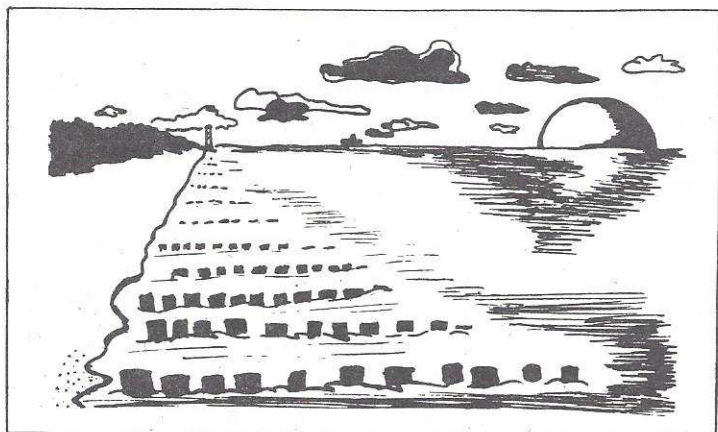


Pocztówka z wakacji

Krzysztof OMILJANOWSKI

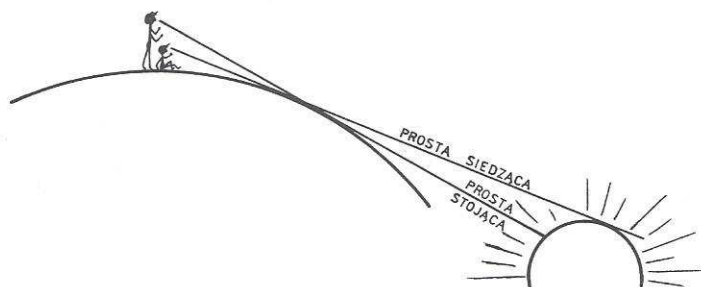


Wakacje już dawno są wspomnieniem, lecz jakże trwałym, takim, które często powraca, zwłaszcza gdy za oknem ziąb i niepogoda. Wtedy wystarczy tylko przymknąć oczy... słyszysz spokojny, miarowy szum, na twarzy czujesz ciepły, wilgotny powiew wieczornej bryzy, chłodne fale obmywają twoje stopy. Otwierasz oczy i widzisz... pustą, wielką, z lekka tylko pomarszczoną płaszczyznę morza, łączącą się gdzieś w dali z lazurem nieba i tylko jeden, jedyny szczegół – wielka czerwona słoneczna kula topiąca się w morzu... Znika ostatni jej skrawek... Chwila niesamowita... Czujesz, że jesteś świadkiem czegoś niezwykłego. Jest trochę tak, jak na wspaniałym koncercie, gdy zabrzmiał już ostatni akord, a oklaski wybuchną dopiero za moment...

Kiedyś, wiedziony nieodpartą chęcią przedłużenia tej chwili, wstałem nagle, by jeszcze raz zobaczyć brzeżek czerwonej kuli. Nie uwierzycie! Udało mi się! Dostrzegłem fragment ciepłej tarczy.

Następnego dnia wcale nie byłem już tego taki pewien. Może to tylko złudzenie? Postanowiłem spróbować raz jeszcze. Niestety, kolacja przeciągnęła się i nie zdążyłem zbiec na plażę. Śledziłem więc topiące się Słońce siedząc w głębokim leżaku na tarasie domu stojącego na skarpie nad plażą. Gdy słoneczna tarcza całkiem zniknęła, wstałem chcąc zobaczyć ją raz jeszcze, choćby mały tylko rąbek. Niestety! Nie zobaczyłem nic!!! Już do końca mego pobytu nad morzem nie powtórzyłem tego eksperymentu – pogoda się popsuła. Ciągłe dręczyło mnie jednak pytanie: czy to, co widziałem, widziałem naprawdę, czy też było to tylko projekcją mojej pobudzonej wyobraźni? Czy możliwe jest, bym wstając na plażę zobaczył skrawek Słońca ponownie?

Oczywiście, że tak:



Wczesne lata mechaniki kwantowej – wspomnienia Rudolfa Peierlsa

Profesor Rudolf Peierls jest wybitnym fizykiem-teoretykiem znanym z wielu klasycznych już prac w dziedzinie fizyki ciała stałego, fizyki jądrowej, fizyki matematycznej oraz mechaniki kwantowej.

