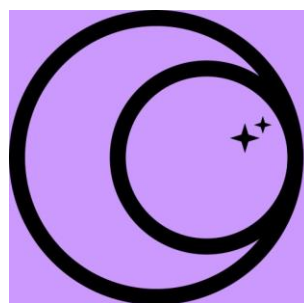




Astrolabium

Konkurs astronomiczny

Datowanie gwiazdozbiorów



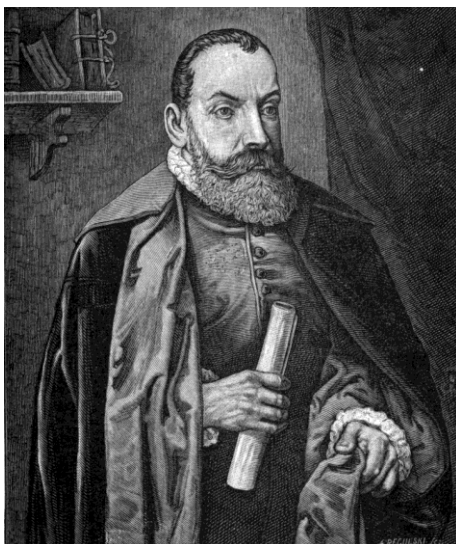
Szkoła Podstawowa Klasy VII-VIII
Gimnazjum Klasa III
Doświadczenie konkursowe 1

Rok 2019

1. Wstęp teoretyczny

Ludzie od zawsze podziwiali rozgwieżdżone niebo. Zdawało im się, że gwiazdy układają się w rozmaite figury. Rejon na niebie, gdzie znajdowały się te właśnie gwiazdy nazwano gwiazdozbiorami. Wyobrażano sobie, że te figury przybierają kształty zwierząt, przedmiotów, ludzi, fantastycznych istot, stąd nadano im odpowiednie nazwy: na przykład Byk, Baran, Łabędź, Orzeł, Lutnia, Strzała, Waga, Centaur (pół-koń i pół-człowiek), Orion, Perseusz, Andromeda, Herkules (imiona mitycznych bohaterów i bohaterek). Znajomość gwiazdozbiorów ułatwiała orientację na niebie, a także pomagała żeglarzom i wędrowcom odnaleźć właściwy kierunek. Poszczególne gwiazdozbiory wschodziły o określonych porach nocy, pory te zmieniały się w ciągu roku. Wiązało się to z cyklem przyrody – wyznaczało czas, kiedy należy siać, kiedy zbierać plony, kiedy można wyruszyć w morze, nie obawiając się sztormów. Wiedzę, jakie gwiazdozbiory znajdują się nad naszymi głowami, kiedy wschodzą i zachodzą i jak się w nich orientować, przekazywano również w poematach.

Jednym z najbardziej znanych poematów przekazujących wiedzę astronomiczną były *Fenomena* greckiego poety Aratosa z Soloj, który żył w trzecim wieku przed naszą erą. Tytuł dzieła oznacza po grecku „To, co się oczom ukazuje”. Poemat ten cieszył się ogromną sławą i był wielokrotnie tłumaczony przez późniejszych poetów. Jednym z nich był wielki renesansowy poeta Jan Kochanowski (żył w latach 1530-1584).



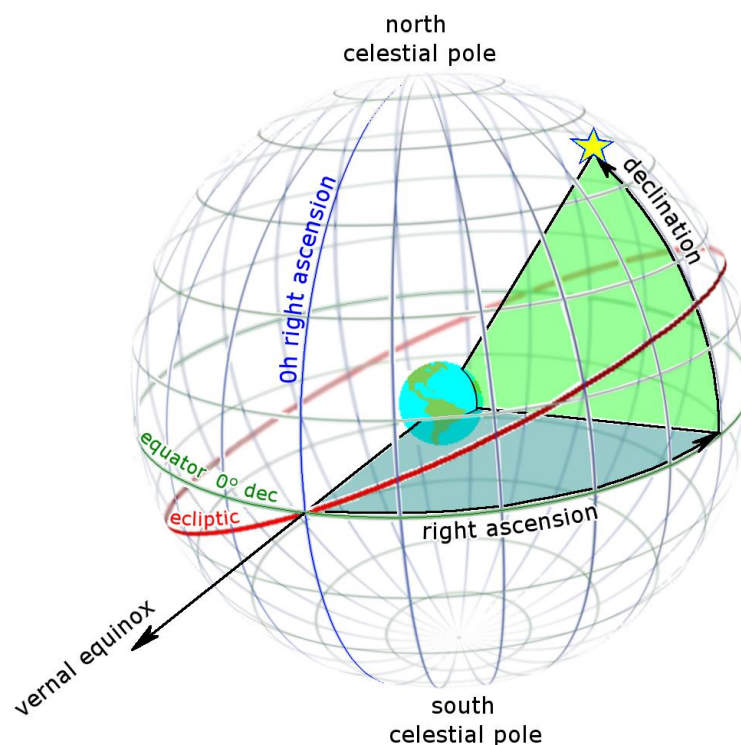
Rysunek 1. Portret Jana Kochanowskiego. Źródło: Wikipedia¹

