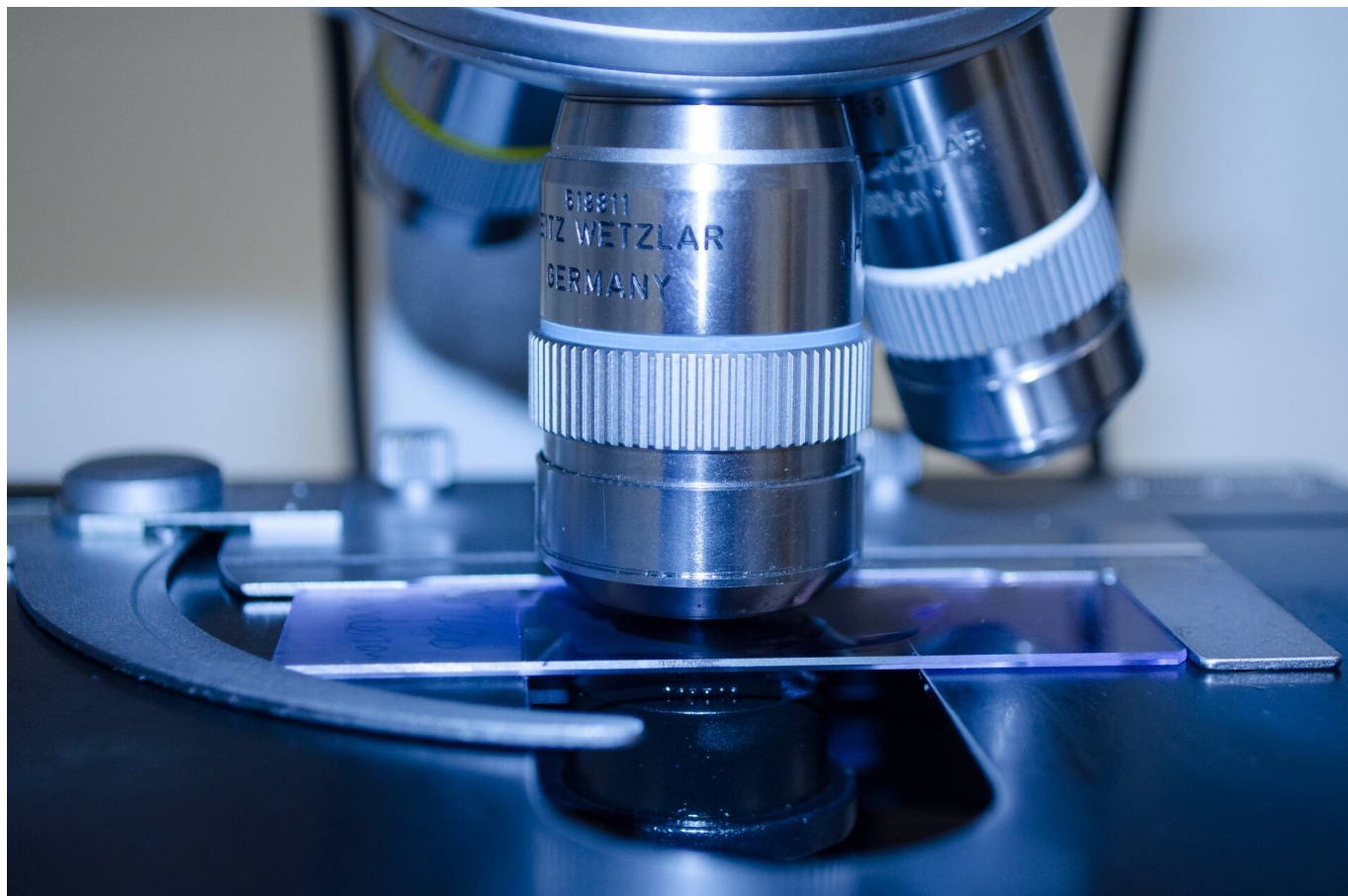




Obserwacja ruchów Browna w przyrodzie

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)

