamentalnego jak dzieła Kopernika, wniósł istotny wkład w poznanie mechanizmów rządzących sferami niebieskimi. Daniel Gralath (1708-1767) burmistrz i burgrabia Gdańska, przedstawiciel intelektualnej, politycznej i finansowej elity wraz z grupą pasjonatów nowinek naukowych założył w XVIII wieku Gdańskie Towarzystwo Przyrodnicze, pasjonował się niedawno odkrytymi zjawiskami elektrycznymi, które z zapałem badał. Był odkrywcą zjawiska oddziaływań elektrostatycznych, które opisał, ale nie sformułował matematycznego wzoru dla swojej teorii. W późniejszym czasie taki wzór zapisał francuski fizyk Charles Coulomb i dlatego na świecie jest uważany za twórcę prawa Coulomba. W Gdańsku urodził się Daniel Gabriel Fahrenheit (1686-1736) wynalazca rtęciowego termometru i autor skali temperatury. Chociaż jako dziecko wyjechał na zawsze do Niderlandów, w Gdańsku kultywowana jest pamięć o nim i jego osiągnięciach. Skala Fahrenheita, nigdy nie stosowana w Gdańsku, używana jest po dziś dzień w niektórych krajach anglosaskich. Przy ul. Długi Targ w Gdańsku znajduje się termometr ze skalą Farenheita.

Dr Edward Rydygier
Autor, fizyk jądrowy, dr nauk techn.,
jest aktywistą Sekcji Nauczycielskiej PTF,
posiada tytuł Fizyka Europejskiego (EurPhys).
Jest także blogerem, działaczem Stowarzyszenia Polskich
Mediów i posiada legitymację prasową.

Fot. – autor

eprasa.pl 19b3d3e593

Foto – Adobe Stock

Dwie królowe

Z natury boimy się nieznanego. Dlatego człowiek od zarania dziejów stara się poznawać otaczający świat, zrozumieć obserwowane zjawiska i próbować zastosować je w życiu. Na przykład skutkiem obserwacji pożarów wywołanych przez pioruny było poszukiwanie sposobów rozniecania ognia. Jaką ulgą było zrozumienie, że błyskawice na niebie to nie oznaka gniewu bożego. Tak rodziła się nauka, w tym filozofia przyrody.

Arleta **Biegańska**

Matematyka i fizyka to dwie nauki, które w znaczący sposób wpływają na nasze poznawanie świata jak i na kształtowanie otaczającej rzeczywistości. Matematyka jest powszechnie uznawana „za królową nauk". Z kolei fizyka nazywana jest „królową nauk przyrodniczych". Dla fizyków królową nauk jest oczywiście fizyka z czym i ja się zgadzam. Wszak to fizyka opisuje świat, w którym żyjemy a matematyka jest narzędziem dla zapisu praw fizyki czy zależności między wielkościami. Tego poglądu na pewno nie popierają matematycy. Mam świadomość tego, że różnica poglądów dotycząca prymatu tych nauk zależy od oceniających. Jedno jest pewne obie te dziedziny wzajemnie się uzupełniają, a ich rozwój często wynika z wzajemnych potrzeb.

Starożytni filozofowie badający naturę, czyli filozofowie przyrody byli również matematykami. Prawdopodobnie pierwszym przypadkiem matematycznego sformułowania eksperymentalnie odkrytego prawa natury było pitagorejskie prawo strun[1]. Podobnie było w czasach nowożytnych. Galileusz informuje, że w swoim traktacie stosuje metodę, której nauczyli go nauczyciele matematyki. W 1686 r. Isaac Newton w swoim dziele „Matematyczne zasady filozofii przyrody" przedstawił matematyczne metody interpretowania zjawisk fizycznych.

W przeszłości uczeni często dokonywali odkryć w dziedzinach obu nauk. Na przykład Blaise Pascal początkowo zajmował się matematyką i opracował m.in trójkąt Pascala. Później zajął się mechanika płynów. Z kolei Isaac Newton był współtwórcą rachunku różniczkowego i całkowego oraz szeregu dwumianowego. Takich przykładów łączenia badań w zakresie fizyki i matematyki w historii rozwoju fizyki znajdziemy więcej.

W miarę rozwoju matematyki zapis podstawowych praw fizyki staje się prostszy i bardziej zrozumiały. W fizyce matematyka stosowana jest w szerokim zakresie. W zakresie ilościowym, strukturalnym i metodycznym.

Szkolna rzeczywistość

Matematyka i fizyka, jak na królowe przystało, są najważniejsze spośród nauk. Z drugiej strony odbierane są jako nieprzystępne oraz trudne do opanowania dla zwykłego śmiertelnika. Czy ten osąd jest prawdziwy?

Na co dzień nie myślimy o tym, że historię matematyki zapoczątkował człowiek pierwotny, gdy po powrocie z polowania dzielił pomiędzy współplemieńców zdobyte jadło. Przecież musiał ocenić potrzeby plemienia tj. policzyć mieszkańców jaskini, ocenić na ile dni wystarczy upolowana zwierzyna i kiedy trzeba wyruszyć na kolejne łowy. Nasz praprzodek nieświadom istnienia fizyki prowadził już pierwsze obserwacje na przykład dotyczące pogody, prowadził doświadczenia związane chociażby

[1] Za G. Gamowem „Biografia fizyki" , rozdział I,

eprasa.pl 19b3d3e593

z rozpalaniem ognia. Później te praktyczne umiejętności rozwijano i próbowano zapisywać.

Małe dzieci bawiąc się nieświadomie przeprowadzają pierwsze doświadczenia. Pierwsza obserwacja to wyrzucanie przez niemowlęta zabawek z wózka. W ten sposób obserwują działanie sił grawitacji. Natomiast dzieci będąc już w szkole jako uczniowie postrzegają matematykę i fizykę jako przedmioty trudne a nawet niepotrzebne. Z drugiej strony codziennie stosują wiedzę i umiejętności z zakresu matematyki i fizyki. Dzieląc się cukierkami „po równo" wykonują działania matematyczne. Ubierając się do szkoły wybierają odpowiednie do warunków pogodowych ubrania, czyli w praktyce stosują wiedzę dotyczącą izolacji termicznej.

Na lekcjach fizyki, chemii, przyrody uczniowie uwielbiają doświadczenia, pokazy naukowe. Płacz i zgrzytanie zębami zaczyna się, gdy trzeba wyjaśnić przebieg obserwowanych zjawisk, zastosować w praktyce poznane prawa, stawiać hipotezy albo policzyć wartości wielkości fizycznych czy przeliczyć jednostki. Często padają słowa „przez matematykę nie lubię fizyki".

Opanowanie podstawowych umiejętności matematycznych m.in. wykonywania prostych obliczeń, umiejętność rozwiązywania równań oraz obliczania pól figur geometrycznych warunkują w dużej mierze osiągnięcie sukcesu na lekcjach fizyki, chemii i nie tylko. Czy programy nauczania matematyki i innych przedmiotów przyrodniczych są zsynchronizowane, czy sprzyjają uczeniu się?

Programy nauczania

Na lekcjach fizyki uczniowie stosują podstawowe umiejętności z zakresu matematyki Są to m.in. wykonywanie obliczeń rachunkowych, rozwiazywanie równań, odczytywanie danych z wykresów, przedstawianie zależności w formie wykresów, obliczanie pól podstawowych figur geometrycznych (np. obliczenie drogi przebytej w czasie z wykorzystaniem wykresu zależności prędkości od czasu). W podstawach programowych z fizyki szkoły podstawowej znajdujemy następujące zapisy dotyczące wiedzy i umiejętności z zakresu matematyki.

Zgodnie z *wymaganiami przekrojowymi* dla fizyki uczeń:

1) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, (…) informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; ilustruje je w różnych postaciach; (…)

5) posługuje się pojęciem niepewności pomiarowej; zapisuje wynik pomiaru wraz z jego jednostką oraz z uwzględnieniem informacji o niepewności;

6) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych;

7) przelicza wielokrotności i podwielokrotności (mikro-, mili-, centy-, hekto-, kilo-, mega-);

8) rozpoznaje zależność rosnącą bądź malejącą na podstawie danych z tabeli lub na podstawie wykresu; rozpoznaje proporcjonalność prostą[2] na podstawie wykresu[3].

Jeśli chodzi o *wymagania szczegółowe* dla fizyki w każdym dziale znajdziemy zapisy dotyczące umiejętności wykonywania obliczeń, rysowania wykresów i odczytywania wartości wielkości fizycznych i zależności między nimi, przeliczania jednostek, wykonywania konstrukcji geometrycznych (np. rysuje konstrukcyjnie obrazy wytworzone przez soczewki).

Na przykład dla działu „Ruch i siły" zapisano wymagania:

Uczeń:

3) przelicza jednostki czasu (sekunda, minuta, godzina);

4) posługuje się pojęciem prędkości do opisu ruchu prostoliniowego; oblicza jej wartość i przelicza jej jednostki; stosuje do obliczeń związek prędkości z drogą i czasem, w którym została przebyta;

6) wyznacza wartość prędkości i drogę z wykresów zależności prędkości i drogi od czasu dla ruchu prostoliniowego odcinkami jednostajnego oraz rysuje te wykresy na podstawie podanych informacji[4].

Podobne przykłady znajdziemy w każdym dziale nauczanej fizyki.

W części „*Warunki i sposób realizacji programu z fizyki*" znajdziemy zapis „Podczas realizacji wymagań podstawy programowej kształcenia ogólnego dla szkoły podstawowej istotne jest zwrócenie uwagi na stopień opanowania następujących umiejętności:

1) rozwiązywania typowych zadań przez wykonywanie rutynowych czynności;(…)

5) matematycznych z użyciem odpowiednich reprezentacji.[5]"

Cele kształcenia – wymagania ogólne zapisane **w** podstawach programowych matematyki[6] wspomagają nauczanie fizyki. Są to min. wymagania z zakresu sprawności rachunkowej, wykorzystywania i tworzenia informacji czy rozumowania i argumentacji.

Potwierdzają to na przykład następujące zapisy:

I. Sprawności rachunkowa.

1. Wykonywanie nieskomplikowanych obliczeń w pamięci lub w działaniach trudniejszych pisemnie oraz wykorzystanie tych umiejętności w sytuacjach praktycznych.

2. Weryfikowanie i interpretowanie otrzymanych wyników oraz ocena sensowności rozwiązania.

II. Wykorzystanie i tworzenie informacji.

1. Odczytywanie i interpretowanie danych przedstawionych w różnej formie oraz ich przetwarzanie.

2. Interpretowanie i tworzenie tekstów o charakterze matematycznym oraz graficzne przedstawianie danych.

3. Używanie języka matematycznego do opisu rozumowania i uzyskanych wyników.

W warunkach i sposobach realizacji programu z matematyki zwrócono uwagę na kształtowanie umiejętności wykonywania obliczeń.

