

Lato z geofizyk (3)

Jak piraci zmierzili promie Ziemi?

Piraci z Karaibów nie mieli od dawna szczęścia. Tym razem jednak nie zdawali sobie sprawy z rozmiaru swojego pecha. Wprost przeciwnie! Po miesiącach poszukiwań, napotkany galeon wydawał się być obiecującym łupem. Gdy piraci wpadli z wrzaskiem na pokład, nie przywitano ich salwą z hiszpańskich muszkietów. W obronie galeonu stanęła skórka od banana, na której po lizgnięciu Szczerbaty Bill i wybił sobie dwa ostatnie zęby. Opór dzielnej skórki okazał się daremny i statek szybko został opanowany. Jedynym pasażerem okrętu okazał się chudy osobnik z binoklami na nosie. Głównym adunkiem były księgi, najróżniejszych rozmiarów i ze sładkami czy stego użycia. Według znalezionych dokumentów, za kilka godzin statek dwa tygodnie temu, podał o jak powódź terror psychiczny. Kapitan z pierwszym oficerem znikli w tajemniczy sposób wraz z ostatnią szalupą w momencie wpłynięcia na akweny kontrolowane przez piratów.

W ciągu najbliższego tygodnia piraci zrozumieli, na czym polegał ten psychiczny terror. Otóż wzięty do niewoli osobnik wymyślił od nieuków (co piraci w zasadzie aprobowali) i próbował przekonac im zawartość księgi (tego już piraci nie lubili). Nie pomogło wyrzucenie księgi do wody ani porzucenie przyżu, którego ciany zapisane były wzorkami z księgi. Piraci serio rozważali nakarmienie rekinów jeźcem, ale nadzieja na uzyskanie okupu przemogła i jeniec w dalszym ciągu żył zastrawiony piratom.

Po powrocie na wody swojej laguny piraci odbyli naradę. Postanowili przenieść swoje działania na wschodnie wybrzeża Pacyfiku, gdzie tak łatwo można było napotkać hiszpańskie statki pełne ze skarbami. W galeonach płynących z *Nueva España* było to złoto i srebro wydobywane przez indiańskich niewolników. Z wysp Pacyfiku wońono głównie przyprawę, ale piraci wiedzieli, że tak łatwo jest to towar przetworzyć wymienny na złoto. Jak zwykle w takich momentach piraci rozgadzali się o czekającym ich rejsie.

- Dajcie mi funta za mil rejsu, a bądź bogaty jak królowa! ó mówił Krwawy Jasio.
- Głupi, tyle kasy nie ma na świecie! - skrytykował go kapitan Sinobrody.
- To dajta przynajmniej szylinga!
- Mnie tam starczyłyby pens za mil ó przygadamajmłdszy.

Sinobrody zaczął rozważać, ile byłoby to pieniędzy, ale rejs przez pół globu przekraczał jego wyobraźnię. Spojrzył na Okularnika i naszło go olnienie. Zawołał:
- Te, Okularnik, przecie ty wiesz pewnie ile mil ma Ziemia! Jak nam pomożesz to przyjmujemy cię do paki. Dostaniesz swój dół od kadego zdobytego statku!

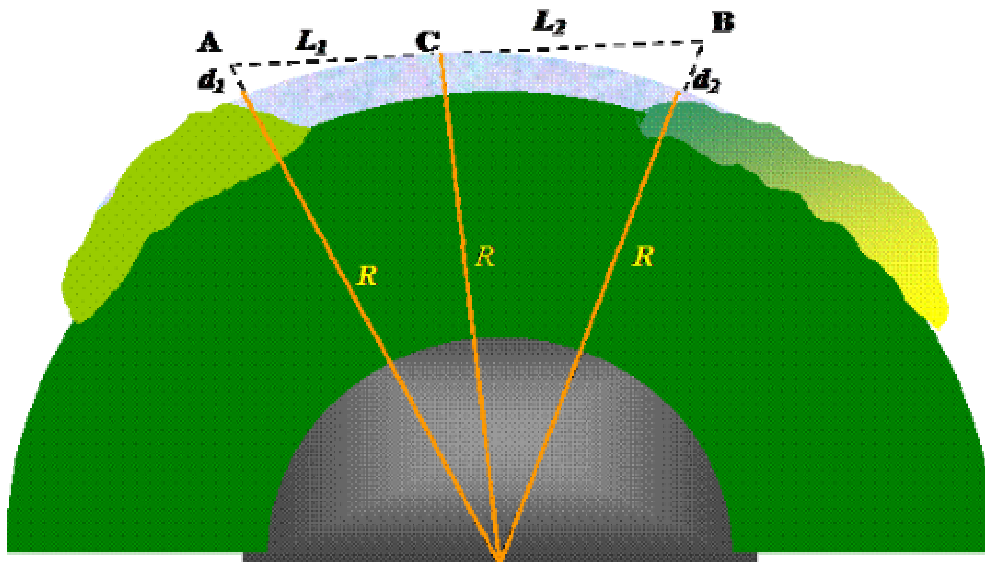
Wczujmy się teraz w rolę Okularnika. Oczywiście Okularnik mógłby olać sprawę i powiedzieć piratom cokolwiek, ale jako jeniec wie, że będzie dzielony piracki los. Jeśli piraci go zaplanują rejs to może dla niego być siłko czy...

