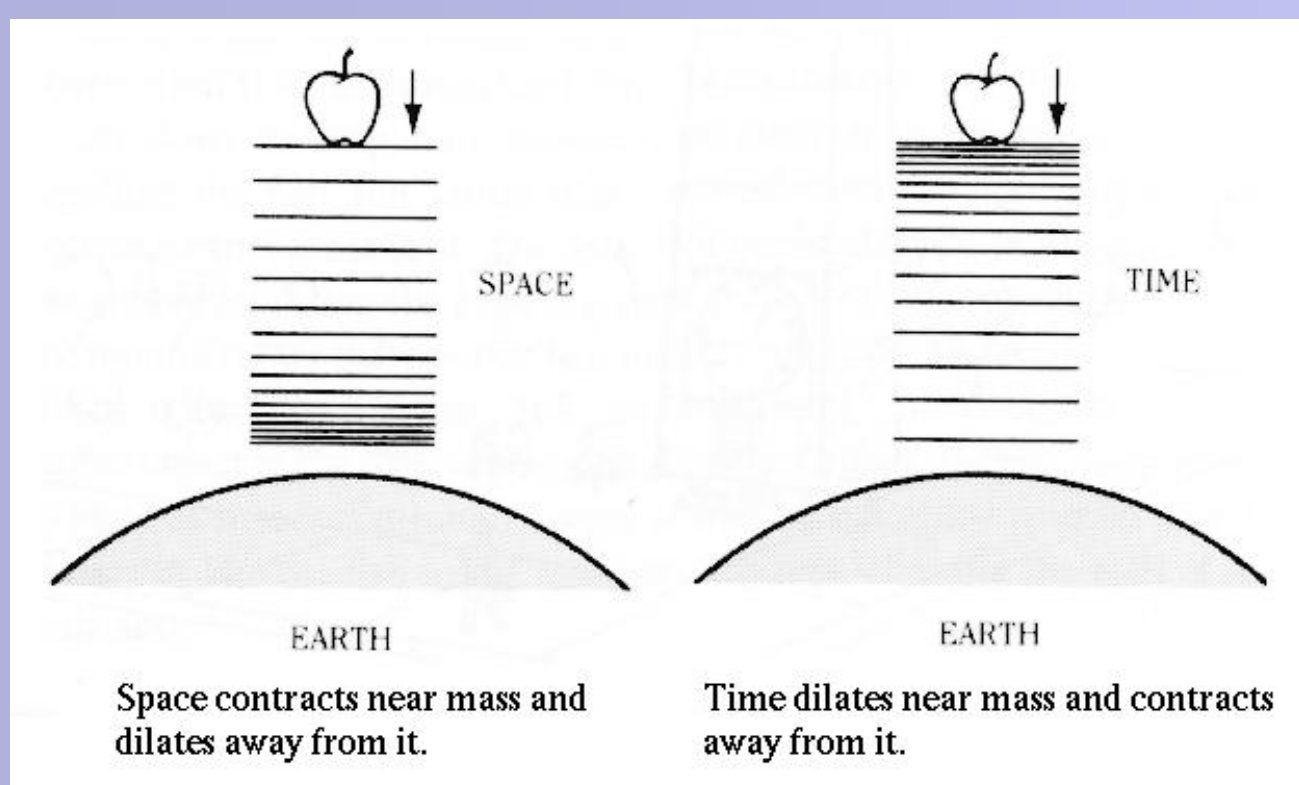


# Czas i grawitacja



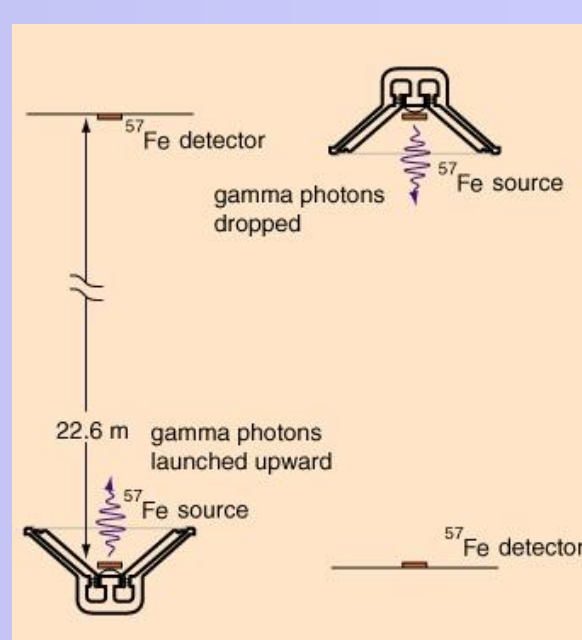
**Pound-Rebka Experiment**

- Performed in the tower at the University of Harvard
- Gamma rays of 14.4keV emitted from nuclear transition of iron-57
- Detected at base of 22.6m tower
- Energy emitted  $hf_{em} + mgH$
- Energy detected  $hf_o$

