



\*Nauczyciel fizyki w szkołach ponadpodstawowych



Rys. 1. Pomnik Mikołaja Kopernika w Warszawie. W lewej ręce astronom trzyma astrolabium sferyczne, a w prawej cyrkiel. (Źródło: Wikipedia)

†Wymienię tylko kilka z nich, choć z pewnością jest ich dużo więcej: Muzeum Collegium Maius Uniwersytetu Jagiellońskiego, Centrum Wiedzy i Nowych Technologii w Parzynie, Narodowe Muzeum Techniki w Warszawie, Muzeum Mikołaja Kopernika we Fromborku.

††Historyczni siostrzeńcy i siostrzenice Mikołaja Kopernika (dzieci jego siostry Katarzyny) to: Katarzyna, Krystyna, Regina, Jerzy i Albrecht. W artykule pozostaniemy jednak przy Ani i Tomku.



Rys. 2. Astrolabium sferyczne (rekonstrukcja), Muzeum Mikołaja Kopernika we Fromborku

†††Najjaśniejsza gwiazda w gwiazdozbiórze Małego Psa.

Astrolabium sferyczne – zwane też sferą armilarną – to chyba najbardziej rozpoznawalny przyrząd Mikołaja Kopernika. Dostrzeżemy go choćby na pomniku astronoma przed Pałacem Staszica w Warszawie (rys. 1). Choć pomnik może sugerować, że przyrząd ten jest niewielki i poręczny, to jednak prawda jest inna. Większe średnice kół tworzących astrolabium pozwalają na odczytanie kątów z większą dokładnością, Kopernik korzystał więc z przyrządu o dużych rozmiarach. Instrument ten w autentycznej skali (rys. 2) oglądać możemy w licznych muzeach w Polsce†.

Wielość kół tworzących astrolabium może sugerować, że jest niezwykle skomplikowane w użytkowaniu. Mam nadzieję jednak, że po lekturze tego tekstu obsługa przyrządu okaże się znacznie prostsza, a może nawet dziecinnie prosta. Zapraszam Cię, Czytelniku, do nauczania się odczytywania z tego przyrządu wartości współrzędnych sferycznych obserwowanej gwiazdy. Zgodnie ze słowami samego Kopernika: *dla obserwacji położen Księżyca i gwiazd buduje się (...) przyrząd, który Ptolemeusz nazywa astrolabium.*

By proces nauki uczynić przystępniejszym, a może i atrakcyjniejszym, zrealizujemy go w formie imaginowanego dialogu z Mikołajem Kopernikiem (jego wypowiedzi poprzedzam literą „M”). Będziemy mieli szansę wcielić się w rolę młodych adeptów asystujących Mistrzowi przy pomiarach – jego siostrzenicy Ani i siostrzeńca Tomka††.

Nim jednak przejdziemy do meritum, pragnę zachęcić do wyposażenia się w fizyczny egzemplarz astrolabium sferycznego, by następnie własnoręcznie ustawić przyrząd i odczytać z niego współrzędne obserwowanej gwiazdy. Modele do złożenia instrumentów Kopernika można zakupić w internecie (przykład takiego modelu widać na rysunkach 3 i 5). Może również uda się je wytworzyć samodzielnie? Do tego zachęca pan Piotr Duczmal z obserwatorium w Parzynie w ramach bezpłatnego projektu *Spójrz na Kopernika*. Zachęcam do udziału!



### Scena pierwsza

Ania i Tomek odwiedzają swojego wuja Mikołaja kilka razy w roku. Dzięki tym wizytom nabrali już pewnego warsztatu obserwacyjnego i biegłości w posługiwaniu się pojęciami astronomicznymi. I tym razem nie może być inaczej – na pewno się czegoś nauczą!

#### Frombork, ogród przy domu Kopernika

**M:** Aniu! Tomku! Jakże miło was widzieć! Tak długo was już tu nie było!

**A:** O tak, my też się stęskniliśmy!

W końcu do ciebie przyjechaliśmy! Nie mogę się doczekać deseru pani Shilling!

