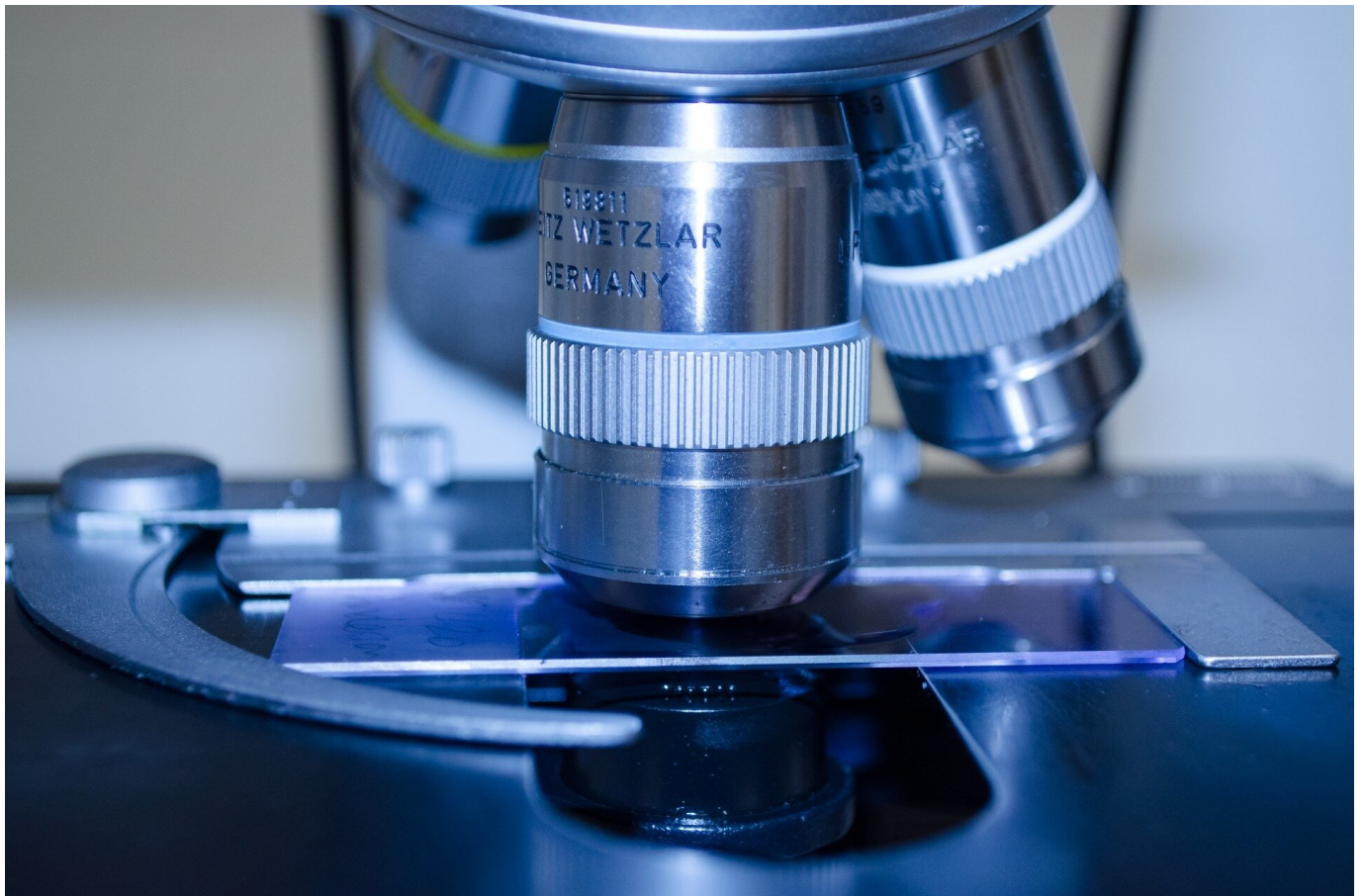
