

**dr Mariusz Mrózek**

Fizyk pracujący na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego, zajmujący się badaniem własności centrów barwnych w diamentach. Były nauczyciel fizyki w liceum, ogromny pasjonat nowych metod nauczania fizyki w szkole. Członek Polskiego Towarzystwa Fizycznego.
mariusz.mrozek@uj.edu.pl

ENTROPIA – CZY MOŻNA ODWRÓCIĆ CZAS?

W nieskończonym tańcu Wszechświata jeden z najbardziej nieuchwytnych i fascynujących konceptów to entropia i strzałka czasu. Wielkości te określają ruch ku chaosowi i nieuporządkowaniu w naszym świecie oraz nieodwracalną, jednokierunkową naturę czasu.

Mariusz Mrózek

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej
Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

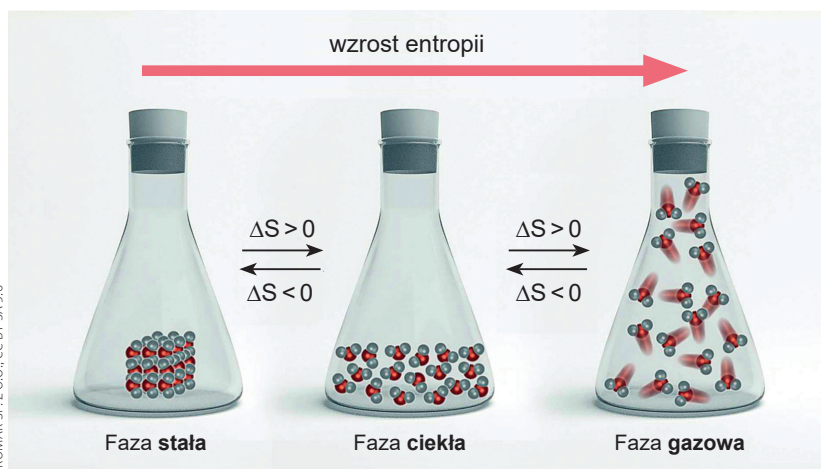
owym etapem życia, którym jest młodość. Musimy zadać sobie pytanie, czy natura podziela nasz zachwyt nad młodością i może być ona wieczna? Czy także nasz Wszechświat podlega nieuchronnemu wpływowi czasu i nieodwracalnej degradacji?

Miara nieporządku

Żeby mówić o entropii, musimy poznać kilka ważnych pojęć. Jednym z nich jest termodynamika – dziedzina fizyki zajmująca się badaniem energetycznych efektów przemian fizycznych i chemicznych, takich, które wpływają na zmiany energii wewnętrznej analizowanych układów. Termodynamika bada przede wszystkim przemiany cieplne, a także efekty energetyczne reakcji chemicznych, przemian z udziałem jonów, przemiany fazowe, a nawet przemiany jądrowe i energii elektrycznej. Termodynamika ma szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach, takich jak inżynieria – dzięki niej jest możliwe projektowanie silników spalinowych, turbin, lodówek i innych urządzeń termicznych, chemia – pozwala zrozumieć reakcje chemiczne i projektować procesy chemiczne, materiałoznawstwo – pomaga badać właściwości materiałów oraz ich reakcji na temperaturę i ciśnienie, meteorologia – z jej wykorzystaniem tłumaczymy zjawiska atmosferyczne, takie jak powstawanie chmur, opady i wiatr, oraz biologia – wyjaśnia procesy zachodzące w żywych organizmach, takie jak oddychanie i fotosynteza. Termodynamika odgrywa także fundamentalną rolę w naszym rozumieniu Wszechświata i jego ewolucji. Zasady termodynamiki

Wędrując przez pełne doświadczeń ludzkie życie, nie sposób nie dostrzec obecnie obsesyjnego przywiązania do młodości. Czyż nie chcemy pięknej, gładkiej skóry, siły wypływającej z każdego mięśnia, niepohamowanej ciekawości zwiędzania świata? To wszystko kojarzy się z tym wyją-

Zmiana entropii w zależności od stanu skupienia





określają, jak energia i materia zachowują się w czasie i przestrzeni, dając nam wgląd w ich przeszłość, teraźniejszość i przyszłość.