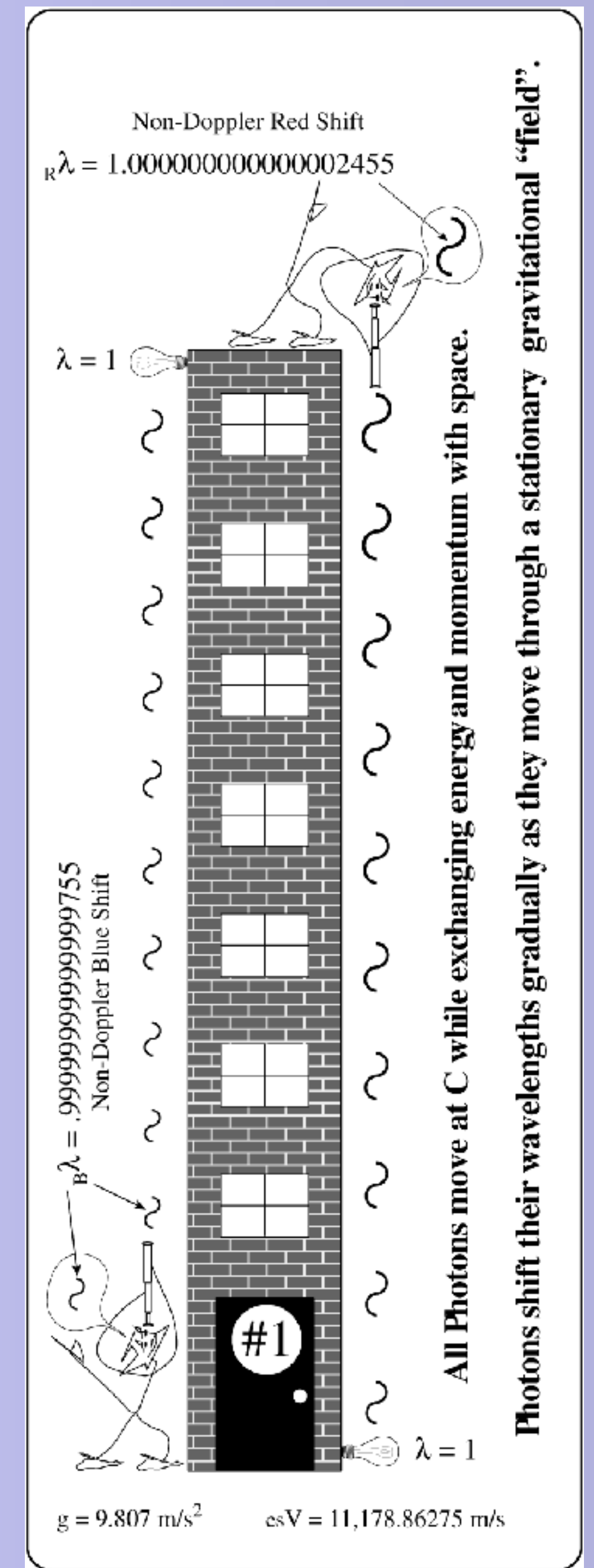
Zgodnie z teorią względności Einsteina czas jest niczym rzeka, której nurt w jednych miejscach zwalnia, a w innych przyspiesza. Nie ma więc czegoś takiego jak czas absolutny, którego wskazówki wszystkim odmierzają czas jednakowo: każdy ma swój czas osobisty. Paradoksalnie, czas biegnie wolniej dla tego, kto się porusza.