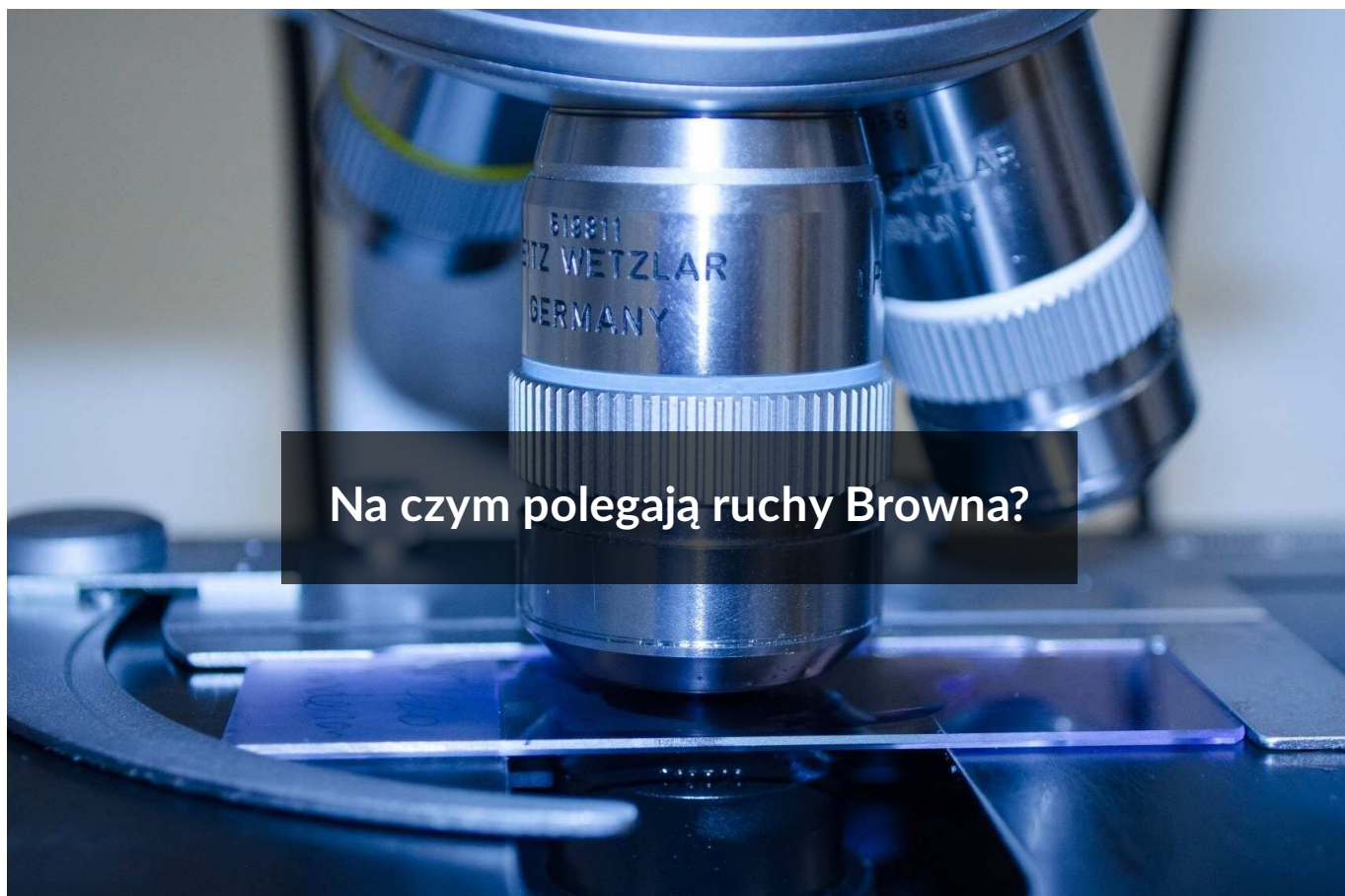