Źródłem dla poety Aratosa miała być praca żyjącego 100 lat wcześniej, w czwartym wieku przed naszą erą, astronoma Eudoksosa z Knidos. Niestety, nie zachowała się ona do naszych czasów. Nierozwiązana zostaje wciąż zagadka, czy dzieło Eudoksosa było pierwszym greckim opisem gwiazdozbiorów. Wielu filologów - naukowców zajmujących się językiem i literaturą – uważa, że klasyczne, greckie gwiazdozbiory oraz związane z nimi mity pojawiły się stosunkowo późno. Mniej więcej w czwartym i trzecim wieku przed naszą erą, czyli w czasach Eudoksosa i Aratosa. Wtedy też

¹ www.wikipedia.org

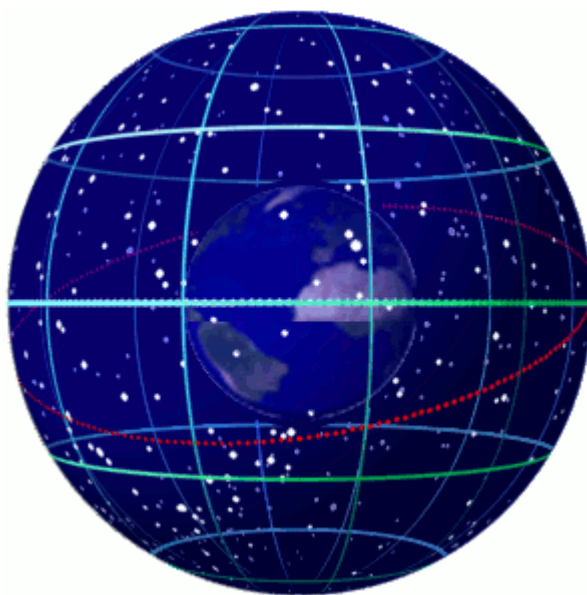
żył Eratostenes, uczoney z Aleksandrii, który oprócz tego, że obliczył obwód Ziemi, sporządził również katalog gwiazdozbiorów i związanych z nimi mitów znanych nam z późniejszych przekazów.

Co na to astronomowie? Otóż poemat Aratosa pozostawia nam wiele wskazówek na temat epoki, w której niebo wyglądało tak, jak zostało w owym poemacie opisane. Pewną grupę wskazówek stanowi opis gwiazdozbiorów, które były położone na równiku niebieskim i zwrotnikach. Niebo widoczne z Ziemi wydaje się mieć postać sfery rozciągającej się wokół Ziemi. Obiekty astronomiczne znajdują się tak daleko, że bezpośrednio za pomocą wzroku nie jesteśmy w stanie określić odległości do nich, dlatego wydają się być położone na sferze w bliżej nieokreślonej odległości. Sferę tę nazywa się **sferą niebieską** i stanowi ona jakby odbicie sferycznego kształtu powierzchni Ziemi. Podobnie jak na Ziemi, tak i na sferze niebieskiej można wyznaczyć bieguny, równik i współrzędne będące odpowiednikami długości i szerokości geograficznej. Współrzędne te nazywa się **rektascensją**, co jest odpowiednikiem długości geograficznej oraz **deklinacją** (jest to odpowiednik szerokości geograficznej). Tradycyjnie rektascensję liczy się w godzinach, minutach i sekundach, odpowiadających obrotowi Ziemi wokół własnej osi. W ten sposób 24h odpowiadają pełnemu obrotowi Ziemi, czyli o kąt 360° . Deklinację liczy się w stopniach od równika ku biegunom w zakresie od -90° do $+90^\circ$. Wartości dodatnie odnoszą się do obiektów znajdujących się na północnej półkuli nieba, a ujemne na południowej półkuli nieba.



