

# Katakлизmy we Wszechświecie

(I)

Doc. dr Bolesław  
GRABOWSKI



Aż do połowy naszego wieku badacze nieba pozostawali pod silnym wrażeniem spokoju emanującego z głębi kosmosu. W anglojęzycznej literaturze popularnonaukowej można jeszcze dziś spotkać nostalgiczne określenie „gentle cosmos” (~kosmos dżentelmeński (?) spokojny). Trzeba przyznać, że wizerunek kosmosu tamtego czasu mógł zniewalać swoją elegancją i ładem, i to na różnych szczeblach jego organizacji: od naszego „podwórka” — Układu Słonecznego, aż po odległe galaktyki. Wszystko to zdawało się dowodzić, iż cokolwiek w tym świecie miało być rozstrzygnięte — dawno zostało już rozstrzygnięte.

Obraz ten dość wyraźnie nie przystawał do Ziemi (tak, oczywiście dlatego, iż była ona lepiej niż inne poznanym ciałem niebieskim!), z jej niespokojnym „życiem” — katastrofalnymi konwulsjami skorupy, które co rusz doświadczały jej mieszkańców. Gwałtowne erupcje obserwowano także na Słońcu, np. w czasie całkowitego zaćmienia, kiedy to gigantyczne fontanny gorącej plazmy stawały się widoczne za obrzeżem przysłoniętej tarczy; nie mogły ująć uwagę jeszcze bardziej spektakularne wydarzenia — wybuchy gwiazd *nowych* i *supernowych* (to jednak na zasadzie wydarzeń zupełnie wyjątkowych) — były to wszakże tylko pewne rysy na wizerunku „dżentelmeńskiego kosmosu”. Bardziej zasadnicze wyłomy dokonały się właśnie w połowie naszego wieku, kiedy to zaczęto chwytać i przetwarzać na informację promieniowanie radiowe. Dzieło zniszczenia tego wizerunku dopełniło się w latach siedemdziesiątych, kiedy to za pośrednictwem obserwatoriów satelitarnych pomiarami objęto podczerwień, a nade wszystko — wysokocząstotkową część widma elektromagnetycznego: UV, X i  $\gamma$ . I tak oto, zza uchylonej nieco kurtyny ujrzeliśmy naraz obraz zupełnie inny i w zasadzie nieoczekiwany: arenę wydarzeń gwałtownych, które, jak się dziś wydaje, w świecie dużych mas bynajmniej nie należą do wydarzeń osobliwych, lecz są raczej przejawami „normalnego” losu poszczególnych jednostek, lub ich układów.

Prześledźmy skalę zjawisk, idąc w jej górę, wzdłuż wybranych dla ilustracji przypadków; wyjściową jednostkę miary zwiążmy z naszymi ziemskimi standardami.

**1. Eksplozje nuklearne.** Jak być może wiemy, zniszczenia związane z eksplozjami materiałów wybuchowych dokonują się głównie na styku z powierzchnią gwałtownego skoku gęstości, ciśnienia i temperatury ośrodka (najczęściej gazu), który — ze względu na jego roboczą, wykonawczą rolę — jest jakby egzekutorem wyroku. Powierzchnia ta, zwana frontem fali uderzeniowej, biegnie z prędkością zależną od początkowej energii eksplozji oraz od gęstości ośrodka i upływu czasu. Niech naszą jednostką w skali energii będzie „ładunek” energii uwolnionej w eksplozji nuklearnej. Nie możemy zaprzeczyć, iż jest to — jak na naszą miarę — jednostka gruboskalowa.

