

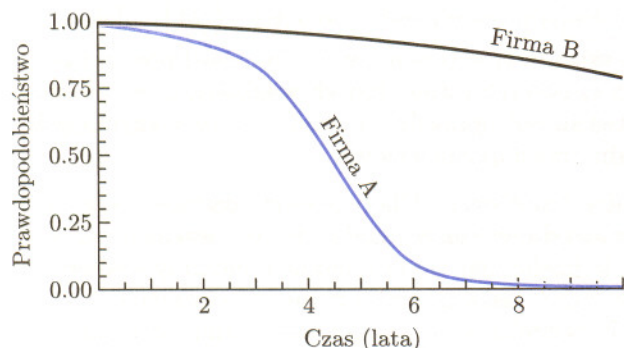
Prawdopodobieństwo rozpadu promieniotwórczego

Jacek DOBACZEWSKI

Nietrwałe obiekty materialne, jakie nas otaczają, rozpadają się w rozmaity sposób. Obiekty makroświata, czyli odpowiednio duże, rozpadają się głównie na drodze przemian chemicznych, jakie w nich zachodzą: deski próchnieją, samochody rdzewieją, itd. Skupmy uwagę na samochodach. Rysunek 1 przedstawia prawo rozpadu chemicznego produktów dwu różnych firm. Firma A używa marnej stali i nie troszczy się o zabezpieczenie antykorozyjne, więc z tysiąca wyprodukowanych przez nią pojazdów po trzech latach zardzewiały będzie już ze dwieście, a po kolejnych trzech latach – dziewięćset. Krzywa pokazana na rysunku 1 określa więc prawdopodobieństwo, że kupując samochód tej firmy, będziemy się cieszyć jego dobrym stanem w kolejnych latach użytkowania. Jest jasne, że firma B produkuje trwalsze samochody, gdyż krzywa rozpadu jej produktów jest zupełnie inna.

Niestety, obiekty mikroświata, te – wydawałoby się – idealne i nienaruszalne podstawowe cegiełki materii, też się rozpadają. Przede wszystkim rozpadają się jądra atomów. Tylko 253 jądra atomowe, spośród znanych około 2700, są trwałe. Pozostałe, po krótszym lub dłuższym czasie, ulegają rozpadowi, czyli przemianie promieniotwórczej, i powstają z nich inne jądra atomowe. Nietrwała jest też ogromna większość znanych nam cząstek elementarnych. Nie ma nawet pewności, czy trwałe są protony! Na razie ich nietrwałości domagają się tylko niepoprawni teoretycy; rozpadający się proton pozwoliłby im skonstruować ogólniejszą teorię cząstek elementarnych. Nie należy się nimi (teoretykami) za bardzo przejmować, ale tylko do czasu. Jeśli kiedyś rozpad protonu zostanie odkryty doświadczalnie, to wtedy, uwaga, nawet te trwałe 253 jądra atomowe nie będą chronione przed zgryźliwym zębem czasu – i one, wcześniej czy później, się rozpadną.

Właśnie. Wszystko zależy, oczywiście, od tego, czy wcześniej, czy później. Czyli od tego, jakie jest prawdopodobieństwo, że nasz ulubiony proton, który nabyliśmy za ciężko zapracowaną jedną milionową jednej milionowej jednej miliardowej grosza, pozostanie

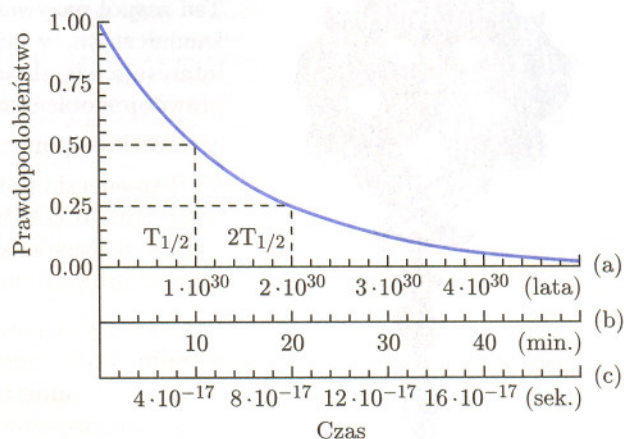


Rys. 1. Prawo rdzewienia samochodów.

jeszcze protonem po kilku latach czy też rozpadnie się np. na bezwartościowy mezon π^0 i pozyton. Żeby podjąć decyzję, czy kupno tegoż protonu jest sensowną inwestycją, musimy popatrzeć na krzywą rozpadu protonów. W ramach Kącika Porad Inwestycyjnych (KPI), specjalnie dla Czytelników *Delty*, autor przygotował rysunek 2, udzielający odpowiedzi na takie pytanie.

Ponieważ rozpadu protonu jeszcze w laboratoriach nie wykryto, więc rysunek przedstawia jedynie, co się może zdarzyć w najgorszym razie, czyli prawdziwe prawdopodobieństwa są na pewno większe niż pokazuje narysowana krzywa.

Z rysunku widać, że nie ma się czym martwić. Prawdopodobieństwo, że proton pozostanie protonem, spada do połowy po czasie co najmniej równym około 10^{30} lat (tysiąc miliardów miliardów miliardów lat). Określone jest ono przez uniwersalne prawo rozpadu promieniotwórczego, które mówi, iż po czasie $T_{1/2}$, zwanym czasem połowicznego rozpadu, prawdopodobieństwo, że obserwowany obiekt (cząstka, jądro) będzie dalej istniał, wynosi 1/2. Jest to bardzo ciekawe prawo, gdyż można je stosować, poczynając od dowolnej chwili. Jeśli bowiem w danej chwili mamy pewność (prawdopodobieństwo równe jeden), że obiekt istnieje (jeszcze się nie rozpadł), to po czasie $T_{1/2}$ prawdopodobieństwo to będzie wynosić 1/2. A co się stanie po czasie $2T_{1/2}$? Musimy pomnożyć prawdopodobieństwo, że obiekt dożył do czasu $T_{1/2}$ (równe 1/2) przez prawdopodobieństwo, że przeżyje kolejny czas $T_{1/2}$ (znow 1/2) i otrzymamy 1/4. I tak dalej: po każdym czasie $T_{1/2}$ prawdopodobieństwo P spada kolejne dwa razy, a więc jego zależność od czasu T musi wyrażać się wzorem wykładniczym $P = 2^{-T/T_{1/2}}$. Natomiast co będzie, gdy po pierwszym czasie $T_{1/2}$ sprawdzimy, że obiekt się jeszcze nie rozpadł? Wtedy znow prawdopodobieństwo jego istnienia jest równe jeden i po drugim czasie $T_{1/2}$ będzie wynosiło 1/2, a nie 1/4. Wszystko zależy więc



Rys. 2. Prawo rozpadu promieniotwórczego protonu (a), neutronu (b) i jądra ^8Be (c).

od tego, w której chwili mamy pewność, że cząstka istnieje, a prawo rozpadu promieniotwórczego mówi nam jedynie o tym, że będzie ono o połowę mniejsze po każdym przedziale czasu $T_{1/2}$.

Prawo rozpadu promieniotwórczego jest więc odbiciem faktu, że hipotetyczne rozpady w poszczególnych przedziałach czasu są niezależne. Dlatego prawdopodobieństwa rozpadu mnożą się, kiedy dodajemy przedziały czasu.

Uniwersalność prawa rozpadu promieniotwórczego polega na tym, że można je stosować do dowolnych nietrwałych obiektów mikroświata. Dla każdej cząstki wystarczy wziąć pod uwagę jej własny czas połowicznego rozpadu, a więc trzeba jedynie zmienić skalę na rysunku 2. Dla przykładu, pokazano tam

też prawa rozpadu promieniotwórczego neutronu swobodnego ($T_{1/2} \sim 10$ min.) i jądra ^8Be , czyli izotopu berylu o 4 protonach i 4 neutronach ($T_{1/2} \sim 4 \cdot 10^{-17}$ s). Jedna wspólna krzywa opisuje wszystkie prawdopodobieństwa rozpadu; wystarczy patrzeć na różne osie czasowe.

Wróćmy do rozpadu nabytego uprzednio pojedynczego protonu. Po czasie równym wiekowi Wszechświata (około 10^{10} lat) prawdopodobieństwo jego rozpadu jest rzędu zaledwie $T/T_{1/2} \sim 10^{-20}$. Gorzej jest, gdy spojrzysz na Wszechświat jako całość. We Wszechświecie jest podobno około 10^{80} protonów, więc od narodzin Wszechświata mogło się już było rozpaść około 10^{60} z nich. A tego jest już całkiem sporo – tak około tysiąca Słońc!

