

Anomalia grawitacyjna w Karpaczu – fikcja czy rzeczywistość?

Stanisław Bednarek

Karpacz jest miastem, znajdującym się na Dolnym Śląsku w pobliżu najwyższego szczytu Karkonoszy – Śnieżki. Miejsce to znane jest z wielu atrakcji turystycznych oraz jako ośrodek sportów zimowych. Jedną z tych atrakcji jest „anomalia grawitacji”, zlokalizowana nieco z boku centrum miasta przy ulicy Strażackiej. Na mapie turystycznej jest ona oznaczona jako „miejsce zaburzenia grawitacji” [1], (rys. 1).

Jak to zwykle w górach bywa, jezdnia wspomnianej ulicy jest nieco nachylona, a ponadto przebiega tuż przy stoku wzgórza. Według informacji umieszczonej na dużej tablicy, stojącej na poboczu tej ulicy, „gravitacja jest tutaj mniejsza o 4%” (fot. 1). Tablica zwiera też instrukcję dla kierowców, zachęcającą do przeprowadzenia eksperymentu, sprawdzającego to niezwykle zjawisko. Zgodnie z tą instrukcją, po zatrzymaniu silnika i włączeniu biegu jałowego, samochód ustawiony w tym miejscu będzie wjeżdżał pod górę.

Ponieważ hasło „gravitacja” występuje w „Podstawie programowej nauczania fizyki”, to niewątpliwie interesująca i pożyteczna dla Czytelników „Fizy-

ki w Szkole”, a w następstwie także dla uczniów, będzie analiza i próba wyjaśnienia tego intrygującego efektu [2]. Spróbujmy więc tego dokonać. Już samo sformułowanie, że „gravitacja jest mniejsza o 4%” z punktu widzenia metodologii badań naukowych nie ma sensu, ponieważ zawiera błąd semantyczny. Gravitacja to przecież zjawisko, a zjawisk nie można bezpośrednio opisywać w kategoriach ilościowych. Dlatego nie ma sensu sformułowanie, że jest ono o jakąś wartość mniejsze lub większe. W celu opisu zjawisk fizycznych wprowadza się wielkości fizyczne, czyli zdefiniowane w jednoznaczny sposób, mierzalne cechy tych zjawisk. W przypadku gravitacji takimi wielkościami są m.in. potencjał grawitacyjny, energia potencjalna, czy przyspieszenie grawitacyjne.

Po drugiej stronie ulicy Strażackiej, niemal naprzeciwko tablicy opisanej wcześniej, leży kamień i stoi druga tablica, na której umieszczono tekst, w języku polskim, angielskim, czeskim i niemieckim z informacją o tym miejscu. Zacytujmy początkowy fragment tego tekstu w języku polskim „Kiedy ponad 300 lat temu Isaac Newton odpoczywał w sadzie i słynne jabłko spadło mu na głowę, to nie przypuszczał, że od odkrytego przez niego prawa gravitacji można będzie znaleźć pewne wyjątki. Gravitacja jest powszechna, są jednak miejsca na Ziemi, w których jej prawa nie działają tak jak wszędzie.” W dalszej części tego tekstu wymienione są nazwy miejsc w różnych krajach, gdzie gravitacja działa inaczej. Zacytowany fragment jest niegodny z obecnymi wynikami badań naukowych w dziedzinie fizyki i poglądami specjalistów, zajmujących się metodologią tych badań. Wyniki licznych eksperymentów i obserwacji astronomicznych prowadzą do wniosku, że gdyby prawo gravitacji wyrazić wzorem

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}(1 + \delta) \quad (1),$$

uwzględniając odchyłkę δ , od jego najprostszej wersji podanej przez Newtona, to wartość tej odchyłki jest bardzo mała. Nie przekracza ona 10^{-3} dla zakresu $r = (0,1 \div 10^5 \text{ m})$, 10^{-5} w zakresie $r = (10^5 \div 10^8 \text{ m})$ oraz 10^{-7} dla $r = (10^8 \div 10^{12} \text{ m})$. Gdyby zaś stała gravitacji G była zmienna w czasie, to wartość tej zmiany jest mniejsza niż 10^{-12} /rok. Wynika stąd, że ewentualne odchyłki od prawa gravitacji są w najlepszym przypadku o dwa rzędy wielkości za małe, żeby spowodowały podawaną zmianę przyspieszenia grawitacyjnego o 4%. Brak dostatecznych odchyłek od prawa gravitacji nie wyklucza jednak takiej możliwości, że prawo to działa normalnie, natomiast anomalia jest spowodowana przez znajdujący się pod nią obszar, w którym zalegają skały o mniejszej gęstości, niż w jego otoczeniu. Postawmy więc taką hipotezę i spróbujmy ją zweryfikować.