Rysunek 2. Schemat współrzędnych równikowych równonocnych służących do opisu położenia obiektów astronomicznych na niebie (sferze niebieskiej). Rektascensja (ang. right ascension) zaznaczona jest na niebiesko, a deklinacja (ang. declination) na zielono. Na rysunku zaznaczono też: równik niebieski (ang. equator), północny biegun nieba (ang. north celestial pole), południowy biegun nieba (ang. south celestial pole), ekliptykę (ang. ecliptic) oraz punkt równonocy wiosennej (ang. vernal equinox), od którego liczymy rektascensję. Źródło: Wikipedia¹.

W ciągu roku Słońce zmienia swoje położenie na sferze niebieskiej. Jest to odbicie ruchu Ziemi po orbicie wokół nieruchomego Słońca. Pozornie wydaje się, że Słońce w ciągu roku przemieszcza się na sferze niebieskiej po okręgu zwanym **ekliptyką**. Ponieważ jednak oś obrotu Ziemi nie jest położona prostopadle do płaszczyzny, w której leży jej orbita, lecz nachylona pod kątem około $23,5^\circ$, to również ekliptyka jest nachylona pod kątem około $23,5^\circ$ do równika niebieskiego. Oznacza to, że Słońce w swojej pozornej drodze po niebie w ciągu roku przechodzi od maksymalnej deklinacji południowej równej $-23,5^\circ$ do maksymalnej deklinacji północnej równej $23,5^\circ$ i z powrotem, dwa razy przecinając równik niebieski. Słońce w dniu osiągnięcia największej północnej deklinacji osiąga najwyższy punkt nad horyzontem na półkuli północnej. Dzień jest wtedy najdłuższy, mamy więc lato na półkuli północnej. I odwrotnie: kiedy Słońce osiąga maksymalną południową deklinację, jest bardzo nisko nad horyzontem, więc dzień jest krótki. Jest to czas astronomicznej zimy na półkuli północnej. Gdy Słońce w swojej drodze po ekliptyce przecina równik niebieski, mówimy o równonocy wiosennej lub jesiennej.

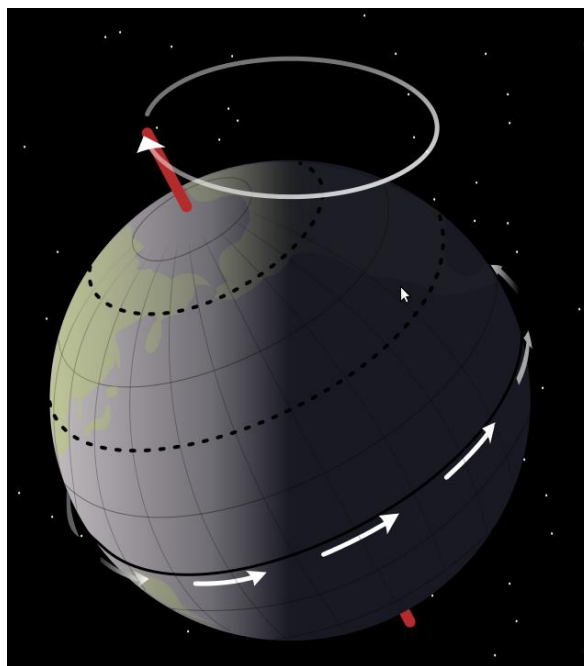


Rysunek 3. Schemat sfery niebieskiej. Zaznaczone są na niej linie jednakowej rektascensji (pionowe) i deklinacji (poziome). Czerwoną przerywaną linią zaznaczono ekliptykę - drogę pozornego ruchu Słońca na sferze niebieskiej w ciągu roku.