Na czym polegają ruchy Browna?

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



Na czym polegają ruchy Browna?

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

Czy to nie ciekawe?

Robert Brown (Fot. a.), szkocki botanik, w 1827 roku obserwował przez mikroskop pyłki kwiatowe w zawiesinie wodnej. Zauważył, że drobne obiekty nieustannie poruszają się, wykonując chaotyczne ruchy. Początkowo sądził, że obserwuje jakieś przejawy życia, ale staranne doświadczenia przekonały go, że obserwowane ruchy nie mają związku z procesami życiowymi. Nieożywione, poruszające się samoistnie drobinki stanowiły prawdziwe wyzwanie dla fizyków! Przyczyna ruchów Browna została wyjaśniona dopiero na początku XX wieku przez Alberta Einsteina i niezależnie od niego przez polskiego fizyka Mariana Smoluchowskiego.



Fot. a. Robert Brown (1773 - 1858).

Źródło: dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Robert_Brown_%28botanist%29.jpg [dostęp 12.06.2022], domena publiczna.

Twoje cele

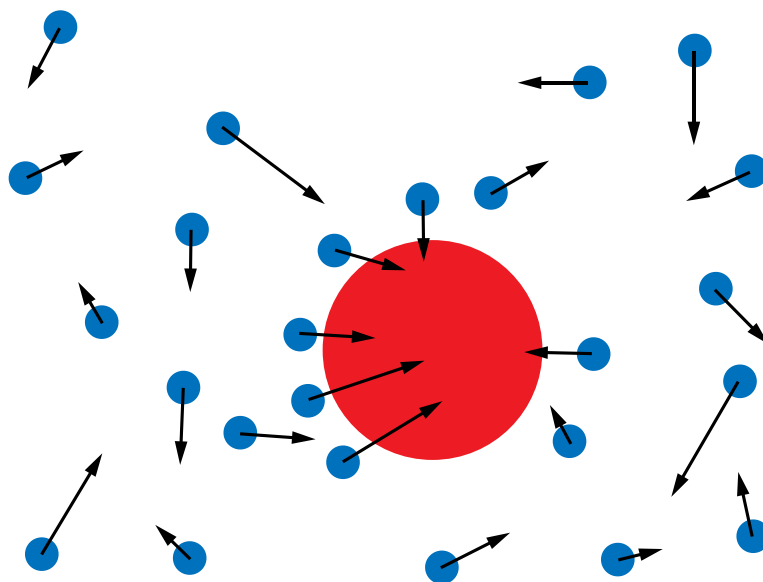
- dowiesz się, czym są ruchy Browna,
- poznasz przyczynę ruchów Browna,
- zrozumiesz, dlaczego ruchy Browna można oglądać tylko pod mikroskopem,
- poznasz pojęcie fluktuacji,
- zastosujesz pojęcia fluktuacji i błędzenia losowego do opisu ruchów Browna.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Ruchy Browna, czyli chaotyczne ruchy drobnych ziarenek **zawieszonych** w cieczy, są dowodem na to, że materia składa się z atomów i cząsteczek. Są one obserwowalną manifestacją ruchów cząsteczek, z których składa się ciecz. Ruchy Browna można zobaczyć tylko pod mikroskopem, ponieważ podlegają im cząstki o rozmiarach rzędu 1 mikrometra, czyli 10^{-6} m, lub mniejszych. Choć tak małe, drobinki te są tysiące razy większe od cząsteczek, z jakich składa się ciecz. Przykładowo, rozmiar cząsteczki wody to około $2 \cdot 10^{-10}$ m. Cząstki, które podlegają ruchom Browna, są na tyle duże, że można je obserwować przez mikroskop, a zarazem na tyle małe, by reagować na bombardowanie przez cząsteczki otaczającego je ośrodka.

