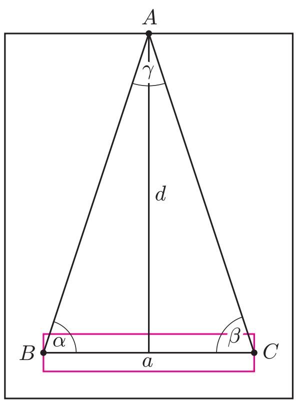
Co wspólnego z astronomią ma mierzenie kątomierzem długości korytarza?

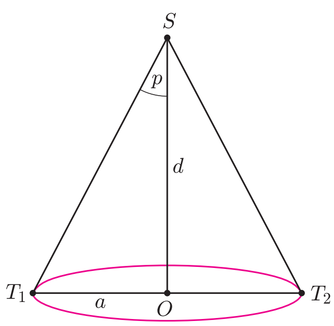
Mirosław NALEŻYTY[*], *Agnieszka MAJCZYNA*[**]

Wyobraźmy sobie, że mamy zmierzyć długość szkolnego korytarza. Do dyspozycji mamy jedynie kątomierz, najlepiej duży – taki, jakiego używa się na lekcjach. Wygodnie będzie zamocować na kątomierzu zaczepioną w zerze ruchomą wskazówkę, którą będziemy kierować na wybrany punkt znajdujący się na środku przeciwległej ściany korytarza. Przy ścianie, spod której prowadzić będziemy pomiary, równolegle do niej umieszczamy na podłodze pasek o znanej długości, zrobiony choćby z taśmy papierowej, w taki sposób, by jego środek pokrywał się ze środkiem ściany (odcinek a na rysunku 1). Choć pewnie wygodniejsza może się okazać np. długa, gimnastyczna ławka, bo na niej będziemy mogli położyć kątomierz. Generalnie im większa będzie długość owegoż „paska", tym lepszych pomiarów uda nam się dokonać. Tak jak już wspomnieliśmy, na ścianie na przeciwległym końcu korytarza umieszczamy albo wybieramy punkt, dokładnie pośrodku między bocznymi ścianami, najlepiej na takiej samej wysokości nad podłogą, z jakiej potem będziemy prowadzić pomiary (punkt A na rysunku 1). To na ten punkt będziemy kierować wskazówkę zamontowaną na naszym kątomierzu. Teraz przyszła pora zmierzyć kąty α i β pokazane na rysunku 1. W tym celu stajemy na jednym końcu odcinka a, podnosimy kątomierz, pamiętając, że podstawa kątomierza ma być równoległa do odcinka a, czyli do ściany, spod której prowadzimy pomiary. Teraz kierujemy wskazówkę na punkt A i odczytujemy wartość kąta. To samo robimy dla drugiego końca odcinka a. W ten sposób mamy komplet pomiarów. Tak naprawdę do wyznaczenia długości będzie potrzebny trzeci kąt – kąt γ, którego wartości jeszcze nie znamy. Jak widać na rysunku 1, zarówno γ, jak i kąty przez nas zmierzone, są kątami wewnętrznymi trójkąta, a więc $\gamma = 180^\circ - \alpha - \beta$. Wykorzystując funkcję trygonometryczną $\operatorname{tg}\left(\frac{\gamma}{2}\right) = 0{,}5a/d$, otrzymujemy szukaną długość korytarza

$$d = \frac{a}{2}\operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha+\beta}{2}\right).$$



Rys. 1



Rys. 2

Co więc wspólnego z astronomią ma mierzenie długości korytarza za pomocą kątomierza? Otóż astronomowie w podobny sposób wyznaczają odległości do pobliskich gwiazd. Ważnym problemem jest tu dobór odpowiedniej bazy, czyli tego, co w przypadku korytarza było odcinkiem a. Jedną z możliwości jest prowadzenie obserwacji z dwóch przeciwległych krańców Ziemi. Jednak średnica Ziemi, mimo iż wydaje nam się tak duża, jest zbyt mała, by móc mierzyć odległości do gwiazd.