Ekliptykę - pozorną drogę Słońca na niebie w ciągu roku - podzielono na dwanaście rejonów, tradycyjnych gwiazdozbiorów zodiakalnych. Są to: Koziorożec, Wodnik, Ryby, Baran, Byk, Bliźnięta, Rak, Lew, Panna, Waga, Skorpion, Strzelec. Punkty przecięcia równika i ekliptyki nazywa się tradycyjnie punktami Barana (równonoc wiosenna) i Wagi (jesienna). Równoleżnik o deklinacji $23,5^\circ$ północnej nazywamy **Zwrotnikiem Raka**, bo Słońce w swej drodze „zawraca” w kierunku południa. Odpowiednio, kiedy Słońce „dojdzie” do maksymalnej deklinacji południowej równej $-23,5^\circ$ „zawraca” ku północy, a równoleżnik o tej deklinacji nazywamy **Zwrotnikiem Koziorożca**.

Poemat Aratosa zawiera sekcje opisujące, jakie gwiazdozbiory (czy też ich fragmenty) leżą na ekliptyce, równiku i obu zwrotnikach. I o ile gwiazdozbiory leżące na ekliptyce nie zmieniają się z czasem (płaszczyzna orbity Ziemi jest stabilna), to te położone na równiku i zwrotnikach ulegają

zmianie. Przyczyną tego faktu jest to, że położenie osi obrotu Ziemi nie jest stałe w czasie, lecz zatacza powoli okrąg wokół osi prostopadłej do płaszczyzny orbity ziemskiej. Oś obrotu Ziemi zatacza pełen okrąg w ciągu około 26 tysięcy lat. Jest to zjawisko **precesji**.



Rysunek 4. Precesja osi ziemskiej. Źródło: Wikipedia¹.

Ze względu na precesję każdy z gwiazdozbiorów, które opisuje Aratos, będzie położony w danym miejscu na niebie tylko w określonej epoce, przez kilka tysięcy lat. W tekście poematu znajduje się około 30 wskazówek co do położenia gwiazdozbiorów. Na ich podstawie powinniśmy określić czas powstania pierwotnego poematu. Będzie to prawdopodobnie epoka, w której powstał rdzeń greckiej tradycji o gwiazdozbiorach, która to została następnie spisana prozą przez Eudoksosa, wierszem zaś przez Aratosa. Pamiętać jednak należy, że niektóre wzmianki o gwiazdozbiorach mogą pochodzić z innych okresów niż pierwotny poemat, dlatego nas będzie interesować epoka, w której większość tych opisów jest spełniona.

2. Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest określenie przypuszczalnej epoki, z której pochodzi opis gwiazdozbiorów w poemacie Aratosa, na podstawie lokalizacji odpowiednich fragmentów gwiazdozbiorów na równiku i obu zwrotnikach.

3. Opis wykonania doświadczenia

Podstawy obsługi programu Stellarium

Do wykonania doświadczenia wykorzystamy darmowy program Stellarium. Można go znaleźć pod adresem www.stellarium.org/pl. Na górze strony dostępne są wersje programu na różne systemy operacyjne. W przypadku systemu Windows wystarczy ściągnąć instalator (upewniając się najpierw, czy mamy wersję 32 czy 64 bitową systemu), a następnie uruchomić go i zainstalować

zgodnie z podanymi instrukcjami. W przypadku wersji Ubuntu-Linux należy dodać w terminalu odpowiednie repozytorium (polecenie: **sudo add-apt-repository ppa:stellarium/stellarium-releases**), a następnie zaktualizować system (polecenie: **sudo apt-get update**). W obu przypadkach potrzebne jest hasło administratora.

Po uruchomieniu programu dostrzeżemy widok analogiczny do tego poniżej:



Rysunek 5. Stellarium: widok startowy.

Za pomocą myszki i strzałek na klawiaturze możliwe jest obracanie i powiększanie widoku, wybór obiektów na niebie itp. Sterowanie jest zasadniczo intuicyjne i nie powinno sprawiać większych trudności. W razie jednak ich wystąpienia można skorzystać z okna pomocy (klawisz F1).

Przemieszczając myszkę w rejon lewego dolnego rogu, ukaze się nam pasek zawierający opcje widoku i sterowania czasem. Możliwe jest włączenie/wyłączenie widoku Ziemi, atmosfery, siatek współrzędnych itd. Możliwe jest również przyspieszanie, spowalnianie, zatrzymywanie, odwracanie biegu czasu oraz wyjście z programu.



Rysunek 6. Stellarium: pasek dolny.

Podobnie przemieszczając kursor w lewy rejon ekranu, ukaże się kolejny pasek umożliwiający wybór bardziej zaawansowanych opcji: wybór lokalizacji obserwatora, daty i godziny obserwacji, wyszukiwania obiektów i wiele więcej.



