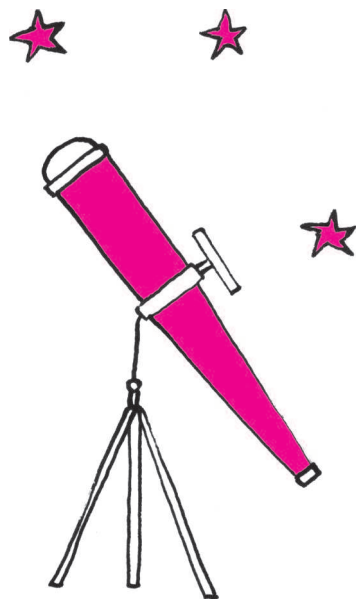


# CK Vul – pierwsza czerwona nowa

Marcin HAJDUK\*

\*Centrum Astronomiczne PAN  
im. Mikołaja Kopernika



CK Vul (w gwiazdozbiornie *Vulpecula – Lisiek*) jest niezwykle gwiazdą, obserwowaną w XVII wieku m.in. przez Jana Heweliusza, gdy osiągnęła maksymalną jasność 2,6 mag. Po trzech latach gwiazda zniknęła z nieboskłonu. Na podstawie XVII-wiecznych zapisków grupa naukowców wyznaczyła pozycję obiektu na niebie i w 1982 roku odnalazła pozostałości po wybuchu gwiazdy. Wciąż jednak nie udało się bezpośrednio zaobserwować samej gwiazdy. Badając pozostałości po wybuchu, można próbować dociec, jaka była przyczyna nagłego pojaśnienia w 1670 roku. Przez długi czas nie było wśród naukowców zgody co do natury tego obiektu. Obserwacje Heweliusza są co jakiś czas przywoływane i analizowane w kontekście coraz to innych modeli proponowanych dla CK Vul, w niesamowity sposób łącząc wysiłki współczesnych astronomów i dawnych obserwatorów nieba we wspólnym dążeniu do poznania prawdy. Najnowsze obserwacje pokazują, że CK Vul jest wynikiem zlania się dwóch gwiazd. Gdyby nie XVII-wieczne zapiski, obiekt nie zostałby w ogóle odkryty i być może nigdy byśmy się o nim nie dowiedzieli.

Pierwsza obserwacja gwiazdy miała miejsce 20 czerwca 1670 roku; osiągnęła ona wtedy 3 mag. Obserwatorem był Dom Anthelme z Dijon (zakon kartuzów). Kolejne obserwacje prowadzili członkowie Królewskiej Akademii Nauk w Paryżu, m.in. Giovanni Cassini. 25 lipca 1670 roku gdański astronom Jan Heweliusz odkrył ją niezależnie i jako pierwszy ogłosił pojawienie się jej na niebie (*Philosophical Transactions of the Royal Society*, 1670, 5, 2087–2091), dostarczając jednocześnie dużo dobrej jakości obserwacji. Jesienią owego roku gwiazda osłabła na tyle, że przestała być widoczna nieuzbrojonym okiem.

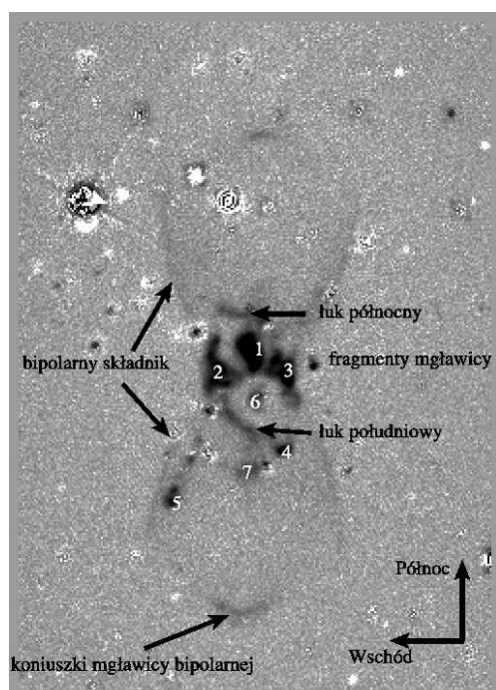
Krzywą zmian blasku CK Vul przedstawił m.in. Józef Smak w *Uranii* 6/2011.