Fot. 1. Wygląd tablicy umieszczonej przy ul. Strażackiej w Karpaczu (fot. autor).



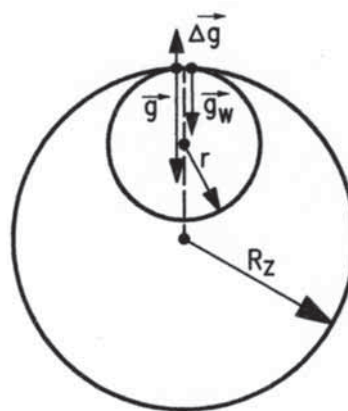
Rys. 1. Fragment z: „Plan miasta Karpacz i okolice” z oznaczonym miejscem „zaburzenie grawitacji”.

Przyspieszenie grawitacyjne w anomalii

Najczęściej używaną wielkością fizyczną, służącą do opisu pola grawitacyjnego, jest przyspieszenie grawitacyjne g . Dokładne pomiary tej wielkości są przedmiotem badań specjalistycznej dziedziny, nazywanej grawimetrią [3]. Jak wynika z „Podstawy programowej” wielkość ta powinna być również znana uczniom i dlatego będzie ona używana w tym artykule. Załóżmy więc, że autor (lub autorzy) napisu na wspomnianej tablicy mieli na myśli właśnie tę wielkość fizyczną. Spróbujmy teraz sprawdzić, jakie warunki powinny być spełnione, żeby przyspieszenie grawitacyjne przy ulicy Strażackiej w Karpaczu było o 4% mniejsze.

Dla uproszczenia przyjmijmy na początek znaną z tablic, przybliżoną wartość średnią przyspieszenia ziemskiego $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, jako przyspieszenie grawitacyjne i pomińmy ruch obrotowy Ziemi oraz odchylenia jej kształtu od kulistego [4]. Jeżeli przyspieszenie grawitacyjne byłoby o 4% mniejsze od średniej, to wynika stąd, że jego wartość zmalałaby o $\Delta g = 0,39 \text{ m/s}^2$. Przy tak dużej wartości Δg , zmiany przyspieszenia grawitacyjnego spowodowane ruchem obrotowym Ziemi i jej odchyleniem od kształtu kulistego, wynoszące setne części m/s^2 można spokojnie pominać. Nie ma tu również potrzeby rozróżniania między przyspieszenie grawitacyjnym, a przyspieszeniem ziemskim.

Załóżmy następnie, że obliczone zmniejszenie Δg jest spowodowane przez skały o mniejszej gęstości, znajdujące się w obszarze pod punktem anomalii grawitacji. Dla uproszczenia niech będzie to obszar w kształcie kuli o promieniu r (rys. 2). Dla słabych pól grawitacyjnych spełniona jest zasada superpozycji. Dlatego można odejmować przyspieszenia grawitacyjne i od razu obliczyć, jaka różnica masy ΔM byłaby potrzebna do spowodowania zmniejszenia przyspieszenia grawitacyjnego o wartość Δg . Stosując zasadę superpozycji przypisuje się wektorowi Δg zwrot ku górze. Wynika to z odejmowania przyspieszenia grawitacyjnego, wytwarzanego przez obszar zawierający masę o zmniejszonej gęstości. Obliczenia wykonamy stosując znany wzór dla przyspieszenia grawitacyjnego na powierzchni kuli o promieniu r , wypełnionej jednorodnie rozłożoną masą ΔM [5, 6]



Rys. 2. Szkic do obliczenia przyspieszenia w miejscu hipotetycznej anomalii pola grawitacyjnego, R_z – promień odpowiadającej Ziemi, r – promień kuli o mniejszej gęstości, g – przyspieszenie grawitacyjne pochodzące od kuli o promieniu R_z , Δg – zmniejszenie przyspieszenia grawitacyjnego, pochodzące od kuli o promieniu r , g_w – wypadkowe przyspieszenie grawitacyjne.

$$\Delta g = \frac{G\Delta M}{r^2} \quad (2),$$

w którym G oznacza stałą grawitacji, $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ (N} \cdot \text{m}^2\text{)/kg}^2$.