Rysunek 7. Stellarium: pasek boczny.

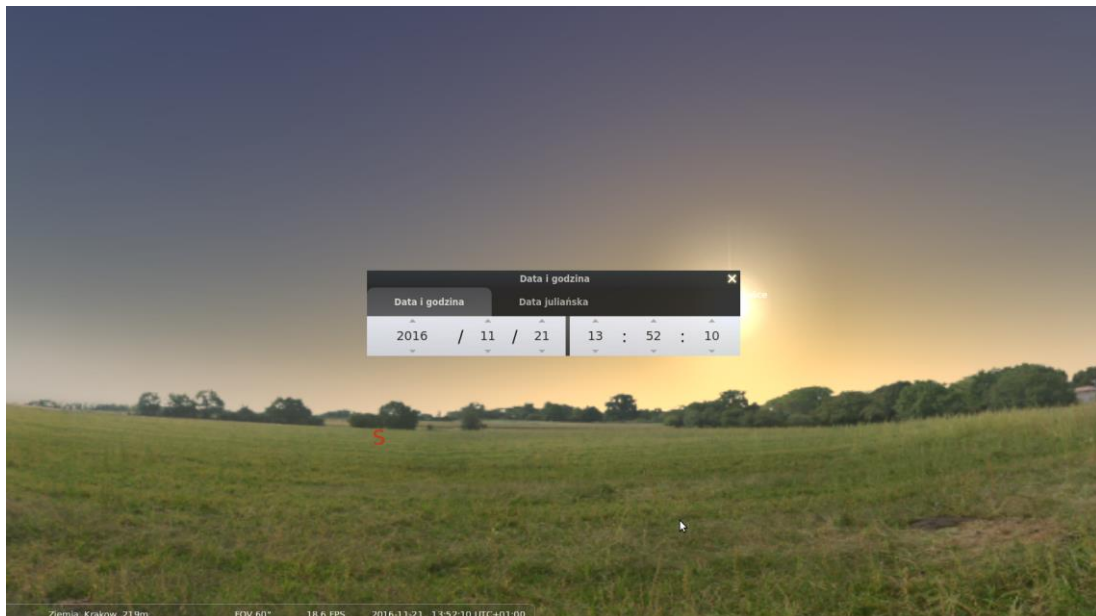
Wybierając z lewego paska menu lokalizacji, możemy ustalić nasze położenie, a więc planetę, kraj i miejscowość. Można też wpisać odpowiednie współrzędne poniżej mapki.

Konkurs Astronomiczny „Astrolabium”
Datowanie gwiazdozbiorów
Doświadczenie konkursowe rok 2019



Rysunek 8. Stellarium: wybór lokalizacji.

Podobnie wybierając z lewego paska okno Daty/Czasu, możliwe jest ustalenie chwili obserwacji.