[*]Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Warszawskiego
[**]Instytut Problemów Jądrowych im. Andrzeja Sołtana, Warszawa

Drugą możliwością jest wykorzystanie faktu obiegu Ziemi dookoła Słońca, a więc tego, że raz ziemski glob będzie po jednej stronie Słońca, a za pół roku po drugiej. W ten sposób uzyskamy bazę ~ 300 mln km zamiast niecałych 14 tys. km. Najtrudniejszą częścią zadania, jakim jest wyznaczenie odległości, jest bardzo dokładne wyznaczenie położenia badanej gwiazdy, bo należy to zrobić z dokładnością dużo lepszą niż $0\overset{\prime\prime}{.}1$. Z różnicy położeń obliczamy paralaksę, czyli kąt p na rysunku 2. Z rysunku również widać, że gdy kąt p jest bardzo mały, to

$$\sin p \approx \operatorname{tg} p \approx \frac{a}{d} \approx p.$$

Wielkość tę nazywamy *paralaksą heliocentryczną*.

Z paralaksą wiąże się używana w astronomii jednostka odległości, jaką jest parsek. Jest on zdefiniowany jako odległość, z której półoś wielka orbity Ziemi byłaby widoczna pod kątem $1''$, inaczej mówiąc, paralaksa gwiazdy odległej o 1 pc wynosi $1''$. Z definicją wiąże się sama nazwa parsek, od **par**alaksa i **sek**unda (w języku angielskim wygląda to następująco: parsec – **par**alax **sec**ond). Jeżeli odległość wyrazimy w parsekach, a paralaksę w sekundach łuku, wówczas otrzymamy zależność:

$$d = \frac{1}{p}.$$

Pomimo swej prostoty zależność ta jest bardzo ważna w astronomii.

Mierzenie paralaks jest częścią większego i ogromnie ważnego problemu, jakim jest wyznaczanie odległości we Wszechświecie. Początkowo jednak paralaks gwiazd nie szukano po to, by wyznaczać odległość do nich, a po to, by potwierdzić bądź obalić teorię Mikołaja Kopernika. Zmiana położenia bliskich gwiazd na tle tych odleglejszych jest naturalną konsekwencją obiegu Ziemi wokół Słońca, co było fundamentem teorii heliocentrycznej, stworzonej przez Kopernika. Już w XVI wieku Tycho Brahe próbował zmierzyć paralaksę, a gdy mu się to nie udało, odrzucił teorię Kopernika. Także następne dwa wieki upłynęły badaczom na daremnych próbach zmierzenia paralaksy. Nie były one jednak bezowocne, w końcu dzięki nim Bradley odkrył zjawisko aberracji światła, a William Herschel gwiazdy fizycznie podwójne. Dostępne w tym czasie przyrządy nie były w stanie zmierzyć kątów tak małych jak $1''$, dlatego musiało upłynąć jeszcze kilkadziesiąt lat ciągłego ulepszania instrumentów, by w XIX w. dokonać pierwszych pozytywnych pomiarów. Udało się to jednocześnie trzem badaczom za pomocą różnych metod i przyrządów. Byli nimi W. Struve w Dorpacie (obecna Estonia), F. Bessel w Królewcu oraz T. Henderson w Kapsztadzie (Afryka Południowa). Przy ustalonej bazie paralaksa jest tym większa, im obiekt jest bliżej, dlatego każdy z tych badaczy starał się wybrać możliwie bliską gwiazdę. Struve i Henderson założyli, że to najjaśniejsze gwiazdy leżą blisko, natomiast Bessel przyjął, że najbliższymi gwiazdami są te o dużym ruchu własnym. Tak więc Struve wybrał Wegę (α Lyrae), najjaśniejszą gwiazdę nie tylko w gwiazdozbiorze Lutni, ale również na północnej półkuli sfery niebieskiej, Henderson – Rigil Kent (α Centauri), trzecią pod względem jasności, Bessel zaś 61 Centauri, o największym zmierzonym wówczas ruchu własnym. Kryterium jasności nie jest w ogólności trafne, ponieważ jasność obserwowana gwiazdy nie zależy jedynie od odległości do gwiazdy, ale również od jej parametrów fizycznych. Natomiast ruch własny dla gwiazd najbliższych powinien być rzeczywiście największy. Najwcześniej pozytywne wyniki uzyskał Struve, otrzymując dla Wegi paralaksę równą $0\overset{''}{.}25$ (obecne pomiary wskazują na $0\overset{''}{.}12$). Natomiast najdokładniejszy wynik uzyskał Bessel – $0\overset{''}{.}35$, przy obecnej wartości $0\overset{''}{.}29$.