W Wielkiej Encyklopedii Powszechnej pod hasłem „bomba jądrowa”, we fragmencie odnoszącym się do łańcuchowej reakcji rozszczepienia, czytamy: „...wyzwolenie energii występuje w postaci wybuchu, przy czym ponad 90% stanowi energia kinetyczna produktów reakcji (z czego 2/3 zamienia się w energię podmuchu, a 1/3 w promieniowanie ciepłe); resztę energii unosi promieniowanie  $\gamma$  i neutrony”. Owa ponad (lub około) 90-procentowa dyktatura pierwotnej energii kinetycznej jest cechą wspólną wszystkich materiałów rozszczepialnych; o tym, jak energia ta zostanie „później” (dzieje się to w pojedynczych mikrosekundach!) rozdysponowana między dwie frakcje, „podmuch” i „promieniowanie ciepłe”, zależy już od wielu okoliczności lokalnych. „Regulatorem” jest tu nieprzezroczystość materii, a ściślej — współczynnik absorpcji promieniowania elektromagnetycznego. Zależy on funkcyjnie od częstości kwantów i od bloku dodatkowych danych, jako parametrów: (a) gęstości i temperatury, (b) składu chemicznego i szczegółów atomowomolekularnej struktury ośrodka. Pierwsza grupa parametrów wciąga w poważne kłopoty merytoryczne, druga — oprócz tego, spiętrza trudności numeryczne. Całość jako żywo przypomina legendarny węzeł gordyjski. Tylko w dwóch okolicznościach można sprawę przejrzeć do końca: (1) w warunkach skrajnie dużej nieprzezroczystości ośrodka pierwotna energia kinetyczna produktów rozpadu zamieniana jest w całości na niszczycielski „podmuch”; (2) na przeciwnym biegunie, przy doskonałej przezroczystości ośrodka, który jednak nie jest próżnią, „jonizacyjno-grzewczy” impet produktów rozpadu już w pierwszej fazie natarcia na ośrodek zamienia się rekombinacyjnie na promieniowanie ciepłe i opuszcza teren akcji w oślepiającym błysku, który nakłada się na pierwotny strumień promieniowania gamma. W tym przypadku chłodzenie ognistej racy wybuchu jądrowego jest natychmiastowe i niemal zupełne. Zasięg szczątkowego podmuchu jest zminimalizowany; zasięg promieniowań jest niemal nieograniczony. Sęk jednak w tym, jak zachowa się przyroda w realnych, a nie modelowych warunkach...

Podobnym problemem (choć z powodu zupełnie innych motywacji) zajmowali się astrofizycy-teoretycy; mowa o problemie transportu promieniowania we wnętrzach i atmosferach gwiazdowych. Z ich pomocą sformułowano odpowiedź — apokaliptyczną, a już wkrótce potem największy naukowy hazard objawił się dokumentalnie pierwszym atomowym grzybem. Miało to miejsce 16 lipca 1945 r. na pustynnym poligonie Alamogordo w amerykańskim stanie Nowy Meksyk. Dalsze zarysy szczegółów, które można odtworzyć na podstawie „odtajnionych” niedawno raportów (nieco na ten temat — Armstrong i Nicholls: *Emission, Absorption and Transfer of Radiation in Heated Atmospheres*), chyba warto są również wzmianki. Potęga wybuchu przekroczyła wszelkie oczekiwania; oceny teoretyków pozostały „w tyle” aż o kilkaset procent.

Rozwiązanie zadania M 284.

Oznaczmy  $a_n = (6 + \sqrt{31})^n$  i  $b_n = (6 - \sqrt{31})^n$ .  
Mamy dla  $n \geq 1$ ,  $0 < b_n < 1$ , i równocześnie  
 $a_n + b_n = 6^n + \binom{n}{1} \cdot 6^{n-1} \cdot \sqrt{31} + \dots + (\sqrt{31})^n +$   
 $+ 6^n - \binom{n}{1} \cdot 6^{n-1} \cdot \sqrt{31} + \dots + (-1)^n (\sqrt{31})^n$  jest  
liczbą całkowitą. Tak więc  $[a_n] = a_n + b_n - 1$ .  
Mamy dalej, jak łatwo sprawdzić  
 $a_1^2 - 12a_1 + 5 = 0$  i  $b_1^2 - 12b_1 + 5 = 0$ , skąd  
i z równości  $a_{n+2} = a_1^2 \cdot a_n$ ,  $a_{n+1} = a_1 \cdot a_n$   
oraz  $b_{n+2} = b_1^2 \cdot b_n$ ,  $b_{n+1} = b_1 \cdot b_n$  wynika,  
że dla każdego  $n$  jest  $a_{n+2} = 12a_{n+1} - 5a_n$ ,  
 $b_{n+2} = 12b_{n+1} - 5b_n$ , a więc ciąg  
 $c_n = a_n + b_n$  spełnia równanie rekurencyjne  
 $c_{n+2} = 12c_{n+1} - 5c_n$ .  
Ponieważ  $c_1 = 12$ ,  $c_2 = 134$  otrzymamy łatwo  
cykliczny ciąg ostatnich cyfr  $c_n = 2, 4, 8, 6,$   
 $2, 4, 8, \dots$ , w którym na miejscu 1982 pojawił  
się 4. Tak więc ostatnią cyfrą  $[a_{1982}]$  jest 3.

Nieprzezroczystość materii jest funkcją częstości promieniowania; można wyróżnić dwa składniki nieprzezroczystości: wolno zmienna ciągła funkcja częstości oraz zbiór odpowiadający liniom widmowym, w których zdolność emisji i absorpcji materii zmieniają się bardzo gwałtownie.



Gdy nieco później z inspiracji ojca amerykańskiej bomby wodorowej, Edwarda Tellera, wykonano bardziej realistyczne oceny nieprzezroczystości gorącego powietrza — wzięto mianowicie pod uwagę udział nie tylko *nieprzezroczystości ciągłej*, ale również szacunkową reprezentację *nieprzezroczystości liniowej*, którą dotąd, nie mając innego wyjścia, po prostu ignorowano — okazało się, że „winowajczynią” pomyłki była właśnie nieprzezroczystość, pierwotnie niedoceniona o te kilkadziesiąt procent.

Cień gatunkowy nieprzezroczystości liniowej jest wprost przygniatający i sprawa ta zasługuje na parę dodatkowych uwag. Samych tylko „znaczących” linii widmowych są setki tysięcy, a każda z nich oddzielnie wymaga danych na temat „rodowodu”, *prawdopodobieństwa przejścia* i *szerokości polówkowej*. Wtedy, w drugiej połowie lat czterdziestych, dane te były znane tylko wrywkowo (ich współczesny stan, gdy chodzi o zapotrzebowanie astrofizyki, jest nadal wysoce niezadowolający!), ponadto tzw. moce obliczeniowe były znikome. W sumie „zadanie rachunkowe” przerastało z nawiązką możliwości ręcznych arytmetrów; wykonał je jednak niewiarygodnie szybki rachmistrz elektroniczny — „machina von Neumanna”, której prototyp obmyślono i właśnie wtedy skonstruowano w zespole słynnego matematyka. Wyniki obliczeń Tellera-Mayera (teoretyczny pomysł i wykonanie są właściwie dziełem Mayera) zamknięto w ściśle tajnym raporcie „szarej literatury” w Los Alamos, jako materiał kluczowy dla oceny skutków eksplozji w atmosferze bomb o najróżniejszych mocach, bez potrzeby ich praktycznego detonowania. Niedługo potem Goody doszedł niezależnie, choć w sposób mniej „teoretyczny”, do podobnych wyników i nieświadom roli dekonspiratora, jaką spełnia, opublikował je w brytyjskim kwartalniku meteorologicznym. Demon, który izolowanym od siebie zespołom w różnych zakątkach naszego globu napędza roboty na polu opętanej, na polu graniczącej z sztuczką i geniuszem, mógł filuternie przymrużyć oko...

Eksplozja bomby, która rankiem 6 sierpnia 1945 roku zgotowała straszliwą hekatombę Hiroszimy, wyzwoliła energię  $10^{14}$  dżuli (J), równoważną eksplozji 20 kiloton chemicznych materiałów wybuchowych, dewastując kompletnie ponad 10 km<sup>2</sup> miasta. W dzień Wszystkich Świętych Anno Domini 1952 żar ognistej kuli w mgnienu oka „zdematerializował” jedną z wysp Pacyfiku, pozostawiając w jej miejscu krater o średnicy około 2 km i głębokości 60 m. Zdetonowana wówczas pierwsza bomba wodorowa miała moc 5–7 megaton. Dziś — w magazynowanych stumegatonowych superbombach wodorowych (w jej pojedynczych egzemplarzach!) drzemie energia nie poddająca się wprost wyobrażeniu:  $5 \times 10^{17}$  J. Jest to ilość wielokrotnie przewyższająca sumę ładunków wybuchowych, jakie użyto na wszystkich frontach drugiej wojny światowej.