[2] Podkreślenia w tekście moje,

[3] Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej z dnia 14 lutego 2017 r. w sprawie podstawy programowej wychowania przedszkolnego oraz podstawy programowej kształcenia ogólnego dla szkoły podstawowej, (…) (Dz. U. poz. 356, z 2018 r. ze zmianami), załącznik nr2,

[4] Tamże,

[5] Tamże,

eprasa.pl 19b3d3e593

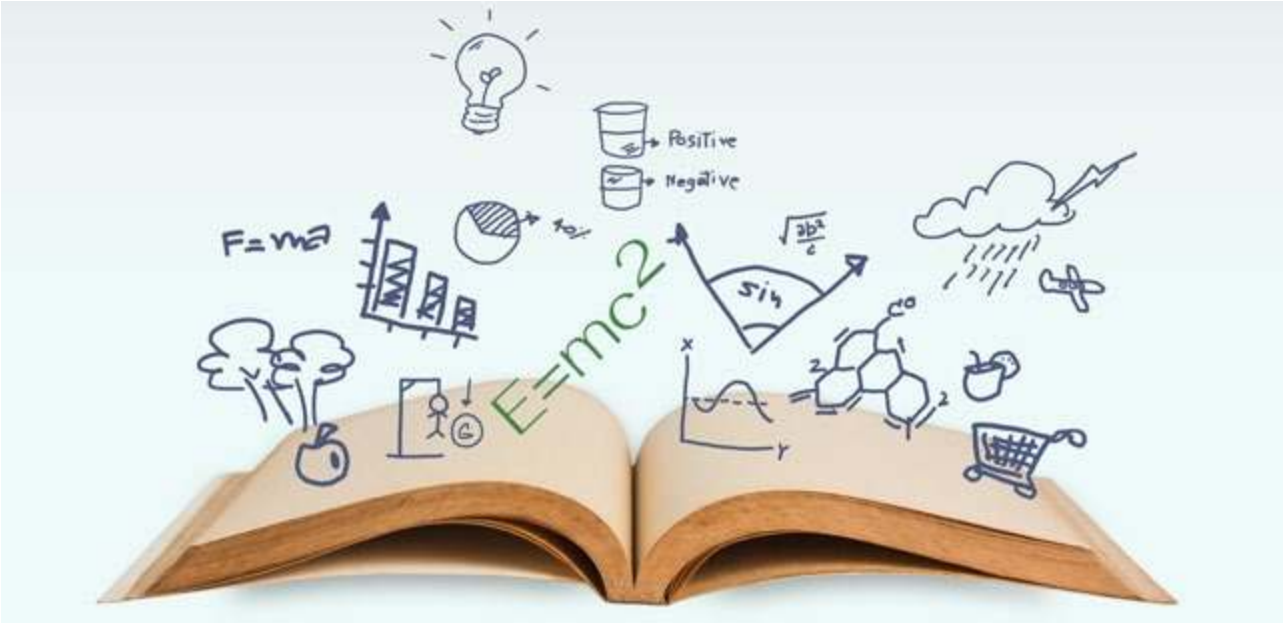


Foto – Dreamstime

„Większość uczniów w praktyce korzysta z kalkulatorów bądź innych urządzeń elektronicznych. Niemniej umiejętność wykonywania rachunków w pamięci, a także pisemnie, jest istotna. Obliczenia pamięciowe, w tym szacowanie wyników, bardzo przydają się w życiu codziennym. Samodzielne wykonywanie obliczeń, zarówno pamięciowych jak i pisemnych, daje uczniom o wiele lepsze wyobrażenie o liczbach i ich wielkościach, niż prowadzenie rachunków za pomocą sprzętu elektronicznego.[7]"

Realizując program z fizyki, na przykład rozwiązując zadania rachunkowe, zapisując wyniki pomiarów w formie tabel, wykresów nauczyciel realizuje po części program z matematyki. Doskonalone i utrwalane są wiadomości i umiejętności z zakresu matematyki. Podobna sytuacja występuje na lekcjach chemii, gdy uczeń zapisuje przebieg reakcji chemicznych, oblicza stężenia procentowe itp.

Analizując program nauczania matematyki dla szkoły podstawowej i programy nauczania matematyki dla szkół ponadpodstawowych zauważyłam na przykład brak treści dotyczących wektorów. Wektory wymienione zostały w treściach programowych kształcenia ogólnego dla liceum ogólnokształcącego (…) w zakresie rozszerzonym w punkcie „3) zna pojęcie wektora i oblicza jego współrzędne oraz długość, dodaje wektory i mnoży wektor przez liczbę, oba te działania wykonuje zarówno analitycznie, jak i geometrycznie"[8].

Nasuwa się pytanie, dlaczego tylko w zakresie programu rozszerzonego matematyki uwzględnia się wektory. Czy dlatego, że materiał zbyt trudny dla zakresu podstawowego czy zbędny?

Natomiast wektory wymienione są już w programie nauczania fizyki w szkole podstawowej – wymaganie 10: „stosuje pojęcie siły jako działania skierowanego (wektor); wskazuje wartość, kierunek i zwrot wektora siły; posługuje się jednostką siły"[9]. W tym przypadku to na nauczycielach fizyki ciąży obowiązek wprowadzenia pojęcia wektora, omówienia jego cech oraz wykonywania prostych działań na wektorach przy obliczaniu siły wypadkowej.

W trakcie nauczania fizyki często występuje zależność wprost proporcjonalna między wielkościami. Na przykład zależność ciężaru od masy, zależności drogi od czasu i inne. Wymienione zależności omawiane są już w klasie VII. Zależność wprost proporcjonalna występuje w programie nauczania matematyki w szkole podstawowej, ale nie zachodzi odpowiednia korelacja czasowa w realizacji programu.

Zgodnie z planem nauczania proponowanym przez wydawnictwo „Nowa Era" pierwszy rozdział z matematyki to „Proporcjonalność prosta"[10]. W poprzedniej edycji podręcznika proporcjonalność prosta była również omawiana w pierwszym rozdziale, a więc na początku roku szkolnego. Przy omawianiu na fizyce zależności ciężaru od masy, zależności drogi od czasu uczniowie mogą stosować nabytą wcześniej na lekcjach matematyki wiedzę na temat proporcjonalności prostej.

Natomiast w planach nauczania matematyki i fizyki proponowanych przez wydawnictwo WSiP proporcjonalność prosta realizowana jest w klasie VII dopiero w dziale V, a więc w drugim półroczu. W tym przypadku występuje brak korelacji między planem nauczania matematyki i fizyki. Zgodnie z planem nauczania fizyki takie

[6] Tamże,

[7] Tamże,

[8] Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej z dnia 30 stycznia 2018 r. w sprawie podstawy programowej kształcenia ogólnego dla liceum ogólnokształcącego, technikum oraz branżowej szkoły II stopnia (Dz. U. poz. 467, z 2020 r. poz. 1248, ze zmianami) Matematyka dział IX. Geometria analityczna na płaszczyźnie kartezjańskiej, zakres rozszerzony pkt 3

[9] Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej z dnia 14 lutego 2017 r. w sprawie podstawy programowej wychowania przedszkolnego oraz podstawy programowej kształcenia ogólnego dla szkoły podstawowej, (…) (Dz. U. poz. 356, z 2018 r. ze zmianami),

[10] Plan wynikowy „Matematyka z kluczem", klasa 7 , wydawnictwo Nowa Era , 2023 r.

eprasa.pl 19b3d3e593

zagadnienia jak ciężar ciała, czy przebyta droga realizowane są w pierwszym półroczu natomiast na matematyce proporcjonalność prosta omawiana jest znacznie później. Wprowadzając te wielkości to nauczyciel fizyki musi wyjaśnić pojęcie proporcjonalności prostej. Mam nadzieję, że w nowej edycji podręczników wydawnictwo WSIP wprowadziło odpowiednie zmiany.

Szkolna rzeczywistość po pandemii

Na czym polega rozwiązywanie zadań z fizyki? W czasie pracy z uczniami zaobserwowałam, że uczniowie dość dobrze radzą sobie z rozpoznaniem zjawiska opisanego w zadaniu, znają prawa i zależności opisujące zjawisko, prawidłowo wypisują dane i wielkości, które trzeba obliczyć, znają odpowiednie wzory. Kłopoty zaczynają się, gdy uczniowie mają wykonać proste przekształcenie wzorów, czy wykonać stosowne obliczenia rachunkowe. Czyli kłopoty zaczynają się w momencie, gdy trzeba zastosować umiejętności matematyczne.

Obecnie obserwuję zwiększenie się tych trudności. Uświadomiłam sobie, że obecni uczniowie klas VII, VIII i starsi to uczniowie, którzy będąc w młodszych klasach doświadczyli nauczania zdalnego. W nauczaniu stacjonarnym uczniowie na lekcjach matematyki pod nadzorem nauczyciela doskonalą sprawność rachunkową, umiejętność rysowania wykresów itp.

Wiemy, że w czasie nauki zdalnej wielu z nich nie wykonywało odpowiedniej liczby ćwiczeń. Mało tego uczniowie nie doskonalili umiejętności korzystania z kalkulatora. Stąd też obserwuje się zwiększenie trudności w wykonywaniu obliczeń koniecznych w trakcie nauki fizyki nawet gdy mogą skorzystać z kalkulatora. Kłopoty z rachunkami powodują zwiększenie złego nastawienia uczniów do fizyki w ogóle.

Przeprowadzone testy diagnostyczne, sprawdziany oraz egzamin ósmoklasisty wykazują, że uczniowie bardzo często pomijają zadania otwarte. Często nawet nie podejmują próby ich rozwiązania. Szczególnie trudne dla uczniów są zadania otwarte wymagające wykonania obliczeń, przekształcania podanych wzorów. Wielu nauczycieli, w tym egzaminatorów zauważa, że uczniowie w testach zostawiają puste pola przeznaczone na zapis rozwiązania zadania otwartego.

Fizyka na egzaminie maturalnym

Potwierdzeniem faktu, że uczniowie unikają fizyki są dane dotyczące tegorocznego egzaminu maturalnego.

W 2023 r. egzamin maturalny był przeprowadzony w dwóch formułach. Absolwenci 4-letniego liceum ogólnokształcącego zdawali egzamin w Formule 2023, natomiast absolwenci 4-letniego technikum (na podbudowie gimnazjum), branżowej szkoły II stopnia oraz absolwenci wszystkich typów szkół z lat ubiegłych zdawali egzamin w Formule 2015.

W tym roku maturę zdawało ogółem 254610 absolwentów. Z tej liczby 24844 absolwentów przystąpiło do egzaminu poprawkowego. Maturę z matematyki zdało 89,3% zdających. Wyższy odsetek zdających jest wśród maturzystów zdających w formule 2023[11]

Fizykę jako przedmiot dodatkowy wybrało 11760 (8%) zdających wg formuły 2023 r osiągając średni wynik 43%[12]. Jest to najniższy wynik spośród przedmiotów przyrodniczych. Niższy wynik uzyskali maturzyści zdający WOS – 42%.