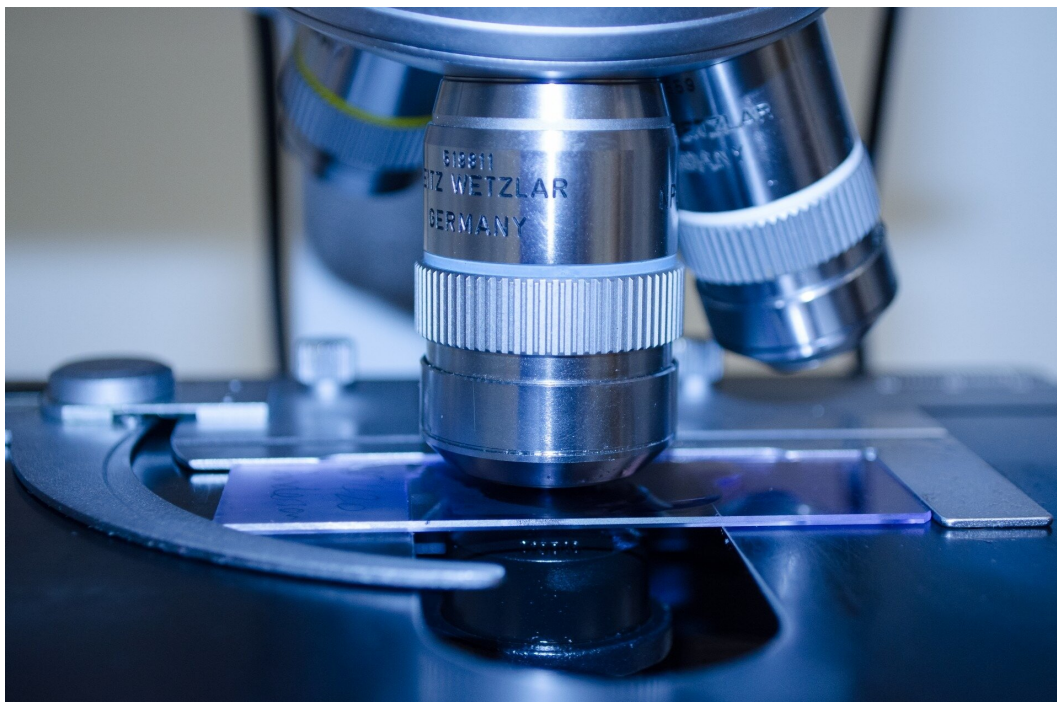


Obserwacja ruchów Browna w przyrodzie

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/pl/photos/mikroskop-laboratorium-badania-316556/> [dostęp 12.06.2022], domena publiczna.

Czy to nie ciekawe ?

Nieuporządkowany ruch cząstek zawiesiny w wodzie lub gazie, zwany ruchami Browna, jest obserwowalną manifestacją cząsteczkowej (tzn. mikroskopowej) budowy materii. Cząsteczki ośrodka (cieczy lub gazu) są zbyt małe, aby dostrzec je pod mikroskopem optycznym, ale tysiące razy większe od nich drobinki zawiesiny, które są bombardowane przez cząsteczki ośrodka i powodują ich ruch, można już bez problemu pod takim mikroskopem oglądać. Na początku XX wieku obserwacje ruchów Browna i stworzone na podstawie na tych obserwacji opisy teoretyczne potwierdziły atomistyczne teorie budowy materii - o tym wie niemal każdy fizyk Nie wszyscy wiedzą jednak o tym, że teoria ruchów Browna dała podwaliny jednej z najbardziej znanych metod inżynierii finansowej - powszechnie wykorzystywanej przez banki metody wyceny tzw. instrumentów pochodnych, która została uhonorowana Nagrodą Nobla z ekonomii w 1997.



Rys. a. Mikroskop optyczny.

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/pl/photos/mikroskop-laboratorium-badania-316556/> [dostęp 12.06.2022], domena publiczna.

Twoje cele

- dowiesz się, czym są ruchy Browna,
- poznasz przyczynę ruchów Browna,
- zrozumiesz, dlaczego ruchy Browna można oglądać tylko pod mikroskopem,
- zaplanujesz eksperyment pozwalający obserwować ruchy Browna pod mikroskopem,
- dowiesz się, gdzie poza fizyką można obserwować ruchy Browna.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Ruchami Browna nazywamy zjawisko polegające na tym, że niewielkie pyłki, znajdujące się w cieczy (lub w gazie), wykonują nieregularne (nieuporządkowane, chaotyczne) ruchy w różne strony. Zjawisko to można obserwować tylko pod mikroskopem, ponieważ podlegają mu bardzo małe drobinki o rozmiarach rzędu 10^{-6} m, czyli 1 mikrometra (1 μ m).