Także w polu grawitacyjnym zegary się spóźniają - *im bliżej Ziemi, gdzie ciężenie przybiera na sile, tym wszystko dzieje się nieco wolniej*.

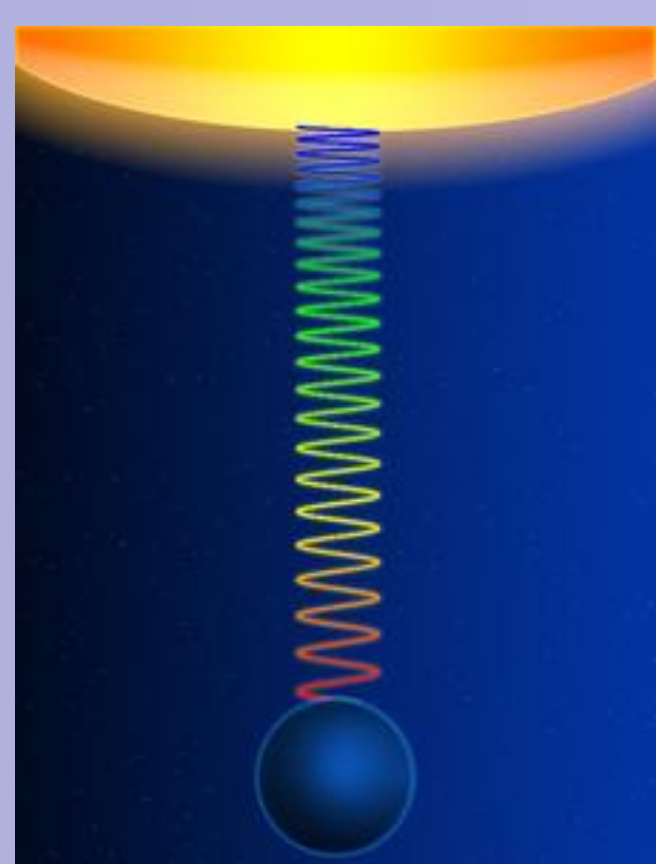
Amerykańscy fizycy **R. Pound i G. Rebka** w 1960 r. porównali upływ czasu na szczycie i u podstawy 22-metrowej wieży laboratorium Jeffersona w Harvardzie. Z teorii względności wynikało, że różnica czasu powinna być minimalna - 30 bilionowych części sekundy. I taką właśnie udało się zmierzyć!



Wykorzystano w tym celu bardzo wąskie, a więc o bardzo dobrze oznaczonej częstotliwości, linie promieniowania gamma atomów żelaza  $^{57}\text{Fe}$ .



Atomy emitujące światło o częstotliwości  $f$  na powierzchni Słońca wysyłają fale, które odbierane na Ziemi mają mniejszą częstotliwość  $f'$ , niż ma to miejsce w przypadku takich samych atomów badanych w laboratorium:



$$f' = f \cdot \gamma$$

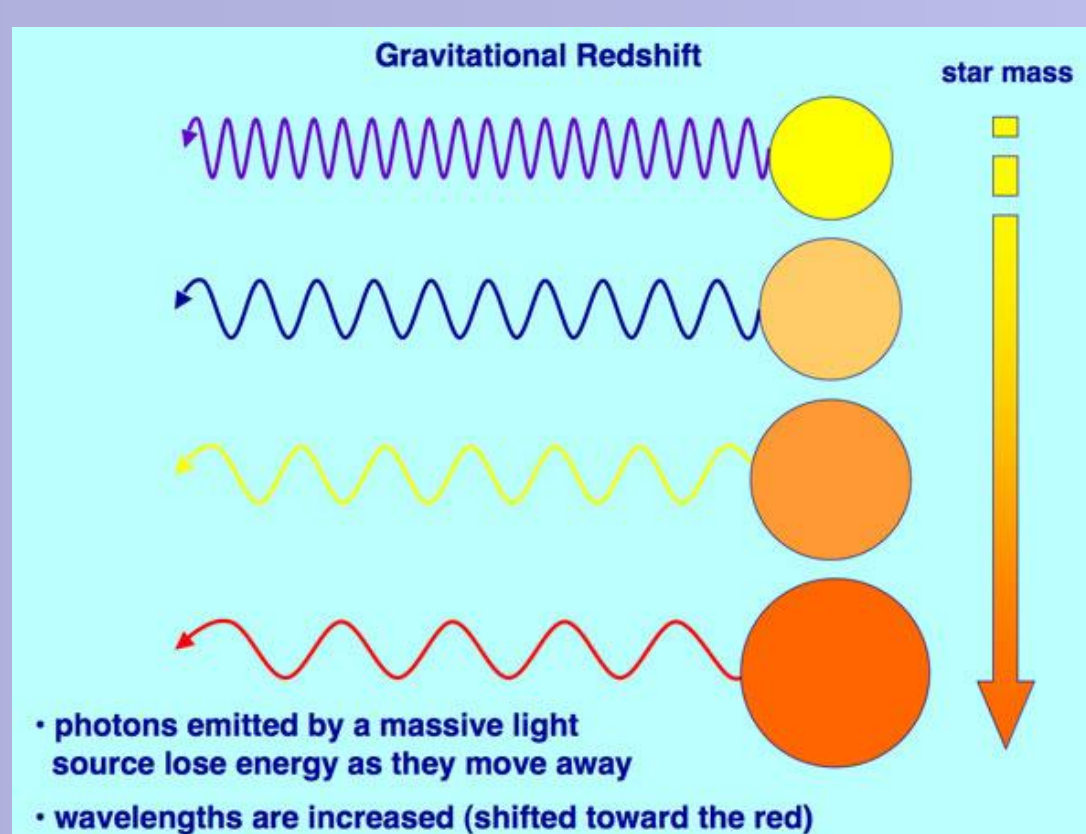
Czynnik Lorentza  $\gamma$  w odległości  $r$  od środka masy  $m$  wynosi:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{2Gm}{c^2 r}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{r_s}{r}}}$$