Cząsteczki ośrodka uderzają cząstkę **zawiesziny** (zwaną też cząstką Browna) ze wszystkich stron. Jeśli zawiesina jest jednorodna oczekujemy, że z każdej strony cząstka Browna będzie uderzana przez podobną liczbę cząsteczek ośrodka. Czasem zdarza się jednak, że więcej cząsteczek uderzy cząstkę zawiesziny z jednej strony, popychając ją w przeciwnym kierunku i nadając jej pewną prędkość. Taką sytuację ilustruje Rys. 1.



Rys. 1. Ruchy Browna spowodowane są uderzeniami cząsteczek cieczy w powierzchnię cząstki zawiesziny.

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

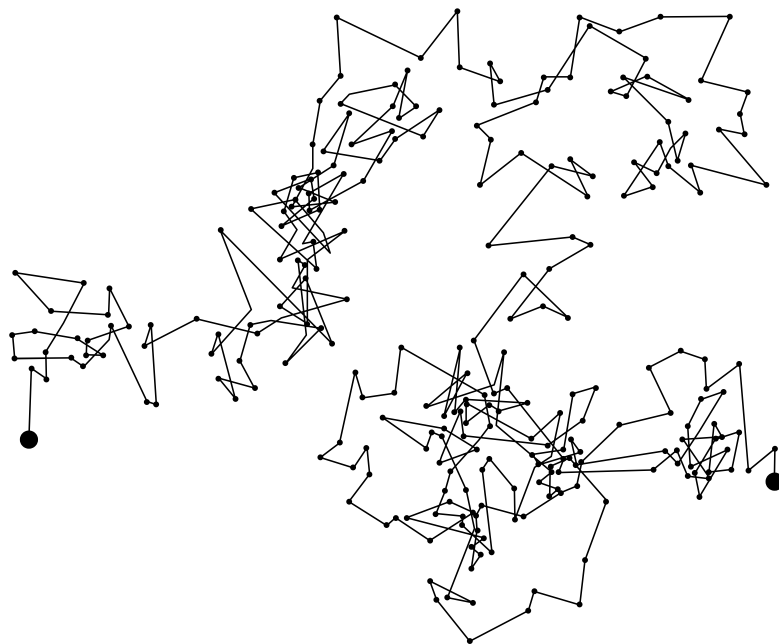
Marian Smoluchowski ruchy Browna tłumaczył nieco inaczej. Jako przyczynę tych ruchów wskazywał fluktuacje gęstości cieczy w bliskim otoczeniu cząstki zawiesziny.

Fluktuacjami nazywamy przypadkowe odchylenia pewnej wielkości od jej wartości średniej.

Przykładem wielkości, która podlega fluktuacjom jest gęstość cieczy w niewielkiej objętości. Cząsteczki cieczy poruszają się losowo (potocznie mówiąc: bezładnie), dlatego w określonym miejscu, w pewnej chwili tych cząsteczek może być więcej, niż w innych miejscu. Z tego powodu gęstość wciąż się zmienia: czasem jest większa, a czasem mniejsza od średniej gęstości, którą definiujemy jako stosunek całkowitej masy do całkowitej objętości cieczy. Zmiany te są losowe i niedające się przewidzieć. Względne (tj. odniesione do badanej objętości) fluktuacje gęstości są największe, gdy dotyczą mniejszych objętości cieczy, zawierających niezbyt dużo cząsteczek. Gdy wyznaczamy gęstość w coraz to większych objętościach, względne fluktuacje stają się coraz mniejsze. To dlatego nie obserwujemy ruchów Browna w zawiesinach, których cząstki są widoczne gołym okiem. Gdy rozmiary cząstek zawiesiny są zbyt duże w porównaniu z rozmiarami cząsteczek ośrodka, wówczas fluktuacje gęstości cieczy z różnych stron cząstki zawiesiny są zbyt małe, by wprowadzić te cząstki w ruch.