W przypadku egzaminu przeprowadzanego zgodnie z formułą 2015 r. fizykę wybrało 5313 (5%) maturzystów i osiągnęli średni wynik16%[13]. Niższy wynik uzyskano z chemii 14%.

Z egzaminu z fizyki w formule 2023 i formule 2015 łącznie zwolniono 56 laureatów i finalistów Olimpiady Fizycznej[14].

Zastanawiająca jest niska liczba maturzystów wybierających fizykę. Ciekawe są porównania liczby maturzystów wybierających fizykę w zależności od miejsca zamieszkania. Zdecydowanie częściej fizykę wybierają maturzyści z dużych miast wojewódzkich. Na terenie jednego z powiatów w zespole szkół technicznych kształcącym m.in. na kierunkach technik elektronik, technik elektryk, technik mechatronik fizykę zdawało 4 maturzystów na ponad 300 zdających. W innej szkole kształcącej m.in. na kierunkach technik pojazdów samochodowych, technik urządzeń i systemów energetyki odnawialnej, agrotroniki do matury przystąpił jeden uczeń na 247 zdających.

Jeszcze bardziej niepokoją niskie wyniki z egzaminu maturalnego z fizyki. Czy maturzyści są nieprzygotowani do egzaminu czy może zadania egzaminacyjne były zbyt trudne?

Znajomy uczeń liceum bardzo zdolny i pracowity, który rozwiązał wiele zadań z zestawów próbnych i innych potwierdza, że zadania były trudne. W mojej ocenie niektóre zadania były na poziomie akademickim. Czy autorzy zadań uwzględnili znaczne zmniejszenie liczby godzin w ramowych planach nauczania przeznaczonych na fizykę, matematykę i inne przedmioty ścisłe?

Wyniki egzaminu maturalnego z fizyki również zależą od miejsca zamieszkania maturzysty. Obawiam się, że różnice te będą się pogłębiać chociażby z powodu braków kadrowych. Od pewnego czasu media informują o wakatach na stanowisku nauczyciela zwłaszcza dotyczy to nauczycieli przedmiotów ścisłych. W dużych miastach braki kadrowe dyrektorzy szkół mogą uzupełnić zatrudniając m.in. nauczycieli akademickich. Takich możliwości nie ma w szkołach odległych od takich ośrodków.

Kto zasili w przyszłości kadrę inżynieryjną, kto w przyszłości będzie uczył chemii, fizyki, matematyki w szkołach? Już dziś obserwuje się poważne braki kadrowe w tych dziedzinach.

Królowa Matematyka, z racji przepisów wymuszających na absolwentach przystępowanie do matury z matematyki może być spokojna o liczebność swojego „dworu". Dwór Królowej Fizyki w szybkim tempie maleje i oby nie zaniknął.

Arleta Biegańska
Kawęczyn

[11] Informacja o wynikach egzaminu maturalnego 2023.pdf (cke.gov.pl)
[12] M_ogolne_sprawozdanie_2023.pdf (cke.gov.pl), wykresy nr 4 i nr 9,
[13] E_ogolne_sprawozdanie_2023.pdf (cke.gov.pl) wykresy nr 4 i 9
[14] MFAP_fizyka_sprawozdanie_2023.pdf (cke.gov.pl), strona 5

eprasa.pl 19b3d3e593

Foto – Dreamstime

Praca i energia w szkolnym programie fizyki

(Miniatura dydaktyczna)

W jednym z podręczników fizyki dla klasy pierwszej liceum do programu podstawowego autorzy zaproponowali nowe ujęcie realizacji działu „Praca, moc, energia", zaczynając go od pojęcia energii.[1] Przyjrzyjmy się tej propozycji.

Waldemar **Reńda**

Dotąd dział ten rozpoczynaliśmy od pojęcia pracy, podając sposób jej obliczania jako iloczyn działającej na ciało siły i drogi przebytej przez ciało.[2] Pisaliśmy zatem wzór: $W = F \cdot s$, który równocześnie definiował ową wielkość fizyczną. W tym ujęciu energia jest pojęciem wtórnym definiowanym jako zdolność tego ciała do wykonania pracy. Następnie wiązaliśmy ową pracę ze zmianami energii ciał.[3]

Czy można to robić inaczej?

Jeżeli chcemy zacząć ten dział od pojęcia energii, to musimy przyjąć, że jest ona pojęciem pierwotnym w stosunku do pracy. Powinniśmy ją zatem jakoś zdefiniować. I tu pojawia się podstawowy problem. Otóż okazuje się, że w tym ujęciu energia – podobnie jak masa czy ładunek elektryczny – jest pojęciem niedefiniowalnym. A problem komplikuje jeszcze einsteinowska zasada równoważności masy i energii, o której w klasie pierwszej liceum nie jesteśmy jeszcze w stanie nic powiedzieć.[4] Mimo to autorzy o tym wspominają. Obliczają nawet zmianę masy stygnącej w szklance wody. Nie dziwi mnie więc ich stwierdzenie we wstępie, że tak naprawdę, to nie wiadomo, co należy rozumieć pod pojęciem „energia". Obawiam się, że takie podejście do problemu energii raczej odstręczy uczniów od fizyki, niż do niej zachęci. Zatem proponowane przez autorów rozwiązanie metodyczne uważam za ryzykowne i dydaktycznie wątpliwe.

Wróćmy jednak do relacji pomiędzy pojęciami energii i pracy.

Prawdopodobnie suma energii i masy we Wszechświecie jest stała. Zachodzą zatem jedynie ich zmiany. Pomijając ową zasadę równoważności masy i energii, to na ogół obserwujemy jedynie zmiany wartości energii (ΔE) lub jej przemiany. Każdej takiej zmianie odpowiada praca równa owej zmianie.[5] Można więc usunąć pojęcie pracy i mówić jedynie o zmianach energii.[6]

---

[1] Pojęcie – nazwa ogólna, będąca wspólną cechą danej klasy ciał, zjawisk i procesów oraz ich właściwości. W fizyce pewną grupę pojęć stanowią wielkości fizyczne. Wielkość fizyczna to mierzalna cecha ciała, zjawiska lub procesu fizycznego. Wielkość fizyczna może też określać stan, w jakim się znajduje dane ciało lub układ ciał. Taką wielkością jest właśnie energia. Natomiast praca mechaniczna to wielkość fizyczna, która dotyczy procesu fizycznego.

[2] Pod warunkiem, że wektor siły ma stałą wartość i w każdym punkcie toru jest do niego styczny.

[3] Warto zauważyć, że nie wytwarza się energii, lecz się ją jedynie przetwarza.

[4] Można o tym mówić dopiero w kl. IV przy okazji omawiania defektu masy oraz zjawiska anihilacji elektronów.

[5] Mówimy tu o pracy mechanicznej. Jest jeszcze praca fizjologiczna, która dotyczy procesów biochemicznych zachodzących np. w mięśniach czy w mózgu.

[6] W tym przypadku mocą mechaniczną nazywać będziemy szybkość owej zmiany, czyli $\Delta E/\Delta t$.

eprasa.pl 19b3d3e593

Czy słusznie? Oczywiście, bo choć na przykład jesteśmy w spoczynku względem Ziemi, to przecież uczestniczymy w ruchu obrotowym Ziemi czy w jej ruchu orbitalnym i nie tylko. Nie istnieje bowiem układ, o którym moglibyśmy powiedzieć, że jest on w absolutnym spoczynku. A zatem, obliczając energię kinetyczną poruszającego się samochodu, obliczmy w zasadzie jedynie zmianę jego energii kinetycznej: $\Delta E_k = ½\, m \cdot v^2$. Jeżeli jednak skorzystamy ze wzoru: $E_k = ½\, m \cdot v^2$, to musimy wyraźnie stwierdzić, że jest to energia kinetyczna owego samochodu względem układu jaki przyjęliśmy, a więc np. względem Ziemi.

Podobnie jest z energią potencjalną grawitacji.[7] Obliczamy zawsze jedynie jej zmianę ze wzoru: $\Delta E_p = m \cdot g \cdot h$. Dodam, że wzór ten jest słuszny jedynie w polu jednorodnym. Czy można obliczyć bezwzględną wartość energii potencjalnej ciała? Otóż nie, bo każde ciało jest pod działaniem wielu pól grawitacyjnych. Jeżeli ograniczymy się do pola grawitacyjnego Ziemi, to energię potencjalną grawitacji ciała o masie *m* możemy obliczyć ze wzoru: $E_p = -\, G \cdot M_Z \cdot m/r$, gdzie *r* to odległość ciała od środka masy Ziemi. Nie jest to jednak całkowita (bezwzględna) wartość energii potencjalnej tego ciała.

Jest jeszcze energia potencjalna sprężystości. Związana jest ona z oddziaływaniem międzycząsteczkowym. Obliczamy ją zwykle ze wzoru: $E_s = ½\, k \cdot \Delta l^2$. Nie wnikając w istotę tych oddziaływań, możemy tu również mówić o jedynie zmianie energii owych oddziaływań, czyli zmianie energii wewnętrznej ciała.

Podobnie jest i ze zmianą energii wewnętrznej związanej ze zmianą temperatury ciała. Mamy tu, oprócz składowej potencjalnej, również zmianę energii kinetycznej ruchu cząsteczek. W przypadku gazu idealnego można wprawdzie ową energię kinetyczną związać z temperaturą ciała wzorem: $E_k = N_{cz} \cdot ⅜\, kT$, ale obliczamy zwykle zmiany owej energii ze wzoru: $\Delta E_w = Q + W$, przy czym ciepło jak i praca mogą tu przyjmować zarówno wartości dodatnie jak i ujemne.

Przyjrzyjmy się bliżej owym zmianom energii oraz związanej z nimi pracy. Jak wiemy, owa praca może zarówno towarzyszyć wzrostowi energii ciała/układu, jak i jej zmniejszeniu.

W programie szkoły podstawowej jak i w programie podstawowym w szkołach średnich nie definiujemy pojęcia pracy. Ograniczamy się w zasadzie do wspomnianego wyżej wzoru obliczeniowego. Natomiast w programie rozszerzonym powinniśmy zdefiniować ową wielkość fizyczną jako iloczyn skalarny wektora działającej na ciało siły i wektora przemieszczenia:[8] $W = \mathbf{F} \circ \Delta\mathbf{r} = F \cdot r \cdot \cos \alpha_{(\mathbf{F}, \Delta\mathbf{r})}$. Przy czym tu również musimy założyć, że $\mathbf{F}$ = constans[9] oraz że przemieszczenie odbywa się po prostej.[10]

Tak obliczona wartość pracy[11] może zawierać się w przedziale od: $F \cdot \Delta r$ dla $\alpha = 0°$, poprzez zero dla: $\alpha = 90°$ do: $-F \cdot \Delta r$ dla $\alpha = 180°$.

