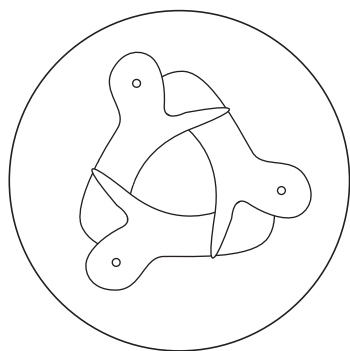


## Relatywistyczne pociągi

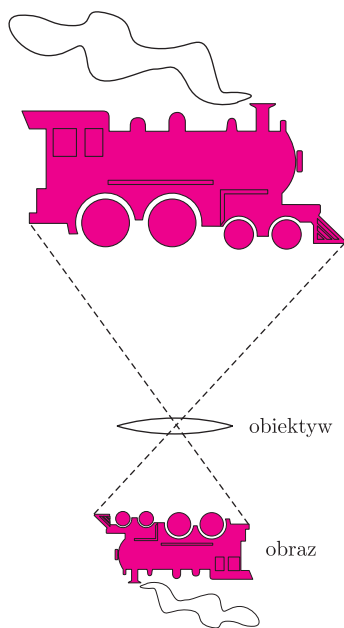
Każdy, kto choć trochę interesował się szczególną teorią względności, musiał się zetknąć z często powracającym motywem relatywistycznego pociągu. To znaczy poruszającego się z prędkością bliską prędkości światła i w związku z tym ulegającemu różnym efektom relatywistycznym, takim jak względne skrócenie długości.

W związku z tym, gdy pewnego razu bawiłam się aparatem fotograficznym, przyszedł mi do głowy pewien idiotyczny pomysł (w zasadzie dowcip), jak można w praktyce obserwować/rejestrować efekty podobne do tych powyższych, do znużenia wałkowanych w każdym podręczniku.

Większość aparatów fotograficznych wyposażona jest w urządzenie zwane migawką, które pozwala zmieniać czas naświetlenia błony fotograficznej. W prostych aparatach bez wymiennych obiektywów są to migawki centralne wbudowane w obiektyw (rysunek 1), w bardziej zaawansowanych migawki szczelinowe. Te ostatnie składają się z dwóch roletek, wykonanych z podgumowanej tkaniny lub układu metalowych blaszek, które jedna za drugą przesuwają się wszerz lub wzdłuż naświetlanej kliszy. Czas naświetlania regulowany jest szerokością szczeliny między roletkami; im krótszy ma być ten czas, tym węższa jest szczelina. Prędkość roletek jest stała i podlega ograniczeniom mechanicznym, tzn. nie może być dowolnie duża.



Rys. 1. Migawka centralna.



Rys. 2

Spróbujmy sfotografować aparatem z poziomą migawką szczelinową pociąg poruszający się prostopadłe do linii naszego wzroku, z prędkością, powiedzmy, 100 km/h. Załóżmy w uproszczeniu, że cały układ optyczny obiektywu może być przybliżony jedną soczewką, tak jak na rysunku 2. Obraz pociągu na kliszy jest odbity i odwrócony, a więc porusza się w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu pociągu. Jeśli kierunek ruchu migawki jest zgodny z kierunkiem ruchu pociągu, obraz ulegnie skróceniu. Jeśli jest przeciwny, obraz ulegnie wydłużeniu. W pierwszej chwili wydaje się, że powinno być na odwrót, ale soczewka (tzn. cały obiektyw) powoduje odbicie obrazu i zamienione są strony – rysunek 3.

Dokonajmy oszacowania względnego wydłużenia (bądź skrócenia) obrazu. Przypuśćmy, że fotografowany obiekt znajduje się w sporej odległości od aparatu, 20 metrów lub więcej. W praktyce oznacza to, że dla układu optycznego aparatu fotografowany obiekt znajduje się w „nieskończoności”, a obraz powstaje w ognisku obiektywu. Typowa ogniskowa obiektywu małoobrazkowego to 50 mm. Pociąg i jego obraz poruszają się z jednakową prędkością kątową (rysunek 4), stąd wynika, że

$$\frac{v_{\text{pociągu}}}{d} = \frac{v_{\text{obrazu}}}{f}$$

Założmy, że obraz podlega wydłużeniu, tzn. pociąg porusza się w kierunku przeciwnym do ruchu migawki.