Kolektywy i miary

Prawdopodobieństwo według von Misesa i Kołmogorowa

Andrzej
DĄBROWSKI

Zasada ta po raz pierwszy pojawiła się w pracy *Ars Conjectandi* Jakuba Bernoulliego, wydanej po jego śmierci w 1713 r.

Niemożliwość przewidzenia zjawisk, nazwanych losowymi, była, według koncepcji uczonych XVIII wieku, skutkiem olbrzymiej liczby nie do końca poznanych przyczyn. Wyrazem tego pesymizmu była *zasada równomożliwości*: skoro nie umiemy opisać w pełni mechanizmu powstawania wyników przeprowadzanego eksperymentu, to uznajemy te wyniki za jednakowo możliwe. Z tej zasady Pierre Simon Laplace (1749–1827) wyprowadził definicję prawdopodobieństwa, zwaną do dziś definicją klasyczną Laplace’a. W dziele *Théorie analytique des probabilités*, wydanym w 1812 roku, przyjął założenie, że możliwych wyników elementarnych (czyli czegoś w rodzaju atomów) jest skończenie wiele i skoro są z założenia jednakowo prawdopodobne, to prawdopodobieństwo zajścia danego zdarzenia jest ilorazem liczby zdarzeń elementarnych, zawartych w tym zdarzeniu, do liczby wszystkich zdarzeń elementarnych.

Rachunek prawdopodobieństwa wzbogacił się w XIX wieku o nowe fakty i o nowe metody. Znaczące wyniki uzyskali: Gauss, Poisson, Czebyszew, Poincaré i inni. Ale od czasów Laplace’a nie uczyniono istotnego postępu w podstawach tej teorii. W dalszym ciągu nie było wiadomo, czym jest prawdopodobieństwo zdarzeń, gdy wyników elementarnych doświadczenia jest nieskończenie wiele.

Nauki przyrodnicze, głównie fizyka, dostarczały faktów doświadczalnych, których wyjaśnienie wymagało zaangażowania teorii prawdopodobieństwa na poziomie, odpowiadającym standardom teorii aksjomatycznych, obowiązujących na początku XX wieku. Nie może więc dziwić, że w odczycie Dawida Hilberta na II Międzynarodowym Kongresie Matematyków, który odbywał się w Paryżu w roku 1900, wśród zagadnień kluczowych w rozwoju matematyki XX wieku znalazł się postulat aksjomatyzacji teorii prawdopodobieństwa.

Pierwsze próby aksjomatyzacji prawdopodobieństwa z 1909 roku pochodziły od matematyka francuskiego, Emila Borela (1871–1956) i dotyczyły teorii prawdopodobieństwa w eksperymentach, których wyniki elementarne da się ustawić w ciąg (a więc zbiór wyników jest przeliczalny).

Prawdziwą burzę wywołały jednak prace nad podstawami teorii prawdopodobieństwa profesora Uniwersytetu Berlińskiego, Richarda von Misesa, opublikowane w roku 1919. O powodach podjęcia takiego wyzwania pisał w swojej książce (*Kleines Lehrbuch des Positivismus*) poświęconej pozytywizmowi: *„Pozytywizm nie oznacza, że na wszystkie pytania można odpowiedzieć racjonalnie, tak jak medycyna nie opiera się na obietnicy, że wszystkie choroby są uleczalne, ani tak jak fizyka nie postuluje, że wszystkie*

Richard von Mises urodził się 19 kwietnia 1883 roku we Lwowie. Był wszechstronnym matematykiem, specjalistą z zagadnień statystyki i teorii prawdopodobieństwa, fizykiem i filozofem. W wieku 26 lat został profesorem zastosowań matematyki w Strasburgu, gdzie pozostał do 1918 roku; podobne stanowisko zajmował w Berlinie w latach 1920–1933. Zmuszony przez hitlerowców do opuszczenia kraju, najpierw zatrzymał się w Stambule, aby wyemigrować do USA w 1939 roku, gdzie otrzymał stanowisko profesora na Uniwersytecie Harvarda. Był entuzjastą i wybitnym teoretykiem lotnictwa, specjalistą mechaniki płynów, aerodynamiki i aeronautyki. Jego dzieło *Theory of Flight* jest nadal wydawane. Pierwszy uniwersytecki wykład z teorii lotów silnikowych wygłosił w roku 1913. W roku 1915 skonstruował 600-konny samolot silnikowy, który pilotował podczas I wojny światowej jako oficer armii austriackiej. Zmarł 14 lipca 1953 roku w Bostonie.