Przekształcając wzór (2) wyznaczamy ΔM

$$\Delta M = \frac{\Delta g r^2}{G} \quad (3).$$

Załóżmy, że promień obszaru o zmniejszonej gęstości skał $r = 5 \text{ km}$. Wtedy ze wzoru (3) otrzymujemy $\Delta M = 1,49 \cdot 10^{17} \text{ kg}$. Korzystając z uzyskanego wyniku możemy obliczyć różnicę gęstości skał $\Delta \rho$, odpowiadającą tej masie. Z definicji gęstości różnica ta wyraża się wzorem

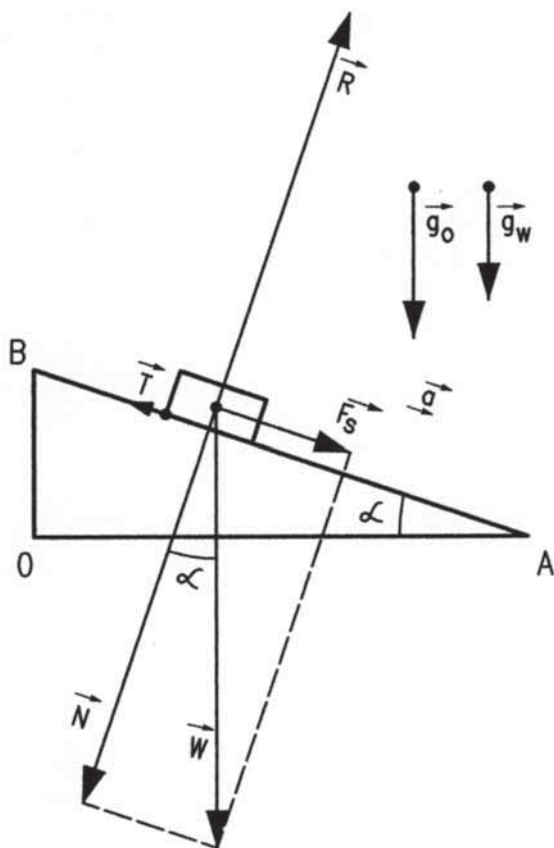
$$\Delta \rho = \frac{\Delta M}{\frac{4}{3}\pi r^3} \quad (4),$$

z którego otrzymujemy $\Delta \rho = 2,85 \cdot 10^5 \text{ kg/m}^3$. Ta wartość jest 12,6 razy większa niż gęstość irydu – metalu o największej, znanej gęstości oraz 51,7 razy większa, niż średnia gęstość Ziemi $\rho_s = 5,512 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ [7]. Otrzymany wynik jest więc absurdalny. Stąd wniosek, że promień obszaru powodującego taką anomalię przyspieszenia grawitacyjnego musi być znacznie większy.

W tej sytuacji zmienmy podejście do problemu i obliczmy promień tego obszaru przy założeniu realistycznej wartości zmiany gęstości, znajdujących się w nim skał. Załóżmy, że zmiana gęstości w tym obszarze będzie wynosiła $\Delta \rho = 2 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. Po podstawieniu ΔM , wyznaczonego ze wzoru (3) do wzoru (4) i prostych przekształceniach otrzymujemy

$$r = \frac{3\Delta g}{4\pi G\Delta \rho} \quad (5),$$

stąd po podstawieniu odpowiednich wartości obliczamy $r = 0,72 \cdot 10^6 \text{ m}$. Otrzymana wartość stanowi 11,2% średniego promienia Ziemi R_z wynoszącego 6371 km. Innymi słowy, obszar o zmniejszonej gęstości musiałby sięgać na głębokość 1440 km. Gdybyśmy przyjęli jeszcze bardziej radykalne założenie, że pod anomalią znajduje się pusty obszar, czyli zmiana gęstości wynosi $\Delta \rho = 5,512 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, to jego głębokość byłaby 522 km. W obu przypadkach oznaczałoby to ogromną zmianę