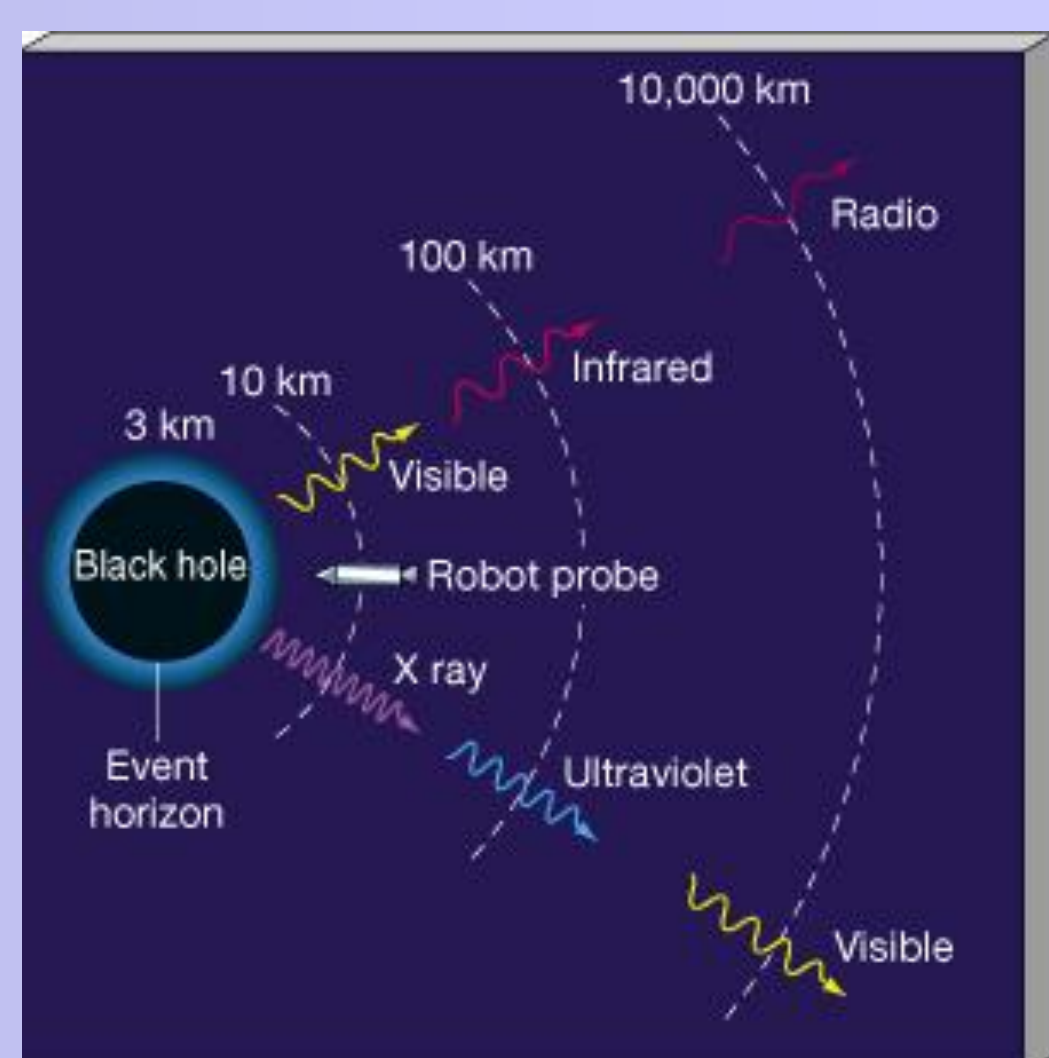
gdzie:  $r_s$  – promień Schwarzschilda

$G$  – stała grawitacji Newtona ( $6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ ),

$c$  – prędkość światła w próżni ( $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ).



