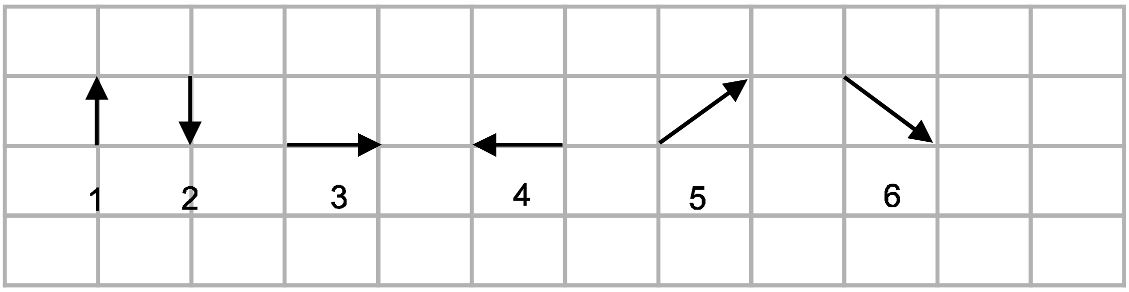
SCENARIUSZ (fragment z książki Moja Fizyka Przewodnik dla Nauczyciela WSz PWN 2002)
Polecamy gorąco wypróbowanie takiej lekcji w pierwszych klasach liceum. Młodzież bardzo dobrze przyjmuje tego typu kształcące zabawy i chętnie bierze udział w dyskusji.

Temat lekcji: Czy w chaosie można dostrzec prawidłowości?

Hasło programowe 4,2

W części wstępnej odwołujemy się do przykładów chaotycznego ruchu, które uczniowie już poznali. Najlepszym przykładem może być ruch cząsteczek gazu. Przypominamy również ruchy Browna. Proponujemy uczniom zabawę. Zabawa będzie modelowała ruch pojedynczej cząsteczki gazu lub ruchy Browna. Każdy uczeń będzie potrzebował kostkę do gry i kartkę kratkowanego papieru. Możemy ustalić zasady postępowania: 1 znaczy pionowy ruch (zawsze jedną kratkę) w górę na północ, 2 – w dół na południe, 3 na wschód, 4 na zachód, 5 na półn.-wschód i 6 na płd.-wschód.



Każdy rzuca kostką 12 razy i po każdym rzucie rysuje strzałką tor ruchu swojej cząstki.
Grupami uczniowie porównują otrzymane wyniki. Sprawdzają, czy można znaleźć dwie dokładnie takie same trasy wędrówki cząsteczki.;
Wniosek z zabawy: każdy wynik jest inny, nie można przewidzieć pojedynczej drogi cząstki. Zderzenia z innymi cząstkami są przypadkowe. Ruch jest chaotyczny.
Czy mimo chaosu można zaobserwować jakieś prawidłowości?
Zróbmy małą statystykę:

1. W ilu przypadkach cząstka wróciła do miejsca startu?
2. W ilu przypadkach ruch odbywał się wzdłuż tej samej prostej?

Czy takie sytuacje były zabronione, niemożliwe do uzyskania? Mimo, że były możliwe nie zostały zaobserwowane. Były mało prawdopodobne. Nie istnieje prawo mówiące „nie wolno wszystkim cząsteczkom gazu poruszać się w tą samą stronę w tym samym czasie". „Nie wolno wszystkim na raz uderzyć w tą samą ścianę naczynia". Wolno im, ale z tej wolności nie korzystają.

Taka regularność w chaosie jest niezwykle mało prawdopodobna.
Wróćmy do naszej statystyki i zróbmy następujące zestawienie:

1. W ilu przypadkach końcowe położenie znajdowało się na lewo od położenia początkowego? ←
2. W ilu przypadkach końcowe położenie znajdowało się wyżej niż położenie początkowe? ↑

3. W ilu przypadkach końcowe położenie znajdowało się na prawo od położenia początkowego? →
4. W ilu przypadkach końcowe położenie znajdowało się niżej niż położenie początkowe? ↓

Wnioski możemy zebrać w tabelę

Lp	poł. końcowe	ilość takich położeń	ilość sposobów przemieszczeń
1	←		1
2	↑		2
3	→		3
4	↓		2

W ostatniej kolumnie zapiszemy na ile rożnych sposobów cząstka mogła przemieszczać się w każdym z czterech kierunków. Najczęściej zdarzyło się przemieszczenie w prawo ! Mogło ono być realizowane na najwięcej sposobów w naszej zabawie (na wschód , południowy wschód, północny wschód). Możemy teraz uogólnić wniosek: **Najczęściej zdarzają się takie stany, które można zrealizować na najwięcej sposobów.**

Rozwiążmy następujący problem: jest naczynie w którym znajdują się cztery kule: biała b, czerwona c, zielona z i niebieska n. Naczynie jest „dwupokojowe" i wszystkie kule znajdują się w pokoju A.