**2. Wulkany.** W pięknym eseju „Planeta Ziemia” niezjącego już geologa, prof. Henryka Świdzińskiego, znajdujemy pełen ekspresji opis jednego z najgwałtowniejszych w naszych czasach paroksyzmów natury — wybuchu wulkanu, jaki miał miejsce w 1883 roku na niewielkiej wyspie Krakatau między Sumatrą a Jawą. „26 sierpnia w południe rozpoczęły się gwałtowne erupcje, chmury dymów i popiołów wznosiły się na ogromną wysokość, a grzmoty słychać było na setki kilometrów wokół. Wkrótce nad znacznymi obszarami w otoczeniu wyspy zapanował zupełny mrok. Wybuchy ciągnęły się przez resztę dnia i noc, aż przed południem następnego dnia, wśród ogłuszającego grzmotu, przeszło połowa wyspy wyleciała w powietrze. Na jej miejscu powstała kilkusetmetrowa głębia, w którą wdarły się wody oceanu, spiętrzając się następnie w potworną falę, wysoką miejscami na 30–40 metrów. Zwalila się ona na najbliższe wybrzeża gęsto zaludnionej Jawy i Sumatry, zmiatając z powierzchni około 300 osiedli nadmorskich. Ponad 35 000 mieszkańców poniosło wówczas śmierć”. Fale poddmuchu powybiły szyby w oknach i spowodowały pęknięcie ścian w zasięgu 160 km, a odgłosy eksplozji słyszano w promieniu około 5000 km. Część wyrzuconych pyłów wdarła się aż do górnych warstw stratosfery i rozproszyła się nad całą kulą ziemską; w obserwatorium astronomicznym Montpellier we Francji przez trzy kolejne lata po erupcji mierzono oświetlenie słoneczne niższe o 10% od „normy”. Ocenia się, iż w trakcie wybuchu wulkan wyrzucił łącznie do 21 km<sup>3</sup> materii.

Dokonania te są imponujące, nie umiemy jednak z takich danych skorzystać, aby ocenić ilośćowo „porcję” uwolnionej energii mechanicznej. Gdyby tak była znana geometria tej gigantycznej „fontanny” bądź rozkład wyrzuconej masy... Na ten temat znajdujemy tylko ogólnikowe wzmianki: „Co najmniej 10 km<sup>3</sup> produktów wulkanicznych opadło w promieniu 500 km” (T.A. Muth i inni: *The Geology of Mars*); „...wulkan wyrzucił co najmniej 18 km<sup>3</sup> produktów, z czego dwie trzecie opadły w promieniu 15 km” (J. V. Luce: *Koniec Atlantydy*). Sformułujemy niesprzeczne z nimi zgrubne warunki modelowe: około 20 km<sup>3</sup> produktów, gęstość około  $5 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>, a więc łączna masa  $m \approx 10^{14}$  kg; geometria „fontanny” osiowoosymetryczna, z optymalnym (dla zasięgu, który przyjmujemy około 15 km) nachyleniem początkowego toru,  $\alpha = \pi/4$ . Rzecz całą sprowadziliśmy tym samym do elementarnego rzutu ukośnego. Zignorujemy wszelkie znaczenie wysokości początkowej krateru i zaniedbajmy opór powietrza. W równaniu toru dla rzutu ukośnego,

$$y = x \operatorname{tg} \alpha - g x^2 / 2 v_0^2 \cos^2 \alpha, \quad (1)$$

(wszystkie oznaczenia mają zwykły sens) położmy  $y = 0$  i rozwiążmy względem prędkości początkowej  $v_0$ ; początkową energię kinetyczną otrzymujemy równą  $E_k \approx \frac{mg x_{\max}}{2 \sin 2\alpha}$ .



#### Rozwiązanie zadania M 283.

Pokażemy najpierw, że  $ABCD$  jest równoległobokiem, czyli, że  $OA = OC$  i  $OB = OD$ . Przypuścimy, że tak nie jest. Bez ograniczenia ogólności możemy założyć, że  $OA > OC$  i  $OB > OD$ . Przekształcając trójkąt  $OCD$  przez symetrię względem  $O$  otrzymamy, że  $C'$  leży wewnątrz  $OA$  i  $D'$  leży na  $OB$ , a więc  $\triangle OC'D' < \triangle OAB$  i  $\angle OC'D' < \angle OAB$  wbrew założeniu. Tak więc  $ABCD$  jest równoległobokiem.

Wynika stąd, że  $S_{OAB} = S_{OBC} = \frac{1}{4} S_{ABCD}$ .

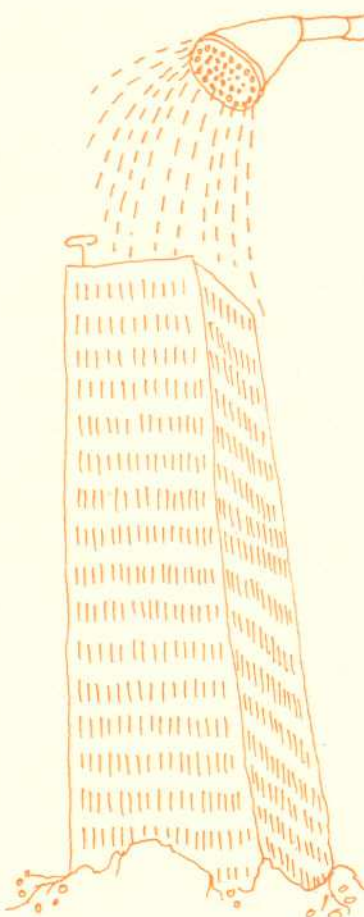
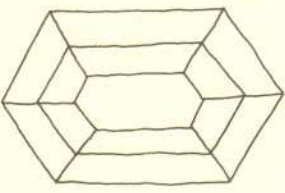
$$\text{Ale } S_{OAB} = \frac{AB+OB+OA}{2} \cdot r_{OAB} \text{ i } S_{OBC} =$$

$$= \frac{BC+OB+OC}{2} \cdot r_{OAB}, \text{ skąd łatwo wynika,}$$

że  $AB = BC$ , a więc, że  $ABCD$  jest rombem.



Rozwiązanie zadania M 285.  
 Każde dwa punkty na rysunku można połączyć łamaną o najwyżej pięciu odcinkach. Poszukiwany odcinek znajdziemy na łamanej łączącej punkt 1 z punktem 18.



Podstawiając wcześniej ustalone wartości liczbowe mamy  $E_k \approx 10^{19}$  J, co pod względem energetycznym równoważy wyrzut pionowy całej masy produktów wulkanicznych na wysokość około 10 km, lub eksplozję 10 stumegatonowych bomb wodorowych. Dodajmy do tego energię wywleconą na powierzchnię Ziemi w formie ciepła. Przyjmijmy średnią pojemność cieplną około  $2,5 \times 10^4$  J/(kg · K) i temperaturę początkową magmowego stopu 1500 K; daje to ilość energii cieplnej  $3 \times 10^{21}$  J, o ponad dwa rzędy wielkości górującą nad energią mechaniczną... Nie mamy wątpliwości: ta nieokiełznana furia i monstrialny wprost spust rozżarzonej kipieli (a może bliżej prawdy — ledwie znikome iskry, dobywające się z podziemnego „wielkiego pieca”?) mogą żądać należnego respektu. Zapisaly one niejedną czarną kartę w dziejach rodzaju ludzkiego. Archeolodzy są dziś zgodni, że Imperium Minojskie na Krecie najprawdopodobniej zmiotła z powierzchni (XV w.p.n.e.) straszliwa erupcja wulkanu na wyspie Thera, odległej o ponad 120 km; w 79 r. n.e. Wezuwiusz zgotował totalną zagładę pobliskim miastom Pompeja i Stabie; w t'izszych nam czasach wulkan Mont Pelé na Martynice w kwietniu 1902 r. w ciągu ledwie dwóch minut przyniósł śmierć niemal wszystkim mieszkańcom 30-tysięcznego portowego miasta St. Pierre.

Bledną jednak „wyczyni” wulkanów ziemskich, gdy porównamy je z tym, co dzieje się na Io, jednym z czterech „galileuszowskich” księżyców Jowisza. Od dwu lat, gdy jego powierzchnię przemiotły kamery *Voyagera 1*, wiemy, iż najprawdopodobniej jest to obiekt najsilniej wstrząsany konwulsjami wulkanicznymi w całym Układzie Słonecznym. Wydaje się, że gigantyczne siły przyływowe ze strony Jowisza utrzymują większość podpowierzchniowej masy Io w stanie płynnym; jeżeli tak jest istotnie, eksplozje wulkaniczne są tam zjawiskiem „codziennym”. Potężne pióropusze pyłu i gazu nierzadko sięgają — jak widziano to 4 marca 1979 r. — wysokości ponad 100 km nad powierzchnię Io. Powierzchnia całego globu, jak sugerują zdjęcia wykonane w kilkunastu odstępach czasu, przysypywana jest wulkanicznym pyłem w niewiarygodnym wprost tempie — kilku centymetrów rocznie.