Po pierwszym maksimum w 1670 roku kolejne, jaśniejsze maksimum gwiazdy zaobserwowano w 1671 roku i trzecie, słabsze, w 1672 roku. Dwa i pół miesiąca po ostatnim pojawieniu się gwiazda kolejny raz osłabła. 26 sierpnia 1677 roku Heweliusz spróbował użyć teleskopu do odnalezienia gwiazdy, jednak ta okazała się poza zasięgiem instrumentu.

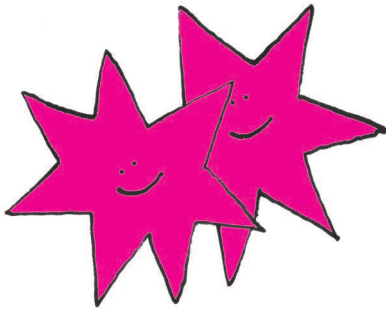
Oprócz pomiarów jasności Heweliusz przekazał nam też informacje innego rodzaju. Astronom odnotował czerwony kolor gwiazdy 30 kwietnia 1671 roku. Trzykrotnie w jego zapiskach pojawia się intrygująca uwaga, że gwiazda jest „zamglona” bądź „rozmażana”.

W katalogu gwiazd zmiennych CK Vul widnieje jako gwiazda nowa. Jest to ciasny układ podwójny dwóch gwiazd, z których mniejsza jest białym karłem. Układ jest tak ciasny, że większa gwiazda wypełnia powierzchnię Roche’a i traci materię na rzecz białego karła. Materia okresowo, co kilkadziesiąt tysięcy lat, wybuchna na powierzchni białego karła, co powoduje raptowne pojaśnienie gwiazdy. Dawne gwiazdy nowe są cennym kąskiem dla astronomów, pozwalającym poznać lepiej ich naturę i dowiedzieć się, jak zachowują się między kolejnymi wybuchami.

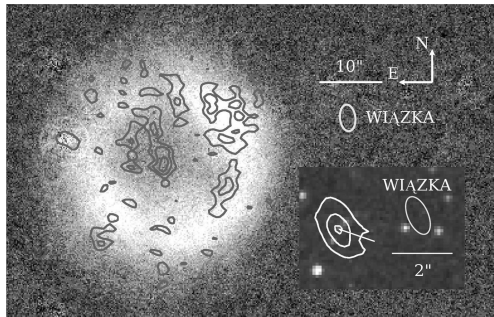
Kolejne próby odnalezienia gwiazdy podejmowali m.in. Halley, Pickering i Barnard, jednak bez rezultatu. W 1982 roku Michael Shara i Anthony Moffat (*Astrophysical Journal*, 1982, 258, 41), korzystając ze współrzędnych obiektu wyznaczonych na podstawie XVII-wiecznych obserwacji, odnaleźli mgławicę widoczną w dozwolonych i wzbronionych liniach emisyjnych, typowych dla ekstremalnie rozrzedzonych mgławic gazowych (rys. 1). CK Vul stała się jednym z koronnych dowodów na teorię hibernacji gwiazd nowych. Zgodnie z nią transfer masy ustaje w okresie między kolejnymi wybuchami nowej, a sam układ ma w tym czasie bardzo niską jasność.



Rys. 1. Obraz mgławicy CK Vul w linii H $\alpha$  wykonany 8-metrowym teleskopem Gemini na Hawajach. Ponumerowane lub opisane są najjaśniejsze składniki mgławicy. Dla przejrzystości gwiazdy tła zostały usunięte z rysunku (źródło: Hajduk i in., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2013, 432, 167).



O zjawisku bardzo późnego rozbłysku helowego autor tego artykułu pisał w numerze 2/2009 *Uranii-Postępów Astronomii*.



Rys. 2. Obiekt Sakuraiego (V4334 Sgr). W tle umieszczony jest obraz optyczny, wykonany za pomocą Very Large Telescope w Chile, w którym widoczna jest stara, rozległa mgławica. Konturami oznaczone są obserwacje radiowe wykonane za pomocą instrumentu Very Large Array, w których – oprócz najjaśniejszych fragmentów starej mgławicy – widoczne jest też centralne źródło, stanowiące nowo wyrzuconą mgławicę (źródło: Hajduk i in., *Science*, 2005, 328, 231).