Sir Rudolf, urodzony w Berlinie w 1907 r., znaczną część życia spędził w Anglii pracując na uniwersytetach: w Manchesterze, Birmingham, Cambridge i Oxfordzie. W czasie drugiej wojny światowej uczestniczył w badaniach prowadzonych w Los Alamos (USA), które doprowadziły do skonstruowania bomby atomowej. Jednakże młodość spędził w Europie, gdzie był świadkiem i istotnie przyczynił się do rozwoju mechaniki kwantowej, podstawowej teorii fizycznej. W ciągu swego długiego życia spotykał się i pracował z niemal wszystkimi wybitnymi fizykami XX wieku.

O nich i o czasach, gdy powstawał fundament współczesnej fizyki, opowiada w swoim wykładzie wygłoszonym w Moskwie jesienią 1987 roku, który w nieautoryzowanej i niestylizowanej formie opublikował Kwant 10/1988, skąd poniższy tekst zaczerpnęliśmy.

Może wydać się nieskromne, że zaczynam od opowieści o sobie. Zwykle się tak nie robi, ale mowa będzie o moich osobistych wrażeniach i dlatego powinienem w pierwszej kolejności przedstawić. Wstąpiłem na uniwersytet w 1925 r. Chciałbym móc teraz powiedzieć, że wybrałem fizykę, gdyż była ona interesującym przedmiotem i burzliwie się rozwijała. Byłoby to jednak nieuczciwe. W rzeczywistości chciałem zostać inżynierem. Był to czas, gdy rozwijało się lotnictwo, nowe samochody i było oczywiste, że chłopiec chce zostać inżynierem. Ale ktoś tam stwierdził, że do tego się nie nadaję, że nie będę dobrym inżynierem. Dlatego wybrałem, jak mi się wydawało, coś najbliższego mojemu marzeniu – fizykę.

Zacząłem studia w Berlinie, w mieście, gdzie był mój dom. Rodzice uważali, że jestem za młody, by daleko wyjeżdżać. Tam częściej na wykłady Maxa Plancka. Były to najgorsze wykłady, jakich kiedykolwiek słuchałem. Czytał je kropka w kropkę ze swojego podręcznika fizyki

teoretycznej. Jeśli miało się go ze sobą, można było śledzić za tekstem. Planck był bardzo znanym fizykiem, ale wtedy nie wiedzieliśmy jeszcze dlaczego. Pierwsze słowa o stałej Plancka, atomie Bohra i tym podobnych rzeczach usłyszałem na wykładach Waltera Bothe'go (później został fizykiem jądrowym). Tam stało się dla mnie jasne, że w fizyce dzieje się coś nowego, niezwykle interesującego.

Po roku zdecydowałem, że stałem się już wystarczająco dorosły, żeby opuścić Berlin. Przeniosłem się do Monachium, gdzie wówczas pracował najlepszy nauczyciel fizyki teoretycznej – Arnold Sommerfeld. Dla fizyki teoretycznej był to wspaniały czas. Tworzyła się mechanika kwantowa i obecnie bardzo trudno jest sobie wyobrazić, jak szybko się to odbyło – naprawdę w dwa lata.

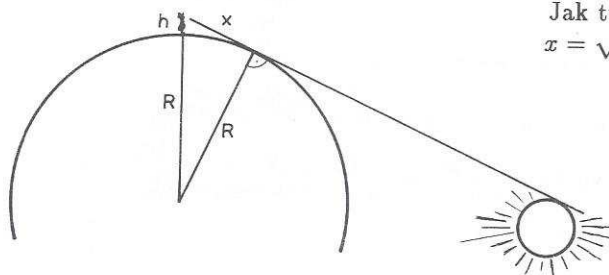
Właśnie w tym okresie rozpocząłem studia i już po roku mogłem czytać prace z mechaniki kwantowej. Nie zdążyłem jednak na jej tworzenie. Gdyby można było powtórzyć życie, to chciałbym się urodzić rok lub dwa lata wcześniej. Feliks Bloch wyjaśnił mi potem, że nie każdy człowiek jest zdolny do tworzenia nowych teorii i że pojawiliśmy się akurat w czasie, gdy należy je stosować. Moim zdaniem miał rację. Był to najdogodniejszy czas, żeby wziąć jakikolwiek problem, przy rozwiązywaniu którego stara fizyka prowadziła do sprzeczności, i zastosować nowe metody.

Tak więc przybyłem do Sommerfelda. Sommerfeld był niskiego wzrostu i miał ogromne wąsy. Czasami nazywaliśmy go „górną połowa i jeszcze trochę”. Sommerfeld wyglądał dość godnie, nosił tytuł *Geheimrat* – tajny radca (można to porównać ze współczesnym tytułem członka akademii) i lubił, kiedy go tak nazywano. Pewien amerykański student początkowo o tym nie wiedział i zwracał się do Sommerfelda po prostu „Herr Professor”. W ciągu tygodnia lub dwóch wszystko mu wyjaśniono i przy kolejnym spotkaniu zwrócił się do Sommerfelda już per „Herr Geheimrat”. Sommerfeld zauważył to, mówiąc, że jego niemiecki ostatnio wyraźnie się poprawił.

Ale w instytucie Sommerfeld wcale nie był *Geheimrat*, nigdy go tak nie nazywaliśmy. Był znakomitym nauczycielem, jego wykłady dla studentów i doktorantów były nadzwyczaj jasne. Są one opublikowane i ciągle jeszcze interesujące; można je z pożytkiem czytać nawet obecnie. Sommerfeld zawsze podkreślał, że fizyka teoretyczna jako nauka powinna, mimo

Ale w takim razie dlaczego nie udało mi się to, gdy wstałem będąc na tarasie??? Czy można usprawiedliwić tak dziwne zachowanie się Słońca? Czy można je w ogóle jakoś wytłumaczyć? Pewnie astronomowie powiedzą, że gdy widziałem Słońce, to tak naprawdę już go nie widziałem, bo to atmosfera, rozproszenie, załamania, odbicia itp. Za grosz im nie wierzę! Postanowiłem zdać się na geometrię.

Zacząłem od pytania: w którym „miejscu” Słońce tonie? A raczej, jak daleko ode mnie Słońce tonie, gdy patrzę na nie z wysokości h metrów nad poziomem morza? (Jest to pytanie o promień horyzontu.)



Jak twierdzi Pitagoras:

$$x = \sqrt{(R+h)^2 - R^2} = \sqrt{2Rh + h^2}.$$

Ale ile to jest konkretnie? To zależy od h . Zatem $x = x(h) = \sqrt{2Rh + h^2}$. Pamiętałem, że promień R Ziemi jest gdzieś pomiędzy 6300 a 6400 km. Gdy „przejdę na metry”, to chociaż stoję na balkonie, h jest w porównaniu z R bardzo małe ($h < 100$), czyli składnik h^2 pod pierwiastkiem mogę śmiało pominąć – teraz jest znacznie prościej:

$$x(h) = \sqrt{2Rh}.$$

Gdy siedziałem nad samą wodą, h było równe, powiedzmy, jeden metr; porachowałem

$$\sqrt{2 \cdot 6300000 \cdot 1} \leq x(1) = \sqrt{2R \cdot 1} \leq \sqrt{2 \cdot 6400000 \cdot 1}$$

$$\begin{array}{c} \sqrt{2 \cdot 6300000 \cdot 1} \\ \vee \\ 2500 \cdot \sqrt{2} \\ \vee \\ 2500 \cdot 1,4 \\ \parallel \\ 3500 \end{array} \qquad \begin{array}{c} \sqrt{2 \cdot 6400000 \cdot 1} \\ \parallel \\ \sqrt{2 \cdot 8^2 \cdot 10 \cdot 100^2} \\ \parallel \\ 800 \cdot \sqrt{20} \\ \wedge \\ 800 \cdot \sqrt{25} \\ \parallel \\ 4000 \end{array}$$

Zatem horyzont był gdzieś pomiędzy 3,5 a 4 km ode mnie.

(Mam nadzieję, że ten sposób zapisu pozwala prześledzić kolejność rachunków i sposób dokonywania przekształceń. Główny pomysł to zastępowanie jednych liczb drugimi i to takimi, przy których rachunki stają się prostsze. Dlaczego nie wziąłem kalkulatora i nie porachowałem dokładnie? Wcale nie byłoby dokładnie, a tak przynajmniej znam wielkość błędów, które mogłem popełnić. A poza tym, jak bym wyglądał z kalkulatorem na plaży!!!)