*Wieczorem*

**A:** Wujku Mikołaju! Co będziemy teraz robić?

**M:** Nauczymy się korzystać z astrolabium sferycznego. Chodźcie! Świetnie!

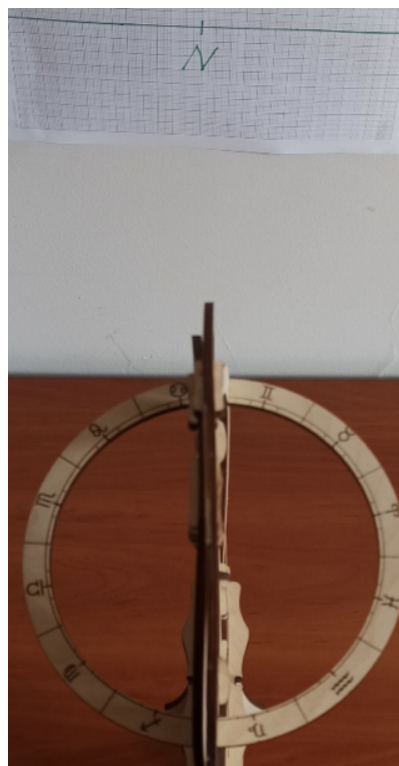
**M:** W pierwszym kroku ustawimy przyrząd w kierunku północnym. Pomóżcie mi je obrócić – ustawmy pionową płaszczyznę największego zewnętrznego koła tak, by znalazła się w niej Gwiazda Polarna (rys. 3).

**A:** Widzę ją, wujku, jest tam!

**M:** Świetnie Aniu, w rozpoznawaniu gwiazd chyba prześcignęłaś już Tomka.

Ale Procjona†††, to wciąż ja szybciej odnajduję!

**A:** Ahaaa, to się okaże dopiero w zimie, braciszku!



Rys. 3. Astrolabium po poprawnym ustawieniu. Horyzont reprezentuje pozioma linia na ścianie, a kierunek północny oznaczono literą N na horyzoncie

<sup>†</sup>Podobnej sztuczki używa się dzisiaj w teleskopach na montażu zwanym „paralaktycznym”. Jedną z osi obrotu celuje w biegun nieba, dzięki czemu śledzenie wybranej gwiazdy, planety lub Księżyca w ciągu nocy sprowadza się do obrotu przyrządu wokół tylko tej jednej osi.

<sup>††</sup>Po więcej ilustracji kolejnych ustawień astrolabium odsyłamy do cyfrowej wersji artykułu dostępnej na naszej stronie [www.deltami.edu.pl/](http://www.deltami.edu.pl/).

<sup>†††</sup>Matematycy piszą swe dzieła dla matematyków – to zdanie z przedmowy Kopernika do traktatu „O obrotach [sfer niebieskich]”.

**M:** Oboje jesteście znakomici, a ja lubię się z wami podroczyć. Ale wracajmy do pracy. Najpierw ustalmy precyzyjne nazewnictwo – kół w astrolabium mamy wiele. Numerujemy je kolejno, od zewnątrz ku środkowi. Największe i najbardziej zewnętrzne koło będę nazywał pierwszym, następne, nieco mniejsze, drugim itd. Wszystko jasne?

No pewnie, prościzna!

**M:** Pierwsze koło potrzebujemy nachylić tak, by oś obrotu łącząca je z drugim kołem wskazywała na biegun północny sfery niebieskiej. Jeśli wycelujemy w gwiazdę polarną, powinno to być wystarczająco dokładne.

**A:** To proste! Wystarczy nachylić ją pod kątem 54 stopni i 21 minut kątowych nad poziomem.

**M:** Rzeczywiście, dokładnie tyle wynosi szerokość geograficzna Fromborka: 54 stopnie, 21 minut i 27 sekund łuku...

Wujku, ustawione.

**M:** Dobra robota! Od tego momentu pierwsze koło pozostanie już nieruchome – wcale nie będziemy go ruszać. Jak myślicie – po co celowaliśmy w Gwiazdę Polarną osią obrotu drugiego koła względem pierwszego? W jaki sposób okaże się to użyteczne?

**A:** Odpowiedź nasuwa się sama: w ciągu doby sfera niebieska wykonuje pełen obrót wokół Gwiazdy Polarnej (dokładniej rzecz ujmując: wokół północnego bieguna nieba znajdującego się bardzo blisko tej gwiazdy). Zatem kręcąc drugim kołem wokół tej osi, będziemy odtwarzać, śledzić ruch nieba następujący wraz z upływem minut i godzin.

Obracając drugim kołem, będziemy obracać równocześnie trzecim, czwartym i kolejnymi, których ruch względem drugiego będzie zablokowany pokrętłami. Dzięki temu śledzenie wybranej gwiazdy w czasie godzin obserwacji będzie sprowadzało się do obrotu samym tylko drugim kołem<sup>†</sup>!

