Paradoksy Olbersa

Jeden z podstawowych postulatów kosmologii, tzw. zasada kopernikowska, głosi, że Wszechświat oglądany z dowolnego miejsca wygląda średnio tak samo. Ta bardzo naturalna i bogata w skutki zasada, zastosowana bezpośrednio do naszego Wszechświata, prowadzi jednak natychmiast do tzw. paradoksu Olbersa. Jest on formułowany w dwóch wersjach: fotometrycznej i grawitacyjnej (zwanej też grawitacyjnym paradoksem Seeligera).

Wersja fotometryczna mówi, że skoro na mocy zasady kopernikowskiej gęstość przestrzenna gwiazd jest wszędzie średnio taka sama, to całe niebo powinno świecić nieskończenie jasno. Wyobraźmy sobie bowiem gwiazdy znajdujące się w małym kącie bryłowym $d\omega$ w odległości od nas zawartej między r a $r + dr$. Ich liczba w tak określonym elemencie objętości jest proporcjonalna do $r^2 dr d\omega$. Oświetlenie na Ziemi dawane przez każdą gwiazdę jest proporcjonalne do r^{-2}, zatem oświetlenie dawane przez gwiazdy z tego elementu objętości od odległości już nie zależy i jest proporcjonalne do $dr d\omega$. Wynik sumowania (całkowania) po nieskończonej objętości Wszechświata jest wobec tego nieskończony. W naszym rozumowaniu milcząco traktowaliśmy gwiazdy jak punkty. W rzeczywistości są one widoczne jako wprawdzie bardzo małe, ale tarczki i dlatego przy równomiernym wypełnieniu przestrzeni przez gwiazdy patrząc w dowolnym kierunku powinniśmy widzieć powierzchnię gwiazdy. Oświetlenie na Ziemi byłoby wtedy skończone, ale całe niebo powinno świecić z jasnością powierzchniową przeciętnej gwiazdy. Tymczasem niebo jest jednak czarne! Tu uwaga: nie oznacza to, że z fragmentów nieba pomiędzy gwiazdami nie dociera żadne promieniowanie, a tylko, że tego promieniowania jest tak mało, że niebo widzimy tam jako czarne.

Odrzucenie zasady kopernikowskiej byłoby z wielu powodów niekorzystne dla przyrodoznawstwa, dlatego od samego początku próbowano znaleźć sposób na wybrnięcie z tej sprzeczności. Taką próbą była np. hipoteza Wszechświata hierarchicznego. Postulowało się mianowicie, że gwiazdy grupują się w galaktykach, galaktyki w gromadach galaktyk, gromady galaktyk tworzą zgrupowania wyższego rzędu itd. W modelu takim gęstość przestrzenna gwiazd obliczana dla coraz większych obszarów byłaby coraz mniejsza, ponieważ w objętości zawierającej strukturę wyższego rzędu zawsze byłyby zawarte gwiazdy o gęstości odpowiadającej strukturom poprzedniego rzędu plus próżnia między nimi. W rezultacie dla Wszechświata nieskończonego gęstość gwiazd dążyłaby do zera, a więc niebo mogłoby być czarne. Problem grupowania się galaktyk jest, co prawda, do dziś istotny dla astronomii, ale fotometryczny paradoks Olbersa stracił znaczenie, a przyczyną stało się odkrycie ucieczki galaktyk. Mianowicie, nawet gdyby gwiazdy wypełniały przestrzeń równomiernie, wskutek ich dopplerowskiego poczerwienienia (obniżenia energii kwantów światła) i ekspansji całego Wszechświata (obniżenia gęstości kwantów) oświetlenie dawane przez gwiazdy z odległości r spadałoby z jej wzrostem gwałtowniej niż r^{-2}. Sumowanie (całkowanie) oświetleń ze wszystkich odległości (do nieskończoności) dałoby wtedy wynik skończony, a więc, być może, niebo byłoby czarne.

Wersja grawitacyjna paradoksu jest subtelniejsza, a trudności są innego typu. Gdyby mianowicie Wszechświat miał być nieskończony i równo wypełniony materią, to z każdego kierunku powinniśmy odczuwać nieskończone przyciąganie grawitacyjne. Tu można by powiedzieć, że skoro z każdego kierunku, to nie ma problemu, bo wszystko się znosi. Nie jest to jednak takie proste, bowiem mogłyby się tak znosić oddziaływania dowolnie silne, byle skończone, natomiast w ogóle nie wiadomo, czy $-\infty$ i $+\infty$ mogą się jakkolwiek kasować. Na szczęście stało się to również nieistotne po odkryciu ekspansji Wszechświata oraz tego, że grawitację, tak naprawdę, opisuje nie prawo Newtona, lecz równania Einsteina.

Tomasz KWAST

Możemy więc z łatwością obliczyć prędkość, z jaką będzie się przesuwał ów punkcik:

$$2\pi \cdot 300\,000 \text{ km}/0,5 \text{ s} > 12c\,.$$

A więc prędkość światła zostanie przekroczona ponad 12 razy! Gdyby wziąć ekran o jeszcze większym promieniu bądź obrócić laser z większą prędkością, to moglibyśmy otrzymać dowolnie dużą prędkość poruszania się świetlnego punktu po ekranie.

I wreszcie ostatni sposób. Sposób ten będzie najprostszy. Do zrozumienia jego nie będzie potrzeba żadnych wiadomości z fizyki i dzięki temu będzie tutaj najbardziej widoczne, dlaczego nie prowadzi on do sprzeczności z teorią względności.

Nieraz wystawy są ozdabiane rurkami, wewnątrz których znajdują się żaróweczki – jedna obok drugiej. Żaróweczki te po kolei zapalają się i gasną, dzięki czemu odnosimy wrażenie, jakby wewnątrz rurki przesuwał się świetlny punkt.

Wyobraźmy więc sobie następujące doświadczenie. Ustawmy żaróweczki jedna obok drugiej w odstępach 1 cm na odcinku o długości 1 000 000 km, przy czym tak podobierajmy czasy zapalania się żaróweczek, że kolejna żaróweczka zapala się o 10^{-11} s później niż poprzednia. Ponieważ mamy akurat 10^{11} żaróweczek, więc ostatnia zapali się o sekundę później niż pierwsza. Obserwator będzie więc widział punkt świetlny, który pokona odległość miliona kilometrów w ciągu jednej sekundy, a więc ponad trzykrotnie przekroczy prędkość światła!

Ale czy to przeczy teorii względności? Oczywiście, że nie, gdyż poruszaniu się świetlnego punkcika tak naprawdę nie będzie towarzyszył żaden rzeczywisty ruch. To jest tylko złudzenie. Żadna cząstka, żadna fala, żadna informacja nie biegnie wraz z tym punktem.

Teoria względności mówi, że jeśli w punkcie A zaszło jakieś zjawisko, to żaden efekt tego zjawiska, żadna informacja o nim nie dotrze do punktu B z prędkością większą niż c. A więc nie możemy wysłać z punktu A do punktu B żadnej cząstki, żadnej fali z prędkością większą niż c. Natomiast teoria względności nie eliminuje innych sposobów pokonania prędkości światła, takich jak choćby opisane w powyższych przykładach. I choć poza pierwszym przykładem (tym z galaktyką) przekroczenie prędkości światła nastąpiło naprawdę, to jednak uzasadnione wydaje się nazwanie