Rys. 3. Układ sił działających na ciało umieszczone na równi pochyłej, gdy przyspieszenie grawitacyjne ma kierunek pionowy; α – kąt nachylenia równi, \mathbf{W} – ciężar ciała, \mathbf{F}_s – składowa styczna ciężaru, \mathbf{N} – składowa ciężaru prostopadła do równi, \mathbf{R} – siła reakcji równi, \mathbf{T} – siła tarcia, \mathbf{g}_0 , \mathbf{g}_w – przyspieszenia grawitacyjne odpowiednio: standardowe i zmniejszone przez anomalie, \mathbf{a} – przyspieszenie poruszającego się ciała.

w strukturze wnętrza Ziemi, ponieważ na głębokości ok. 20 km znajduje się nieciągłość, stanowiąca granicę między skorupą i płaszczem naszej planety. Badania geofizyczne, wykorzystujące m.in. rozchodzenie się fal sejsmicznych, nie wykazały występowania tak dużych obszarów pustych lub o zmienionej gęstości [8]. Warto też zwrócić uwagę na jeszcze jeden efekt, wynikający ze zmiany przyspieszenia grawitacyjnego. Okres drgań wahadła matematycznego lub fizycznego T jest odwrotnie proporcjonalny do pierwiastka z g . Dla wahadła matematycznego o długości l wyraża się on znanym wzorem

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (6).$$

Jeżeli wartość g byłaby o 4% mniejsza od średniej, to wówczas okres T byłby o 2,1% dłuższy. Tak duża zmiana okresu byłaby łatwa do wykrycia i zapewne zauważona w przeszłości w sytuacjach życia codziennego. Jeden z jej skutków polegałby na systematycznym spóźnianiu się zegarów wahadłowych w obszarze anomalii o 10 min i 29 s na tydzień. Zmiana przyspieszenia grawitacyjnego o 4%, czyli $0,32 \text{ m/s}^2$, byłaby też bardzo łatwo stwierdzona podczas pomiarów grawimetrycznych, które przy użyciu grawimetrów nadprzewodnikowych pozwalają mierzyć zmiany tej wielkości wynoszące 10^{-9} m/s^2 . Obecnie pomiary takie są wykonywane również metodami telemetrycznymi z orbity sztucznych satelitów Ziemi [9].

Warunek ruchu pod górkę

Samo zmniejszenie lub zwiększenie wartości przyspieszenia grawitacyjnego nie spowoduje ruchu przedmiotów pod górkę, a jedynie zmianę przyspieszenia ruchu w dół. Tę sytuację wyjaśnia rys. 3. Zachodzi wtedy ruch po równi pochyłej w dół z przyspieszeniem a , wyrażającym się dobrze znanym wzorem

$$a = g(\sin \alpha + f \cos \alpha) \quad (7),$$

w którym α oznacza kąt nachylenia równi pochyłej, zaś f jest współczynnikiem tarcia kinetycznego. Żeby przedmiot mógł poruszać się ku górze równi, wektor przyspieszenia grawitacyjnego \mathbf{g} musi być odchyłony od poziomu o kąt β , tak jak na rys. 4. Wektor \mathbf{g} ma wtedy składową poziomą \mathbf{g}_h . Obliczymy teraz minimalną wartość składowej \mathbf{g}_h , niezbędną do spowodowania ruchu pod górkę.