Przyczyną tych ruchów jest bombardowanie drobinek **zawiesiny** przez cząsteczki ośrodka (cieczy lub gazu), będące w ciągłym chaotycznym ruchu. Liczba zderzeń cząsteczek cieczy z drobiną jest średnio taka sama z każdej strony. Jeśli drobinka jest wystarczająco mała, to zdarza się, że ilość cząsteczek zderzających się z nią z jednej strony będzie w pewnym momencie większa od średniej i drobinie zostanie nadana pewna prędkość. Oczywiście, w następnej chwili drobinka ta może zostać popchnięta z inną prędkością i w innym kierunku. W rezultacie jej ruch jest nieprzewidywalny, chaotyczny. Powodują go **fluktuacje** liczby cząsteczek ośrodka, które otaczają cząstkę zawieszoną w tymże ośrodku (cieczy lub gazie).

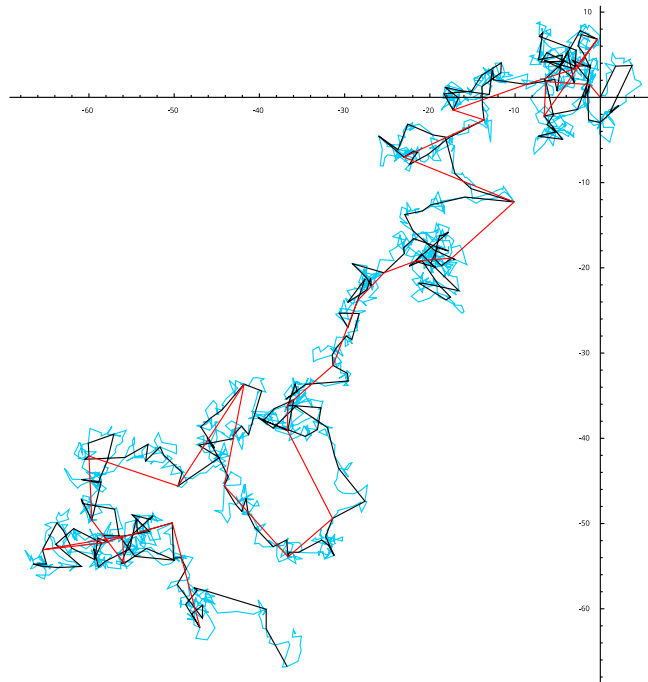
Fluktuacjami nazywamy przypadkowe odchylenia pewnej, zmieniającej się losowo, wielkości od jej wartości średniej.

Przykładem wielkości zmieniającej się losowo (tzn. takiej która może fluktuować) jest liczba cząsteczek cieczy w małej objętości. Cząsteczki cieczy poruszają się bezładnie, dlatego w określonym miejscu, raz tych cząsteczek może być więcej, a raz mniej. Zmiany liczby cząsteczek są losowe i niedające się przewidzieć. Fluktuacje liczby cząsteczek ośrodka są największe, gdy dotyczą próbki o małej liczbie elementów. To tłumaczy, dlatego ruchów Browna nie obserwujemy dla dużych cząstek, które są widoczne gołym okiem. Dzieje się tak, ponieważ fluktuacje liczby cząsteczek cieczy bombardujących cząstkę Browna z różnych stron są zbyt małe by wprowadzić ją w ruch.

Rozmiary cząsteczek, z których składa się ciecz są tysiące razy mniejsze niż rozmiary obserwowanych drobinek (cząstek zawiesiny) i nie możemy ich zobaczyć przez mikroskop optyczny. O ich istnieniu i ruchach przekonujemy się pośrednio – obserwując ruchy Browna. Sytuację tę można porównać do następującego zdarzenia: Wyobraźmy sobie, że lecimy samolotem na tak dużej wysokości, że nie widzimy ludzi znajdujących się na ziemi. Na dużym placu znajduje się tłum ludzi, którzy bawią się wielkimi, kolorowymi balonami. Starają się, aby balony nie spadły na ziemię, więc je odbijają, gdy tylko opadną niżej. W rezultacie balony poruszają się chaotycznie w różne strony, co możemy obserwować z samolotu. Widzimy chaotyczne ruchy balonów, ale nie widzimy ludzi, którzy je wywołują. Możemy tylko wnioskować, że przyczyną ruchu balonów są siły wywierane przez

niewidocznych ludzi. Podobnie jest z ruchami Browna. Częstki dostatecznie duże, aby obserwować je przez mikroskop, są zarazem na tyle małe, by reagować na bombardowanie przez otaczające cząsteczki ośrodka.

