



Czarne dziury



Źródło: Jeremy Perkins, dostępny w internecie: <https://unsplash.com>, domena publiczna.

Czarne dziury od dziesięcioleci fascynują naukowców z całego świata. Co o nich wiemy? Jak powstają? Czym są? Co znajduje się w ich wnętrzu? Nie na wszystkie pytania potrafimy obecnie odpowiedzieć, dlatego obiekty te cały czas są badane. Wraz z poznaniem kolejnych informacji o czarnych dziurach, uzyskamy cenne uzupełnienie tego, co do tej pory dowiedzieliśmy się o świecie.

Twoje cele

- uporządkujesz wiedzę o sile grawitacji;
- rozwiążesz zadania, stosując związek między siłą, masą i przyspieszeniem grawitacyjnym;
- stwierdzisz czym są i jak powstają czarne dziury.

Już w starożytności zastanawiano się, jak zbudowany jest Wszechświat. W historii astronomii pojawiło się wiele teorii, bardzo często błędnych. Zanim doszliśmy do dzisiejszych teorii naukowych na temat tego, jak wygląda przestrzeń kosmiczna i jakimi prawami się rządzi, musiało minąć wiele setek lat. Do tej pory wiele zagadek nie zostało jeszcze wytłumaczonych. Naukowcy nadal badają Wszechświat, próbując znaleźć odpowiedzi na najbardziej nurtujące nas pytania, a każde odkrycie przynosi kolejne znaki zapytania, na które próbują znaleźć odpowiedź następne pokolenia.

Grawitacja

Angielski przyrodnik Robert Hooke, żyjący w XVII wieku, jako pierwszy zauważył, że ruch planet jest powodowany pewnym oddziaływaniem związanym z ich masą. Jeśli mówimy o oddziaływaniu, to nie sposób pominąć tak ważnej wielkości fizycznej, jaką jest siła. To dzięki niej opisujemy miarę oddziaływań. Zagadnienia Hooke'a matematycznie zapisał Isaac Newton, tworząc [prawo powszechnego ciążenia](#).

Prawo grawitacji zakłada, że:

- każde dwa ciała we Wszechświecie przyciągają się wzajemnie siłą grawitacyjną;
- siła grawitacyjna jest:
 - powszechna i uniwersalna;
 - wprost proporcjonalna do iloczynu oddziałujących ze sobą mas (im większe są te masy, tym bardziej wartość siły także się zwiększa);
 - odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między tymi masami (im ta odległość jest większa, tym bardziej wartość siły maleje).

Poniższy wzór odnosi się do tych założeń:

$$F_g = G \frac{M \cdot m}{r^2}$$

gdzie:

F_g – siła grawitacyjna,

G – stała grawitacyjna,

M, m – masy poszczególnych ciał,

r – odległość między ciałami.

Zwykle wielkość $G \frac{M}{r^2}$ oznaczamy jako g i nazywamy przyspieszeniem grawitacyjnym. Na powierzchni Ziemi ma ono wartość około $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Rozwiązując zadania, często przybliżamy tę wartość do $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Stąd wzór na ciężar:

$$F_g = mg$$

gdzie:

F_g – siła grawitacyjna (ciężar ciała o masie m w miejscu o przyspieszeniu grawitacyjnym g),

g – przyspieszenie grawitacyjne,

m – masa ciała.

Siła grawitacji powszechnie nazywana jest również siłą ciężkości lub po prostu ciężarem.

Ważne!

Należy pamiętać, że ciężar to wypadkowa siły grawitacyjnej i odśrodkowej, wynikającej z ruchu obrotowego – ta druga jest jednak zwykle dużo mniejsza, dzięki czemu możemy stosować przybliżenie

$$\text{ciężar} \approx \text{siła grawitacji.}$$

Posługując się powyższym wzorem, w bardzo łatwy sposób obliczysz, z jaką siłą przyciągane są ciała np. na Ziemi, czy Księżycu.

Przykład 1

Oblicz ciężar 2000 g jabłek na Ziemi.

Dane:

$$m = 2000 \text{ g} = 2 \text{ kg}$$

$$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Szukane:

$$F_g = ?$$

Wzór:

$$F_g = mg$$

Rozwiązanie:

$$F_g = 2 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 20 \text{ N}$$

Odpowiedź:

Jabłka mają ciężar 20 N.

Przykład 2

Oblicz masę bananów przyciąganych do Ziemi siłą 8 N.

Dane:

$$F_g = 8 \text{ N}$$

$$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Szukane:

$$m = ?$$

Wzór:

Przekształcając wzór

$$F_g = m \cdot g$$

otrzymujemy

$$m = \frac{F}{g}$$



Źródło: dostępny w internecie: Pixabay.com, licencja: CC BY 3.0.



Źródło: dostępny w internecie: Pixabay.com, licencja: CC BY 3.0.

Rozwiązanie:

$$m = \frac{8 \text{ N}}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$m = 0,8 \text{ kg}$$

Odpowiedź:

Banany mają masę 0,8 kg.

Przykład 3

Oblicz ciężar Zosi na Ziemi i na Księżycu.

Zosia ma masę 36 kg.

Dane:

$$m = 36 \text{ kg}$$

$g_Z = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ – przyspieszenie grawitacyjne Ziemi

$g_K = 1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ – przyspieszenie grawitacyjne Księżyca

Szukane:

$$F_{gZ} = ?$$

$$F_{gK} = ?$$

Wzór:

$$F = m \cdot g$$

Rozwiązanie:

$$F_{gZ} = 36 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 353 \text{ N}$$

$$F_{gK} = 36 \text{ kg} \cdot 1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 58 \text{ N}$$

Odpowiedź:

Ciężar Zosi na Ziemi wynosi ok. 353 N, a na Księżycu ok. 58 N.

Zapamiętaj!

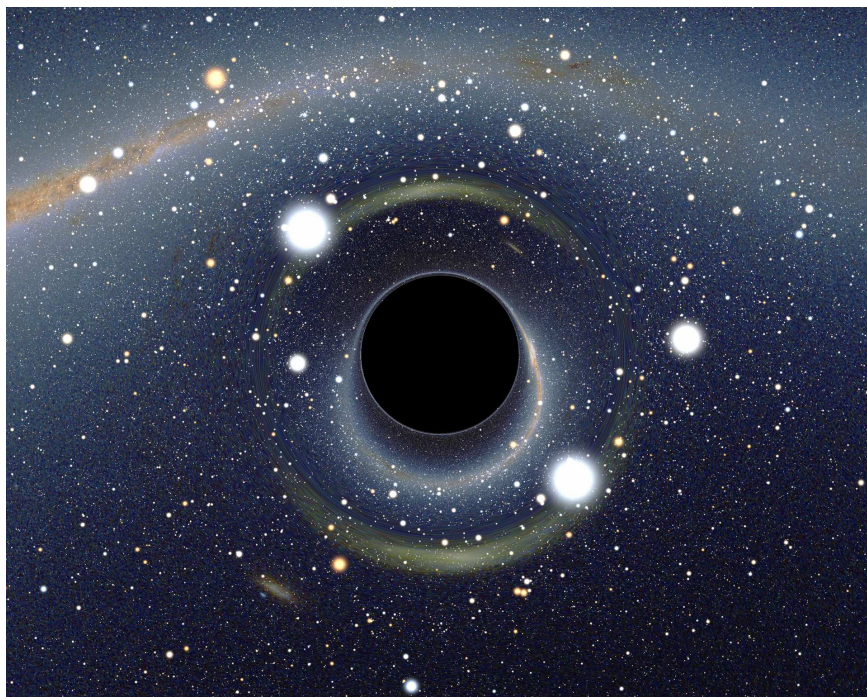
Wszystkie ciała niebieskie we Wszechświecie oddziałują ze sobą grawitacyjnie.

Zajmiemy się teraz zjawiskiem, na które siła grawitacji ma olbrzymi wpływ. Zarówno w procesie jego powstawania, jak i funkcjonowania. Są to czarne dziury.

Czarne dziury



Źródło: dostępny w internecie: Pixabay.com, licencja: CC BY 3.0.



Symulowany obraz czarnej dziury

Źródło: Alain r, dostępny w internecie: <http://commons.wikimedia.org> [dostęp 12.08.2022], licencja: CC BY-SA 2.5.