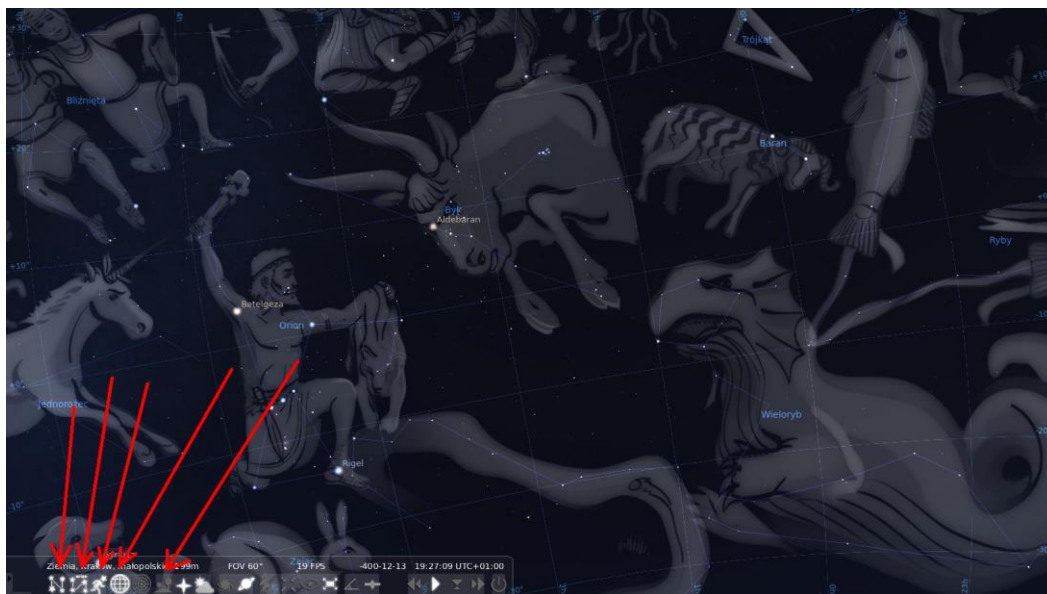


Rysunek 9. Stellarium: wybór daty i godziny.

Procedura wykonania doświadczenia

Należy dokładnie przeczytać fragment *Fenomenów* Aratosa z Soloj w tłumaczeniu Jana Kochanowskiego, który jest zamieszczony w kolejnej podsekcji. Na podstawie tego tekstu należy wypisać, które fragmenty gwiazdozbiorów znajdują się w okolicach równika i obu zwrotników. Następnie należy skorzystać z programu Stellarium.

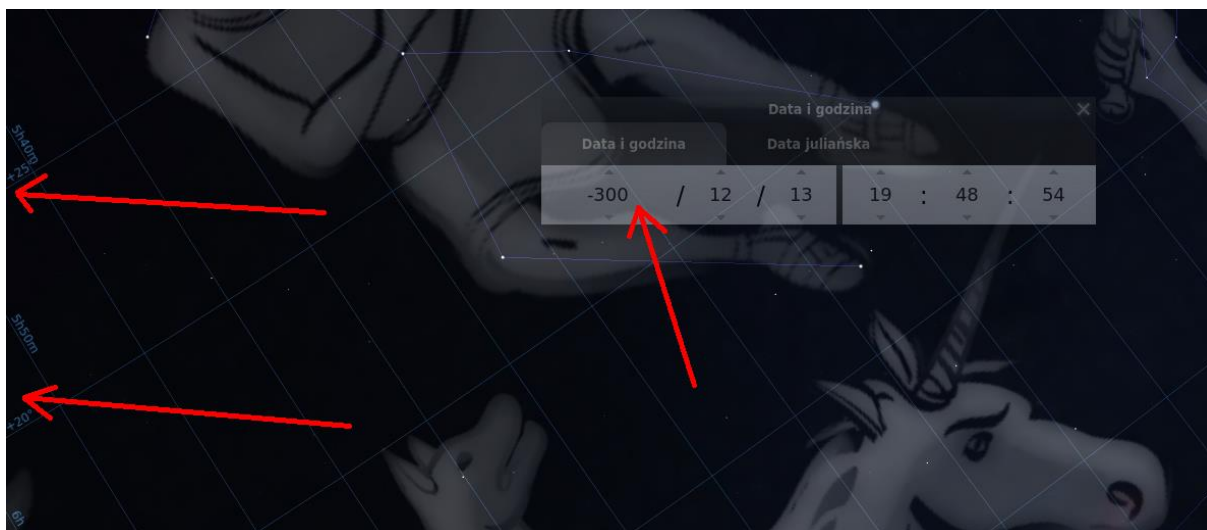
Po uruchomieniu programu, za pomocą przycisków na dolnym pasku, należy włączyć siatkę równikową, linie, nazwy i rysunki gwiazdozbiorów. Dobrze jest również wyłączyć widok Ziemi.



Rysunek 10. Stellarium: ustawienia nieba.

Rysunki gwiazdozbiorów w programie Stellarium odpowiadają tradycyjnym wyobrażeniom gwiazdozbiorów. Katalog gwiazdozbiorów i znajdujących się w nim gwiazd podał żyjący w II wieku naszej ery astronom z Aleksandrii - Klaudiusz Ptolemeusz, zaznaczając, która gwiazda odpowiada danemu fragmentowi wyobrażonej w gwiazdozbiorze postaci (np. ręka Andromedy, Perseusza, ogon, szyja, skrzydła Łabędzia itd.).