Pierwszy przypadek zachodzi np. wówczas, gdy zwiększa się prędkość ciała pod wpływem siły wypadkowej na poziomym torze. Wówczas owa praca związana jest ze wzrostem energii kinetycznej ciała: $W_w = \Delta E_k$.[12]

Drugi przypadek dotyczy np. pracy siły grawitacyjnej działającej na poruszające się ciało ruchem jednostajnym po poziomym torze. Dotyczy to również pracy siły reakcji podłoża. W tym przypadku energia kinetyczna nie ulega zmianie.

Trzeci przypadek dotyczy zjawiska hamowania ciała na poziomym torze. Wówczas wektor działającej na ciało siły tarcia ma zwrot przeciwny do wektora przemieszczenia, wykonana praca ma wartość ujemną i następuje zmniejszenie energii kinetycznej ciała.

Zauważmy też, że gdy na ciało działają siły, ale ciało nie przemieszcza się ($\Delta\mathbf{r} = 0$), to $W = 0$. Podobnie jest, gdy ciało przemieszcza się, ale na ciało nie działają siły lub działające siły równoważą się, np. jazda na ślizgawce. Tu również $W = 0$. Podobnie jest w ruchu jednostajnym po okręgu – np. na karuzeli. Tu nie wykonuje pracy siła dośrodkowa.

A teraz o pracy w polu grawitacyjnym i zmianach energii potencjalnej ciała/układu. Rozpatrzmy następujące przypadki:

1. Podnoszenie pionowe ciała ruchem jednostajnym prostoliniowym.

Działamy wówczas na ciało siłą zewnętrzną równą działającej na ciało sile ciężkości. Wykonuje ona wówczas pracę:[13]

$$W = m \cdot g \cdot \Delta h.$$

Z pracą tą związane jest zwiększenie energii potencjalnej ciała/układu o tę wartość.[14]

2. Pionowe opuszczanie ciała ruchem jednostajnym**.**

Siłą zewnętrzną dla tego układu jest siła utrzymująca to ciało. Ma ona wartość siły ciężkości, ale przeciwny zwrot. Jeżeli skorzystamy ze wzoru na iloczyn skalarny, to $a = 180°$. Dla tej wartości kąta $\cos \alpha = -1$ i w efekcie otrzymamy ujemną wartość pracy, czyli zmniejszenie się energii potencjalnej układu Ziemia-ciało. Jeżeli natomiast zastosujemy wzór: $W = -\, m \cdot g \cdot \Delta h$, to $\Delta h < 0$, bo $h_2 < h_1$. Uzyskamy więc tę samą wartość pracy, co poprzednio. A co się stało z ową energią? Nie zamieniła się w energię kinetyczną, bo v = constans. Najprawdopodobniej więc uległa rozproszeniu w urządzeniu wykonującym tę czynność.[15]

---

[7] A w zasadzie sił ciężkości.

[8] W danym układzie odniesienia.

[9] Taki zapis oznacza, że nie ulega zmianie jego wartość, kierunek i zwrot.

[10] Dopiero w programie uniwersyteckim można będzie wprowadzić wzór: $W = \int_A^B \vec{F} \circ d\vec{r}$

[11] Dla wielkości skalarnych można pominąć słowo wartość, ale należy pamiętać, że każda wielkość fizyczna ma jakąś wartość.

[12] Pomijam tu pracę siły oporu.

[13] Uwzględniam tu fakt, iż Ziemia nie jest układem inercyjnym. Dlatego używam wartości przyspieszenia ziemskiego g, a nie natężenia pola grawitacyjnego γ.

[14] Pamiętamy, że energia ciała w centralnym polu grawitacyjnym przyjmuje wartości ujemne. Por.: w/w wzór.

[15] Zwykle jest to praca siły tarcia na bębnie, na którym nawinięta jest lina nośna.

eprasa.pl 19b3d3e593

3. Swobodne spadanie ciał w polu grawitacyjnym Ziemi.[16]

Na ciało działa siła ciężkości $F_c = m \cdot g$. Wywołuje ona ruch jednostajnie przyspieszony[17] z przyspieszeniem **g**. Po przebyciu drogi równej Δh spadające ciało uzyskuje względem Ziemi energię kinetyczną: $\frac{1}{2} m \cdot v^2$.

Równocześnie zmniejsza się energia układu o: $m \cdot g \cdot \Delta h$.

Korzystając ze znanych wzorów na drogę i prędkość dla tego typu ruchu, można łatwo udowodnić, że:

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot \Delta h.$$

Ponieważ jednak $\Delta h < 0$, zatem $m \cdot g \cdot \Delta h < 0$. Możemy zatem napisać:

$$\Delta E_k = -\Delta E_p \text{ lub } \Delta E_k + \Delta E_p = 0$$

Jak widać, suma energii potencjalnej i kinetycznej ciała w jego swobodnym spadaniu nie ulega zmianie. O ile bowiem wzrosła energia kinetyczna ciała, o tyle zmniejszyła się energia potencjalna układu.[18] Nastąpiła jedynie zamiana energii potencjalnej w kinetyczną. Oczywiście towarzyszyła temu procesowi praca pola o wartości równej tej zmianie.

4. I jeszcze ściskanie sprężyny.

Na sprężynę działamy siłą tak, że zmniejsza się jej długość o Δl.

Siła zewnętrzna wykonuje wówczas pracę:

$$W = \frac{1}{2} F_{max} \cdot \Delta l.$$

Praca ta wywołuje pojawienie się energii sprężystości równej tej pracy. Jest to rodzaj energii wewnętrznej związanej ze zmianą odległości międzycząsteczkowych, a zatem i energii potencjalnej owych oddziaływań.[19]

W czasie rozprężania wykonywana jest praca siły zewnętrznej. Podobnie jak w przypadku opuszczania ciała ruchem jednostajnym w polu grawitacyjnym, wykonana praca ma wartość ujemną, a więc sprawia, że maleje energia sprężystości owej sprężyny.

W przypadku rozprężającego się łuku jego cięciwa naciska na strzałę, przekazując jej energię sprężystości łuku. Nastąpiła zamiana energii sprężystości łuku na energię kinetyczną strzały. Oczywiście siła działająca na strzałę wykonuje odpowiednią pracę. I to ona niejako wywołuje tę zamianę.

Jak widać, zmianie energii ciała/układu zawsze odpowiada praca równa tej zmianie. I o ile w przypadku swobodnego ruchu ciał w polu grawitacyjnym[20] można pominąć pojęcie pracy,[21] to w przypadku, gdy na ciało lub dany układ działają siły zewnętrzne, trudno jest zrezygnować z tego pojęcia.

Można wprawdzie wzór: $E_p = m \cdot g \cdot h$ wyprowadzić jako różnicę energii potencjalnej ciała w polu grawitacyjnym,[22] to wzory na energię kinetyczną i sprężystości możemy wyprowadzić, posługując się jedynie pojęciem pracy.

Uwaga! W przypadku wystąpienia sił dyssypacyjnych (tarcia zewnętrznego lub wewnętrznego), energia mechaniczna może zamienić się w energię wewnętrzną ciał objawiającą się wzrostem ich temperatury.[23]

Oto przykład:

Zawieśmy obok siebie dwie kule z plasteliny i odchylmy jedną z nich. Następnie pozwólmy na ich zderzenie. Następnie obliczmy energię kinetyczną kul po ich całkowicie niesprężystym zderzeniu (kule sklejają się) i porównajmy ją z energią kinetyczną kuli przed zderzeniem.

Przed zderzeniem: $E_{k1} = \frac{1}{2} m_1 \cdot v_1^2$

Zgodnie z zasadą zachowania pędu:

$$m_1 \cdot v_1 = (m_1 + m_2) \cdot v_2$$

Stąd:

$$v_2 = m_1 \cdot v_1 / (m_1 + m_2)$$

Zatem energia kinetyczna kul po zderzeniu:

$$E_{k2} = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) \cdot v_2^2 = m_1^2 \cdot (m_1 + m_2) \cdot v_1^2 / 2(m_1 + m_2)^2 = m_1^2 \cdot v_1^2 / 2(m_1 + m_2)$$

Podzielmy licznik i mianownik przez m_1

Otrzymamy:

$$E_{k2} = m_1 \cdot v_1^2 / 2(1 + m_2/m_1)$$

Jeżeli $m_1 = m_2$, to $E_{k2} = m_1 \cdot v_1^2 / 2(1 + 1) = \frac{1}{2} E_{k1}$

Jak widać, w zderzeniu niesprężystym $E_{k2} < E_{k1}$

Ów ubytek energii jest równy pracy odkształcającej zderzające się kule.

Poprzez tę pracę połowa energii kinetycznej pierwszej kuli zamieniła się na energię wewnętrzną (cieplną) obu kul.

Otrzymany tu wynik można sprawdzić doświadczalnie, mierząc wysokość wzniesienia kuli pierwszej przed opuszczeniem, a następnie wysokość obu kul osiągniętej po zderzeniu, obliczając i porównując obie energie potencjalne.

---

[16] Swobodne spadanie to ruch wyłącznie pod wpływem siły ciężkości. Obliczenia dotyczą pola jednorodnego. Ponieważ w tym przypadku $\Delta h \ll R$ Ziemi, możemy zatem przyjąć, że jest to pole jednorodne.

[17] Zakładamy, że ruch odbywa się w polu jednorodnym, czyli g = constans.

[18] Zasada zachowania energii mechanicznej w układach odosobnionych. Przypomnę, że układem odosobnionym nazywamy taki układ, na który nie działają siły zewnętrzne, lub siły te równoważą się. Uwzględniając procesy termodynamiczne, należy rozszerzyć tę definicję, dodając warunek, by między danym ciałem lub układem ciał a otoczeniem nie występowała wymiana energii wewnętrznej i promienistej, co jest bardzo trudne do uzyskania.

[19] Dlatego owa energia zaliczana jest do energii potencjalnych. Dodam: tak, jak energia sprężystości jest energią wewnętrzną ciał, tak i siły sprężystości są siłami wewnętrznymi. Natomiast siły pomiędzy sprężyną a ciałem zewnętrznym to siły, o których mowa w III zasadzie dynamiki, a więc jedna z nich to akcja, a druga to reakcja.

[20] Czyli bez udziału sił zewnętrznych. Przykładem zmian energii ciała poruszającego się swobodnie w polu grawitacyjnym może być również okresowa zamiana części energii potencjalnej na kinetyczną i odwrotnie, jaka zachodzi w czasie ruchu planety po orbicie eliptycznej.

[21] Pomija się również pojęcie pracy w przypadku analizowania ruchu wahadła czy też drgań ciężarka zawieszonego na sprężynie w polu grawitacyjnym. W tym drugim przypadku następują okresowe zmiany zarówno energii potencjalnej ciężarka i jego energii kinetycznej, jak i energii sprężystości sprężyny.

[22] Przy założeniu, że: $h = \Delta r \ll R$ Ziemi. Ale takie wyprowadzenie możemy pokazać uczniom dopiero w czasie realizacji działu o grawitacji, a więc nie w dziale: „Praca, moc, energia".