Rys. 3. Obraz echa świetlnego wokół gwiazdy V838 Mon, wykonany przez kosmiczny teleskop Hubble'a 8 lutego 2004 roku (źródło: Space Telescope Science Institute).

Shara i Moffat zwrócili uwagę na kilka, wyróżniających CK Vul spośród klasycznych nowych, niezwykle cichych, takich jak niezwykle krzywa blasku, wysoka masa wyrzuconej otoczki, czy też nadspodziewanie mała jasność gwiazdy centralnej w centrum mgławicy. Obserwowana prędkość ekspansji wyrzuconej otoczki rzędu kilkudziesięciu kilometrów na sekundę była dużo niższa niż prędkość ucieczki z białego karła.

Dziesięć lat później Tim Naylor podważył interpretację CK Vul jako gwiazdy nowej: podczas obserwacji nie znalazł obiektu, który mógłby być uznany za gwiazdę nową, podając w ten sposób w wątpliwość hipotezę gwiazdy centralnej zaproponowaną przez Sharę i Moffata. Okazało się też, że mgławica nie jest tak symetryczna, jak to się wydawało z poprzednich obserwacji (bipolarny składnik z rysunku 1 nie był wówczas jeszcze odkryty). Naylor wraz ze współpracownikami oszacował też masę wyrzuconej otoczki, która zdecydowanie przewyższała typową masę wyrzuconą na skutek wybuchu gwiazdy nowej (Naylor i in., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1992, 258, 449).

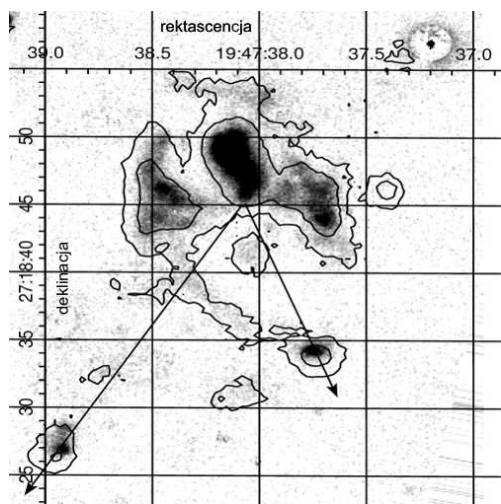
Kilka lat później Thomas Harrison zaproponował dla CK Vul model bardzo późnego rozbłysku helowego (*Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 1996, 108, 1112). Bardzo późny rozbłysk helowy następuje w momencie, gdy gwiazda pozbyła się już prawie całej swojej otoczki i jest stygnącym białym karłem z cienką warstwą wodorową na powierzchni. Pod nią znajduje się dostateczna ilość helu, by doprowadzić do ostatecznego rozbłysku gwiazdy. W wyniku rozbłysku biały karzeł, otoczony materią utraconą we wcześniejszym etapie czerwonego olbrzyma, jeszcze raz ekspanduje do rozmiarów czerwonego olbrzyma. Skala czasowa powrotu czerwonego olbrzyma do stadium białego karła jest bardzo niepewna. Cechą charakterystyczną takich obiektów jest nietypowy skład chemiczny ubogiej w wodór, nowo powstałej mgławicy, a także obecność „starej”, rozrzedzonej mgławicy, pozostałości po pierwszej fazie czerwonego olbrzyma.

W końcu Taichi Kato zaproponował, aby rozbłysk CK Vul wytłumaczyć zlanie się dwóch gwiazd (*Astronomy and Astrophysics*, 2003, 399, 695). Kato zauważył podobieństwo krzywej blasku CK Vul z lat 1670–1672 do V838 Mon. Było to krótko po tym, jak Noam Soker i Romuald Tylenda opublikowali swój model V838 Mon, tłumaczący wybuch obiektu zlanie się dwóch gwiazd (*Astrophysical Journal*, 2003, 582, 105). V838 Mon zwana była czerwoną nową, gdyż – w odróżnieniu od zwykłych nowych – po maksimum rozbłysku następował spadek temperatury gwiazdy. Podobna interpretacja wybuchu CK Vul dodatkowo zyskałaby atrakcyjne wyjaśnienie obserwowanego zamglonego obrazu gwiazdy jako echa świetlnego (rys. 3), choć sam Kato odnosił się do tego pomysłu z rezerwą. Skale czasowe wybuchu obserwowane w V838 Mon i CK Vul bardzo się jednak różnią; w tym pierwszym obiekcie wybuch trwał około miesiąca, a w CK Vul aż trzy lata.