Zmierzenie paralaksy, a co za tym idzie, potwierdzenie teorii Kopernika, nie skończyło zainteresowania paralaksą – wręcz przeciwnie, nadal jest ono ogromne. O znaczeniu tej metody świadczy najlepiej fakt, że powstała misja kosmiczna Hipparcos przeznaczona właśnie, między innymi, do mierzenia paralaks. Projekt ten dostarczył bezprecedensowo duża liczbę pomiarów z dokładnością 0,97 milisekundy łuku. Należy jednak uświadomić sobie fakt, że taka wartość paralaksy odpowiada odległości ~ 1 kpc, podczas gdy odległość do centrum Galaktyki wynosi $\sim 7{,}6$ kpc. Niemniej wyznaczanie odległości za pomocą paralaksy jest w gruncie rzeczy jedyną metodą bezpośrednią. Pozostałe znane sposoby mierzenia odległości wykorzystują modele teoretyczne, a więc ich dokładność zwykle istotnie zależy od jakości użytych modeli. Wyznaczenie odległości za pomocą paralaksy służy więc do testowania i kalibrowania innych metod.

Wydaje się, że pomimo ogromnego znaczenia wyznaczania odległości metodą paralaksy, na kolejną misję analogiczną do Hipparcosa przyjdzie nam jeszcze poczekać. Do dyspozycji mamy jednak kilkanaście tysięcy wyznaczeń dokonanych przez Hipparcosa i modele, które należy z nimi skonfrontować, jest więc dużo pracy przed kolejną taką misją kosmiczną.

Galileusz (1564–1642) i teleskopy

Tomasz KWAST

Rok 2009 został ogłoszony Rokiem Astronomii dla uczczenia 400. rocznicy pierwszych astronomicznych obserwacji, które wykonał Galileusz za pomocą skonstruowanych osobiście lunet. Nie on jednak lunetę wynalazł. Jako wynalazcę podaje się Holendra Hansa Lipperscheya, a jego lunety, które powstały około 1608 roku, były używane w wojsku. Galileusz jako pierwszy zaczął nimi systematycznie obserwować niebo i dokumentować te obserwacje.

Luneta Galileusza jako obiektyw miała soczewkę skupiającą, a okularem była soczewka rozpraszająca, umieszczona przed ogniskiem obiektywu. Taki układ lunety nazywamy teraz systemem Galileusza. Jest to układ mało elastyczny, gdyż jego powiększenie jest ograniczone i nie daje możliwości umieszczenia w polu widzenia mikrometru czy innego przyrządu. Szybko został wyparty przez lunetę Keplera, o czym niżej. Niemniej, dysponując nawet tak skromną lunetą, Galileusz był po prostu skazany na dokonanie mnóstwa odkryć. Po raz pierwszy w historii człowiek zobaczył wtedy góry na Księżycu, plamy na Słońcu, fazy Wenus, satelity Jowisza, gwiazdy podwójne, bezlik gwiazd w Drodze Mlecznej... Galileusz widział też pierścienie Saturna, lecz nie rozpoznał ich jako pierścieni, a to z powodu niskiej jakości optyki własnych lunet. W swoich zapisach donosił o zaobserwowaniu planety „potrójnej", na co składał się obraz Saturna wraz z dwoma perspektywicznie skróconymi fragmentami pierścieni po obu stronach globu planety.

Ta niska jakość optyki polegała głównie na tym, że obiektyw był pojedynczą soczewką. Ponieważ w każdym miejscu soczewka stanowi mały pryzmat (jej powierzchnie nie są wszak równoległe), to oprócz stosownego załamania promieni zachodzi też ich rozszczepienie. Różne barwy, składające się na światło białe, załamują się pod różnymi kątami, zatem nie ma dla nich wspólnego ogniska. W rezultacie obraz jest nieostry, nienaturalnie zabarwiony i stąd niska jakość obrazów. Nic więc dziwnego, że Galileusz nie rozpoznał czegoś tak osobliwego jak pierścienie Saturna, zauważył tylko zniekształcenie tarczy planety.