Długość zarejestrowanego obrazu będzie wtedy następująca

$$l_{\text{zarejestr}} = l + \Delta l,$$

gdzie  $l$  to długość obrazu pociągu na kliszy, gdyby pozostawał on w spoczynku, a dodatkowy przyrost długości to  $\Delta l = v_{\text{obrazu}} \Delta t$ ;  $\Delta t$  jest czasem, w którym szczelina migawki przemieszcza się na odległość  $l_{\text{zarejestr}}$ . Dodatkowym parametrem jest tu jeszcze szerokość szczeliny, ale założmy, że czas ekspozycji jest bardzo mały, poniżej  $1/1000$  s, i odległość między roletkami migawki jest o jeden rząd wielkości mniejsza niż wydłużenie obrazu  $\Delta l$ . A więc

$$\Delta t = \frac{l_{\text{zarejestr}}}{v_{\text{migawki}}}.$$

Nie znamy jeszcze prędkości mechanicznego przesuwania się migawki, nie jest to parametr podawany standardowo w opisie technicznym aparatu. Możemy jednak spróbować oszacować tę wielkość. Gdy chcemy robić zdjęcia przy użyciu lampy błyskowej, musimy stosować tzw. czas synchronizacji lub dłuższy. Czas błysku lampy jest rzędu  $1/2000$  s do  $1/10000$  s, a więc bardzo krótki, wykonanie pełnego zdjęcia jest możliwe tylko wtedy, gdy szczelina migawki jest rozmiaru klatki filmowej lub większa. Czas synchronizacji w oglądanym przeze mnie aparacie wynosił  $1/60$  s, w obecnych półamatorskich aparatach (w których kierunek ruchu migawki jest pionowy) czas ten waha się od  $1/125$  s do nawet  $1/250$  s. W naszym przypadku

$$v_{\text{migawki}} = \frac{36 \text{ mm}}{1/60 \text{ s}} \approx 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Ostatecznie więc otrzymujemy

$$l_{\text{zarejestr}} = \frac{l}{1 - \frac{f v_{\text{pociągu}}}{d v_{\text{migawki}}}}.$$

Biorąc prędkość pociągu równą  $100 \text{ km/h}$ , odległość aparatu od torów  $d = 20 \text{ m}$ , otrzymujemy, że względne wydłużenie obrazu jest rzędu

$$\frac{l_{\text{zarejestr}}}{l} \approx 1,04.$$

Względne rozmazanie obrazu dla czasu ekspozycji  $t_{\text{eksp}} = 1/1000 \text{ s}$  i przy założeniu, że obraz wypełnia prawie cały kadr (rozmiar klatki to  $36 \times 24 \text{ mm}$ ), wynosi w przybliżeniu

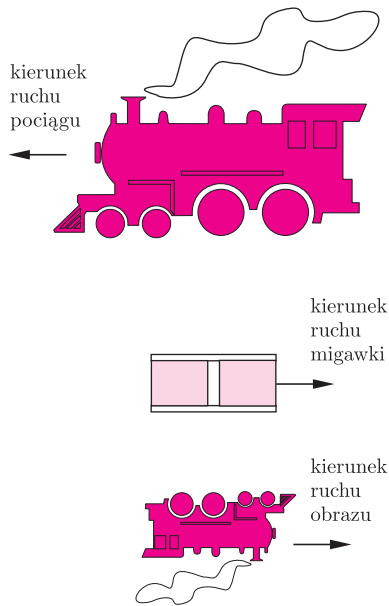
$$t_{\text{eksp}} v_{\text{pociągu}} \frac{f}{d} / 36 \text{ mm} \approx 0,002,$$

a więc jest o rząd wielkości mniejsze niż wydłużenie obrazu spowodowane budową migawki.

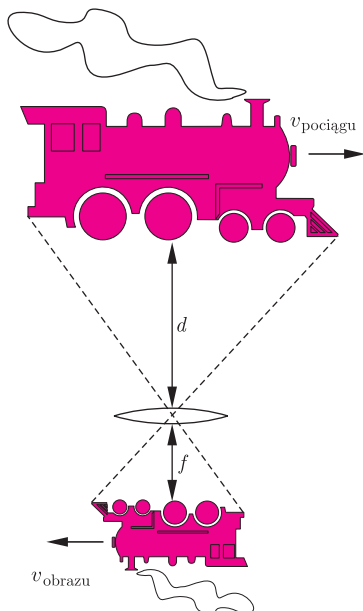
W przypadku, gdy obraz fotografowanego pociągu ulega skróceniu, obliczenia są takie same, należy tylko zmienić znak, to znaczy  $l_{\text{zarejestr}} = l - \Delta l$ , i dalej podobnie. Dysponując zaś aparatem o migawce pionowej, można robić zdjęcia pionowo, mniejszy tylko będzie „poziomy” rozmiar klatki –  $24 \text{ mm}$ .

Na koniec jeszcze się przyznam, że nigdy powyższych rozważań nie próbowałam zweryfikować doświadczalnie. Może skusi się na to któryś z Czytelników?

*Małą Deltę przygotowała Ewa CZUCHRY*



Rys. 3



Rys. 4