**M:** Znakomicie! Jak widzicie, astronomowie potrafią zadbać o wygodę w czasie swych obserwacji.

**A:** Wujku, skoro drugim kołem – a wraz z nim wszystkimi kolejnymi – należy obracać wraz z upływem minut i godzin, to w jakim ustawieniu powinno znaleźć się ono w tym momencie?

**M:** Brawo! To jest docieklivość, jakiej teraz potrzebujemy! Przypatrzcie się – co się zmienia, gdy obracamy drugim kołem, a wraz z nim trzecim.

Do trzeciego koła przymocowane jest prostopadłe do niego inne koło z narysowanymi symbolami znaków zodiaku. Gdy obracamy drugim kołem, a wraz z nim trzecim, wtedy płaszczyzna tego koła znaków zodiaku zmienia się!

**A:** No jasne! Trzeba obracać, aż płaszczyzna koła zodiaku będzie zgodna z płaszczyzną zodiaku widocznego na niebie<sup>††</sup>!

**M:** Dokładnie! Radzicie sobie znakomicie! Obracajcie, aż koło zodiaku ustawi się w płaszczyźnie wyznaczonej przez gwiazdozbiory zodiakalne, Księżyc i Słońce. Płaszczyznę tę nazywamy też ekliptyką.

**A:** Ekli-czym?

**M:** Ekliptyka to płaszczyzna, w której leży orbita Ziemi w jej ruchu wokół Słońca. Na niebie ekliptykę widzimy jako pas, po którym pozornie porusza się Słońce. Księżyc i planety również widzimy poruszające się po tym pasie.

Wujku, ale przecież Ziemia się nie rusza. Tata mówi, że nikt nie uwierzy w teorię ruchu Ziemi.

**M:** Ma prawo do takiej opinii. Ale rozumiesz: nie muszę przekonać wszystkich – przynajmniej na początku. Ważne, że rozumieją mnie inni matematycy<sup>†††</sup> – chociaż niektórzy z nich.

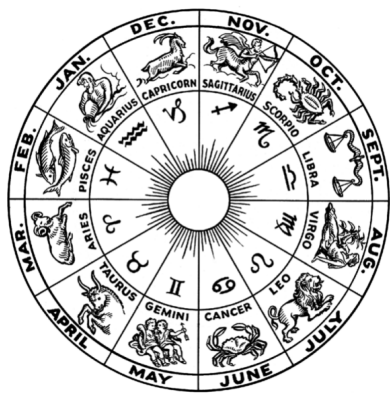
**A:** Dla pozostałych to zbyt skomplikowane?

**M:** Potem inni im wytłumaczą. Są przekonania, na zmianę których potrzeba wiele czasu.

Aniu, pomóż. To drugie koło trochę się przyblokowało.

**M:** Jak myślicie, co teraz? Czy symbole znaków zodiaku wskazują na właściwe części nieba?

**A:** Aha! Czyli teraz trzeba pokręcić trzecim kołem wraz z przymocowanym prostopadłe do niego kołem zodiaku, tak by pozostawiając płaszczyznę zodiaku (ekliptykę) niezmienną, umieścić symbole zodiaków w odpowiednich miejscach!



Rys. 4. Symbole znaków zodiaku, wraz z łacińskimi nazwami i miesiącem, w trakcie którego się rozpoczyna dany znak. Na przykład znak Barana zaczyna się w dniu równonocy wiosennej – 21 marca, Rak w dniu przesilenia letniego – 22 czerwca, Waga równonocy jesiennej – 23 września, Koziorożec w dniu przesilenia zimowego – 22 grudnia.  
Źródło: Wikipedia

† Obecny kalendarz, zwany gregoriańskim, wprowadzono dopiero w 1582 roku, czyli 39 lat po śmierci astronoma. Jednak już Kopernik prowadził obserwacje służące wyznaczeniu daty równonocy wiosennej. Badania prowadził, by wesprzeć przygotowania do reformy kalendarza.

†† Nazywa się je, odpowiednio, rokiem zwrotnikowym i rokiem gwiazdowym. Różnica pomiędzy długością obu jednostek jest rezultatem precesji osi ziemskiej.



Rys. 5. Na czwartym kole przesunięto celownik tak, by wskazywał na Regulusa (aby można było dostrzec tę gwiazdę, patrząc przez dwa celowniki po przeciwnych stronach czwartego koła). Celownik wskazuje na czwartym kole szerokość ekliptyczną równą około 12°

Tylko jak to zrobić? Czy symbol znaku Ryb skierować w stronę gwiazdozbioru Ryb?