1. Na ile sposobów wszystkie kule mogą przenieść się do pokoju B? Odp. na jeden sposób.
2. Na ile sposobów jedna kula może przenieść się do pokoju B? Odp. na cztery sposoby (albo tą kulą będzie n albo b ...itd.)
3. Na ile sposobów może być zrealizowany taki układ, że w A będą dwie kule i dwie będą w B? Odp.: na 6 sposobów: do części B mogą przejść zc,zn,zb,cn,cb,nb.

Ostatnią sytuację można zrealizować na najwięcej sposobów, stąd najbardziej prawdopodobnym rozmieszczeniem kul przy otwartych pokojach A i B będzie równy podział, takie, po dwie kule w każdym pokoju.

Tylko krok do następnego uogólnienia: im więcej kul (cząsteczek) wciągniemy do zabawy, tym większa różnica w ilości sposobów, na rzecz tego najbardziej prawdopodobnego, czyli równomiernego rozkładu ilości cząsteczek w pokojach jednakowej wielkości.

To jest prawidłowość.

Może ktoś teraz zapytać a co będzie jak pokoje są niejednakowej wielkości? Znowu można zacząć od prostego przypadku. Niech A będzie dwa razy większe od B. Podzielmy A na równe A1 i A2 i już będą trzy jednakowej wielkości pokoje. Zgodnie z pierwszym wnioskiem w każdym będzie tyle samo cząsteczek. Zatem w B będzie dwukrotnie mniej niż w połączonych A1 i A2. Mamy problem rozwiązany. Ilość cząstek będzie proporcjonalna do wielkości pomieszczenia.

Znowu prawidłowość!

KONIEC ZABAWY – POCZĄTEK POGADANKI

Podsumujmy. Najbardziej prawdopodobne jest, że układ wielu cząstek znajduje się w takim stanie, jaki można osiągnąć na największą ilość sposobów.

Z takim opisem stanu układu związana jest wielkość zwana **entropią**. Większa entropia odpowiada sytuacji/stanowi układu opisanemu w p.3 (6 sposobów na osiągnięcie takiego stanu) niż stanowi opisanemu w p-cie 2 (4 sposoby osiągnięcia takiego stanu).

Gdy postawisz szklankę na brzegu stołu to stwarzasz tak wiele możliwości – sposobów jej potrącenia, że jest najbardziej prawdopodobne, że znajdziesz ją rozbita na podłodze. W termodynamice mówimy: Nieodwracalna zmiana termodynamiczna układu jest to zmiana w kierunku stanów coraz bardziej prawdopodobnych. Stan o największym prawdopodobieństwie „przyciąga" czy też „pociąga" układ.

Otwórz zawór w butli ze sprężonym powietrzem a usłyszysz syk, hałas związany z przechodzeniem układu, ze stanu mniej do bardziej prawdopodobnego. Hałas towarzyszący procesowi wzrostu entropii.

Makroskopowy stan układu o maksymalnym prawdopodobieństwie nazywa się stanem atraktorowym (od słowa atraktor – „przyciągacz").

Jeśli układ osiągnie ten stan, to potem może już wykazywać niewielkie, lokalne i krótkotrwałe odchylenia od niego. Będzie – jak mówią fizycy – *fluktuował* wokół stanu atraktorowego.

Mówi o tym Boltzmannowska zasada porządku:

Jakikolwiek będzie pierwotny rozkład cząsteczek, to układ będzie dążył do tego, by rozkład był równy (N/V taki sam w każdej części zbiornika). Cząstki nadal będą przemieszczać się z jednej części do drugiej, ale średnio tyle samo będzie zmierzało w jednym co i w przeciwnym kierunku. W rezultacie będą tylko małe, krótkotrwałe odchylenia (fluktuacje) od stanu równowagi. Możemy być spokojni. Nie zabraknie nam powietrza z tego powodu, że wolne cząsteczki wszystkie zgromadzą się pod ławką.

W chaosie jest jednak jakiś porządek.

KONIEC POGADANKI

Można przed lekcją wypisać na tablicy jedno ze sformułowań wyrażające sens Drugiej Zasady Termodynamiki.

Np. **Układ izolowany zmierza w kierunku stanów coraz bardziej prawdopodobnych.**

Albo.: **W układzie odosobnionym procesy mogą zachodzić tylko w kierunku wzrostu entropii .**

EK i WD