Przyspieszenie ciała o masie m , poruszającego się po równi pochyłej obliczamy ze wzoru

$$a = \frac{F_s - T}{m} \quad (8),$$

w którym siła styczna do równi F_s oraz siła tarcia T , wyrażają się następującymi wzorami:

$$F_s = mg \sin(\alpha - \beta) \quad (9),$$

$$T = fN \quad (10).$$

Występującą we wzorze (10) siłę nacisku N obliczamy ze wzoru

$$N = mg \cos(\beta - \alpha) \quad (11).$$

Po podstawieniu wzorów (9-11) do wzoru (8) otrzymujemy

$$a = g[\sin(\beta - \alpha) - f \cos(\beta - \alpha)] \quad (12).$$

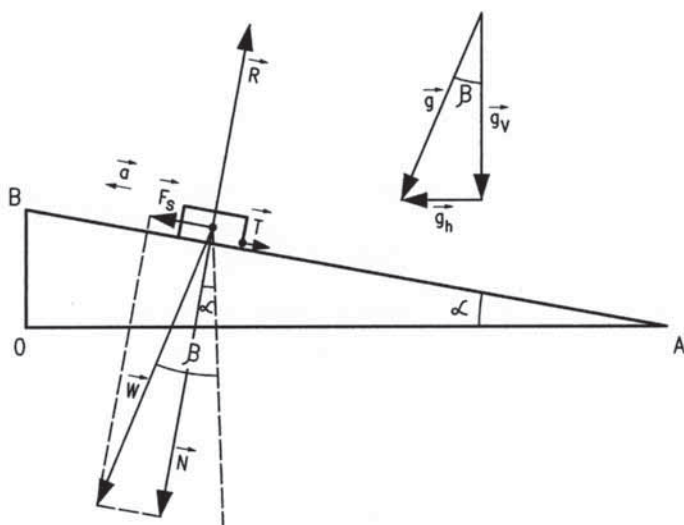
Żeby ruch był możliwy, musi być spełniony warunek $a > 0$. Ze wzoru (12) wynika wówczas

$$\sin(\beta - \alpha) > f \cos(\beta - \alpha) \quad (13).$$

Przekształcając wzór (13) wyznaczamy minimalną wartość kąta odchylenia przyspieszenia grawitacyjnego od pionu β_m

$$\beta_m = \arctan f + \alpha \quad (14).$$

We wzorze (14) f oznacza wtedy współczynnik tarcia statycznego, które trzeba pokonać dla zapoczątkowania ruchu. Załóżmy, że nachylenie drogi $h = 0,5 \text{ m}$ na odcinku jezdni o długości $l = 100 \text{ m}$, oraz współczynnik tarcia statycznego opon samochodu o asfalt $f = 0,3$. Wtedy $\alpha = \arcsin(h / l) = 0,2864^\circ$ oraz $\beta_m = 16,99^\circ$. Jeżeli przy-



Rys. 4. Układ sił działających na ciało umieszczone na równi pochylej, gdy przyspieszenie grawitacyjne jest odchylone od pionu; α – kąt nachylenia równi, \mathbf{g} – przyspieszenie grawitacyjne, \mathbf{g}_v – składowa pionowa przyspieszenia grawitacyjnego, \mathbf{g}_h – składowa pozioma przyspieszenia grawitacyjnego β – kąt odchylenia przyspieszenia grawitacyjnego od pionu, \mathbf{W} – ciężar ciała, \mathbf{F}_s – składowa styczna ciężaru, \mathbf{N} – składowa ciężaru prostopadła do równi, \mathbf{R} – siła reakcji równi, \mathbf{T} – siła tarcia, \mathbf{a} – przyspieszenie poruszającego się ciała.

spieszenie grawitacyjne g jest odchylone od pionu o kąt β , to jego składowa pozioma g_h wyraża się wzorem

$$g_h = g \sin \beta_m \quad (15)$$

Przyjmując średnią wartość $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, że wzoru (15) otrzymujemy $g_h = 2,87 \text{ m/s}^2$. Otrzymana wartość jest tak duża, że przy uwzględnieniu obliczeń przeprowadzonych w poprzedniej części artykułu, nie ma żadnych szans na jej uzyskanie w wyniku niejednorodnego rozkładu mas we otoczeniu anomalii. Zauważmy jednak, że główny wkład do otrzymanej wartości wnosi przyjęty współczynnik tarcia opon o asfalt. Stąd wniosek, że do wykrywania ruchu pod górkę należałoby używać nie samochodu, a raczej stalowego walca lub kulki, umieszczonej na również stalowej prowadnicy. Powierzchnie obu tych elementów powinny być starannie wypolerowane w celu zmniejszenia współczynnika tarcia. Zamiast kulki i prowadnicy, mógłby być też wagonik na stalowych szynach.