Zależność wielkości fluktuacji od liczby obiektów w rozważanej próbce łatwo zrozumieć na następującym przykładzie: Załóżmy, że w pewnej szkole, liczącej np. 1000 uczniów, uczy się dokładnie tyle samo dziewczynek, co chłopców. Jeśli wylosujemy 4 uczniów, to z dużym prawdopodobieństwem będą to same dziewczynki lub sami chłopcy, choć naturalnym oczekiwaniem powinno być wylosowanie dwóch dziewczynek i dwóch chłopców. Załóżmy jednak, że wylosowaliśmy same dziewczynki. W takiej sytuacji brak chłopców jest dużym odstępstwem (fluktuacją) od wartości średniej, która wynosi $\frac{1}{2}$. Taka duża fluktuacja miała szansę się pojawić, ponieważ badana grupa uczniów jest mała, bo złożona z zaledwie 4 uczniów. Jeśli jednak wylosujemy 100 uczniów spośród 1000, to wylosowanie grupy złożonej z samych dziewczynek lub samych chłopców jest bardzo mało prawdopodobne. W tak licznej grupie losowo wybranych uczniów, liczba chłopców i dziewczynek będzie fluktuowała wokół liczby 50. Udział dziewczynek i chłopców będzie nieco mniejszy lub nieco większy od $\frac{1}{2}$. Ten przykład pokazuje, że **fluktuacje, czyli odstępstwo od średniej, zmniejszają się wraz z wielkością badanego układu.**

Ruchy Browna badał francuski fizyk Jean Baptiste Perrin. Za swoje badania, dotyczące nieciągłej budowy materii, w roku 1926 otrzymał on Nagrodę Nobla z fizyki. Z pracy Perrina pochodzi najbardziej znany obraz ilustrujący ruchy Browna (Rys. 2). Cząstki badanej zawiesiny miały promień 0,53 mikrometra, a ich kolejne zarejestrowane położenia łączą odcinki o długościach od ułamka mikrometra do kilkunastu mikrometrów.



Rys. 2. Ilustracja ruchów Browna z pracy Jeana Baptiste Perrina z 1908 r.

Źródło: dostępny w internecie: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PerrinPlot1.svg> [dostęp 12.06.2022], domena publiczna.

Widoczne na ilustracji (Rys. 2) linie łamane **nie są rzeczywistymi torami** ruchów cząstki zawieszonej w cieczy. Perrin rejestrował kolejne położenia badanej cząstki Browna co 30 sekund, a otrzymane punkty łączył odcinkami prostej. W rzeczywistości kolejne zderzenia cząsteczek cieczy z drobinką zachodzą o wiele częściej. Średni czas pomiędzy dwoma kolejnymi zderzeniami jest o wiele krótszy od najmniejszych odstępów czasu, jakie obecnie potrafimy mierzyć. Każdy odcinek na Rys. 2. jest całkowitym przesunięciem cząstki w czasie 30 sekund. Skracanie czasu pomiędzy obserwacjami prowadzi do coraz bardziej skomplikowanych trajektorii.

Ścisły opis zachowania się cząstki Browna (tzn. wyznaczenie jej toru, średniej prędkości itd.) nie jest możliwy. Możliwy jest jednak statystyczny opis ruchów Browna. Na przykład, posługując się rachunkiem prawdopodobieństwa można pokazać, że chociaż średnie przesunięcie cząstki Browna jest równe zero (ponieważ jest ona z jednakowym prawdopodobieństwem popychana we wszystkich kierunkach), to kwadrat jej przesunięcia w wybranym kierunku rośnie liniowo z czasem obserwacji.

Przeciętne przesunięcie cząstki Browna w jednostce czasu, które świadczy o intensywności jej ruchów, rośnie wraz z temperaturą i maleje ze wzrostem jej rozmiarów, nie zależy natomiast od rodzaju substancji, z której ta cząstka jest zbudowana. Zależność od temperatury jest oczywista – temperatura jest miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek ośrodka. Im większa energia kinetyczna cząsteczek ośrodka, tym większa prędkość nadana cząstce Browna. Z drugiej jednak strony, im większy rozmiar cząstki Browna, tym trudniej ją przesuwać.