Okularnik prostuje się w ciętę poczucia swojej waności i zaczyna pouczać cym tonem:

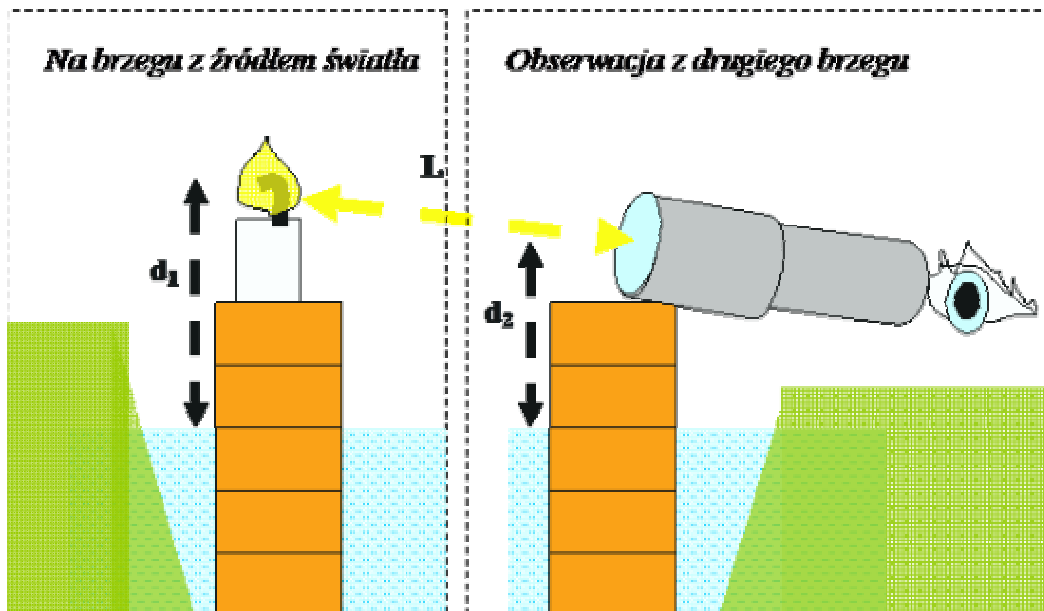
- Kady wykształcony człowiek, czyli nie wy, wie, że obwód Ziemi wynosi 40 000 km. I nagle zdaje sobie sprawę, że nie pamięta! Zaczyna mamrotać:

- Trzy tysiące milí. Nie, pewnie ze 30 tysięcy? A może 100 000? Te cieńskie chudry księżki powyrzucali!

Pewno siebie Okularnika zanika gwałtownie. Ale przychodzi mu do głowy, że może na promie Ziemi zmierzyć! Rozważa teraz szybko pomysły. Zanim do głosu piratów powtórnie zawitaemy i o nakarmieniu Okularnikiem rekinów, ten ma już pomysły - Przecież powierzchnia wody w lagunie jest części oceanu (pojęcia geoidy jeszcze nie znano), a więc wystarczy zmierzyć krzywiznę powierzchni wody w lagunie! Obwód to $2R$!



Rys. 1. Idea pomiaru krzywizny powierzchni wody w lagunie. Oczywiście rozmiary laguny są znacznie przesadzone w stosunku do rozmiarów Ziemi.



Rys.2. Ustawienie źródła światła i miejsca obserwacji.

Okularnik szkicuje szybko ide pomiaru pokazan na Rys. 1.

W punkcie A jeden z piratów trzyma wiec (lub latarni) na wysokości d_1 nad poziomem wody w lagunie ó Rys. 2. W punkcie B drugi pirat obserwuje światło przez lunetę i stopniowo obniża ją coraz bliżej powierzchni wody. W momencie, gdy latarnia znika z widoku, linia AB styka się z lustrem wody. W takim razie kąt C jest kątem pomiędzy promieniem okręgu a styczną, czyli jest prosty. Korzystając z twierdzenia Pitagorasa dla trójkąta ACO, Okularnik znajduje:

$$(R+d_1)^2 = L_1^2 + R^2, \quad (1)$$

czyli

$$R^2 + 2Rd_1 + d_1^2 = L_1^2 + R^2.$$

Odejmując R^2 od obu stron Okularnik dostaje:

$$2Rd_1 + d_1^2 = L_1^2,$$

czyli

$$d_1 (2R + d_1) = L_1^2.$$

Aby upro ci obliczenia Okularnik korzysta teraz z faktu, e wysoko nad lustrem wody jest znikoma w porównaniu z promieniem Ziemi, a wi c zamiast $(2R+d_1)$ możemy napisa $2R$, czyli:

$$2d_1 R = L_1^2. \quad (2)$$

Wtedy Okularnik otrzymuje prosty wzór:

$$R = L_1^2 / (2d_1).$$

Wzór ten jest jednak niezbyt wygodny, bo poenie punktu C (gdzie w rodku laguny) może by trudne do wyznaczenia. Lepiej posugiwa si wi c odlegeni $AB=L_1+L_2=L$. Aby wyeliminowa L_1 zauwa my, e z trójk ta COB mamy równanie analogiczne do (1):

$$(R+d_2)^2 = L_2^2 + d_2^2, \quad (3)$$

czyli mamy te równanie analogiczne do (2):

$$2d_2 R = L_2^2. \quad (4)$$

Dodajemy stronami wzory (2) i (4):

$$2d_1 R + 2d_2 R = L_1^2 + L_2^2 = (L_1 + L_2)^2 - 2L_1 L_2 = L^2 - 2L_1 L_2.$$

Ze wzoru (4) widzimy, e:

$L_2 = (2d_2 R)^{1/2}$ i podobnie ze wzoru (2) mamy, e $L_1 = (2d_1 R)^{1/2}$. Podstawiaj c L_1 i L_2 i porz dkuj c obie strony, mamy:

$$R 2(d_1 + d_2) = L^2 - 2 (2d_2 R)^{1/2} (2d_1 R)^{1/2} = L^2 - 4 R (d_2 d_1)^{1/2}$$

Rozwi zuj c równanie ze wzgl du na R , mamy wreszcie ostateczny wzór:

$$R = L^2 / (2(d_1 + d_2) + 4 (d_2 d_1)^{1/2}). \quad (5)$$

Maj c ten wzór, Okularnik przyst puje do pomiaru. W nie zapada wieczór, cichnie wiaterek i lagun ogarnia totalna flauta. Krwawy Jasio z Bezz bnym Billem (przedtem znanym jako Szczerbaty Bill) przepewaj na drug stron laguny. Tam montuj sprzyrz d naukowyö czyli najpierw ukadaj kilka kamieni do poziomu wody. Następnie umieszczaj wieczk na dodatkowym kamieniu. Sygnalizuj c w umówiony sposób latarni , dogaduj si z bosmanem na drugiej stronie laguny. Bosman le y tu nad wod i obserwuje wieczk . Okazuje, e wieczka staje si widoczna, gdy d_2 wynosi co najmniej 12 cali, gdy jednocze nie $d_1 = 18$ cali.

Teraz trzeba jednak zmierzy odlegeni L . Z pirackiej mapy laguny wynika, e odlegeni L wynosi 2 mile i 3 i pół kabla, czyli 2,35 mili.

Wtedy piraci wychylaj baryk grogu z rado ci. Dla samych piratów byby teraz najtrudniejszy problem ó nie potrafi liczy ! Na szcz cie maj Okularnika, który uko czy Oxford.

Okularnik wie te , e do ka dego dobrego fizycznie wzoru można wstawi ka de jednostki, ale nie można ich miesza . Je li d_1 jest w calach to tak e odlegeni L trzeba wyrazi w calach i wynik R będzie w calach! Czyli trzeba wszystko przeliczy na cale! Okularnik wie, e mila morska to 6080 stóp, a ka da stopa to 12 cali.

Pó niej Okularnik musi si pom czy nad obliczeniami, szczególnie nad wyci ganiem pierwiastków, ale ostatecznie otrzymuje, e promie Ziemi wynosi 247 476 352 cali, czyli ok. 3392 mile morskie. A obwód to $2 R$, czyli ok. 21 312 mil. W tym momencie Okularnik przypomina sobie, e obwód Ziemi to naprawd 21600 mil morskich!

- Ca kiem niez y wynik, jak na takich pomagierów ó my li. ó Trzystu mil nawet nie zauwa . No i pewnie refrakcja wiatu by ma. Przecie nie wzi em na ni poprawki.



Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features

O dalszych losach piratów opowiemy w kolejnych odcinkach Łata z geofizyk ö. ☺

Problemy:

1. Jak ϵ two zapami ta obwód z Ziemi w milach morskich?
2. Jak refrakcj mia ϵ na my li Okularnik?
3. Jak Okularnik potrafi ϵ wyci ϵ gn pierwiastek kwadratowy? Znajd metod obliczania pierwiastków bez kalkulatora.
4. Jak maj si mile morskie, cale, stopy i kable do metra?

Przy lijcie swoje wyniki! ☺ lczech@op.pl

Warto tak e zajrze na strony:

<http://www.pl.euhou.net/index.php/wiczenia-mainmenu-13/planeta-ziemia-mainmenu-140/173-jak-wypoczywajc-nad-jeziorem-zmierzy-promie-ziemi>

a po angielsku w:

<http://www.wired.com/2011/06/how-to-estimate-the-radius-of-the-earth-with-a-lake/>

W teoretycznym opisie idei pomiaru zaniedbano refrakcj wiat ϵ . Jest wi c okazja na dodatkow lekcj fizyki o tym zjawisku wa nym dla nawigacji i dla geodezji. Link geodezyjny jest tutaj:

http://gik.wilsg.tu.koszalin.pl/kdeska/wybrane_wyklady/GPSz2%20Wyklad%205-8%20Blad%20m.%20zera%20refrakcja%20niwelacja%20tygonometryczna.pdf