Dla takiego układu współczynnik tarcia f jest znacznie mniejszy i wynosi w praktyce ok. 0,05. Powtórzenie wykonanych obliczeń dla tej wartości f daje $\beta_m = 3,15^\circ$ oraz $g_h = 0,54 \text{ m/s}^2$, ale pojawienie składowej poziomej o takiej wartości też jest niemożliwe. Warto tu również zauważyć, że do wykrywania ruchu pod górkę, spowodowanego przez odchylenie przyspieszenia grawitacyjnego od pionu, lepszy byłby teren poziomy, niż nachylony. Wtedy wystarczyłoby mniejsza wartość składowej poziomej g_h . Ciało zamiast pozostawać w spoczynku, toczyłoby się wtedy w kierunku odchylenia przyspieszenia od pionu.

Wnioski

Jak wiadomo, Ziemia nie kształtu kuli, czy nawet elipsoidy obrotowej o krótszej osi pokrywającej się z jej

osią obrotu. Nasza planeta ma kształt znacznie bardziej nieregularnej bryły, która jest nazywana geoidą. Ponadto, wskutek obrotu Ziemi znajdujące się na niej ciała również się poruszają i doznają przyspieszenia odśrodkowego. Przyspieszenie to ma kierunek prostopadły do osi obrotu i jest zwrócone na zewnątrz Ziemi. Skutkiem tego przyspieszenie grawitacyjne ulega zmniejszeniu o pewną wartość zależną od szerokości geograficznej ϕ punktu na powierzchni Ziemi. To wypadkowe przyspieszenie nazywane jest przyspieszeniem ziemskim. Na podstawie wieloletnich badań stwierdzono, że wartość przyspieszenia ziemskiego można obliczyć, że wzoru [8]

$$g = 9,780318(1 + 0,00530244 \sin^2 \phi - 0,0000058 \sin^2 2\phi) - 3,086 \cdot 10^{-6} h \quad (16)$$

w którym h oznacza wysokość nad poziomem morza.

Wzór (16) daje wyniki z dokładnością rzędu 10^{-6} dla h nie przekraczającego kilku km. Przyjmując $h = 0$, ze wzoru (16) otrzymuje się $g = 9,780318 \text{ m/s}^2$ dla $\phi = 0$, czyli na równiku oraz $g = 9,832178 \text{ m/s}^2$ dla $\phi = 90^\circ$, czyli na biegunie. Największa, znana z pomiarów wartość to $g = 9,8337 \text{ m/s}^2$ w punkcie znajdującym na oceanie Arktycznym w pobliżu bieguna północnego, a najmniejsza to $g = 9,7639 \text{ m/s}^2$ w Andach na szczycie góry Huascarán. Stwierdzone różnice z obliczeń nie przekraczają więc 0,53% wartości średniej, zaś różnice z pomiarów są mniejsze niż 0,72% tej wartości. Dokładne pomiary gravimetryczne wykazują lokalne anomalie wartości g , ale nie przekraczają one setnych części procenta. Anomalie takie są wskazówką m.in. przy poszukiwaniu rud metali i innych surowców kopalnych. Dzięki temu wykryto, np. złoża siarki w okolicach Tarnobrzega [3].

Przeprowadzone rozważania prowadzą więc do wniosku, że w Karpaczu nie może istnieć tak duża anomalia pola grawitacyjnego. W takim razie, jak wyjaśnić efekty obserwowane przy ulicy Strażackiej w tym mieście? Dla pełnego obrazu sytuacji należy dodać, że w Polsce znajduje się jeszcze kilka miejsc o podobnych właściwościach. Dwa najbardziej znane to góra Żar w Beskidzie Małym koło Żywca i wzgórze w okolicach Wałcza na Pomorzu Zachodnim, nazywane „magiczną”, albo „magnetyczną górką”. Na świecie są dziesiątki takich miejsc [10, 11].

