

Soczewki grawitacyjne i mechanika klasyczna

Rozwiążmy następujące zadanie (a po co — to się na końcu okaże): znaleźć kąt, o jaki zmienia się kierunek prędkości małej masy m przelatującej w pobliżu innej masy M . Rysunek ilustruje tę sytuację, a użyte na nim symbole nie wymagają chyba specjalnych objaśnień. Interesuje nas kąt α pomiędzy kierunkiem wektora prędkości ciała m bardzo daleko przed spotkaniem, a kierunkiem bardzo daleko po spotkaniu z masą M . Jest to kąt między asymptotami hiperboli, po której porusza się masa m nadlatując „z nieskończoności”, przy czym widać, że $\alpha = \pi - 2\psi$. Kogo rachunki zniechęcają, może teraz od razu przejść do słowa **OSTATECZNIE**, zaś chętnym przedstawiamy sposób rozwiązania naszego zadania.

W każdej chwili x -owa składowa przyspieszenia ciała m wynosi $-\frac{GM}{r^2} \cos \varphi$ (G oznacza stałą grawitacji). Całkowita zmiana x -owej składowej prędkości jest, jak wiadomo, całką względem czasu tej składowej przyspieszenia, a więc

$$\Delta v_x = - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{GM}{r^2} \cos \varphi dt.$$

Czas jako zmienną całkowania można stąd wyeliminować przy pomocy zasady zachowania momentu pędu. Mianowicie ten moment pędu wynosi $J = mr^2 \frac{d\varphi}{dt} = mRv_{\infty}$, gdzie v_{∞} oznacza prędkość ciała w nieskończoności. Zastępując zatem dt przez $d\varphi$ mamy

$$\Delta v_x = - \frac{GMm}{J} \int_{\psi}^{2\pi-\psi} \cos \varphi d\varphi = \frac{2GM}{Rv_{\infty}} \sin \psi.$$

Ale pełna zmiana x -owej składowej prędkości równa jest podwojonej wartości tej składowej w nieskończoności, gdyż składowa ta w wyniku spotkania zmienia tylko znak. Skoro więc $\Delta v_x = 2v_{\infty} \cos \psi$, to **OSTATECZNIE**

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{GM}{Rv_{\infty}^2}.$$

Czy formułę tę można zastosować do obliczenia odchylenia promienia świetlnego w polu grawitacyjnym masy M ? Może wystarczy podstawić $v_{\infty} = c =$ prędkości światła i sprawa będzie załatwiona? Otóż takich chwytów stosować nie wolno — to mechanika klasyczna jest szczególnym przypadkiem relatywistycznej, a nie odwrotnie. Gdyby do tej formuły wstawić jednak niefrasobliwie c , to dla małych kątów (kiedy to $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \approx \frac{\alpha}{2}$) byłoby

$$\alpha \approx \frac{2GM}{Rc^2},$$

podczas gdy w rzeczywistości w liczniku zamiast dwójki powinno być 4. Istnienia tej czwórki w żaden sposób nie udowodni się na gruncie mechaniki newtonowskiej, wynika ono dopiero z rzetelnego rozwiązania równań pola grawitacyjnego. Należy się tu wręcz dziwić, że poprzez tak proste klasyczne rozważania otrzymaliśmy wynik tak zbliżony z rzeczywistym, wynikającym uczciwie z teorii względności i z obserwacji — w końcu chodzi raptem o czynnik 2!

W praktyce uginanie światła przez realny obiekt („soczewkę grawitacyjną”) zachodzi w sposób mocno skomplikowany. W zjawisku tym ma znaczenie zarówno rozkład masy w tym obiekcie, jak i jego położenie względem kwazara, spełniającego rolę punktowego źródła światła. O ile obraz kwazara 0957+561 jest chyba dość dobrze wytłumaczony i galaktyka-soczewka jest po prostu zaobserwowana, to potrójny kwazar 1115+080 jest bardziej zagadkowy. Otóż żaden jako tako sensowny rozkład masy w galaktyce-soczewce nie jest w stanie wyjaśnić trójkątnego ustawienia składników obrazu. Byłoby w porządku, gdyby składniki te leżały w przybliżeniu na jednej prostej; w dodatku zresztą teoria wymaga, aby składników była liczba w każdym razie nieparzysta. W tej sytuacji kwazar 0957+561 jest istotnie najprawdopodobniej potrójny, tylko że jeden ze składników pokrywa się z galaktyką-soczewką. Można by próbować sprawdzić, czy obraz „trójkątny” nie może być wywołany przez kilka galaktyk-soczewek, ale taka sytuacja od razu wygląda na bardzo mało prawdopodobną. W związku z tym grupa amerykańskich astronomów przeprowadziwszy stosowne obliczenia modelowe doszła do wniosku, że najprawdopodobniej obraz kwazara 1115+080 jest w rzeczywistości pięciokrotny, gdzie składnik A jest podwójny, a piątego nie widać wskutek jego bardzo małej jasności. Obserwacje dowodzą, że najjaśniejszy składnik A jest istotnie wydłużony w oczekiwanym kierunku tak, że może być uważany za nałożenie się dwóch obrazów. Niestety, nadal nie została zaobserwowana galaktyka-soczewka. Być może jest ona niewidoczna po prostu z powodu wielkiej odległości i dlatego przedstawiona tu interpretacja osobliwego zjawiska będzie z pewnością jeszcze wielokrotnie sprawdzana.