Gdy wstałem, to podniosłem się – powiedzmy – o metr, czyli:

$$2\sqrt{6300000} \leq x(2) = \sqrt{2R \cdot 2} \leq 2\sqrt{6400000}$$

$$\begin{array}{c} 2\sqrt{6300000} \\ \vee \\ 2 \cdot 100 \cdot \sqrt{625} \\ \parallel \\ 200 \cdot 25 \\ \parallel \\ 5000 \end{array} \qquad \begin{array}{c} 2\sqrt{6400000} \\ \parallel \\ 2 \cdot 800 \cdot \sqrt{10} \\ \wedge \\ 2 \cdot 800 \cdot \sqrt{10,24} \\ \parallel \\ 5120 \end{array}$$

Porównując wyniki otrzymałem:

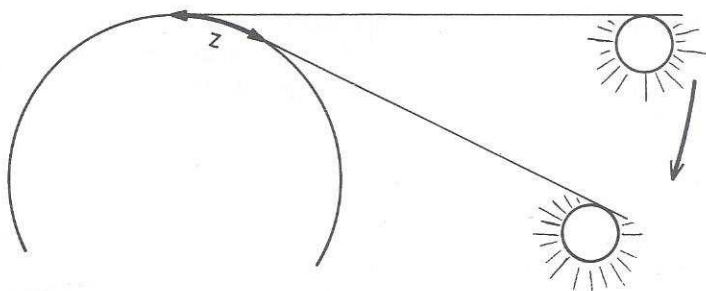
$$\begin{array}{ccc} & \leq & x(2) - x(1) \leq \\ 5000 - 4000 & & 5120 - 3500 \\ \parallel & & \parallel \\ 1000 & & 1620 \end{array}$$

Podnosząc się zwiększyłem więc swoje pole widzenia (a raczej jego promień) o co najmniej jeden kilometr, ale nie więcej niż o 1620 metrów! A jak to było w przypadku tarasu? Przypuśćmy, że siedziałem około 25 metrów n.p.m. O ile zwiększyło się pole widzenia, gdy wstając uniosłem się o jeden metr? Obliczmy:

$$\begin{aligned} x(26) - x(25) &\leq \sqrt{2R \cdot 26} - \sqrt{2R \cdot 25} = \sqrt{R}(\sqrt{52} - \sqrt{50}) = \\ &= \sqrt{R} \left(\frac{52 - 50}{\sqrt{52} + \sqrt{50}} \right) \leq \sqrt{R} \frac{2}{2\sqrt{50}} \leq \sqrt{\frac{6400000}{50}} = \\ &= 100\sqrt{12,8} < 100\sqrt{12,96} = 100 \cdot 3,6 = 360. \end{aligned}$$

Czyli na pewno mniej niż 360 metrów! Wszystko jasne! Powiedzmy, że wstawałem w przeciągu jednej sekundy; w tym czasie Słońce „uciekło”, „punkt tonięcia” oddalił się, ale o mniej niż 1000 metrów (zatem wstając nad brzegiem zobaczyłem go ponownie), jednak dostatecznie daleko, bym wstając na tarasie już go nie dostrzegł.

No tak, ale właściwie to ile metrów w ciągu sekundy ucieka ode mnie punkt tonięcia?



Porachuję to najpierw tak, jakbym siedział na równiku. Wtedy w ciągu doby (24 · 60 · 60 sekund) punkt tonięcia obiegnie Ziemię dookoła; zatem w ciągu sekundy

$$\begin{array}{ccc} & \leq & z = \frac{2\pi R}{24 \cdot 3600} \leq \\ \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6300000}{24 \cdot 3600} & & \frac{2 \cdot 3,15 \cdot 6400000}{24 \cdot 3600} \\ \downarrow & & \wedge \\ \frac{2 \cdot 3 \cdot 6300000}{24 \cdot 3600} & & \frac{2 \cdot 3 \cdot 6400000}{24 \cdot 3600} \\ \parallel & & \parallel \\ \frac{7}{16} \cdot 1000 & & \frac{128}{27} \cdot 100 \\ \parallel & & \wedge \\ \left(0,5 - \frac{1}{16}\right) \cdot 1000 & & \frac{129}{27} \cdot 100 \\ \downarrow & & \parallel \\ 0,4 \cdot 1000 & & \frac{43}{9} \cdot 100 \\ \parallel & & \parallel \\ 400 & & \frac{47}{9} \cdot 100 \\ & & \wedge \\ & & 478 \end{array}$$

wszystko, opierać się na danych doświadczalnych. Nigdy nie pozwalał nam zapomnieć, na jakich to faktach opiera się takie czy inne prawo.

