



Upadłe koty

Jak powszechnie wiadomo, koty, niezależnie od wysokości, z jakiej spadają, podczas lotu potrafią obrócić się w powietrzu, dzięki czemu zawsze lądują na łapach.

Dlaczego tak jest? Tym pytaniem na poważnie fizycy zainteresowali się w pierwszej połowie XIX wieku. Jednym z wielkich uczonych badających ten z pozoru banalny problem był – znany ze sformułowania podstawowych równań elektrodynamiki – James Clark Maxwell. Maxwell zauważył, że dużo trudniej kotu obrócić się przy upadku z małej wysokości, a jego eksperymenty wykazały w istocie, że graniczna wysokość, poniżej której kot upada (na łózko!), nie zdążywszy się obrócić, wynosi około pięciu centymetrów.

W 1870 roku w liście do żony Maxwell dementował rozpowszechnione na Uniwersytecie w Cambridge stare plotki, że w celu zgromadzenia danych doświadczalnych rzucał kotami z wysokości pierwszego piętra.

Nie da się ukryć, że istniała studencka gra, polegająca na próbach wyrzucenia kota z okna tak, by nie wylądował na łapach. Studenci zastanawiali się, jak można wyjaśnić tę zdolność zwierzęcia i jak ją opisać równaniami. W tamtych czasach wierzono, że koty po prostu odpychają się od ręki upuszczającego je człowieka, dzięki czemu są w stanie się obrócić (fizyk powiedziałby: uzyskują na początku ruchu niezerowy moment pędu). Chociaż zagadnienie spadającego kota nie wydawało się wielkim wyzwaniem, Maxwell zainteresował się jednak nieco poważniej tym problemem i w 1857 roku zaprojektował demonstracyjny bączek posiadający dziewięć śrub na korpusie i ruchomą „główkę”.

Dopiero pod koniec XIX wieku Étienne-Jules Marey przygotował dla spadających kotów eksperyment z użyciem chronofotografu, dzięki czemu udowodnił, że koty zaczynają ruch bez obrotu, a wykonują go dopiero w połowie spadku („Nature”, 1894). Było to zadziwiające dla fizyków, bo sugerowało, że koty rozpoczynają obrót w czasie upadku. Nie zgadzałyby się to jednak z prawami dynamiki Newtona, które orzekają, że w układzie izolowanym, za jaki można uznać spadającego kota, musi być spełniona zasada zachowania momentu pędu, i kot nie może zacząć obracać się sam z siebie.

Przez wiele dekad uznawano również, że ogon (stanowiący typowo około 3% masy kota, ale mogący się szybko poruszać) jest bardzo pomocny lub wręcz niezbędny w całym procesie obrotu. Teoria ta została jednak obalona, gdy brytyjski fizjolog D. A. McDonald przeprowadził eksperymenty na bezogoniastych kotach rasy „rumpy” i udowodnił, że brak ogona nie uniemożliwia kotom samoistnego obracania się.

Problem spadającego kota wyjaśniono dopiero w 1969 roku (wcześniej, w 1935 roku, Rademaker i Ter Braak

zaproponowali uproszczone rozwiązanie). Odpowiadali za to pracujący dla NASA T. R. Kane oraz M. P. Scher. Problemem zajęli się w ramach szerszych badań, których celem miało być przygotowanie astronautów do poruszania się w stanie nieważkości. Zaproponowali oni model kota jako pary walców tworzących przednią i tylną część kota, połączonych elastycznym kręgosłupem. Przyjrzyjmy się zatem temu modelowi.

Kręgosłup kota jest wygięty, jednak pomiędzy różnymi jego częściami nie dochodzi do wzajemnego skręcania. Kręgosłup przechodzi przez kolejne etapy ruchu: od wygięcia do przodu do zgięcia bocznego, następnie do wygięcia w tył, ponownego zgięcia bocznego i ostatecznie powrotu do początkowego wygięcia. Stopień wygięcia tylnej części kręgosłupa jest znacznie mniejszy niż wygięcie przedniej części. Kluczowe etapy ruchu to: 1) Zgięcie w połowie ciała – dzięki temu przednia połowa ciała obraca się wokół innej osi niż tylna; 2) Cofnięcie przednich łap – zmniejsza moment bezwładności przedniej części ciała, a jednocześnie wyprostowanie tylnych łap zwiększa moment bezwładności tylnej części ciała. W efekcie kot może obrócić przednią część ciała o około 90°, podczas gdy tylna część obraca się w przeciwnym kierunku jedynie o około 10°; 3) Wyprostowanie przednich łap i cofnięcie tylnych – umożliwia dalszy obrót tylnej części ciała, przy jednoczesnym niewielkim obrocie przedniej części w przeciwnym kierunku. W zależności od elastyczności kota oraz jego początkowego momentu pędu, jeśli w ogóle występuje, może być konieczne kilkukrotne powtórzenie kroków 2 i 3, aby w pełni obrócić ciało o 180°.

Nie było to ostatnie słowo mechaniki kotów. W 1993 roku Montgomery zaproponował bardziej złożoną teorię opisującą dynamikę tego ruchu, a badania nad zdolnością kotów do spadania na cztery łapy znalazły zastosowanie nie tylko w astronautyce, ale też w teorii sterowania – kot w locie jest bowiem świetnym przykładem tzw. układu nieholonomicznego, czyli układu ze złożonymi ograniczeniami między różnymi parametrami zależnymi od tempa zmian tych parametrów.

Mechanika kota okazuje się znacznie bardziej złożona, niż wskazywałyby na to codzienna statyka leżenia na ludzkich kolanach i dynamika biegu do miski podczas karmienia.

Literatura

- [1] Kane, T.R. and Scher, M.P. (1960) „A dynamical explanation of the falling cat phenomenon”, *International Journal of Solids and Structures*, 5(7): 663–670
- [2] Iwai, T. (2021) „Geometry, Mechanics, and Control in Action for the Falling Cat”, Springer, *Lecture Notes in Mathematics* (vol. 2289)

Arkadiusz HESS*, Łukasz NIEDŹWIEDZKI**, Anna SOCHA*

* Kolegium MISMaP, Uniwersytet Warszawski, ** Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski