

Krople deszczu

Złota polska jesień się kończy. Nieuchronnie wchodzimy w okres słońca jesiennych. Zamiast wpadać w minorowy nastrój, można się zastanowić, na ile rozumiemy zjawisko deszczu. Konkretnie chodzi o rozmiar kropeł. Czy jest jakiś związek między ich wielkością a intensywnością deszczu?

Doświadczenie podpowiada nam, że ulewy rozpoczynają się od stosunkowo dużych kropeł, których nie obserwujemy dla „kapuśniaczku”.

Te wrażenia można skonfrontować z systematycznymi badaniami, które po raz pierwszy zostały przeprowadzone 105 lat temu przez W. Bentleya oraz, niezależnie, przez P. von Lenarda. W 1948 roku natomiast J.S. Marshall i W.M. Palmer wykazali, że rozkład wielkości kropeł jest wykładniczy

$$n(d) \sim e^{-d/\langle d \rangle},$$

gdzie d jest rozmiarem kropli, a średni rozmiar

$$\langle d \rangle \sim \mathcal{R}^{-0,21}$$

jest proporcjonalny do pewnej potęgi intensywności \mathcal{R} , która jest miarą tempa przyrostu słupa wody opadu (typowe jednostki to mm/h).

Żeby pogodzić tę obserwację z naszym doświadczeniem, wystarczy pamiętać o dwóch rzeczach. Po pierwsze, w celu oszacowania ilości wody przypadającej na dany rozmiar kropli należy rozkład wielkości pomnożyć przez objętość kropli ($V = \pi d^3/6$) oraz prędkość jej opadania (wynikającą z warunków równowagi sił oporu i grawitacji: $v \sim \sqrt{gd}$), co łącznie daje czynnik $d^{3+1/2}$. Powoduje to, że pojawia się wyraźne maksimum wielkości kropli mających wkład w sumaryczny opad. Maksimum to przypada dla tym większego rozmiaru kropli, im większa jest intensywność deszczu. Po drugie, samotne duże krople obserwujemy przede wszystkim na początku ulewy, czyli wtedy gdy spadają one na ziemię pojedynczo. Wtedy małe krople wyparowują w locie (intensywność parowania zmniejsza się wraz z gęstością kropeł).

Okazuje się, że empirycznie stwierdzoną proporcjonalność między średnim rozmiarem kropli $\langle d \rangle$ a intensywnością \mathcal{R} można z powyższego rozumowania odtworzyć [1]. Wystarczy wprowadzić zmienną $x = d/\langle d \rangle$ i scałkować, żeby uzyskać związek

$$\mathcal{R} = \langle d \rangle^{9/2} \int f(x) dx \sim \langle d \rangle^{9/2},$$

a następnie zauważyć, że $9/2 = 0,21$.

Jest wiele naturalnych obiektów, których rozkład rozmiarów jest opisywany funkcją wykładniczą. Za każdą taką dystrybucję odpowiada jakiś mechanizm tworzenia się takich obiektów. Od dość dawna wiadomo, że w przypadku kropli deszczu takim zjawiskiem może być rozpad większych kropli na mniejsze. Uważano, że rozpad ten jest związany ze zderzeniami kropeł, co jednak nie pozwalało na opracowanie zgadzającego się z doświadczeniem modelu, ze względu na zbyt niskie prawdopodobieństwo zderzeń.

Tym czasem, w pracy [1], wykazano, że wystarczy uwzględnienie rozpadu izolowanych kropeł w czasie swobodnego ich opadania. Krople rosną w chmurach

do rozmiaru, dla którego ruchy konwekcyjne nie wystarczają do ich utrzymania, a parowanie w czasie spadania nie jest wystarczające do ich zniknięcia w locie.

W omawianej pracy za pomocą ultraszybkiej kamery wykonano zdjęcia określonej wielkości kropeł umieszczanych w strumieniu powietrza. W artykule pokazane są serie zdjęć poklatkowych, a w materiałach dodatkowych zamieszczono również film. Podstawowy sposób rozpadu kropli jest następujący. Kropla najpierw spłaszcza się, zachowując grubszy brzeg, następnie z wnętrza takiego krążka tworzy się jakby czasza spadochronu i w końcu następuje dezintegracja na drobne kropelki różnych rozmiarów. Zliczanie tych kropełek pozwala na odtworzenie znanych prawidłowości, które zgadzają się z przedstawionymi obliczeniami dynamiki kropli w oparciu o zasady podstawowe.

„Po zrozumieniu, co dzieje się z pojedynczą, izolowaną kroplą, bez uwzględniania jakiegokolwiek oddziaływania z innymi kroplami, można zdać sobie sprawę, że produkty jej rozpadu wystarczają do ilościowego opisanego statystycznego składu deszczu. Tak więc oddziaływania nie są potrzebne w tym opisie. To jest podstawowa obserwacja” – powiedział Villermaux dziennikarzowi *Scientific American* [2].

Artykuł zawiera również obliczenia skal czasowych opisanych mechanizmów. Według autorów kolejnym wyzwaniem byłoby przeprowadzenie odpowiednich obserwacji rzeczywistego deszczu. Jesienią nie powinno zabraknąć po temu okazji.

Piotr ZALEWSKI

[1] Emmanuel Villermaux i Benjamin Bossa, *Single-drop fragmentation determines size distribution of raindrops*, *Nature Physics*, 20/07/2009, DOI:10.1038/NPHYS1340

[2] John Matson, *Scientific American* 20/07/2009 <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=raindrop-size-physics>