Entropia to pojęcie fizyczne (oznaczane literą S), które opisuje stopień nieuporządkowania układu. Możemy powiedzieć, że im większa entropia, tym bardziej nieuporządkowany jest układ. W kontekście termodynamiki entropia jest miarą rozproszenia energii w układzie. Matematycznie entropię można zdefiniować na kilka sposobów, ale jedna z najbardziej powszechnych definicji to tzw. wzór Boltzmann:

$$S = k \cdot \ln(W)$$

gdzie: k to stała Boltzmann ($k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$), W jest liczbą możliwych stanów mikrostatystycznych układu. Liczba stanów mikrostatystycznych W to inaczej liczba różnych sposobów, w jakie można ułożyć cząsteczki w układzie. Im więcej stanów mikrostatystycznych ma układ, tym jest on bardziej nieuporządkowany. Entropia ściśle wiąże się z drugą zasadą termodynamiki, która głosi, że entropia układu zamkniętego nie

może maleć w procesie zachodzącym samorzutnie. Oznacza to, że wszystkie naturalne procesy prowadzą do wzrostu nieuporządkowania.

Wzory fizyczne mogą być trochę niezrozumiałe, więc warto podać kilka przykładów, by lepiej zrozumieć, czym jest entropia. Wyobraźmy sobie pokój pełen książek. Na początku kustosz poukładał schludnie wszystkie tomy na półkach. Entropia pokoju jest mała, ponieważ układ jest uporządkowany. Gdy do biblioteczki przychodzi grupa dzieci, które mają za zadanie wybrać sobie do przeczytania jakąś książkę, wybierają ich po kilka sztuk, zanim się zdecydują, którą wezmą. Co poniektóre odkładają je w inne miejsce na półce lub zostawiają na podłodze. Entropia pokoju wzrasta, ponieważ układ staje się coraz bardziej nieuporządkowany.

Innym przykładem może być kawałek żelaza, który wystawiony na działanie powietrza i wilgoci ulega korozji, czyli rdzewieniu. Ten proces jest nieodwracalną reakcją chemiczną, która prowadzi do wzrostu entropii metalu. W skali kosmicznej możemy rozważać

gwiazdę, która wytwarza energię przez proces fuzji jądrowej. W miarę zużywania się paliwa jądrowego gwiazda stopniowo umiera, a jej entropia wzrasta.

Idziemy tylko w jednym kierunku

W 1927 roku brytyjski astrofizyk Arthur Eddington wprowadził i spopularyzował pojęcie strzałki czasu jako określenie kierunku ewolucji izolowanego układu, w którym następuje jednostajny wzrost entropii. Jest to równoznaczne założeniu, że istnieje jeden wyróżniony kierunek upływającego czasu oraz że występuje (niezależna od obserwatora) różnica między przeszłością a przyszłością – czyli między dwoma możliwymi kierunkami upływu czasu. Strzałka czasu oznacza więc jego asymetrię. Intuicja związana z istnieniem strzałki czasu wyraża się w stwierdzeniu, iż czas jest nieod-

czasu. Jest to teoria, według której subiektywnie doświadczamy upływu czasu. Przeszłość jest postrzegana jako skończona i niezmienna, a przyszłość jako otwarta i niepewna. Innymi słowy, pamiętamy wydarzenia z przeszłości, ale nie możemy przewidzieć, co wydarzy się w przyszłości. To doświadczenie jest fundamentalne dla naszego rozumienia czasu i odgrywa ważną rolę w wielu aspektach naszego życia. Pamiętamy wydarzenia z przeszłości, ale nie możemy pamiętać przyszłości. To dlatego, że pamięć jest procesem konstruowania i przechowywania informacji o przeszłych zdarzeniach. Możemy planować przyszłe działania, opierając się na naszych doświadczeniach z przeszłości. To dlatego, że zakładamy, że przyszłość będzie podobna do przeszłości. Opowiadamy historie o naszym życiu, które zazwyczaj mają strukturę liniową, od przeszłości do przyszłości. To dlatego, że łatwiej nam zrozumieć i zapamiętać wydarzenia, gdy są przedstawione w chronologicznej kolejności.