Charakterystyczną cechą ruchów Browna jest ich nieregularność. Gdy rejestrujemy położenia cząstki zawiesiny w pewnych odstępach czasu, na przykład co 30 sekund, uzyskamy chaotyczną linię łamaną. Jednak robiąc obserwacje częściej, dostaniemy zamiast każdego odcinka jeszcze bardziej poszarpaną linię łamaną. Ilustruje to Rys. 1., gdzie różnymi kolorami zaznaczono tory cząstki Browna uzyskane w wyniku połączenia kolejnych położenia tej cząstki, zarejestrowanych w coraz to dłuższych odstępach czasu.



Rys. 1. Tory cząstki poruszającej się ruchem Browna, uzyskane w wyniku obserwacji położenia tej cząstki w różnych odstępach czasu (kolor czerwony - najdłuższe odstępy czasu, czarny - średnie, niebieski - najkrótsze).

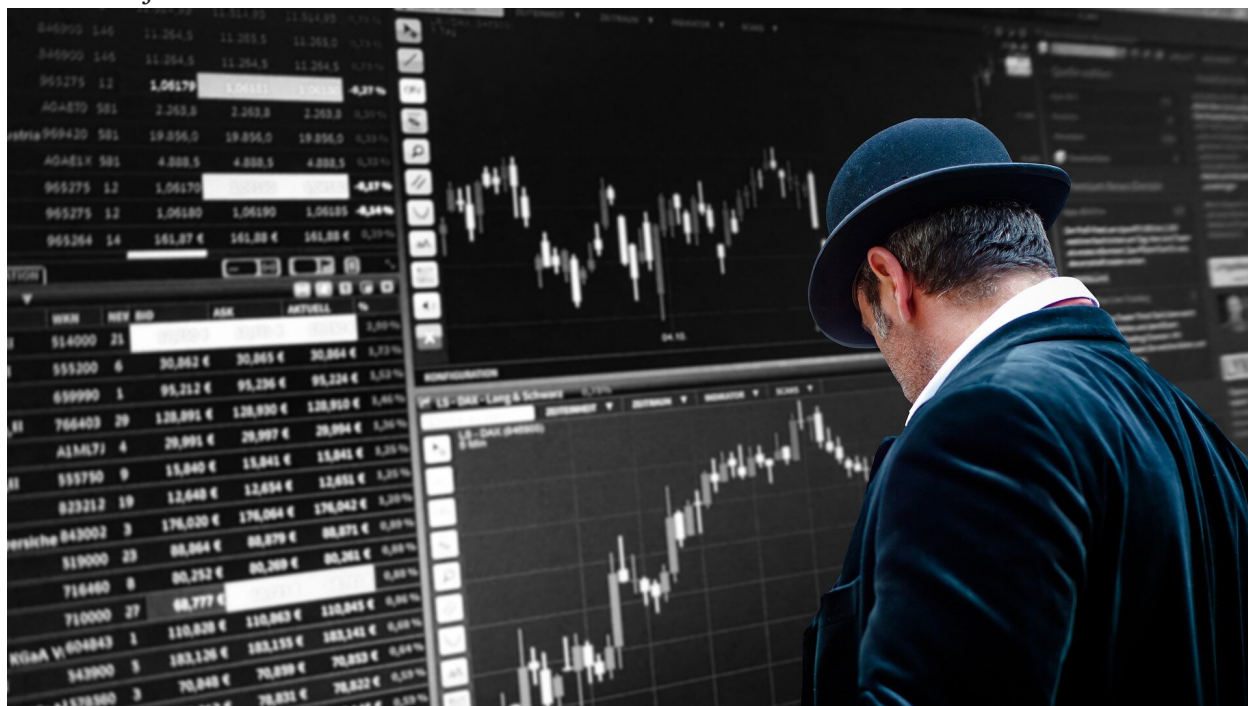
Źródło: dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brownian_hierarchical.svg [dostęp 12.06.2022], domena publiczna.

Gdzie w przyrodzie możemy obserwować ruchy Browna? Najbardziej znane przykłady obejmują:

1. ruch drobniutkich kropelek tłuszczu w mleku,
2. ruch pyłków kwiatowych w wodzie (klasyczny eksperyment R. Browna z 1827),
3. ruch drobin pigmentu w rozpuszczalniku,
4. smog, czyli drobne zanieczyszczenia do średnicy 2,5 mikrometra (PM_{2,5}) zawieszone w powietrzu.