[23] Siły dyssypacyjne to siły rozpraszające energię.

eprasa.pl 19b3d3e593

Przy okazji zauważmy, że we wszystkich oddziaływaniach ciał spełniona jest zasada zachowania pędu, ale może nie być spełniona zasada zachowania energii mechanicznej.

Czy przedstawione tu relacje pomiędzy pracą a energią można przedyskutować z uczniami? Oczywiście że tak, ale jedynie z tymi, którzy realizują rozszerzony program nauczania fizyki. Pewnym problemem może być ów iloczyn skalarny, bo pierwszoklasiści nie znają jeszcze funkcji trygonometrycznych. Można jednak pokazać, że „pracuje" tylko ta składowa siły działającej na ciało, która jest styczna do wektora przemieszczenia. Nie próbujmy jednak rozszerzać definicji energii poza tę, że jest to wielkość fizyczna będąca cechą ciał lub ich układu. To, że jest jedną z form materii, to uczniowie dowiedzą się o tym dopiero w klasie czwartej.

W przypadku realizacji programu podstawowego należy stosować ujęcie tradycyjne, a więc rozpocząć ten dział od pojęcia pracy, energię definiować jako zdolność do wykonania pracy, a wzory na energię kinetyczną i potencjalną wyprowadzać, korzystając ze wzoru na pracę: $W = F \cdot s$. Zauważmy jednak, że w tym ujęciu zarówno energia kinetyczna jak i potencjalna ciała mają charakter względny; energia kinetyczna zależy bowiem od układu, w którym opisano dany ruch, a energia potencjalna zależy od poziomu przyjętego jako zerowy.

Jeżeli zaś zaczniemy ten dział od pojęcia energii, to musimy powiedzieć, że energia jest funkcją stanu, w jakim znajduje się dane ciało. Oznacza to, że każdemu stanowi ciała lub układowi ciał można przypisać jedną i tylko jedną wartość energii, która określa ów stan. W tym ujęciu praca jest funkcją zmiany tego stanu i jest miarą zmiany energii ciała lub układu ciał określonej w danym układzie odniesienia. Uważam jednak, że można o tym mówić jedynie, gdy pracujemy z uczniami realizującymi program rozszerzony.

I na koniec: czy zmiana kolejności realizacji tematów programowych jest błędem dydaktycznym? Otóż nim nie jest, jeżeli jest logicznie uzasadniona. Bywa np., że realizację działu „Dynamika" rozpoczynamy od III zasady Newtona, co jest konsekwencją definicji siły jako miary wzajemnego oddziaływania ciał.[24]

Czy możliwe są inne zmiany? Zapewne – tak, ale pod warunkiem, że nie burzą struktury pojęciowej danego działu i całego programu fizyki.[25] Mimo to ich nie zalecam, bo **podręcznik powinien zawierać rzetelną wiedzę przekazywaną w dobrze sprawdzonych formach nauczania** i w kolejności, jaką wskazuje obowiązująca *Podstawa programowa*. Natomiast eksperymenty zostawmy eksperymentatorom.

Waldemar Reńda
Olkusz

[24] Pisałem o tym szerzej w art. *O problemach z zasadami i nie tylko…, Fizyka w Szkole, 5/2023.*

[25] Autorzy wspomnianego na wstępie podręcznika nie tylko dokonali zmiany kolejności realizacji działu „Praca, moc, energia", ale zmienili kolejność całych działów, co uważam za niestosowne, bo zmiana nauczyciela, podręcznika lub szkoły może przysporzyć uczniom nie lada kłopotów.

Co w fizyce piszczy

Próżnia nie całkiem pusta

Absolutnie pusta – tak większość z nas wyobraża sobie próżnię. Jednak w rzeczywistości jest wypełniona energetycznym migotaniem: fluktuacjami kwantowymi. Eksperci przygotowują obecnie eksperyment laserowy, którego celem jest weryfikacja fluktuacji próżni w nowatorski sposób, co może potencjalnie dostarczyć wskazówek dotyczących nowych praw fizyki.

Świat fizyki od dawna zdaje sobie sprawę, że próżnia nie jest całkowicie pusta, ale jest wypełniona wahaniami próżni – złowieszczym kwantowym migotaniem w czasie i przestrzeni. Chociaż nie można go uchwycić bezpośrednio, jego wpływ można zaobserwować pośrednio, na przykład poprzez zmiany w polach elektromagnetycznych drobnych cząstek.

Jednakże nie było jeszcze możliwe zweryfikowanie wahań próżni bez obecności jakichkolwiek cząstek. Gdyby udało się to osiągnąć, jedna z podstawowych teorii fizyki, a mianowicie elektrodynamika kwantowa (QED), zostanie udowodniona w obszarze dotychczas nietestowanym. Gdyby jednak taki eksperyment ujawnił odchylenia od teorii, sugerowałby istnienie nowych, nieodkrytych wcześniej cząstek.

Taki eksperyment planowany jest w ramach Helmholtz International Beamline for Extreme Fields (HIBEF) z Drezna i centrum badawczego w Hamburgu. Używając największego lasera rentgenowskiego na świecie XFEL chcą wystrzeliwać krótkie, intensywne błyski światła do próżniowej komory ze stali nierdzewnej.

Oryginalna koncepcja zakładała wstrzelenie do komory tylko jednego optycznego błysku lasera i zastosowanie specjalistycznych technik pomiarowych w celu zarejestrowania, czy zmienia on polaryzację błysku rentgenowskiego. Istnieje jednak problem: „Sygnał prawdopodobnie będzie wyjątkowo słaby" – wyjaśnia prof. Ralf Schützhold – „Możliwe, że tylko jeden na bilion fotonów rentgenowskich zmieni swoją polaryzację".

Może to jednak być poniżej aktualnego limitu pomiaru – zdarzenie może po prostu przedostać się przez szczeliny niezauważone. Dlatego Schützhold i jego zespół opierają się na wariancie: zamiast tylko jednego zamierzają wystrzelić jednocześnie dwa optyczne impulsy laserowe do próżniowej komory.

Obydwa błyski uderzą w to samo miejsce i dosłownie zderzą się ze sobą. Zderzające się błyski lasera wpływają na impuls promieni rentgenowskich jak rodzaj kryształu. Tak jak promienie rentgenowskie ulegają ugięciu, tj. odbiciu, podczas przechodzenia przez naturalny kryształ, tak impuls promieni rentgenowskich XFEL powinien być również odchylany przez krótko istniejący „kryształ świetlny" dwóch zderzających się błysków lasera.

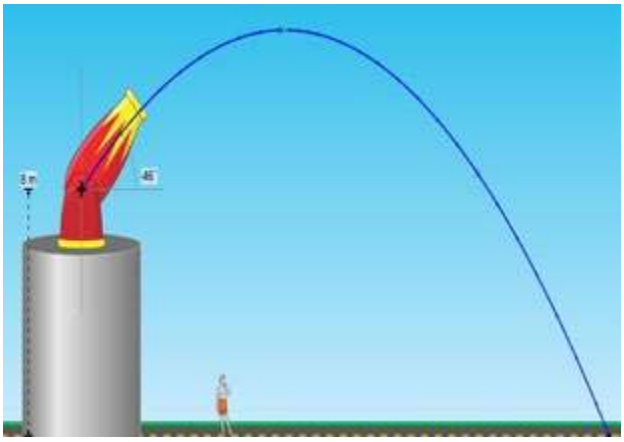
„To nie tylko zmieniłoby polaryzację impulsu rentgenowskiego, ale jednocześnie nieznacznie ją odchyliłoby" – wyjaśnia Ralf Schützhold. Ta kombinacja może zwiększyć szanse na faktyczne zmierzenie efektu – mają nadzieję naukowcy.

https://www.sciencedaily.com/

eprasa.pl 19b3d3e593

Analityczne formułowanie funkcji położenia ciała w ruchu ukośnym

Zrozumienie ruchu ukośnego jest trudne ze względu na jego dwuwymiarowy charakter. Jest oczekiwanie, że uczeń będzie używał wzoru na ruch ze zmienną prędkością w kierunku pionowym, ponieważ działa na to ciało siła grawitacji i ze stałą prędkością w kierunku poziomym, ponieważ siła grawitacyjna w tym kierunku nie działa. Czy uczeń może się przekonać o tych właściwościach ruchu i udowodnić je matematycznie?



Andrzej **Sokołowski**

Lekcja poniższa jest przykładem dydaktycznym [2], podczas którego uczeń ma okazje wyprowadzić te właściwości na podstawie danych doświadczalnych i prostej matematycznej analizy, która nie wykracza poza znajomości funkcji liniowych i kwadratowych. Uczeń formułuje matematyczne równania ruchu i na tej podstawie utwierdza się w przekonaniu, że ciało nie przyśpiesza w kierunku poziomym tylko w pionowym.

Lekcje tą możemy zrealizować jako wprowadzającą do poznania właściwości tego ruchu. Takie wprowadzenie byłoby sugerowane, ponieważ dałoby nauczycielowi możliwość odniesienia się do przedstawiania tych właściwości podczas rozwiazywania zadań na ruch ukośny.

Jakkolwiek tradycyjnie ruch poziomy jest traktowany jako oddzielny ruch, sugeruję, aby ruch poziomy był traktowany jako szczególny przypadek ruchu ukośnego.

Jako podstawę dane wykorzystujemy symulacje dostępne na: https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion_all.html.

Przebieg lekcji

Cel: Formułowanie funkcji położenia dla pionowego i poziomego ruchu obiektu.

Nauczyciel demonstruje ruch ukośny wykorzystując symulacje i zadaje uczniom poniższe pytania:

Problem 1. Czy obiekt przyśpiesza w kierunku pionowym? Umotywuj swoją odpowiedź. _____

_____

Problem 2. Jaki typ funkcji (wykładnicza, kwadratowa, liniowa itp.) będzie modelować pionową składową położenia obiektu? Umotywuj odpowiedź za pomocą własności funkcji liniowych i zasad fizyki. _____

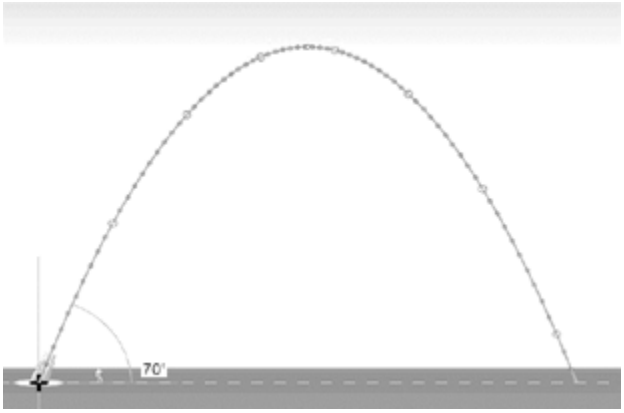
_____

Problem 3. Obiekt nie przyśpiesza w kierunku poziomym, ponieważ żadna siła nie działa na niego w kierunku poziomym. Biorąc pod uwagę tę zasadę, jaka funkcja algebraiczna będzie modelować położenie obiektu w kierunku poziomym? _____

_____

Nauczyciel objaśnia, jak pobrać dane i uporządkować te dane w tabeli.