Odwrócenie procesu

Zastanówmy się teraz, czy entropia zawsze będzie wzrastać i czy nie ma możliwości zmiany tego procesu. Entropia lokalnie może maleć, co oznacza, że w pewnych układach i procesach możemy zaobserwować wzrost uporządkowania i zmniejszenie chaosu. Dzieje się tak, ponieważ Wszechświat nie jest statycznym systemem, lecz stale podlega zmianom i transformacjom. Istnieje wiele przykładów lokalnego zmniejszenia entropii w naturze i technologii. Kiedy ciecz ochładza się poniżej punktu topnienia, jej cząsteczki układają się w regularną strukturę krystaliczną. Prowadzi to do zmniejszenia entropii, ponieważ cząsteczki w kryształach są znacznie bardziej uporządkowane niż w cieczy. Lodówka działa przez usuwanie ciepła z wnętrza i przenoszenie go do otoczenia. Ten proces wykorzystuje energię elektryczną, ale prowadzi do zmniejszenia entropii wewnątrz lodówki, ponieważ ciepło jest przenoszone z miejsca o niższej temperaturze (wewnątrz lodówki) do miejsca o wyższej. Niestety, lokalne zmniejszanie entropii zawsze wiąże się ze wzrostem entropii w innym miejscu. Zgodnie z drugą zasadą termodynamiki całkowita entropia zamkniętego układu zawsze wzrasta. Oznacza to, że chociaż możemy lokalnie zmniejszać entropię w jednym miejscu, nigdy nie będziemy w stanie zmniejszyć całkowitej entropii Wszechświata.

Młodość z jej intensywnym rozwojem i pełnym możliwością dynamizmem jawi się jako fascynujący punkt zderzenia entropii i strzałki czasu. Jest to czas, który jednocześnie charakteryzuje się wzrostem organizacji biologicznej i emocjonalnej oraz wzrostem chaosu i niepewności. Młodość jest momentem, w którym jednostka staje w obliczu nieuchronnego upływu czasu, a także momentem, który daje jej siłę i determinację do kształtowania własnej przyszłości. ■

Strzałka czasu nie jest pojęciem absolutnym. Istnieją teorie fizyczne, takie jak teoria względności Einsteina, które sugerują, że czas może być względny, a podróżowanie w czasie – możliwe.

wracalny i płynie zawsze z przeszłości w przyszłość. Jest to jedna z podstawowych własności wymiaru, którym jest czas. Problem strzałki czasu ma zasadnicze znaczenie dla nauki. Gdybyśmy odrzucili istnienie wyróżnionego kierunku następstwa zdarzeń, to różnica między początkowym i końcowym stanem rzeczy, który jest wrodzonym doznaniem człowieka doświadczającego upływu czasu, w istocie jest czymś nierealnym i złudnym.

Istnieją różne teorie wyjaśniające strzałkę czasu, ale żadna z nich nie jest powszechnie akceptowana. Niektóre z najpopularniejszych teorii opisują tzw. termodynamiczną strzałkę czasu. Opiera się ona na drugiej zasadzie termodynamiki: entropia (miara nieuporządkowania) układu zamkniętego zawsze wzrasta. Oznacza to, że Wszechświat ewoluje od stanu o małej entropii (Wielki Wybuch) do stanu o dużej entropii (śmierć cieplna Wszechświata). Inna teoria rozważa kosmologiczną strzałkę czasu. Teoria ta opiera się na obserwacji, że Wszechświat rozszerza się – galaktyki oddalają się od siebie, a Kosmos staje się coraz rzadszy. Ten proces rozszerzania się jest uważany za przyczynę strzałki czasu. Ciekawą teorią opisującą strzałkę czasu jest psychologiczna strzałka

Chcesz wiedzieć więcej?

Rovelli C., *Tajemnica czasu*, Łódź 2019.

Pabjan T., *Zagadnienie strzałki czasu w filozofii Henryka Mehlberga*, „Zagadnienia Filozoficzne w Nauce” 2005, vol. 36.

Płonka J.S., *Zmniejszenie entropii i prostota jako zasady maszynowego rozpoznawania wzorców w ujęciu Satosi Watanabego*, „Zagadnienia Naukoznawstwa” 2018, vol. 1–4.