Jeśli w szkole dysponujemy mikroskopem, który powiększa obraz co najmniej 600 razy, możemy przeprowadzić obserwację ruchów Browna. W tym celu należy przygotować zawiesinę wodną kropelek tłuszczu pochodzącego z mleka. Mieszmamy 1 część mleka (dowolnego, ale nie typu UHT) z 10 częściami wody. Na szkiełko mikroskopu nakładamy

kropelkę zawiesziny i regulujemy ostrość, aż do uzyskania obrazu. Zobaczymy, jak kropelki tłuszczu drgają bardzo szybkimi i nieregularnymi ruchami. A dlaczego nie widzimy, że poruszają się po torach w postaci linii łamanej, jak na Rys. 1? Pamiętajmy, że odcinki na Rys. 1. to uśrednione przesunięcia w czasie kilkudziesięciu sekund. Rzeczywiste prędkości ruchów cząstki zmieniają się tak szybko, że torów cząstek nie można bezpośrednio zaobserwować. To co widzimy, jest uśrednionym przesunięciem w czasie, który jest w stanie zarejestrować nasze oko.



Rys. 2. Kursy akcji można również traktować jako ruchy Browna.

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/pl/photos/handlowiec-miasto-londyn-handlowy-5129770/> [dostęp 12.06.2022], domena publiczna.

Na koniec warto wspomnieć o tym, że ruchy Browna można obserwować nie tylko w fizyce i innych naukach przyrodniczych. W roku 1900 Louis Bachelier (matematyk francuski, 1870–1946) opublikował rozprawę doktorską pt. „Théorie de la spéculation” (pol.: „Teoria spekulacji”). Sformułował w niej teorię **błądzenia losowego** niemal identyczną z teorią ruchów Browna, która została stworzona niezależnie przez Alberta Einsteina (1905) i Mariana Smoluchowskiego (1906) dopiero pięć lat później (zob. e-materiał pt. „Na czym polegają ruchy Browna?”). Praca Louisa Bacheliera dotyczyła spekulacji na paryskiej giełdzie. Rolę cząstki Browna odgrywała w niej cena akcji, której „położenie” fluktuowało, tzn. zmieniało się w czasie, w wyniku ofert kupna-sprzedaży zgłaszanych przez wielu niezależnych graczy giełdowych, którzy reprezentowali cząsteczki ośrodka. Dziś udoskonalona teoria Bacheliera stanowi jedną z metod wyceny przez banki tzw. instrumentów pochodnych (opcji). Robert C. Merton i Myron Scholes, współautorzy tej metody zostali nawet uhonorowani Nagrodą Nobla z ekonomii w 1997 roku (trzeci z autorów metody, Fischer Black, zmarł w 1995 roku).

Słowniczek

Błądzenie przypadkowe

(*ang.: random walk*) inaczej błądzenie losowe – to taki ruch, podczas którego w kolejnych przedziałach czasu cząstka przemieszcza się z aktualnego położenia do innego, losowo wybranego położenia.

PM_{2,5}

(*ang.: particulate matter 2.5*) – oznaczenie cząstek smogu w postaci pyłu zawieszonego o drobinkach, których średnica nie przekracza 2,5 mikrometra. Tego rodzaju pył jest uznawany za najgroźniejszy dla zdrowia człowieka, ponieważ z powodu bardzo małego rozmiaru drobin może się bezpośrednio przedostawać do krwiobiegu.

Zawiesina

(*ang.: suspension*) – układ niejednorodny w postaci cząstek jednego ciała rozproszonych w drugim ciele, na przykład cząstek ciała stałego w gazie lub cząstek cieczy w cieczy.

Przykładami zawiesiny są sosy, błoto, kropelki tłuszczu w mleku.

Film

Obserwacja ruchów Browna w przyrodzie

Film przybliży widzowi ruchy Browna, sposób ich obserwacji i metody analizy tych ruchów.

Polecenie 1

Uzupełnij tekst.

Do obserwacji ruchów Browna potrzebny jest mikroskop, który powiększa obraz co najmniej razy. Zjawisko to można obserwować tylko pod mikroskopem, ponieważ podlegają mu bardzo małe drobinki o rozmiarach rzędu 1 .

Polecenie 2

Ruchy Browna można badać i opisać rachunkowo przez analizę



kolejnych położzeń cząstki w równych odstępach czasu



prędkości chwilowej cząstki

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Które stwierdzenie jest prawdziwe:

☐

Ruchy Browna obserwujemy dla cząstek o rozmiarach podobnych do rozmiarów cząsteczek ośrodka (cieczy lub gazu).

☐

Cząstki, podlegające ruchom Browna, są na tyle duże, że można je obserwować pod mikroskopem, a zarazem na tyle małe, by reagować na bombardowanie przez otaczające cząsteczki ośrodka (cieczy lub gazu).

Ćwiczenie 2



Uzupełnij zdanie:

Ruchy Browna to nieuporządkowane ruchy (cząsteczek ośrodka /
 cząstek o rozmiarach rzędu $1\ \mu\text{m}$), (zawieszonych w cieczy /
 rozpylonych w próżni).

Ćwiczenie 3



Wybierz prawdziwe stwierdzenie:

☐

Fluktuacje nie zależą od tego, ile jest elementów w wylosowanej próbie.

☐

Fluktuacje są tym większe, im więcej elementów w wylosowanej próbie.

☐

Fluktuacje są tym mniejsze, im więcej elementów w wylosowanej próbie.

Ćwiczenie 4



Uzupełnij zdanie:

Ruchów Browna nie obserwujemy dla (małych ☐ / dużych ☐) cząstek, ponieważ dla takich cząstek fluktuacje liczby cząsteczek ośrodka z różnych jej stron są zbyt (małe ☐ / duże ☐).

Ćwiczenie 5



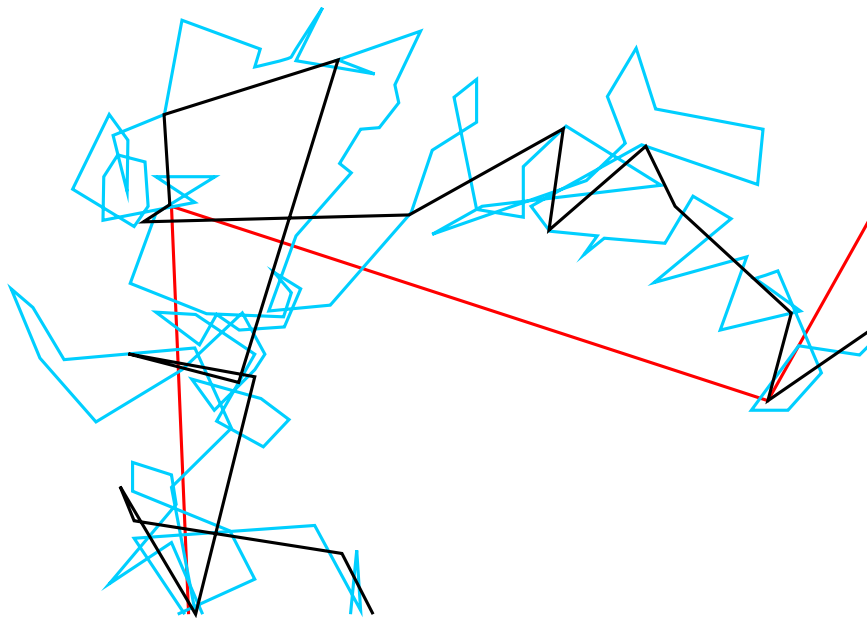
Uzupełnij zdanie:

Liczba zderzeń cząsteczek cieczy z cząstką Browna jest z każdej jej strony (średnio ☐ / w każdej chwili ☐) taka sama, a cząstka jest wprowadzana w ruch z powodu (tych zderzeń ☐ / fluktuacji liczby tych zderzeń ☐).

Ćwiczenie 6



Na poniższym rysunku różnymi kolorami pokazane są przesunięcia cząstki Browna rejestrowane w różnych odstępach czasu. Odpowiedz, który kolor odpowiada przesunięciom zarejestrowanym w najdłuższych odstępach: jasnoniebieski, czarny, czy czerwony? Odpowiedź uzasadnij.