Rycina poniższa przedstawia trajektorie ruchu ukośnego. Większe okrągłe kropki na trajektorii wskazują położenie ciała po każdej *sekundzie* ruchu.



Rycina 1. *Obraz ruchu ukośnego.*

Użyj linijki i ołówka, aby narysować linie pomocnicze do wykonania pomiarów i użyj tych linii, aby pomierzyć położenie ciała w podanych odstępach czasu.

- Wyróżnij wszystkie większe okręgi na trajektorii i narysuj pionowe i poziome linie, aby oznaczyć pionowe i poziome położenia obiektu na osiach.
- Zaczynając od pozycji (0,0), zmierz, za pomocą linijki, położenie obiektu wzdłuż kierunków x i y. Uzupełnij. **Tabelę 1**.

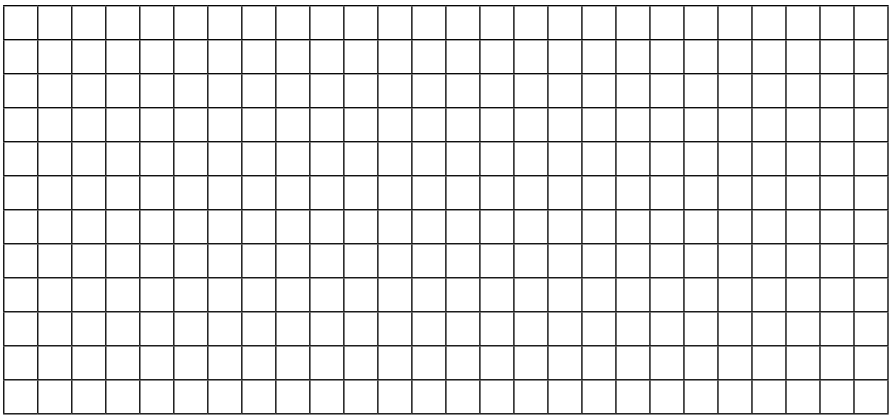
eprasa.pl 19b3d3e593

Tabela 1

1	Czas (s)	0	1	2	3	4	5	6	7
2	**Pozycja w kierunku poziomym (cm)**								
3	**Pozycja w kierunku ukośnym (cm)**								

Analiza. Część 1: Formułowanie poziomego wykresu ruchu i jego funkcji.

- Oznacz oś pionową jako ***x (cm),*** a poziomą jako ***t(s)*** na poniższej siatce
- Nanieś dane z wierszy 1 i 2 z Tabeli 1 na poniższą siatkę.
- Czy wykres jest liniowy? _____
- Za pomocą linijki, narysuj najlepiej dopasowaną linię, znajdź jej nachylenie, a następnie jej równanie algebraiczne.



- Napisz równanie tej funkcji x**(t) =** _____
- Odwołując się do właściwości funkcji, czy ciało przyśpiesza w kierunku poziomym? _____
- Jaka jest pozioma składowa prędkości początkowej tego ciała?_____

Dodatkowe pytania

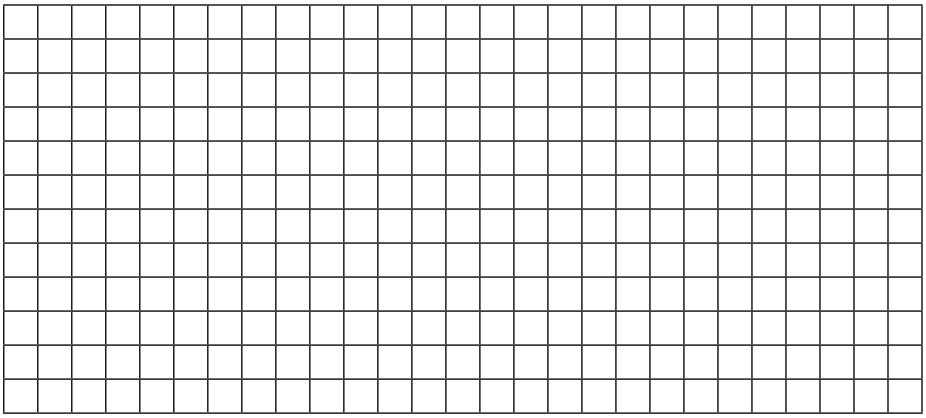
1. Korzystając z wykresu (Rycina 1), oszacuj, kiedy ciało wylądowało na ziemi: _____
2. Użyj sformułowanej funkcji **x(t)** i oblicz poziomą odległość przebytego ruchu. Porównaj obliczoną odległość z Rycina 1. Czy te odległości są porównywalne?
3. Korzystając z Ryciny 1, oszacuj przybliżony czas, kiedy ciało osiąga maksymalną wysokość.

- Jaką odległość poziomą przebył ten obiekt po osiągnięciu maksymalnej wysokości?

Analiza. Część 2: Generowanie funkcji dla pionowego położenia ciała.

Ze względu na przyjętą skalę (w centymetrach) przyśpieszenie w kierunku pionowym nie wyniesie –9.8 $\frac{m}{s^2}$.

- Oznacz **y(cm)** na osi pionowej i t(s) na osi poziomej. Wykreśl punkty z wierszy **1** i **3** z Tabeli 1.



- Korzystając z krzywików narysuj krzywą o najlepszym dopasowaniu do tych danych.
- Czy ciało porusza się ruchem zmiennym w kierunku pionowym?

eprasa.pl 19b3d3e593

- Znajdź równanie funkcji wykresu. Użyj poniższego wzoru:

$$y(t) = \frac{a}{2}(t - t_v)^2 + y_v$$

  - Zastąp (t_v, y_v) przez wartości liczbowe współrzędnych wierzchołka tej funkcji, użyj linijki do ich pomiarów.
  - Aby obliczyć „*a*" (przyśpieszenie), użyj dodatkowej współrzędnej, a więc dowolnej wartości (*t, y*) z powyższego wykresu i rozwiąż otrzymane równanie na *a* i napisz to równanie.

    $y(t) =$ _____

Fakty do zapamiętania przy rozwiązywaniu zadań dotyczących ruchu ukośnego w polu grawitacyjnym ziemi:

- Funkcja położenia ciała w kierunku pionowym jest kwadratowa:

$$y(t) = y_0 + v_y t - \frac{9.8t^2}{2}$$

- Funkcja położenia w kierunku poziomym jest liniowa:

$$x(t) = x_0 + v_x t$$

Gdzie:

x_0 i y_0 oznaczają współrzędne początkowego położenia ciała,

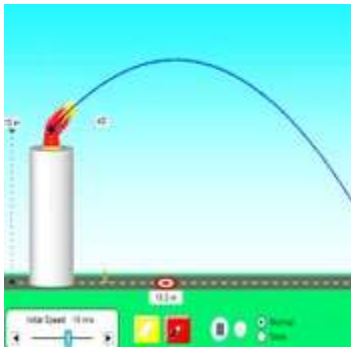
v_x i v_y oznaczają składowe początkowej prędkości ciała

Refleksje

Czy Twoje tezy do problemów 1, 2 i 3 były poprawne? Jeśli nie, czy ten eksperyment pomógł Ci zrozumieć właściwości ruchu ukośnego?

Dodatkowe zadanie

Rycina po prawej stronie jest migawką trajektorii ruchu ukośnego w polu grawitacyjnym ziemi. Wysokość, z którego ciało jest wyrzucone wynosi 15 m, a składowe początkowej prędkości tego ciała są $v_x = 14\frac{m}{s}$ i $v_y = 12\frac{m}{s}$.



a) Zapisz funkcje położenia i prędkości w kierunkach *x* i *y*. _____

b) Oblicz maksymalną wysokość ciała. _____

_____

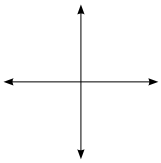
c) Oblicz położenie ciała (*x* i *y*) po 2 sekundach ruchu.

_____

d) Oblicz całkowity czas, przez jaki ciało jest w ruchu.

_____

e) Narysuj i oblicz składowe *x* i *y* końcowej prędkości i oznacz je na poniższym układzie.



f) Oblicz końcową wypadkową tej prędkości (wartość i kierunek). _____

Podsumowanie

W jakim stopniu, wyprowadzenie funkcji matematycznych na składowe ruchu ukośnego pomogło Ci zrozumieć właściwości tego ruchu?

LITERATURA

[1] Symulacje fizyczne https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion_all.html.

[2] Sokołowski, Andrzej, Parametrization of Projectile Motion."*Understanding Physics Using Mathematical Reasoning: A Modeling Approach for Practitioners and Researchers* p. 101-126. Springer, Switzerland, 2021

Polskie satelity na pokładzie Falcon 9

Polskie satelity – m.in. stworzony w Gliwicach satelita Intuition-1 oraz satelita obserwacyjny STORK-7 – zostały wystrzelone w kosmos na pokładzie rakiety Falcon 9 firmy SpaceX, która wyniosła w misji Transporter-9 na orbitę 90 satelitów dla różnych klientów z całego świata, w tym kilka polskich lub stworzonych z polskim udziałem.

Polski satelita obserwacyjny STORK-7, wyposażony jest w 28 perowskitowych ogniw słonecznych firmy Saule Technologies. Za skonstruowanie, oprogramowanie, wyniesienie i operację tego satelity na orbicie odpowiada wrocławska firma SatRev.

Intuition-1 to mikrosatelita z optycznym instrumentem hiperspektralnym, służącym do obserwacji Ziemi. Jego celem będzie obserwowanie Ziemi i przetwarzanie danych na orbicie, za pomocą systemów pokładowych wykorzystujących sztuczne sieci neuronowe.

KP Labs, przy wsparciu Europejskiej Agencji Kosmicznej, wykorzysta Intuition-1 do analizy parametrów gleby na bazie obserwacji w wielu pasmach światła. Wynikiem będą precyzyjne dane, jak zawartość makroelementów w glebie: potasu, fosforu, magnezu czy badania PH.

Kluczowe elementy satelity to własna jednostka przetwarzania danych (Digital Processing Unit – DPU) Leopard, potrafiąca przetwarzać trzy biliony operacji na sekundę. Dane będą pochodziły z kamery wielospektralnej Eagle, z optyką, filtrami i detektorem cyfrowym obsługującym każdy piksel w 192 pasmach światła. Całość pracuje na Oryx OBCS – stworzonym przez KP Labs oprogramowaniu do zarządzania pracą satelity.