Ruch cząstek Browna nazywa się często **błądzeniem losowym** lub **błądzeniem przypadkowym**. Podsumowując: **Błądzenie przypadkowe to taki ruch, podczas którego**

w kolejnych przedziałach czasu cząstka przemieszcza się z aktualnego położenia do innego, losowo wybranego położenia. Na kolejne położenia nie ma wpływu historia poprzednich położzeń – mówimy, że cząstka Browna nie ma pamięci.

Słowniczek

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.

Animacja

Na czym polegają ruchy Browna?

Obejrzyj film omawiający zjawisko ruchów Browna, a następnie sprawdź na animacji umieszczonej pod filmem, jak temperatura wpływa na zachowanie się cząstki Browna.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/Dz07FYdkW>

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

Uwaga: Wartość temperatury na powyższej symulacji wyrażona jest w jednostkach arbitralnych i nie należy jej utożsamiać ze standardowymi jednostkami, takimi jak kelwiny lub stopnie Celsjusza.

Polecenie 1

Uzupełnij tekst.

Prędkość ruchu cząstki Browna jest większa dla temperatury i dla cząstki zawiesiny. Ruchy Browna są jednym z najbardziej znanych przykładów .

dyfrakcji

dyferencjacji

większej

dyfuzji

mniejsej

większej

mniejsej

Polecenie 2

Jeśli 5 kolejnych uderzeń skierowało cząstkę zawieszoną w cieczy w lewo, to czy zwiększyło się prawdopodobieństwo, że kolejne uderzenie skieruje ją w prawo?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Połącz nazwiska znanych fizyków z ich osiągnięciami:

Marian Smoluchowski

w 1827 pierwszy zaobserwował
zjawisko ruchów Browna.

Jean Baptiste Perrin

w 1906 (niezależnie od Einsteina,
1905) stworzył teoretyczny opis
ruchów Browna.

Robert Brown

w 1926 uzyskał nagrodę Nobla z fizyki
za prace eksperymentalne
potwierdzające atomistyczną budowę
materii (w tym za eksperymenty
potwierdzające teorię ruchów
Browna).

Ćwiczenie 2



Które zdanie jest prawdziwe:



Ruchy Browna to chaotyczne ruchy drobnych cząstek zawiesiny, wywołane zderzeniami z cząsteczkami cieczy.



Ruchy Browna to chaotyczne ruchy cząsteczek cieczy.

Ćwiczenie 3



Uzupełnij zdanie:

Ruchy Browna obserwujemy dla cząstek o rozmiarach (podobnych do /
 tysiące razy większych od / miliardy razy większych od) rozmiarów cząsteczek
cieczy.

Ćwiczenie 4



Wybierz prawdziwe stwierdzenie:



Fluktuacje to przypadkowe odchylenia od wartości średniej wielkości, która zmienia się w sposób losowy.



Fluktuacje to średnie wartości wielkości, zmieniającej się losowo.



Fluktuacja to liczba elementów w wylosowanej próbie.

Ćwiczenie 5



Uzupełnij zdanie:

Fluktuacje gęstości gazu w pewnej objętości są tym większe / mniejsze im
mniejsza jest ta objętość. Jest to spowodowane dużą / niewielką liczbą
cząsteczek gazu.

