Granica Roche'a

Na stronie Ziemi zwróconej do Księżyca ocean podnosi się (następuje przypływ), ponieważ Księżyc przyciąga silniej wodę niż wnętrze Ziemi. Woda jest tu wszak o 6370 km bliżej Księżyca niż środek Ziemi. Na stronie przeciwnej wnętrze Ziemi jest przyciągane silniej niż oceaniczna woda, dlatego tam również ocean podnosi się. Nietrudno jest oszacować różnicę przyspieszeń grawitacyjnych będącą przyczyną tego zjawiska. Jeżeli przez R oznaczymy promień Ziemi, a odległość Księżyca (dużą w porównaniu z promieniem Ziemi) przez $r = 3{,}84 \cdot 10^8$ m, to różnica ta w przybliżeniu wyniesie

$$\Delta a = \mathrm{G}M\left[\frac{1}{(r-R)^2} - \frac{1}{r^2}\right] \approx 2\mathrm{G}M\frac{R}{r^3},$$

gdzie G to stała grawitacji, a $M = 7{,}35 \cdot 10^{22}$ kg to masa Księżyca. Podstawiwszy wartości liczbowe stwierdzamy, że różnica ta (czyli „przyspieszenie pływowe") jest rzędu 1 $\mu\mathrm{m/s}^2$. A więc mała, ale widocznie wystarczająca, by oceany podnosiły się o kilka metrów.

Ale nie o to chodzi. Jasne, że gdyby Księżyc był płynny, to Ziemia powodowałaby jego pływy, i to znacznie silniejsze, gdyż ma znacznie większą masę. Widzimy też, że przyspieszenie pływowe jest tym większe, im bliżej znajduje się ciało powodujące pływy – jest odwrotnie proporcjonalne do trzeciej potęgi odległości. Warto więc może sprawdzić, czy dostatecznie blisko planety przyspieszenie pływowe ma prawo być większe niż własne przyspieszenie grawitacyjne satelity na jego powierzchni – co doprowadziłoby do katastrofy. Innymi słowy, sensowne staje się pytanie: czy płynny satelita może obiegać swoją planetę w dowolnie małej odległości?

Wyprowadzony tu wzór nie da nam odpowiedzi na to pytanie. Jest on przecież słuszny w przypadku, gdy odległość ciał jest duża w porównaniu z ich rozmiarami. Dla odległości małej problem ten jest trudny rachunkowo, został jednak zbadany, aczkolwiek również przy pewnych upraszczających założeniach. Mianowicie postuluje się, że satelita zbudowany jest z jednorodnej i nieściśliwej cieczy, obiega planetę w niezmiennej odległości w takim samym czasie, w jakim się obraca (czyli jest tzw. satelitą synchronicznym – jak nasz Księżyc), a jego kształt jest dokładnie elipsoidalny. W wyniku zawiłych obliczeń okazuje się, że satelita o gęstości ρ_s obiegający planetę o gęstości ρ może „żyć" nie bliżej niej niż w odległości $2{,}455\sqrt[3]{\rho/\rho_s}$ jej promieni (licząc od środka planety). Ta krytyczna odległość nazywana jest granicą Roche'a. Zwróćmy uwagę, że np. pierścienie Saturna mieszczą się wewnątrz jego granicy Roche'a (przy założeniu, że $\rho = \rho_s$). Z tego nie musi wynikać, że jakieś ciało uległo tam rozerwaniu, bo może – odwrotnie – drobne bryłki nie zebrały się w większy glob.

W kiepskich powieściach fantastycznych spotyka się scenę, jak załoga nerwowo oczekuje, co stanie się, gdy statek kosmiczny przekroczy granicę Roche'a planety, do której właśnie się zbliża. Scena taka jest w ogóle bez sensu, bo przede wszystkim skoro miałoby się coś stać, to nie należało się do tej planety zbliżać. Ale i tak nie stanie się nic, bo nie ma prawa: statek jest przecież metalowy, a nie płynny. Bardzo silne przyspieszenia pływowe występują oczywiście w pobliżu zwartych obiektów, takich jak gwiazdy neutronowe czy czarne dziury, ale przy zbliżaniu się do nich statek uległby zagładzie dużo wcześniej z zupełnie innych powodów. A może na koniec Czytelnik wyjaśni, dlaczego woda wypuszczona luzem we wnętrzu załogowej stacji kosmicznej zbiera się w kule? – można to czasami zobaczyć nawet w telewizji. Przecież stacja kosmiczna obiega Ziemię poniżej ziemskiej granicy Roche'a! Tymczasem te kule wodne nie dość, że nie mają zamiaru się rozpadać, to nie wykazują nawet śladu deformacji pływowej.

T. K.