**M:** Niezupełnie. Znaki zodiaku zgadzały się z gwiazdozbiorami, gdy ustalali je Chaldejczycy astronomowie kilka wieków przed Chrystusem. Teraz znaki są przesunięte względem gwiazdozbiorów mniej więcej o jeden gwiazdozbiór.

**A:** Z gwiazdozbiorem Ryb sąsiadują od lewej gwiazdozbiory Wodnika i Barana. Na który z nich wycelować symbol znaku Barana na przyrządzie?

**M:** Na Barana.

To na co wskazują znaki zodiaku, skoro nie na swoje gwiazdozbiory?

**M:** Zatrzymajmy się chwilę nad tym pytaniem. Czy gwiazdozbiory na pasie ekliptyki są równych rozmiarów?

**A:** Oczywiście, że nie! Ryby są ogromne, a Baran malutki!

**M:** Otóż to! Natomiast starożytni Chaldejczycy podzielili ekliptykę na 12 równych części. Każdą z nich nazwali zgodnie z gwiazdozbiorem, który znajdował się w tamtym rejonie nieba.

A jak wybrali miejsca rozdzielające tych 12 części?

**M:** Punkty oddzielające znaki to równonocy i przesilenia – dzielą ekliptykę na 4 części. Każdą z nich następnie podzielono na kolejne trzy. Tak uzyskano 12 znaków. Znak Barana zaczyna się w momencie, w którym rozpoczyna się astronomiczna wiosna (rys. 4).

**A:** Czyli co roku 21 marca!

**M:** Niezupełnie. Okazuje się, że czas od jednej równonocy wiosennej do kolejnej nie jest dokładnie taki sam jak czas, po którym Słońce wykona pełen (pozorny) obieg po sferze niebieskiej, wracając do tego samego punktu, np. w gwiazdozbiorze Barana. Nasz obecny kalendarz, zwany juliańskim<sup>†</sup>, nie uwzględnia tej różnicy. W rezultacie obecnie równonoc wiosenna przypada około 5 marca.

Hmmm... , czyli są dwa różne sposoby odmierzania roku? Pierwszy: od jednej równonocy wiosennej do kolejnej, drugi: to czas, po którym Słońce wróci do tego samego położenia względem gwiazd stałych<sup>††</sup>?

**M:** Bardzo dobrze to ująłeś, Tomku. Dobry z ciebie astronom będzie!

**A:** A ze mnie?

**M:** Z ciebie też! Kobiety od dawna odgrywają ważną rolę w rozwoju astronomii. Dobra, to ustawiamy znak Barana na gwiazdozbiór Ryb.

**A:** Tak mnie zaciękało... Czy położenie Słońca na niebie, w którym zachodzi równonoc wiosenna, ma jakąś specjalną nazwę?

**M:** Tak. Nazywa się punktem Barana.

Czyli punkt Barana znajduje się w gwiazdozbiorze Ryb?!

**M:** Mówilem, że szybko łapiecie.

**A:** Wujku, wszystko ustawione! Co robimy?

**M:** Teraz użyjemy naszego przyrządu do pomiaru położenia wybranej gwiazdy i podamy jego współrzędne ekliptyczne.

Uuuuuu. Brzmi świetnie, w końcu!

**M:** Ja bardzo lubię Regulusa – tę gwiazdę przy przedniej łapie Lwa. Nieraz była mi bardzo przydatna. Wyznamy jej położenie.

**A:** Ok, celuję w nią.

Ej, daj mi też.

**M:** Bardzo dobrze. Najpierw upewnijcie się, że większe koła (pierwsze, drugie i trzecie) są zablokowane i pozostaną nieruchome. Teraz obracamy czwarte koło tak, by jego płaszczyzna zawierała wybraną gwiazdę (naszego Regulusa). Następnie przesuwacie celowniki z obu stron koła, by patrząc z jednego przez drugi, dojrzeć gwiazdę (rys. 5).

**M:** Świetnie. Skoro już wycelowaliście i widzicie go dokładnie, to zablokujecie koła przyrządu. Tomku, odczytaj, proszę, współrzędną szerokości ekliptycznej z czwartego koła. Jej wartość na podziałce wskazuje celownik.