Intuition-1 to satelita klasy 6U, w kształcie prostopadłościanu o wymiarach 10x20x30 cm, waży ok. 12 kg. Jak informowano przed rokiem, jego stworzenie pochłonęło ok. 20 mln zł, z czego ok. 13 mln zł to dofinansowanie z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. PAP – Nauka w Polsce

eprasa.pl 19b3d3e593

Foto – Dreamstime

Orientacja na sferze niebieskiej. Dobowy ruch sfery niebieskiej

Obserwator, który znajduje się w dowolnym miejscu na powierzchni Ziemi odnosi wrażenie, że znajduje się w środku półkulistej czaszy usianej gwiazdami, a czasza ta wydaje się mu nieco spłaszczona. Okazuje się, że niektóre rozważania astronomiczne wygodnie jest omawiać wykorzystując to złudzenie optyczne obserwatora.

Marcin **Wesołowski**

Przyjmijmy więc, że ciała niebieskie położone są na powierzchni kuli, w środku której znajduje się obserwator. Powierzchnię takiej hipotetycznej kuli nazywamy sferą niebieską, która stanowi złudzenie wynikające z ograniczonej możliwości percepcji odległości przez obserwatora (umiejętności te nie sięgają dalej niż klasyczny zasięg widnokręgu). Skala odległości w jakiej znajdują się obiekty astronomiczne jest tak duża, że obserwacje wizualne nieba nocnego nie dostarczają informacji o ich rzeczywistej odległości. Wszystkie ciała niebieskie, które obserwujemy wydają się być równoodległe, inaczej mówiąc jakby były przymocowane do wnętrza kuli o dużym, ale nie znanym promieniu. Jednocześnie ciała niebieskie położone są na powierzchni sfery niebieskiej, której środkiem jest obserwator.

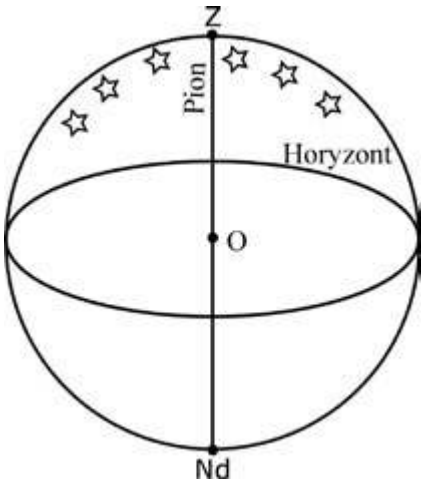
Aby ułatwić orientację na sferze niebieskiej wyróżniamy następujące punkty oraz linie:

Zenit (oznaczenie Z) – jest to punkt znajdujący się na maksymalnej wysokości na sferze niebieskiej nad pozycją obserwatora (nad jego głową).

Nadir (oznaczenie Nd) – jest to przeciwny punkt względem zenitu, który położony jest najniżej pod obserwatorem na sferze niebieskiej. Punkt ten jest niewidoczny, gdyż przesłania go powierzchnia Ziemi.

Linia łącząca zenit z nadirem to pion, inaczej mówiąc zenit i nadir to punkty, w których linia pionowa przecina sferę niebieską. Kąt pomiędzy osią lokalnego pionu a kierunkiem, w którym obserwujemy wybrane ciało niebieskie określany jest kątem zenitalnym.

Płaszczyzna pozioma – jest to płaszczyzna prostopadła do pionu, która przechodzi przez miejsce obserwacji, czyli środek sfery niebieskiej. Ponadto płaszczyzna ta



Rys. 1. Zależność geometryczna między zenitem, nadirem i horyzontem. W punkcie O znajduje się obserwator.

eprasa.pl 19b3d3e593

dzieli sferę niebieską na dwie półkule: górną (widoczną dla obserwatora) i dolną (niewidoczną dla obserwatora).

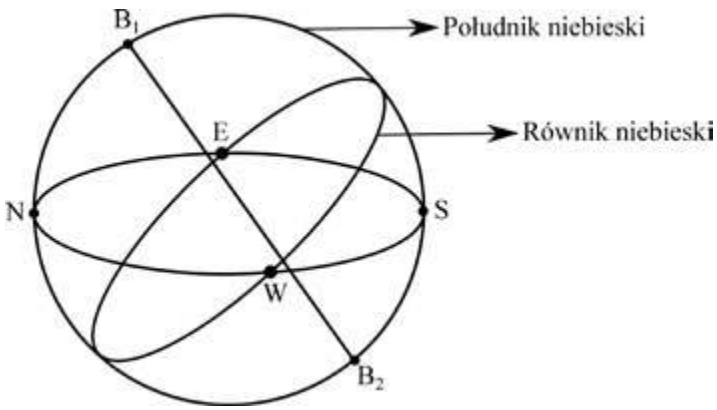
Horyzont – jest to okrąg, wzdłuż którego płaszczyzna pozioma przecina sferę niebieską (Rys. 1).

Dokonując obserwacji sfery niebieskiej przez dłuższy czas (np. kilka godzin) dochodzimy do wniosku, że gwiazdy nie zmieniają swojego położenia względem siebie, lecz wykonują ruch kolisty po drogach, które określamy równoleżnikami niebieskimi wokół jednego punktu na sferze niebieskiej (Rys. 2). Punkt ten określamy jako biegun północny niebieski (oznaczenie B1). Zauważmy, że relatywnie blisko bieguna niebieskiego północnego znajduje się Gwiazda Polarna. Często biegun niebieski północny utożsamiany jest z Gwiazdą polarną, jednakże takie przybliżenie nie jest poprawne.

Obecnie północną Gwiazdą polarną jest najjaśniejsza gwiazda Małej Niedźwiedzicy (Małego Wozu) czyli Alfa Ursae Minoris (zwana też Polaris), której jasność wynosi 1.97 magnitudo i pod względem jasności wizualnej zajmuje ona dopiero 46 pozycję. Jej odległość od Ziemi wynosi 430 lat świetlnych (rok świetlny to jednostka odległości stosowana w astronomii i oznacza odległość, jaką pokonuje światło w próżni w ciągu jednego roku juliańskiego). Cechą charakterystyczną Gwiazdy Polarnej jest to, że praktycznie w ciągu nocy nie zmienia swojego położenia, podczas gdy pozostałe gwiazdy krążą wokół bieguna (tzw. gwiazdy okołobiegunowe) lub wschodzą i zachodzą. Dlatego też Gwiazdę Polarną od wieków wykorzystywano do określenia kierunków świata. Dodajmy, że na to która z rzeczywistych gwiazd jest Gwiazdą Polarną wpływa precesja osi Ziemi, czyli zmiana kierunku osi obrotu obracającego się ciała. Orientacja osi zmienia się cyklicznie w ciągu tzw. roku platońskiego, trwającego około 26 tysięcy lat. W 2000 roku Polaris znajdowała się w odległości około 44 minut kątowych od północnego bieguna niebieskiego, powoli zbliża się do niego i najbliżej znajdzie się 24 marca 2100 roku.

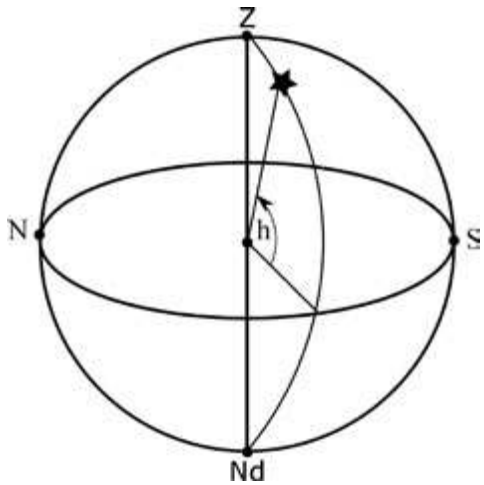
Rys. 2. Ślad ruchu kolistego wykonywanego przez gwiazdy położone na sferze niebieskiej. Fotografię wykonano uwzględniając długi czas naświetlania.

- **Oś świata** jest prostą przechodzącą przez północny biegun niebieski, miejsce obserwacji oraz drugi punkt, w którym oś świata przebija sferę niebieską nazywamy biegunem niebieskim południowym (oznaczenie B_2). W przypadku Polski biegun ten jest niewidoczny.
- **Płaszczyzna równika niebieskiego** jest to płaszczyzna prostopadła do osi świata i przechodząca przez miejsce obserwacji.
- **Równik niebieski** jest to okrąg, wzdłuż którego płaszczyzna równika niebieskiego przecina sferę niebieską. Równoleżniki niebieskie to okręgi, po których poruszają się gwiazdy w swoim ruchu dobowym. Płaszczyzny równoleżników są równoległe do płaszczyzny równika niebieskiego, a więc prostopadłe do osi świata. Koła wielkie to koła, które przechodzą przez środek sfery niebieskiej. Wynika stąd, że płaszczyzny horyzontu astronomicznego i równika niebieskiego są kołami wielkimi.
- **Południk niebieski** (południk lokalny) jest to koło wielkie przechodzące przez zenit, nadir i bieguny niebieskie. Południk niebieski to miejsce, w którym zachodzą kulminacje ciał niebieskich. Poprzez kulminację należy rozumieć górowania (osiągnięcie maksymalnej wysokości w czasie obrotu sfery niebieskiej) i dołowanie (osiągnięcie minimalnej wysokości w czasie obrotu sfery niebieskiej) danego ciała niebieskiego np. gwiazdy. Dodajmy, że te dwa rodzaje kulminacji zachodzą na tym samym okręgu wielkim (południk lokalny, południk niebieski).
  Punkty przecięcia południka z horyzontem określamy jako **punkt północny N** i **punkt południowy S**, przy czym punkt N położony jest bliżej północnego bieguna niebieskiego. Linię N-S czyli prostą, wydłuż której południk niebieski przecina płaszczyznę horyzontu nazywamy południkiem geograficznym miejscowym. Punkty przecięcia równika niebieskiego z horyzontem to punkty **wschodu E** i **zachodu W**. Przy czym punkt wschodu E położony jest po tej samej stronie horyzontu, po której wschodzi Słońce. Punkty N, S, E i W są określane jako kardynalne punkty horyzontu (Rys. 3).
- Wysokość horyzontalna gwiazdy to kąt, jaki tworzy kierunek ku gwieździe z płaszczyzną horyzontu (Rys. 4).