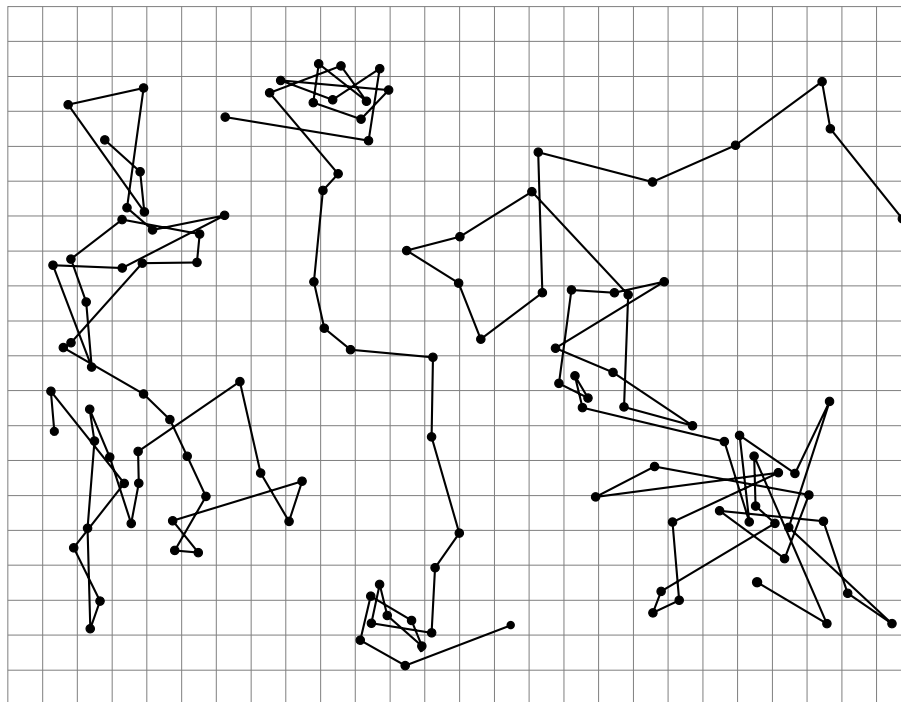


Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Ćwiczenie 7



Ilustracja ruchów Browna z pracy Jeana Baptiste Perrina z 1908 r. przedstawia kolejne położenia cząstki Browna rejestrowane co 30 sekund. Wojtek twierdzi, że średnia prędkość cząstki na jednym z odcinków, pokazanych na rysunku, równa jest stosunkowi długości tego odcinka do czasu $t = 30$ s, Filip uważa, że jest mniejsza, a Adam, że jest większa. Rozstrzygnij, który z uczniów ma rację i uzasadnij dlaczego.

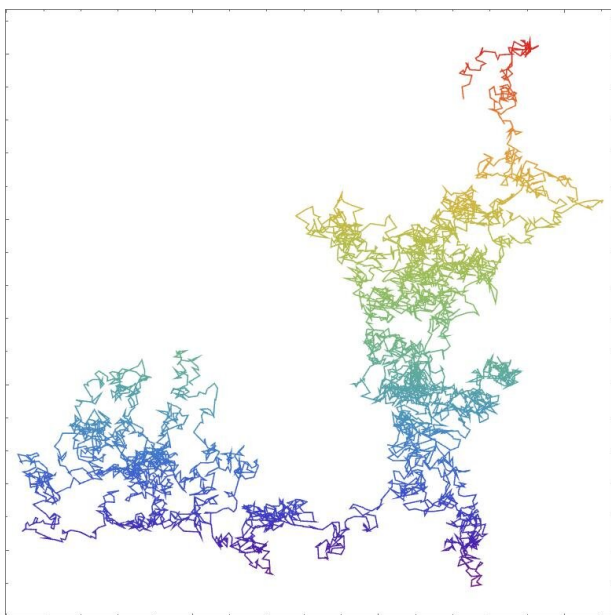


Źródło: dostępny w internecie: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PerrinPlot2.svg> [dostęp 12.06.2022], domena publiczna.