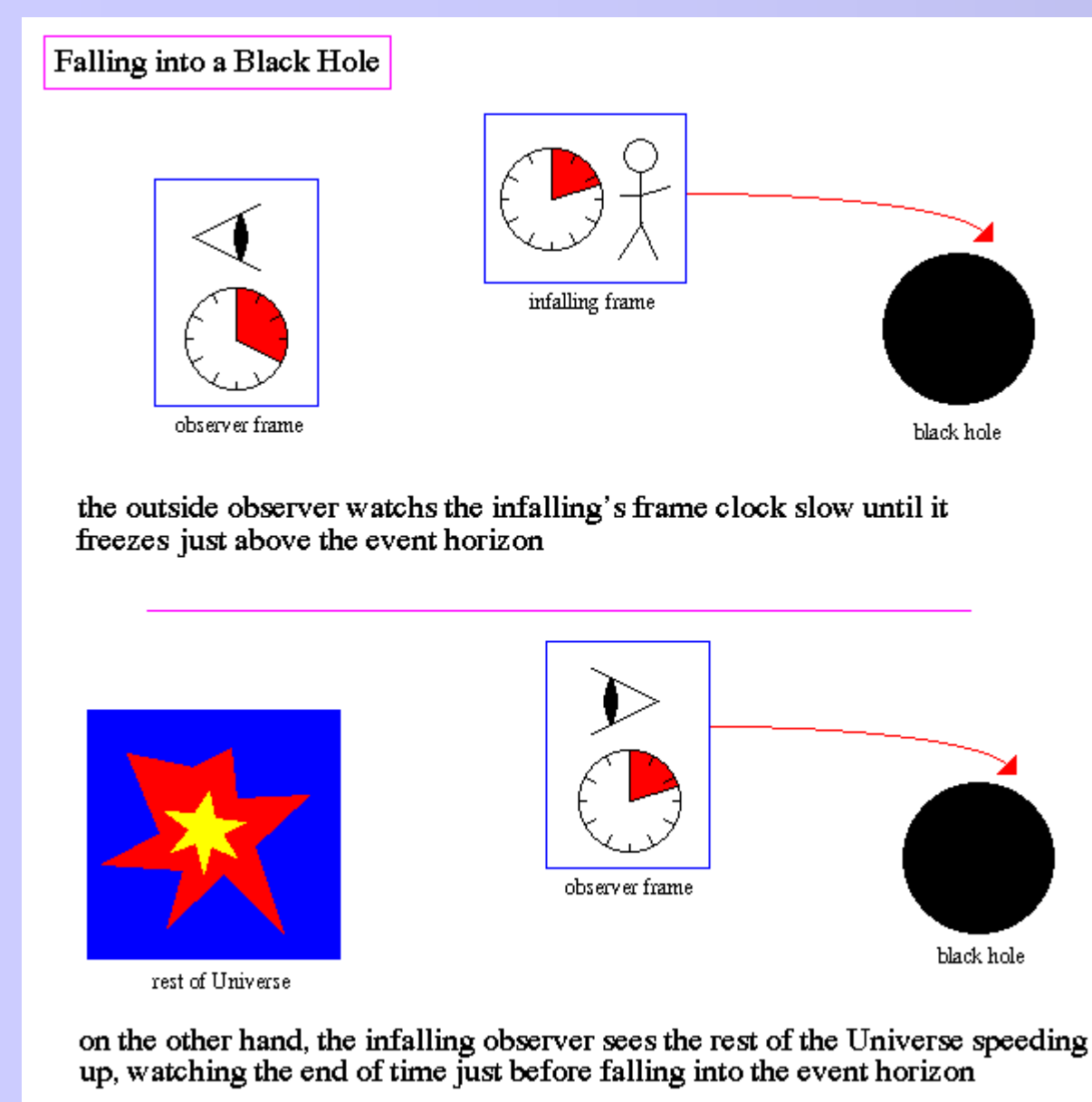
Im większa masa, np. gwiazdy, tym większe przesunięcie ku czerwieni.



Szczególny przypadek dotyczy sytuacji, gdy promień obiektu o masie  $m$  zmaleje na tyle, że równy jest promieniowi Schwarzschilda.

Tak dzieje się w pobliżu czarnej dziury. Częstotliwość światła wytwarzanego przez źródło wpadające do czarnej dziury stale maleje dążąc do zera.

W efekcie otoczenie czarnej dziury staje się niewidoczne dla oddalonego od niej obserwatora. Zjawiska towarzyszące spadaniu materii z ogromną prędkością prowadzą do takiego nagrzewania się otaczającego gwiazdę gazu, że wysyła on promieniowanie świetlne lub rentgenowskie. Jednak najbliższe otoczenie czarnej dziury jest niewidoczne.



Ciekawe jest zachowanie zegarów dla obserwatorów na zewnątrz oraz spadającego do czarnej dziury. Obserwator zewnętrzny widziałby coraz bardziej spowalniający czas w układzie odniesienia spadającego aż do jego „zamrożenia” tuż nad *horyzontem osobliwości*. Z kolei obserwator spadający widziałby swój zewnętrzny Wszechświat w coraz większym przyspieszeniu czasu, aż po jego kres...

Niedawno obiegł internet krótki film polskiego twórcy Andrzeja Dragana pt. „Dylatacja czasu”. Ostatnie kilka sekund to skrót naszej wiedzy w pigułce:

**Grawitacja zakłóca czas. Czas płynie różnie w różnych częściach Wszechświata. Nawet tu, blisko Ziemi, czas zwalnia. Urządzenia GPS dobrze o tym wiedzą. Fizyka odkrywa to, co niemożliwe.**

Zatem gdy przebywając na piętrze poczujesz, że nauka kradnie ułamki sekund Twojego życia w stosunku do osób stających po ziemi, pamiętaj że sama fizyka zna skuteczne rozwiązanie zwalniające bieg czasu: wystarczy zacząć biegać w kółko!