Sommerfeld świetnie znał matematykę, napisał wiele prac czysto matematycznych, bardzo wartościowych, ale nigdy nie był nadmiernie dokładny. Pamiętam, jak w czasie wykładu na temat elektronowej teorii metali w rachunkach na tablicy przeoczył czynnik 2. Zauważyliśmy to, wydawało się nam to niezbyt ważne. Pod koniec przeszedł do prawa Wiedemanna-Franza, w którym występuje znany współczynnik liczbowy. Wtedy spostrzegł, że dostaje błędny wynik. Teraz już z dużym zainteresowaniem obserwowaliśmy, co się stanie. Zauważywszy błąd Sommerfeld nie zatrzymując się podkreślił, że teraz należy uwzględnić zarówno elektrony poruszające się z lewa na prawo, jak i elektrony poruszające się z prawa na lewo, po czym postawił we właściwym miejscu brakujący współczynnik 2.

Sommerfeld miał w górach małą chatę letniskową, dokąd czasami zapraszał doktorantów i wykładowców. Dał mi tam możliwość wystąpienia na moim pierwszym seminarium. Akurat pojawiły się prace Diraca i Jordana z teorii transformacji. Sommerfeld powiedział: „Nie udało się nam jeszcze zrozumieć tych prac i, być może, potrafi Pan nam je wytłumaczyć”. Mimo wszystko było to trudne zadanie dla studenta, który spędził na uniwersytecie zaledwie dwa lata. Jednak wziąłem się za nie z przyjemnością. Nie wiem, ile nauczyli się inni uczestnicy seminarium, ale ja sam nauczyłem się wiele.

W owym czasie w Monachium doktorantem był Hans Bethe. Był o rok starszy ode mnie, a w takim wieku to wielka różnica. Bethe sprawiał wrażenie inteligentnego człowieka, od którego dużo można się nauczyć. Bardzo się zaprzyjaźniliśmy. Do tej pory jest ode mnie starszy o rok. Obecnie nie jest to już tak ważne, ale nadal wiele mogę się od niego nauczyć.

Spędziłem w Monachium półtora roku i z przyjemnością pozostałbym dłużej, ale Sommerfeld został zaproszony do Ameryki na pół roku czy rok. Za radą Sommerfelda wyjechałem do Lipska pracować u Heisenberga.

Heisenberg był zupełnie niepodobny do Sommerfelda. O żadnym *Geheimrat* nawet mowy nie było. W każdej sytuacji postrzegało się go jako bardzo skromnego

człowieka. Charakterystyczne, że raz w tygodniu urządzał seminarium, a przed nim była herbata. Profesor osobiście szedł do cukierni i wybierał odpowiednie ciastka. A przynajmniej tak to zapamiętałem. Co prawda, pewien nasz kolega, będący w owym czasie asystentem Heisenberga, przekonywał mnie później, że załatwianie ciastek było jego zadaniem. Nie jest to pozbawione sensu, gdyż jako rodowity wiedeńczyk znał się na tych rzeczach. Z pewnością przypominam sobie więc ten okres, kiedy nie było go jeszcze w Lipsku.

Heisenberg bardzo lubił grać w ping-ponga i był bardzo dobrym zawodnikiem.

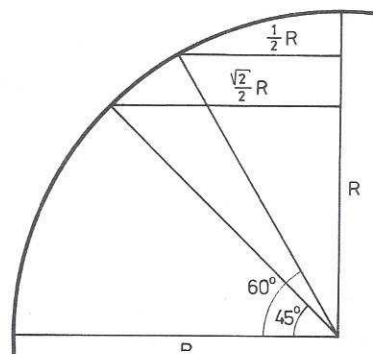
W wolnym czasie graliśmy wszyscy. Pewnego razu przyjechał chiński fizyk, któremu udało się pokonać Heisenberga. Była to sensacja. Słyszałem potem, że kiedy Heisenberg płynął statkiem z Ameryki do Japonii, to trenował przez całą drogę, żeby więcej taka żałosna rzecz się nie powtórzyła.