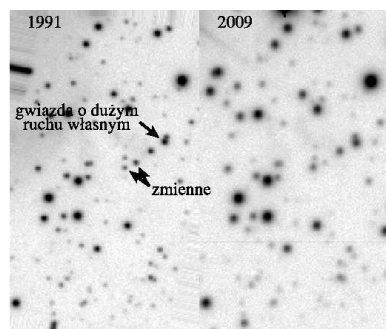
Oprócz przedstawionych powyżej scenariuszy pojawiły się również w literaturze inne, mniej lub bardziej wyrafinowane modele, tłumaczące obserwowane właściwości CK Vul. Wśród nich jest m.in. bardzo późny rozbłysk helowy „wspomagany” akrecją, stanowiący kombinację wybuchu gwiazdy nowej i bardzo późnego rozbłysku helowego. Pojawiły się też sugestie, że obserwowana mgławica nie jest w ogóle powiązana z gwiazdą obserwowaną przez Heweliusza.

Analiza obrazów mgławicy otrzymanych w 1991 i 2004 roku wykazała jednak, że jest ona pozostałością po wybuchu w 1670 roku (Hajduk i in., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2007, 378, 1298). Obserwowane tempo ekspansji mgławicy było zgodne z oczekiwanym czasem





Rys. 4. Obraz mgławicy CK Vul wykonywany w filtrze H $\alpha$  w 1991 roku (w tle) i 2004 roku (kontury). Strzałkami pokazany jest kierunek ekspansji dwóch zwartych, oddalonych fragmentów mgławicy (oznaczonych numerami 4 i 5 na rysunku 1), otrzymany z porównania pozycji tychże fragmentów na niebie w 1991 i 2004 roku. Początek strzałek znajduje się w miejscu, gdzie nastąpił wybuch w 1670 roku. Gwiazdy tła zostały usunięte dla przejrzystości rysunku. Z pracy Hajduk i in., *MNRAS*, 2007, 378, 1298.



Rys. 5. Porównanie obrazów w paśmie R (5890–7270 Å, co odpowiada kolorowi czerwonemu) wykonanych w 1991 i 2009 roku za pomocą 4,2-metrowego teleskopu Williama Herschela w obserwatorium na Wyspach Kanaryjskich. Zaznaczone są dwie gwiazdy tła zmieniające jasność oraz jedna niezwiązana z CK Vul gwiazda tła charakteryzująca się dużym ruchem własnym (źródło: Hajduk i in., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2013, 432, 167).



Rys. 6. Gwiazda  $\zeta$  Oph obserwowana przez podczerwony teleskop WISE (źródło: NASA).

życia mgławicy, który upłynął od obserwacji Heweliusza i jemu współczesnych. Porównanie obrazów mgławicy otrzymanych w odstępie 13 lat pozwoliło również wskazać punkt na niebie, w którym nastąpiło wyrzucenie mgławicy (centrum ekspansji), a więc i spodziewane położenie gwiazdy centralnej. Kierunek ekspansji pokazany jest strzałkami na rysunku 4 dla dwóch oddalonych fragmentów mgławicy, oznaczonych numerami 4 i 5 na rysunku 1. Centrum ekspansji mgławicy znajduje się tam, gdzie strzałki mają początek.

Po wyznaczeniu pozycji gwiazdy odpowiedzialnej za wybuch nie pozostaje nic innego, jak tylko zbadać tę gwiazdę, określić jej typ i na tej podstawie starać się zaproponować mechanizm wybuchu. Problem jednak w tym, że w centrum ekspansji mgławicy CK Vul żadna gwiazda nie jest widoczna, przynajmniej aż do granicy czułości teleskopu (około 20 mag). Najprawdopodobniej gwiazdę przesłania nam optycznie gruba otoczka pyłowa. Wiemy o jej obecności z obserwacji w innych zakresach widma (w podczerwieni i falach radiowych).

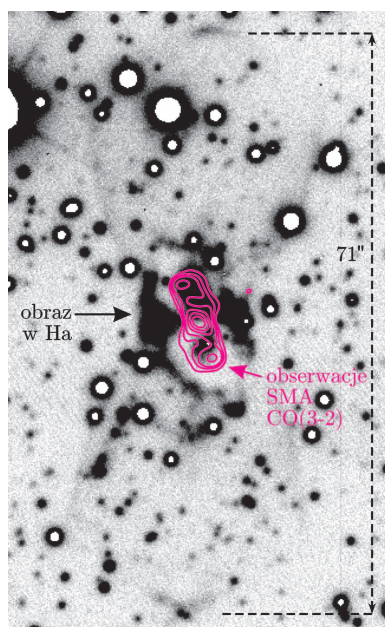
Wiemy też, że w obiekcie musi istnieć źródło, które jest w stanie jonizować obserwowaną mgławicę. Mgławica widoczna jest w wysoko wzbudzonej linii dwukrotnie zjonizowanego tlenu na długości fali 5007 Å, charakterystycznej dla mgławic planetarnych. Oznacza to,

że źródło jonizujące jest wciąż aktywne i gorące. Bez niego rekombinacja jonów tlenu zajęłaby zaledwie 20 lat i nie obserwowalibyśmy w widmie mgławicowej linii tlenu. Problem w tym, że w przypadku zlania się dwóch normalnych gwiazd spodziewamy się w wyniku dostać chłodną gwiazdę, a nie gorącą, zwarty obiekt.

W 2009 roku otrzymałem dobrej jakości obrazy w paśmie R (rys. 5) z teleskopu Williama Herschela. Pozwoliło to na odnalezienie w polu gwiazdowym CK Vul dwóch ciekawych gwiazd. Są one położone bardzo blisko siebie w płaszczyźnie nieba i jednocześnie w pobliżu centrum mgławicy CK Vul. Jedna z nich nieustannie jaśnieje od 30 lat, a druga słabnie.

Te dwie gwiazdy, wykazujące duże zmiany jasności, są również gwiazdami tła niezwiązanymi bezpośrednio z CK Vul. Dzięki nim jednak możemy dowiedzieć się ważnych rzeczy o naszym obiekcie. Najprawdopodobniej zmienność tych dwóch gwiazd tła jest spowodowana przesuwającym się niejednorodnym obłokiem pyłowo-gazowym, który można obserwować w podczerwieni. Otoczka CK Vul okazuje się więc jeszcze masywniejsza, bardziej niejednorodna i zróżnicowana, niż widać to na obrazach optycznych. Oprócz poczerwienienia, spowodowanego (poza materią międzygwiazdową) pyłem zawartym w wyrzuconym przez CK Vul obłoku, zostawia on jeszcze inny ślad w widmach znajdujących się w tle gwiazd. Mowa tu o linii litu na długości fali 6707 Å. Linia ta, lecz o dużo mniejszym natężeniu, widoczna jest m.in. w widmie gwiazdy  $\zeta$  Oph, której światło w drodze na Ziemię przedziera się przez obłoki materii międzygwiazdowej (rys. 6). Tak silna absorpcja, jak obserwowana w widmach gwiazd tła CK Vul, świadczy o dużej zawartości tego pierwiastka w wyrzuconej chmurze pyłu. Lit może być jednak produkowany zarówno przez stosunkowo masywne gwiazdy na tzw. asymptotycznej gałęzi olbrzymów, jak również w wybuchach gwiazd nowych. Lit obserwowany też jest w pozostałościach po wybuchu wspomnianej wcześniej V838 Mon.

Ostatnie kilka lat przyniosło przełomowe odkrycia w badaniu gwiazd typu V838 Mon. W 2011 roku Romuald Tylanda zwrócił uwagę na krzywą blasku gwiazdy V1309 Sco, przypominającą V838 Mon. Okazało się, że zanim doszło do wybuchu, krzywa blasku tego obiektu wyglądała jak krzywa blasku układu podwójnego gwiazd ze zmniejszającym się okresem aż do momentu,



Rys. 7. Molekularna emisja CO na tle mgławicy obserwowanej optycznie w CK Vul (źródło: Kamiński i in., *Nature*, 2015, 520, 322).

w którym nastąpił wybuch. Przyniosło to ostateczny dowód na to, że wybuch V1309 Sco był wynikiem złania się gwiazd (Tylenda i in., *Astronomy and Astrophysics*, 2011, 528, 114) i rzuciło światło również na pochodzenie innych obiektów o podobnej charakterystyce. Wybuch V1309 Sco trwał jednak dużo krócej niż wybuch w CK Vul. Niemniej jednak dwa lata później Tylenda i in. (*Astronomy & Astrophysics*, 2013, 555, 16) odkryli kolejny obiekt tego typu, tym razem o skali czasowej wybuchu porównywalnej z CK Vul.