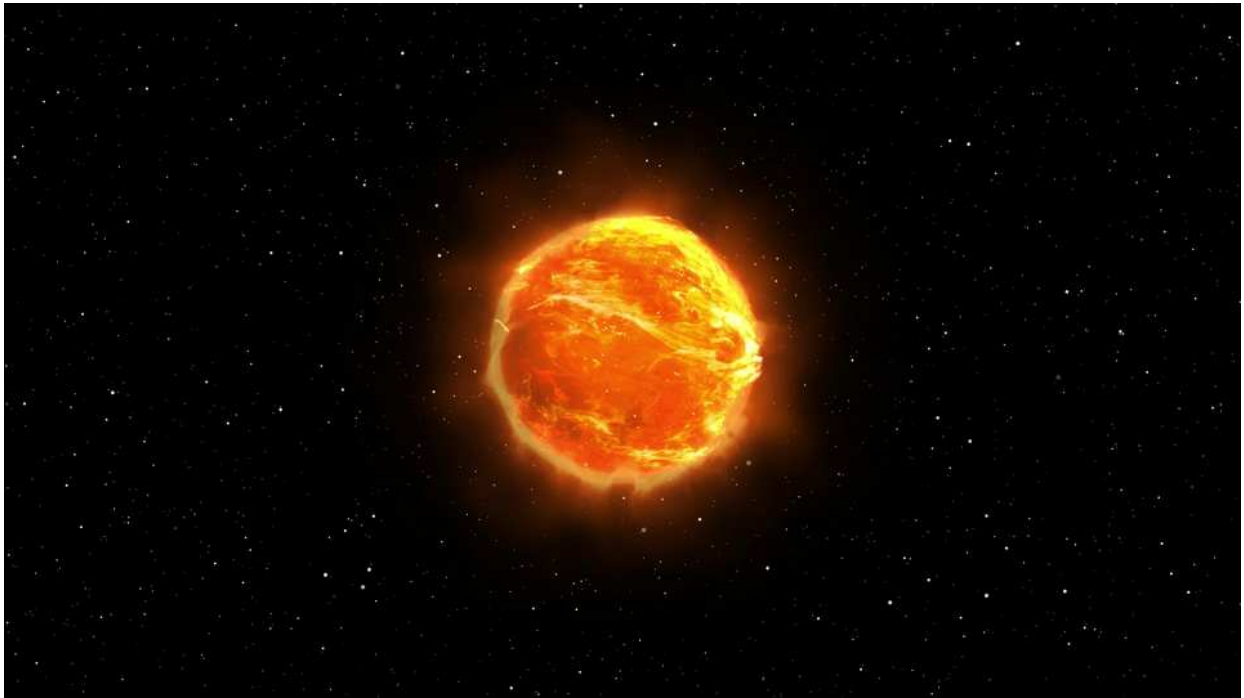


Pierwsze zdjęcie czarnej dziury, uzyskane na podstawie danych zebranych przez Teleskop Horyzontu Zdarzeń

Źródło: Event Horizon Telescope, dostępny w internecie: <https://www.eso.org/> [dostęp 12.08.2022], licencja: CC BY 4.0.

Czarna dziura jest obszarem przestrzeni kosmicznej o wpływie grawitacji tak dużym, że nie jest w stanie go opuścić nawet światło. Wokół czarnej dziury istnieje powierzchnia nazwana **horyzontem zdarzeń**, będąca swoistą granicą, po przekroczeniu której nic się nie wydostanie. Skoro światło zostaje pochłonięte, to obszar ten jest czarny. Tej właściwości zawdzięczają swoją nazwę czarne dziury.

Powstawanie czarnych dziur



Film dostępny pod adresem </preview/resource/R12Z4RXiE1CXb>

Czarne dziury

Źródło: Gromar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Animacja dotycząca czarnych dziur.

Polecenie 1

Wybierz prawidłową odpowiedź spośród podanych.

Według obecnych danych, małowasywne czarne dziury powstają z

- ☐ wirującej materii.
- ☐ wielkiego wybuchu na gwiazdach.
- ☐ umierających gwiazd.
- ☐ szybko poruszających się galaktyk.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Polecenie 2

Uporządkuj kolejność powstawania czarnej dziury.

Wybuch, tzw. supernowa.



Wyczerpanie paliwa jądrowego.



Powstanie małomasywnej czarnej dziury.



Implozja, zapadanie się jądra gwiazdy.



Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Polecenie 3

Jakie reakcje zapewniają gwiazdzie energię potrzebną do świecenia? Wybierz prawidłową odpowiedź.



akrecyjne



grawitacyjne



termojądrowe

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Sprawdź się

Ćwiczenie 1

Oblicz ciężar 500 g ołowiu na powierzchni Ziemi i wpisz wynik w lukę. Przyjmij wartość przyspieszenia grawitacyjnego równą $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Obliczenia i odpowiedź zapisz w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 2

Ile wynosi masa pralki o ciężarze 600 N (przyjmij wartość przyspieszenia grawitacyjnego równą $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)? Obliczenia i odpowiedź zapisz w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 3

Oceń, czy zdanie jest prawdziwe, czy fałszywe.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Ciężar ciała na Ziemi i Księżycu jest taki sam.	☐	☐
Masa ciała na Ziemi i Księżycu jest taka sama.	☐	☐
Żeby obliczyć ciężar, musimy znać wartość przyspieszenia grawitacyjnego.	☐	☐
Ciężar nazywany jest również siłą ciężkości.	☐	☐
Ciężar ciała podajemy w kg.	☐	☐

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 4

Dopasuj jednostki do wielkości fizycznych.