Należy ustawić lokalizację na miejscowość znajdującą się w Grecji (np. Ateny) oraz datę na rok -300, co odpowiada 301 r. p.n.e., a następnie zliczyć, ile ze wskazówek z poematu Aratosa jest spełnionych dla danej epoki. Kalendarz nie uznaje roku zerowego, który jednak występuje w datowaniu astronomicznym. Należy sprawdzić, czy dany fragment gwiazdozbioru znajduje się w rejonie równika lub zwrotnika z dokładnością do kilku stopni. Na przykład, czy dany fragment gwiazdozbioru z okolic zwrotnika znajduje się na deklinacji pomiędzy 20 a 25 stopni. Dla równika można przyjąć błąd w deklinacji rzędu trzech stopni (od -3° do 3°).



Rysunek 11. Stellarium: zmiana ustawień daty i etykiety siatki współrzędnych.

Po zliczeniu, ile wskazówek jest spełnionych dla pierwszej daty, należy przesunąć datę o 400 lat wstecz i powtórzyć obliczenia. Następnie znowu przesunąć o 400 lat i tak dalej (daty -300, -700, -1100...). W momencie, kiedy coraz mniej wskazówek będzie spełnionych, można przerwać badania nad datowaniem tekstu. Następnie sporządź wykres liczby spełnionych wskazówek w zależności od daty. W którym okresie spełnionych jest najwięcej wskazówek? Będzie to epoka (tysiąclecie) powstania pierwowzoru poematu.

Fragment Fenomenów Aratosa z Solaj

Poniżej znajduje się tłumaczenie Jana Kochanowskiego z zaznaczonymi objaśnieniami ułatwiającymi zrozumienie tekstu. Całość można przeczytać na stronie:
[https://pl.wikisource.org/wiki/Jana_Kochanowskiego_Dzie%C5%82a_polskie_\(1919\)/Phaenomena](https://pl.wikisource.org/wiki/Jana_Kochanowskiego_Dzie%C5%82a_polskie_(1919)/Phaenomena)

W nawiasach wytłuszczonym drukiem podano nazwy poszczególnych kół na sferze niebieskiej. Są to miejsca, gdzie zaczyna się opis danej sekcji.

(Koła)

Cztery Koła przedniejsze² każdemu znać trzeba,

Kto chce lotnych lat bieg znać i porządek nieba.

Przy wszystkich są widome znaki położone

Tak obfite, że jedno z drugimi spojone.

² główne

Same Koła statecznie są umiarkowane³,

Ale tak, że dwie a dwie z sobą porównane⁴.

(Droga Mleczna)

Jeśli kiedy w pogodną noc pierwomiesięczną⁵,

Patrzając na niebieską krasę barzo wdzięczną⁶,

Ujrzysz tam drogę, białomleczną nazywają,

Tej barwy insze koła niebieskie nie mają.

Ale co się wielkości tycze, dwie przedniejsze⁷

Są tak wielkie, drugie dwie niejako równiejsze⁸. (...)

(Zwrotnik Raka)

Z tych poszlednich jednego duch Akwilonowy⁹

Dosięga, w niem się wożą zgodnych Bliźniąt głowy,

W niem obiedwie kolana są Erychtonowe¹⁰:

Lewa noga i prawe ramię Perseowe.

W niem Andromedy prawa dłoń jest położona,

W niem końskie nogi¹¹ i łeb ptaszy¹² i ramiona

Jasnego Ophiucha¹³; Panna się umyka

³ stabilnie, niezmiennie położone

⁴ tu: równe

⁵ w okresie nowiu Księżyca

⁶ piękną

⁷ większe

⁸ tu: mniejsze

⁹ tzn. jest położone najbardziej na północ. Akwilon -rzymski bóg wiatru północnego, utożsamiany z greckim Boreaszem

¹⁰ Erychteusz - mityczny król Aten, utożsamiany z postacią gwiazdozbioru Woźnicy

¹¹ nogi Pegaza

¹² łeb Łabędzia

¹³ Wężownika

Ku południu¹⁴, Lwa, Koło i Raka zamyka;
Lwa po piersi i po brzuch aż ku pośladkowi
Zajmuje, a w pół grzbieta przychodzi Rakowi.
To Koło na ośm części właśnie rozdzielone,
Pięć nad ziemią, a trzy zaś niesie zanurzone.
Tu letnie słońce swój wóz ognisty hamuje,
A tymże zasię tropem nazad postępuje.
To tedy na północy, jakosmy słyszeli,
W Raku tkwi; na południe zaś drugie wpół dzieli (...)