3. Wstrząsy sejsmiczne. Pod tym względem Io wydaje się znajdować w sytuacji również wyjątkowej, jako że wulkanizm i sejsmiczność są ze sobą spowinowacone i najprawdopodobniej mają podobne mechanizmy napędowe. Dwa dalsze satelity Jowisza, Europa i Ganimed, obiegające go po mniej ciasnych niż Io orbitach, mają skorupy także niespokojne. Możemy przypuszczać, że występujące tu ruchy tektoniczne są straszliwe, skoro ujawniły się one już przy zdalnym oglądzie kamerami *Voyagerów*. Skupmy jednak uwagę na materiale ilościowym, uzyskanym za pomocą sejsmografów. W jego świetle „staruszka” Ziemia jest jakby ciągle w stadium burzliwej młodości. Aktywność sejsmiczna naszego Księżyca jest bez porównania mniejsza niż Ziemi; Mars ma cechy pośrednie. Sejsmolodzy posługują się dopasowanym empirycznie związkiem między energią  $E$  (w dżulach), włączoną w fale sprężyste przez mechanizm rozruchowy trzęsienia ziemi, a miarą (tzw. magnitudo)  $M$  tego trzęsienia w epicentrum:

$$\log E = 4,8 + 1,5M. \quad (2)$$

Przyjmijmy, iż jest on miarodajny, przynajmniej co do rzędu wielkości. Zauważmy przy tym, że dwa trzęsienia różniące się o jeden stopień w skali magnitudowej w istocie różnią się w skali energii o czynnik 30.

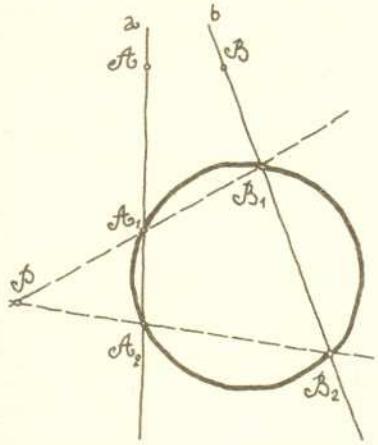
Najpotężniejsze z zarejestrowanych trzęsień ziemi miały magnitudy przekraczające 8: w Japonii w 1974 r. — 8,1; na Alasce w 1964 r. — 8,4; w Assam u podnóża Himalajów w 1950 r. — 8,6. Podstawmy do wzoru i wykonajmy proste działania. Widzimy np., że trzęsienie w Assam w samej tylko formie fal mechanicznych uwolniło energię rzędu  $5 \times 10^{17}$  J, równoważną eksplozji stumegatonowej bomby wodorowej. A przecież fale sprężyste unoszą tylko niewielką część całkowitej „energii trzęsienia”; reszta rozprasza się w postaci ciepła, jej kosztem dokonują się trwałe deformacje mas skalnych itp.

### Zadania, których nie umiemy rozwiązać (I)

Entuzjastom geometrii chcieliśmy zaproponować stały kącik pod powyższym hasłem. Będziemy w nim prezentować zadania z geometrii, z którymi nie umiemy sobie poradzić. Jeżeli ktoś z Czytelników je rozwiąże (bądź wskaże, gdzie można znaleźć rozwiązanie), to jego rozwiązanie zamieścimy w naszym kąciku.

Oczekiwać także będziemy na zadania z geometrii, na które natknęli się Czytelnicy i bezskutecznie usiłowali je rozwiązać. Jeżeli będziemy umieli je rozwiązać — odpiszemy, jeśli nie — zamieścimy je tutaj.

A oto nasza pierwsza propozycja zadania, którego nie umiemy rozwiązać:  
 Dany jest okrąg i trzy punkty  $A, B, P$ . Przez punkty  $A$  i  $B$  należy poprowadzić takie proste  $a$  i  $b$ , wyznaczające na danym okręgu cięciwy  $A_1A_2$  i  $B_1B_2$ , by proste  $pr. A_1B_1$  i  $pr. A_2B_2$  przecinały się w punkcie  $P$ .



PROOF