Rys. 3. Wzajemne położenie biegunów niebieskich (B_1 i B_2), równika i południka niebieskiego oraz punktów kardynalnych horyzontu.

eprasa.pl 19b3d3e593



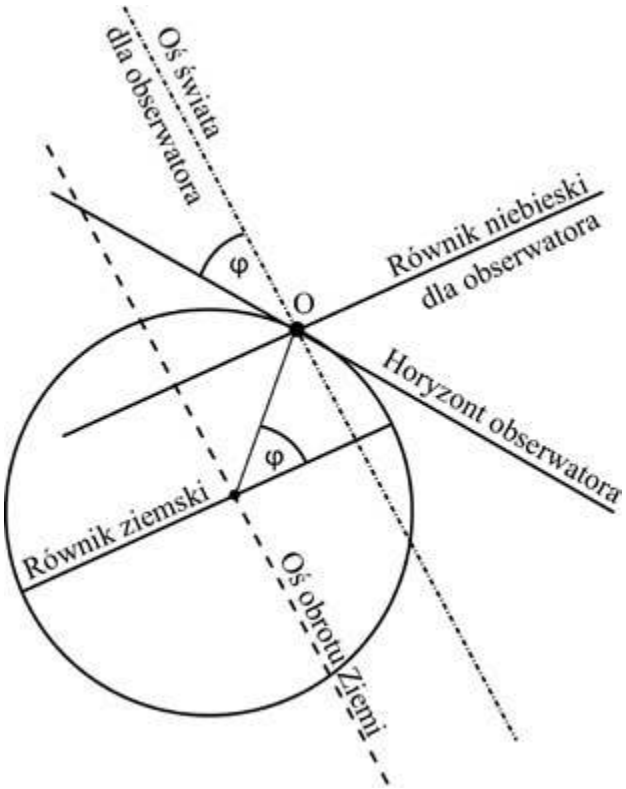
Rys. 4. Wysokość horyzontalna gwiazdy.

Dobowy ruch sfery niebieskiej

Widomy ruch całej sfery niebieskiej w astronomii sferycznej określany jest mianem ruchu dziennego (dobowego) nieba. Ponieważ obserwator znajduje się na powierzchni Ziemi, która wiruje z zachodu na wschód, więc odnosi wrażenie, że to on jest nieruchomy a otoczenie, czyli sfera niebieska wiruje w kierunku przeciwnym. Jest to złudzenie podobne do tego, jakiemu ulegamy jadąc np. pociągiem lub samochodem wydaje się nam, że otoczenie (drzewa, domy, itp.) przemieszczają się do tyłu.

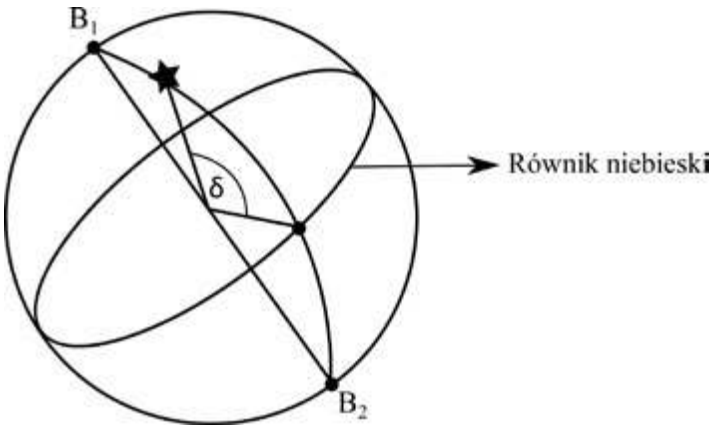
Konsekwencją tego, iż odzwierciedleniem ruchu wirowego jest ruch dobowy sfery niebieskiej jest fakt, że oś świata jest równoległa do osi rotacji Ziemi, a równik niebieski jest równoległy do równika ziemskiego. Kąt jaki tworzy oś świata z płaszczyzną horyzontu obserwatora jest równy szerokości geograficznej miejsca obserwacji (kąty o ramionach wzajemnie prostopadłych, jak na Rys. 5). Tak więc pełny obrót sfery niebieskiej następuje w czasie równym obrotowi Ziemi wokół własnej osi, to znaczy w ciągu jednej doby gwiazdowej, która jest około 4 minuty krótsza od doby używanej w życiu codziennym (doby słonecznej).

Gwiazda poruszając się w ruchu dobowym po równoleżniku przechodzi dwukrotnie w ciągu doby gwiazdowej przez południk; raz gdy znajduje się najwyżej nad horyzontem (górowanie) i drugi raz gdy znajduje się najniżej względem horyzontu (dołowanie). Gwiazdy, które znajdują się blisko bieguna północnego niebieskiego są zawsze nad horyzontem, a gwiazdy znajdujące się blisko bieguna niebieskiego południowego znajdują się zawsze pod horyzontem, czyli są one niewidoczne dla obserwatora. Natomiast równoleżniki, po których poruszają się gwiazdy wschodzące i zachodzące zgrupowane są w pobliżu równika niebieskiego i przecinają horyzont w dwóch punktach. Gdy gwiazda wyłania się spod horyzontu mówimy wówczas o wschodzie gwiazdy, gdy chowa się za linią horyzontu mówimy wówczas o zachodzie gwiazdy. Dodajmy, że wszystkie gwiazdy wschodzą po wschodniej stronie sfery niebieskiej a zachodzą po zachodniej stronie sfery niebieskiej. Punkty wschodu lub zachodu obserwowanej gwiazdy nie należy mylić z punktami kardynalnymi E i W.



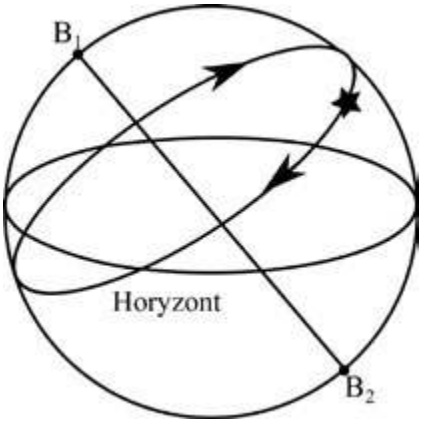
Rys. 5. Zależność ustawienia sfery niebieskiej od szerokości geograficznej ϕ miejsca obserwacji.

Obserwując ruch różnych gwiazd można dojść do wniosku, że wysokość gwiazdy w chwili kulminacji górnej oraz długość łuku równoleżnika widoczna nad horyzontem zależą od odległości kątowej jej równoleżnika od płaszczyzny równika. Tą odległość kątową w astronomii określamy jako deklinację gwiazdy. Inaczej mówiąc jest to kąt, jaki tworzy kierunek do gwiazdy z płaszczyzną równika niebieskiego (Rys. 6). Natomiast gwiazdy, które są położone nad równikiem w kierunku bieguna niebieskiego północnego mają deklinację dodatnią, na równiku mają deklinację równą zero, a pod równikiem mają deklinację ujemną. Ponadto biegun niebieski północny ma deklinację równą + 90°, a biegun niebieski południowy ma deklinację równą – 90°. Każda gwiazda odbywa ruch dobowy po



Rys.6. Deklinacja gwiazdy.

eprasa.pl 19b3d3e593



Rys. 7. Ruch dobowy sfery niebieskiej.

Rys. 8. Zachód Słońca na Marsie – fotografia wykonana przez łazik Spirit (Foto. NASA).

właściwym równoleżniku w każdym dniu w ciągu roku (z wyjątkiem Słońca, Rys. 7).

Słońce jest gwiazdą najbliższą Ziemi i do jego ruchu dobowego po sferze niebieskiej stosujemy przedstawione w tym artykule prawidłowości. Słońce wyłania się spod horyzontu po stronie wschodniej sfery niebieskiej a zachodzi po stronie zachodniej. Wschód Słońca to moment, w którym górny punkt tarczy słonecznej przekracza linię horyzontu, natomiast zachód Słońca to moment, w którym Słońce chowa się poniżej horyzontu.

Wydawać by się mogło, że Słońce „wschodzi" znad horyzontu, to tak naprawdę ruch Ziemi powoduje, że Słońce się pojawia. Iluzja poruszającego się Słońca wynika z faktu, że obserwatorzy ziemscy znajdują się w ruchomym układzie odniesienia. Ten pozorny ruch jest tak przekonujący, że wiele kultur zbudowało mitologie i religie wokół modelu geocentrycznego, który panował, dopóki Mikołaj Kopernik nie sformułował swojego modelu heliocentrycznego w XVI wieku.

W ciągu dnia wysokość Słońca nad horyzontem wzrasta do momentu górowania, a następnie maleje do chwili zachodu. Moment, w którym Słońce znajduje się w czasie górowania na południku niebieskim określamy jako południe słoneczne, a moment dołowania to północ słoneczna. W czasie górowania Słońce położone jest najwyżej nad linią horyzontu więc przedmioty na powierzchni Ziemi rzucają najkrótszy cień. Śledząc długość cienia rzucanego przez pionowo ustawiony pręt (gnomon) możemy przekonać się, że cień jest najkrótszy w chwili, gdy Słońce znajduje się najwyżej nad horyzontem. Cień gnomonu wskazuje wtedy kierunek N-S, a więc gnomon może służyć do wyznaczenia południka miejscowego (geograficznego). Część równoleżnika, po którym porusza się Słońce nad horyzontem nazywamy łukiem dziennym. Natomiast dzień to okres od wschodu do zachodu Słońca, a noc to okres od zachodu do wschodu Słońca. Okres czasu między dwoma kolejnymi górowaniami Słońca nazywamy dobą słoneczną.

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] Rybka, E., 1976, Astronomia ogólna, PWN, Warszawa.
[2] Stodółkiewicz J. S., 1978, Astrofizyka ogólna z elementami geofizyki, PWN Warszawa.
[3] Gronkowski P., Wesołowski M., 2014, Podstawy astronomii sferycznej, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 2, str. 10 – 16.
[4] Gronkowski P., Wesołowski M., 2014, Astronomia sferyczna w przykładach, cz. I, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 4, str. 11 – 15.
[5] Gronkowski P., Wesołowski M., 2014, Astronomia sferyczna w przykładach, cz. II, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 5, str. 16 – 18.

W następnych wydaniach polecamy m.in.

- **CREDO–Maze: promieniowanie kosmiczne – zapomniani odkrywcy**
  Za odkrywcę promieniowania kosmicznego uważa się Victora Franza Hessa, co niejako oficjalnie przyklepano nagrodą Nobla. Jeśli jednak zagłębić się w historię, okaże się, że sprawa wcale nie jest tak oczywista. W fizyce kwestia pierwszeństwa nie zawsze daje się ustalić ponad wszelką wątpliwość.

eprasa.pl 19b3d3e593

WYDANIE SPECJALNE 1/2023

WERSJA ELEKTRONICZNA – PLIK PDF

194

POJĘĆ I TERMINÓW
z astronomii i astrofizyki
od ACHERNER
po ZIEMIĘ

Cena 20 zł
w tym 8% VAT

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

eprasa.pl 19b3d3e593

Prenumerata 2024

Otwiera dostęp do:

- artykułów o najważniejszych odkryciach i wydarzeniach w fizyce
- publikacji o zastosowaniu fizyki w różnych dziedzinach życia
- zadań, doświadczeń i eksperymentów
- nowości z astronomii i astrofizyki

PRZEDŁUŻ
LUB
ZAMÓW

Do wyboru:

- Wersja drukowana lub cyfrowa – pliki PDF
- Prenumerata roczna i półroczna

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

eprasa.pl 19b3d3e593