Niektórzy do wytłumaczenia obserwowanego w tych miejscach efektu próbują wykorzystać oddziaływanie magnetyczne, drudzy wierzą w ingerencję istot pozaziemskich. Z oczywistych względów zostawmy wyjaśnienia tych drugich bez dyskusji, dlatego że wierzenia nie podlegają naukowej weryfikacji. Oddziaływanie magnetyczne można by ewentualnie rozpatrywać jako przyczynę ruchu pod górkę samochodów, ponieważ pojazdy zawierają znaczną ilość elementów wykonanych ze stali. Oszacowania pokazują jednak, że niezbędna do tego celu wartość indukcji pola magnetycznego i jej gradientu musiałyby przekraczać o kilka rzędów wielkości wyniki znane z pomiarów magnetometrycznych. Poza tym, oddziaływaniem magnetycznym nie można

wyjaśnić toczenia się pod górkę butelek z napojami oraz płynięcia w tę stronę wody rozlanej na asfalcie, co również zostało zaobserwowane w tych miejscach. (Filmy z takimi efektami są do obejrzenia w Internecie.) Woda jest przecież diamagnetykiem i ulega wypychaniu z obszaru silniejszego pola magnetycznego, ponadto oddziaływanie materiałów dia- oraz paramagnetycznych z polem magnetycznym jest bardzo słabe.

Kluczem do wyjaśnienia obserwowanego efektu jest fakt, że droga we wspomnianych miejscach tylko pozornie wznosi się w kierunku ruchu umieszczonych na niej przedmiotów. Specyficzne ukształtowanie otaczającego terenu sprawia, iż bez odpowiednich przyrządów pomiarowych nie można tego wykryć. Jak wspomniano we wstępie tego artykułu, w Karpaczu ulica Strażacka przechodzi ukośnie tuż przy stoku wzgórza, co przyczynia się do wytworzenia złudzenia. To wyjaśnienie potwierdzają pomiary geodezyjne. Na „magicznej górcie” koło Wałcza takie pomiary przeprowadzili studenci kierunku geodezja i kartografia z Akademii Morskiej w Szczecinie w ramach działalności koła naukowego [12]. Analogiczne rezultaty dały badania wykonane w Karpaczu przez specjalistów niemieckich. Wyniki tych badań są jednak mało znane, ponieważ zostały opublikowane po niemiecku [13].

Problem anomalii grawitacyjnych świetnie charakteryzuje tytuł wydanej niedawno książki „Rzeczywistość nie jest tym, czym się wydaje” [14]. Celem tego artykułu było dotarcie do prawdy o anomaliami grawitacyjnych. Prawda ta może okazać się rozczarowaniem dla niektórych poszukiwaczy sensacji i zwolenników spiskowej teorii dziejów. W tym miejscu warto podać drugi cytat „Prawda to piękna i okrutna rzecz, dlatego trzeba się

z nią obchodzić ostrożnie”. Kończąc autor chciałby wyrazić nadzieję, że Karpacz ma tak wiele atrakcji turystycznych, iż ujawnienie prawdy o anomalii grawitacyjnej nie zmniejszy zainteresowania tym niezwykłym miastem.