Szerokość geograficzna, yyy, przepraszam, szerokość ekliptyczna wynosi plus 12 stopni. Hmm... , to w sumie logiczne, że ta wartość nie może być zbyt duża – przecież gwiazdozbiór Lwa, do którego należy Regulus, leży na ekliptyce, a ekliptyka ma zerową szerokość ekliptyczną, tak jak równik ma zerową szerokość geograficzną!



† Galileusz, Dialog o dwóch najważniejszych Układach Świata: Ptolemeuszowym i Kopernikowym. Edward Ligocki, s. 366. Cytat za: tłum. Andrzej Kajetan Wróblewski, „Historia Fizyki”, Wydawnictwo Naukowe PWN, str. 106.

**M:** Doskonale! Aniu, odczytałabyś, proszę, z kolei długość ekliptyczną?

**A:** Pewnie! Skoro Regulus leży w gwiazdozbiorze Lwa, to z pewnością będzie w znaku. . . Panny! Ach to przesunięcie!

**M:** Poradziłaś sobie znakomicie. Czy widzisz podziałkę na kole ze znakami zodiaku? W której części znaku się znajduje?

**A:** W trzech czwartych znaku Panny. . . Po dokładniejszym odczytaniu i chwili obliczeń szacuję, że. . . jego długość ekliptyczna jest równa 149 stopni! Udało nam się!

**M:** Przybijcie piątki! I żółwika! A teraz pora na jakiś deser, zasłużyliście na nagrodę!

**A:** Hura!

Uwielbiam desery twojej gosposi, pani Anny Schilling!

**M:** Ja też! Pani Anna nazywa te ciastka kopierniczkami. Ha, ha!

*Koniec sceny pierwszej*

Niech będzie mi wolno zamiast własnego zakończenia przytoczyć słowa Galileusza, które, mam nadzieję, wzbudzą i pogłębią uznanie i szacunek wraz z autentycznym podziwem dla naszego wybitnego rodaka:

*Raz jeszcze trzeba tu wielkim głosem obwieścić chwałę wspaniałej przenikliwości Kopernika, a jednocześnie wyrazić ubolewanie nad jego niefortunnym losem, że nie żył w naszych czasach, [...] wiemy bowiem, że Jowisz – niemalże druga Ziemia – nie tylko w otoczeniu jednego Księżyca, lecz nawet czterech księżyców w ciągu 12 lat dokonuje jednego obiegu dookoła Słońca [...].*<sup>†</sup>

## O obozie *Math Beyond Limits*

Maths Beyond Limits to wyjątkowa inicjatywa, która zrzesza młodych miłośników matematyki z całego świata. Już od ponad 10 lat organizujemy bezpłatne obozy matematyczne. W 2026 roku obozy odbywają się w trzech krajach: Bośni i Hercegowinie (wiosną), Szwecji (latem) oraz w Polsce (na jesieni). „Znakiem firmowym” naszych obozów jest ich unikalny format, kładący nacisk na otwartość i współpracę. W każdym bloku uczestnicy mogą wybierać spośród kilku różnych zajęć matematycznych o różnorodnej tematyce. Podczas *Time Academic* *Unscheduled* mają okazję zgłębić zagadnienia poznane na zajęciach wspólnie z innymi uczestnikami bądź tutorami prowadzącymi zajęcia. Uczestnicy mają również możliwość podzielenia się swoją pasją, wygłaszając 30-minutowe odczyty na wybrane przez siebie tematy. W tym i kolejnych numerach *Delty* Czytelnicy będą mogli odnaleźć artykuły napisane przez autorów takich prezentacji.

MBL to jednak coś więcej niż sama matematyka. Po ciężkim wysiłku umysłowym nadchodzi czas na relaks i w tej sferze również mamy wiele do zaoferowania: od pieszych wędrówek poprzez maraton zagadek logicznych po różnorodne warsztaty organizowane przez samych uczestników. To niezwykła okazja do poznania pasjonatów matematyki z najróżniejszych zakątków globu (w ostatnim roku w Polsce gościliśmy uczestników i tutorów z aż 25 krajów!) i zawarcie przyjaźni, które przetrwają lata.

Zachęcamy do zapoznania się ze szczegółami na naszej stronie internetowej: [mathsbeyondlimits.eu](https://mathsbeyondlimits.eu) lub w mediach społecznościowych. Choć sam obóz przeznaczony jest dla licealistów, starsze osoby mogą tworzyć społeczność MBL jako tutorzy, do czego również serdecznie zapraszamy!

Uczestnicy poprzedniej edycji obozu Maths Beyond Limits w Rycerze Dolnej, 7–20 września 2025 roku.