Ćwiczenie 6



Uzupełnij zdanie:

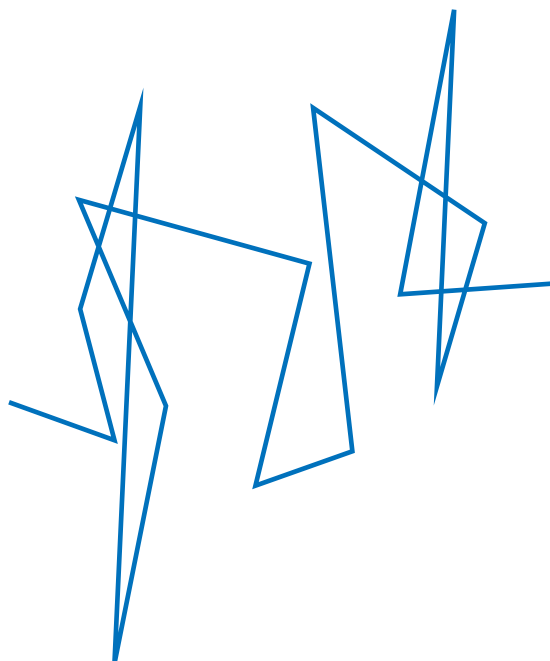
Ruchy Browna obserwujemy tylko pod mikroskopem, ponieważ fluktuacje gęstości cieczy po różnych stronach cząstki, która jest widoczna gołym okiem są /

/ .

Ćwiczenie 7



Rysunek przedstawia kolejne położenia kropelki tłuszczu zawieszanej w mleku rejestrowane co 60 s. Czy całkowita droga przebyta przez kropelkę jest równa sumie długości odcinków na rysunku, mniejsza od tej sumy, czy większa? Odpowiedź uzasadnij.



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

Ćwiczenie 8



Jak zmieni się średnie przesunięcie cząstki Browna w czasie 1 minuty, gdy ciecz zostanie podgrzana? Czym spowodowana jest ta zmiana?

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Na czym polegają ruchy Browna?
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 pojęcia fluktuacji i błędzenia losowego, 5. stosuje pojęcia fluktuacji i błędzenia losowego do opisu ruchów Browna.
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
Materiały pomocnicze:	e-materiały: „Na czym polega zjawisko dyfuzji”, „Obserwacja ruchów Browna w przyrodzie”.
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
- Wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”. - Odwołanie do wiedzy uczniów o chaotycznym ruchu cząsteczek.	
Faza realizacyjna:	
Nauczyciel opowiada o odkryciu ruchów Browna i wyjaśnia ich przyczynę, wprowadzając pojęcie fluktuacji. Uczniowie dyskutują, jak liczebność próby wpływa na wielkość fluktuacji, odwołując się do przykładów z życia codziennego. Nauczyciel omawia rysunek przedstawiający przesunięcia cząstki Browna w odstępach 30 sekund (Rys. 2. z rozdziału „Warto przeczytać”), podkreślając, że w tym czasie zachodzi bardzo wiele zderzeń, zmieniających kierunek ruchu cząstki. Nauczyciel rysuje na tablicy fragment tego rysunku z kilkoma odcinkami, a uczniowie proponują, jak mogłyby wyglądać obserwacje w krótszych czasach na przykład co 10 s i co 1 s. Uczniowie rysują innymi kolorami proponowane przez siebie tory cząstki. Powstają rysunki, w których każdemu odcinkowi rejestrowanemu w dłuższym czasie odpowiada linia łamana rejestrowana w krótszym czasie. Nauczyciel wprowadza pojęcie błędzenia losowego, podkreślając, że na kolejne położenia nie ma wpływu historia poprzednich położenia. Uczniowie oglądają animację i w grupach dyskutują nad zadaniem w niej pytaniem.	

Faza podsumowująca:	
Uczniowie na forum klasy omawiają wnioski z dyskusji nad animacją 3D. W grupach rozwiązują zadania 7 i 8 z zestawu ćwiczeń.	
Praca domowa:	
Uczniowie utrwalają wiedzę i umiejętności zdobyte w czasie lekcji przez przeczytanie w domu części „ Warto przeczytać ” i rozwiązanie zadań nr: 1-6 z zestawu ćwiczeń.	
Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:	Multimedium bazowe (Animacja 3D) może też być wykorzystane przez uczniów po lekcji do powtórzenia i utrwalenia materiału.