Heisenberg nie lubił czystej matematyki i traktował ją tylko jak niezbędny aparat. Jego metoda była następująca. Rozmyślając nad problemem najpierw zgadywał, jakie będzie rozwiązanie, a potem dobierał aparat matematyczny, który właśnie to rozwiązanie daje. Świetna metoda, jeśli ma się tak doskonałą intuicję jak Heisenberg. Dla innych postępowanie takie może być cokolwiek ryzykowne.

W Lipsku udało mi się napisać moją pierwszą pracę. Dotyczyła ona tzw. anomalnego efektu Halla. Kiedy przez kawałek metalu, umieszczony w polu magnetycznym, płynie prąd, to pojawia się w nim napięcie poprzeczne. Wiadomo, że dzieje się tak na skutek odchylenia elektronów w polu magnetycznym. Ale w niektórych metalach efekt ma przeciwny znak. Teraz tłumaczymy to tym, że w takich substancjach prąd przenoszony jest nie przez elektrony, lecz przez dziury. Ale wówczas sprawa nie była tak jasna, więc Heisenberg po prostu powiedział mi, że Bloch sformułował elektronową teorię metali i czy nie mógłbym zastosować jej do tego problemu. Ku memu wielkiemu zadowoleniu okazało się, że rzeczywiście można to zrobić i w ten sposób rozwiązałem postawione mi zadanie.

W Lipsku spędziłem rok. Heisenberg został zaproszony do Ameryki i wziął urlop. Za jego radą pojechałem do Zurychu, żeby pracować u Pauliego. U niego właśnie napisałem swoją rozprawę doktorską. Powiniennem powiedzieć, że wiele zawdzięczam temu systemowi

Gdy teraz uwzględnę, że byłem gdzieś pomiędzy 45-tym a 60-tym stopniem szerokości geograficznej północnej (nie ma to jak Bałtyk!), to otrzymam:



$$200 = \frac{1}{2} \cdot 400 < z < \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 478 < \frac{1,5}{2} \cdot 480 = 1,5 \cdot 240 = 360.$$

No i fiasko!? Punkt tonięcia przesuwa się w ciągu jednej sekundy o więcej niż 200, ale mniej niż 360 metrów; poprzednio otrzymałem tylko, że na tarasie zwiększyłem swe pole widzenia o nie więcej niż 360 metrów. Zatem nie uzasadniłem, że nie mogłem go zobaczyć!

Oj, wszystko się zgadza, wszystko jest jasne, gdy tylko przyjąć, że na tarasie podnosiłem się w ciągu nie jednej, lecz **dwóch** sekund (spróbujcie wstać z głębokiego leżaka – na pewno zajmie to Wam co najmniej dwie sekundy!). Wtedy Słońce ucieka o co najmniej 400 metrów – więc z tarasu już go nie dostrzegam, ale nie więcej niż 720 metrów – czyli nad brzegiem na pewno je zobaczę. Zagadka się wyjaśniła.

Wiem, że wielu z Was powątpiewa: że przecież skarpy nad morzem nie są takie wysokie, że nie można zaniedbywać wpływu atmosfery, która powoduje załamania itp. Nie mogę odmówić Wam racji, lecz pomimo to zostanę przy swoim. Bo tak właściwie to chciałem Wam pokazać, jak się bawiłem w piasku; w budowanie teoryjek, w przybliżenia (w szacowania). No tak – powiecie – ale jak to było naprawdę? Nie wiem, a jeśli już tak bardzo chcecie wiedzieć, to tak naprawdę byłem... w górach.

P.S. Nie myli się ten, kto twierdzi, że opisany wyżej fenomen prosto tłumaczy się maleniem pochodnej funkcji $x(h) = \sqrt{2Rh}$. A przy okazji tego wzoru: starzy górale powiadają, że dawniej z Giewontu widać było wieżę Kościoła Mariackiego w Krakowie (teraz nie widać – dymy). Czy można im wierzyć?

A jeśli ktoś pragnie sięgać wyżej, to niech rozstrzygnie, czy z Mount Everestu może być widać jakieś morze. *Milej zabawy!*