Stanisław Bednarek,
Dolnośląska Szkoła Wyższa

LITERATURA

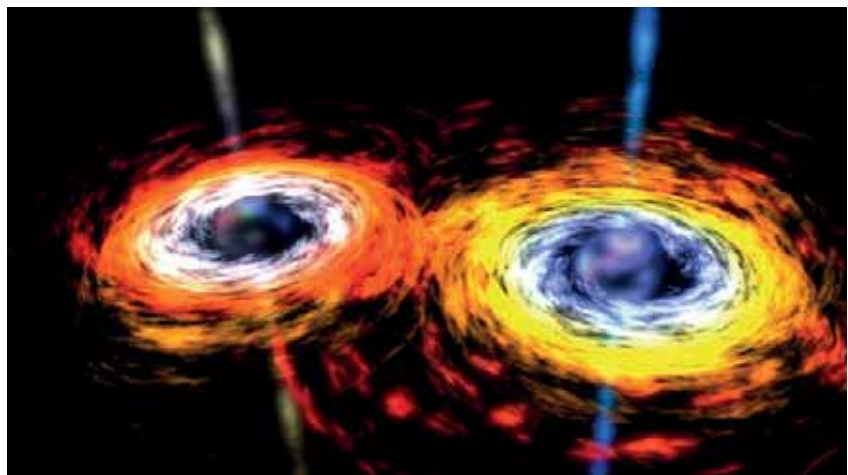
- [1] R. Fronia, P. Pietrzak, D. Jończy, T. Wojtasik, T. Hańczy, Plan miasta Karpacz i okolice, Krummhübel und Umgebung, wyd. II poprawione, Wydawnictwo Plan, Jelenia Góra, 2014.
- [2] Podstawa programowa kształcenia ogólnego z komentarzem, Szkoła podstawowa, fizyka, <https://men.gov.pl/zycie-szkoly/ksztalcenie-ogolne/podstawa-programowa/podstawa-programowa-materialy-dla-nauczycieli.html>, (dostęp: 6.12.2017).
- [3] M. Barlik, Pomiary grawimetryczne w geodezji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2001, 5.
- [4] J. Lipczyński, M. Okołowicz, S. Olczak, E. Rybka, Tablice matematyczne, fizyczne, chemiczne i astronomiczne, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1984, 131.
- [5] J. Massalski, M. Massalska, Fizyka dla inżynierów, część 1, fizyka klasyczna, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1980, 70.
- [6] H. Stöcker, Nowoczesne kompendium fizyki, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010, 53.
- [7] W. Mizerski (red.), Tablice fizyczno-astronomiczne, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 2013, 395.
- [8] R. Teisseyre (red.), Fizyka i ewolucja wnętrza ziemi, cz. 1, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1983, 234.
- [9] Ch. Hiirt, S. Claessens, T. Fecher, M. Kuhn, R. Pail, M. Rexer, New ultrahigh-resolution picture of Earth's gravity field, Geophysical Research Letters, 2013, vol. 40, p. 4279-4283, doi:10.1002/grl.50838. 2013, (dostęp: 6.12.2017).
- [10] http://www.radiobory.dbv.pl/readarticle.php?article_id=118, (dostęp: 6.12.2017).
- [11] http://www.wiadomosci24.pl/artykul/czarodziejska_gorka_pod_walczem_35246.html, (dostęp: 6.12.2017).
- [12] <http://www.am.szczecin.pl/wydzial-nawigacyjny/2718-cudu-nie-bylo>, (dostęp: 6.12.2017).
- [13] G. Fosar, F. Bludorf, Vernetzte Intelligenz Die Natur geht online. Gruppenbewußtsein, Genetik, Gravitation, Omega-Verlag, Berlin 2001, 15.
- [14] C. Rovelli, Rzeczywistość nie jest tym, czym się wydaje, Wydawnictwo Feeria, Warszawa 2017, 56.

Dwie czarne dziury z jednej gwiazdy

Siła grawitacji jest w stanie formować najbardziej niezwykle obiekty we Wszechświecie, zwane czarnymi dziurami. Eksperymentalne potwierdzenie istnienia fal grawitacyjnych polegało na obserwacji zderzenia dwóch czarnych dziur, które po okresie obiegiwania się nawzajem zderzyły się ze sobą. Jak wszyscy wiemy zespół, który dokonał wspomnianej obserwacji dostał za nią nagrodę Nobla. Było to też pierwsze eksperymentalne potwierdzenie istnienia czarnych dziur. Pojawiło się jednak niezwykle istotne pytanie skąd wzięły się dwie czarne dziury obok siebie. Na pierwszy rzut oka jest sprawa jest prosta. Za powstanie takiej pary może być odpowiedzialne przechwytywanie. Zdaniem jednak naukowców z Kyoto bardziej prawdopodobny

jest inny scenariusz. Otóż ich zdaniem obie dziury mogły powstać prawie jednocześnie z tej samej gwiazdy. Podczas ostatecznego

kolapsu grawitacyjnego nastąpiło rozerwanie jądra gwiazdy i powstały dwie bliźniacze czarne dziury.



Rys. Dwie czarne dziury przed zderzeniem. Źródło NASA

Źródło: Kyoto University, «Black hole pair born inside a dying star?», ScienceDaily, ScienceDaily, 18 December 2017. <www.sciencedaily.com/releases/2017/12/171218120316.htm>.