Prawdziwego przełomu w badaniu CK Vul dokonał Tomasz Kamiński. Skierował on na CK Vul instrument SMA (*Submillimeter Array*). Jest to urządzenie do badania promieniowania w zakresie submilimetrycznym, w którym dobrze widać molekuly i chłodny pył. Już jedna obserwacja pozwoliła wyjaśnić wiele wątpliwości dotyczących CK Vul. Okazało się, że oprócz mgławicy jasnej optycznie w obiekcie widoczna jest też druga, młodsza mgławica molekularno-pyłowa. Mgławica ma kształt dwóch wypływów – północnego i południowego. Południowy wypływ przechodzi właśnie na tle dwóch omawianych wcześniej gwiazd, powodując ich zmienność w dziedzinie optycznej. Zderzenie nowego wypływu ze starą mgławicą powoduje jej jonizację, tak więc do wyjaśnienia obserwowanych linii emisyjnych nie jest potrzebna gorąca gwiazda w układzie. Dzięki tym badaniom odkrycie Heweliusza zyskuje jeszcze bardziej na znaczeniu, pozwalając badać, jakie są skutki złania się dwóch gwiazd, po prawie trzystu pięćdziesięciu latach od wybuchu. Takiej możliwości nie dają nam obiekty odkrywane wspólnie.



## Zadania

Redaguje Tomasz TKOCZ

**M 1459.** Dane są punkty  $A, B$  oraz okrąg  $\omega$  o środku w punkcie  $A$ . Dla punktu  $C$  należącego do okręgu  $\omega$  i nienależącego do prostej  $AB$ , punkt  $P$  jest przecięciem prostej  $BC$  i dwusiecznej kąta  $A$  w trójkącie  $ABC$ . Wyznaczyć zbiór wszystkich otrzymanych w ten sposób punktów  $P$ , gdy  $C$  przebiega okrąg  $\omega$ .

Rozwiązanie na str. 16

**M 1460.** Funkcja  $f$ , odwzorowująca zbiór liczb całkowitych dodatnich w siebie, jest niemalejąca i spełnia równość  $f(ab) = f(a)f(b)$  dla dowolnych liczb względnie pierwszych  $a$  i  $b$ . Udowodnić, że

$$f(8)f(13) \geq (f(10))^2.$$

Rozwiązanie na str. 9

**M 1461.** Dana jest dodatnia liczba parzysta  $n$ . W turnieju, w którym bierze udział  $n$  drużyn, zostanie rozegranych  $n(n-1)/2$  meczów *każdy z każdym*. Wykazać, że możliwe jest takie podzielenie rozgrywek na  $n-1$  rund, by każda drużyna wystąpiła w każdej rundzie dokładnie raz.

Rozwiązanie na str. 8

Przygotował Szymon CHARZYŃSKI

**F 881.** Oszacować koszt zagotowania szklanki wody (250 ml), która na początku ma  $20^\circ\text{C}$ , przy użyciu energii z baterii w rozmiarze AA. Dobrej jakości bateria, kosztująca około 2 zł, podając prąd 500 mA przy napięciu 1,2 V, wyczerpuje się po około godzinie. Ile razy taniej jest użyć do tego celu energii z sieci (cena 1 kWh to około 55 gr)?

Rozwiązanie na str. 9

**F 882.** Najniższe przełożenie, jakim dysponuje rowerzysta w swoim rowerze, składa się z zębatek o 28 ząbkach z tyłu i 22 z przodu. Masa roweru stanowi 20% masy rowerzysty, długość korby to 17,5 cm, a promień koła 32 cm. Jaki jest największy kąt nachylenia zbrocza, pod jakie rowerzysta ma szansę podjechać, używając zwykłych pedałów, bez nosków i zatrząsków? Jaki warunek powinien spełniać współczynnik tarcia statycznego  $\mu$ , aby koło toczyło się po powierzchni bez poślizgu?

Rozwiązanie na str. 17