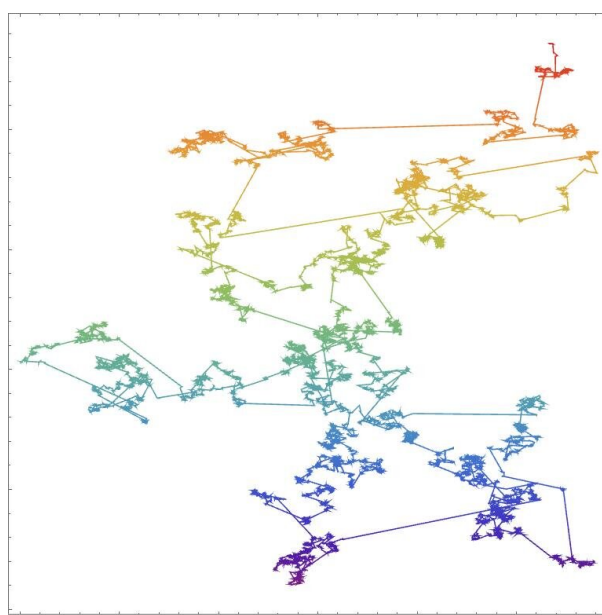
Ćwiczenie 8



Naukowcy umieszczają na zwierzętach małe nadajniki GPS, by móc śledzić ich wędrówki. Poniższe wykresy przedstawiają dane zebrane z takich urządzeń GPS umieszczonych na grzbiecie wilka i albatrosa. Oba można opisać za pomocą błędzenia przypadkowego. Czy potrafisz określić, który wykres związany jest z każdym z tych zwierząt? Czy dostrzegasz różnice między żerowaniem wilka i albatrosa?



wilk



albatros

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Ćwiczenie 9



Odpowiedz, jak można opisać rachunkowo ruchy Browna: przez analizę prędkości cząstki, czy przez analizę kolejnych położeń? Odpowiedź uzasadnij.

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Obserwacja ruchów Browna w przyrodzie
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. VI. Termodynamika. Uczeń: 18) opisuje zjawisko dyfuzji; posługuje się pojęciem fluktuacji, opisuje ruchy Browna.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. definiuje ruchy Browna, 2. tłumaczy przyczynę ruchów Browna, 3. wyjaśnia, dlaczego ruchy Browna można oglądać tylko pod mikroskopem, 4. objaśnia pojęcie fluktuacji i wskazuje przykłady wielkości fizycznych wykazujących fluktuacje, 5. planuje eksperyment mający na celu obserwacje ruchów Browna, 6. wskazuje przykłady ruchów Browna i błędzenia przypadkowego poza fizyką.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obserwacyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania:	- wykład informacyjny, - pokaz multimedialny, - analiza pomysłów.
Formy zajęć:	- praca w parach, - praca indywidualna.
Środki dydaktyczne:	Komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia, lub mikroskop o powiększeniu co najmniej 600 razy, wyposażony w kamerę, mieszanina mleka z wodą.
Materiały pomocnicze:	e-materiały: „Na czym polega zjawisko dyfuzji”, „Na czym polegają ruchy Browna?”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
- Wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”. - Odwołanie do wiedzy uczniów o nieuporządkowanym ruchu cząsteczek.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel opowiada o odkryciu ruchów Browna i wyjaśnia ich przyczynę, wprowadzając pojęcie fluktuacji. Uczniowie dyskutują, odwołując się do przykładów z życia codziennego, w jaki sposób liczebność próby wpływa na wielkość fluktuacji. Nauczyciel omawia rysunek przedstawiający przesunięcia cząstki Browna w różnych odstępach czasu (Rys. 1. z rozdziału „Warto przeczytać”). Uczniowie ustalają w dyskusji, które przesunięcia zarejestrowano w krótszym czasie, a które w dłuższym. Jeśli szkoła dysponuje mikroskopem, który powiększa obraz co najmniej 600 razy, nauczyciel przeprowadza obserwację ruchów Browna. W tym celu przygotowuje zawiesinę wodną kropelek tłuszczu pochodzącego z mleka. Miesza 1 część mleka (dowolnego, ale nie typu UHT) z 10 częściami wody. Na szkiełko mikroskopu nakłada kropelkę zawiesiny i reguluje ostrość, aż do uzyskania obrazu. Uczniowie kolejno oglądają obraz w mikroskopie lub, jeśli mikroskop wyposażony jest w kamerę, obraz wyświetlany jest na ekranie. Jeśli nie ma możliwości przeprowadzenia obserwacji przez mikroskop, uczniowie oglądają film edukacyjny.

Faza podsumowująca:

Uczniowie w grupach dyskutują nad zadaniem w filmie pytaniem.

Praca domowa:

Zadania z zestawu ćwiczeń: obowiązkowo zadania 1 – 5 i do wyboru jedno z pozostałych zadań.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:

Multimedium bazowe może być wykorzystane przez uczniów po lekcji do powtórzenia i utrwalenia materiału.