(Zwrotnik Koziorożca)

Goleni przepasuje, plusk¹⁵ Wielorybowi.
W tem jest niewielki Zając, w tem nogi chartowe,
W tem Okręt¹⁶ i szerokie plecy Chyronowe¹⁷,
W tem żądło jadowite Niedźwiadek¹⁸ położył,
W tem niepochybny Strzelec tęgi łuk nałożył;
Tu, przyszedłszy z północy słońce ku Austrowi¹⁹,
Wraca się zasię nazad ku Akwilonowi.
Tego koła trzy części wzgórze wyniesione,
A pięć zasię pod wodą idą zanurzone.

¹⁴ tzn. jest na południe od niego

¹⁵ ogon

¹⁶ starożytny gwiazdozbiór Okrętu Argo z mitu o Argonautach. W czasach nowożytnych podzielony na Kil, Rufę i Żagiel

¹⁷ Chyron - mądry centaur z mitologii greckiej, nauczyciel wielu herosów m.in. Achillesa i Jazona, uosabiany na niebie przez gwiazdozbiór Centaura

¹⁸ staropolskie określenie gwiazdozbioru Skorpiona

¹⁹ ku południu. Auster - rzymski bóg wiatru południowego, utożsamiany z greckim Notosem

(Równik)

Między temi w pół prawie Koło, tej wielkości,
Co i mleczne, trzyma się w niebieskiej światłości:
W tem do roku dzień dwakroć z nocą się miarkuje²⁰:
Raz na wiosnę, raz kiedy lato ustępuje.
Tem wszytek, jako wielki, Skop²¹ jest przedzielony,
Tem kolana wołowe i pas rozpalony
Orionów; tu jasnej Hydry zatoczenie²²,
Tu czasa²³ i czarnego Kruka położenie.
Toż koło Wagi ciemnej kilka gwiazd zamyka,
I kolan Ophiucha jasnego dotyka;
Orła jedno nie sięga, ale wszytkę głowę
I szyję swym okręgiem trzyma Pegazowę.
Te koła oś przenika prosto położone²⁴;

(Ekliptyka)

Czwarte wszytkich się trzyma na ukoś sadzone²⁵,
Pobrzeżnych brzegiem sięga, średnie środkiem spina;
Takich Kół nie dowiedzie żadna ręka ina,
Jakie te są na niebie, których zamierzony
Bieg od wschodu na zachód jest niedokończony²⁶.

²⁰ wyrównuje

²¹ Baran

²² wygięcie, zapętlenie, podłużnego cielska Hydry

²³ Puchar

²⁴ prostopadle do płaszczyzny, w której leży każde z Kół

²⁵ położone poprzecznie, pod kątem w stosunku innych Kół

Owe tedy i wschodzą i także padają
Wszystki w miarę, a jeden wschód i zachód mają.
To przeczne zasię morza tak wiele przechodzi,
Jako od Kozorożca daleko Rak wschodzi;
A jako wiele miejsca zastępuje wschodząc,
Taką drugą część równie zaś bierze zachodząc;
Sześcią promieni z oka w okrąg rozmierzone,
Zamyka w każdym polu dwa znaki złożone.
Zodyakiem to Koło Grekowie mianują,
Bo w niem różne zwierzęta porządkiem najdują:
W niem Rak i Lew i Panna, w niem Waga i srogi
Niedźwiadek, po nim Strzelec i zwierz kozorogi,
Po Kozorożcu Wodnik, potem Ryby wodne,
Więc Skop, więc Wół uklękły, więc Bliźnięta zgodne.
W tych dwanaście bieg roczny słońce odprawuje,
A za niem niezliczony rój godzin się snuje.
Tego koła, ile się w głęboki podawa
Ocean, tyle zasię nad ziemią zostawa.
Na każdą noc ustawnie sześć znaków zachodzi,
A tyle drugie zasię z oceanu wschodzi;
A wszelka noc tak się wszecz zawsze rozpościera,
Ile pół Koła wzgóre w pierwszy mrok zawiera.
A kto chce porozumieć, jako w noc głęboko,

²⁶ w nieskończoność

Albo jako dzień blisko, niech ma pilne oko

Na znaki, kiedy wzgóre wynikają z dołu,

Bo słońce zawsze z jednym przychodzi pospołu; (...)