Masa

$\frac{\text{N}}{\text{kg}}$

kg

kN

$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

g

N

Siła grawitacji

Przyspieszenie grawitacyjne

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 5

Przeciągnij i upuść lub kliknij w lukę i wybierz odpowiedź z listy rozwijalnej, aby uzupełnić zdania.

Gwiazdy świecą dzięki nieustannym reakcjom termojądrowym, zachodzącym . Kiedy zapas paliwa potrzebnego do zachodzenia reakcji zaczyna się wyczerpywać, rozpoczyna się proces takiej gwiazdy. Dla gwiazd bardzo masywnych dochodzi wtedy do , czyli gwałtownego jądra gwiazdy, a następnie wybuchu, podczas którego uwalniana jest ogromna ilość energii. Eksplozja ta powoduje powstanie niezwykle jasnego obiektu i nosi nazwę .

wybuchu

w ich wnętrzu

na ich powierzchni

supernowej

umierania

kwazar

zapadnięcia

syntezy

implozji

czarnej dziury

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 6

Przeanalizuj poniższy tekst i na jego podstawie zaznacz prawidłowe stwierdzenie:

„Głównym problemem obserwowania takich obiektów jest to, że nie świecą, a jedynie pochłaniają otaczającą materię i światło. To, co astronomowie obserwują w kosmosie, to właśnie promieniowanie elektromagnetyczne, którego czarne dziury nie emitują i nie odbijają. Z tego powodu nie można ich obserwować bezpośrednio. Z kolei różnice w powstawaniu czarnych dziur sprawiają, że poszukuje się ich w różnych regionach kosmosu i stosuje się różne metody ich badania. Supermasywnych czarnych dziur szuka się w centrach galaktyk. Najnowsze modele galaktyk zakładają, że w każdej galaktyce istnieje taka czarna dziura, jednak nie zawsze potrafimy ją zaobserwować. Najłatwiej jest odkryć i analizować czarne dziury w galaktykach aktywnych. Aktywność ta zazwyczaj związana jest z emisją dużej ilości energii w centrum galaktyki, wynikającą z obecności tam czarnej dziury. Emisja energii jest wynikiem akrecji (opadania w wyniku działania grawitacji) ogromnych ilości materii na czarną dziurę. Widocznym dla astronomów efektem tej akrecji jest emitowana w przestrzeń kosmiczną ogromna ilość energii. Energia ta jest wielokrotnie większa niż energia emitowana przez gwiazdy. Niektóre odległe radiogalaktyki wyrzucają z centrum świecące, wysokoenergetyczne strugi materii rozciągające się na setki tysięcy lat świetlnych. Strugi te nazywane są dżetami. Jest to skupiony strumień materii wyrzucany z [relatywistycznymi prędkościami](#) z biegunów jądra galaktyki. Dżety zawsze wyrzucane są wzdłuż osi prostopadłej do płaszczyzny dysku wytworzonego z akreującej materii wokół czarnej dziury”.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Czarne dziury różnią się od siebie i w związku z tym poszukuje się ich różnymi metodami.	☐	☐
Czarne dziury są obiektami, które są bardzo dobrze obserwowalne dzięki zjawisku odbicia światła.	☐	☐
Najłatwiejsze do odkrycia są dziury w galaktykach już nieaktywnych.	☐	☐
Wysokoenergetyczne strugi materii rozciągające się na wiele tysięcy lat świetlnych nazywamy dżetami.	☐	☐

Ćwiczenie 7

Przeciągnij i upuść lub kliknij w lukę i wybierz odpowiedź z listy rozwijalnej, aby uzupełnić zdania.

Ze wzoru na siłę grawitacji $F = m \cdot g$ można wywnioskować, że siła ta jest
proporcjonalna do masy ciała. Oznacza to, że jeśli masę zwiększymy dwukrotnie, to siła
 dwukrotnie.

Przyspieszenie grawitacyjne Marsa wynosi $3,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Oznacza to, że ciężar ciała na Marsie
będzie niż na Ziemi.

mniejszy

większy

zmaleje

wprost

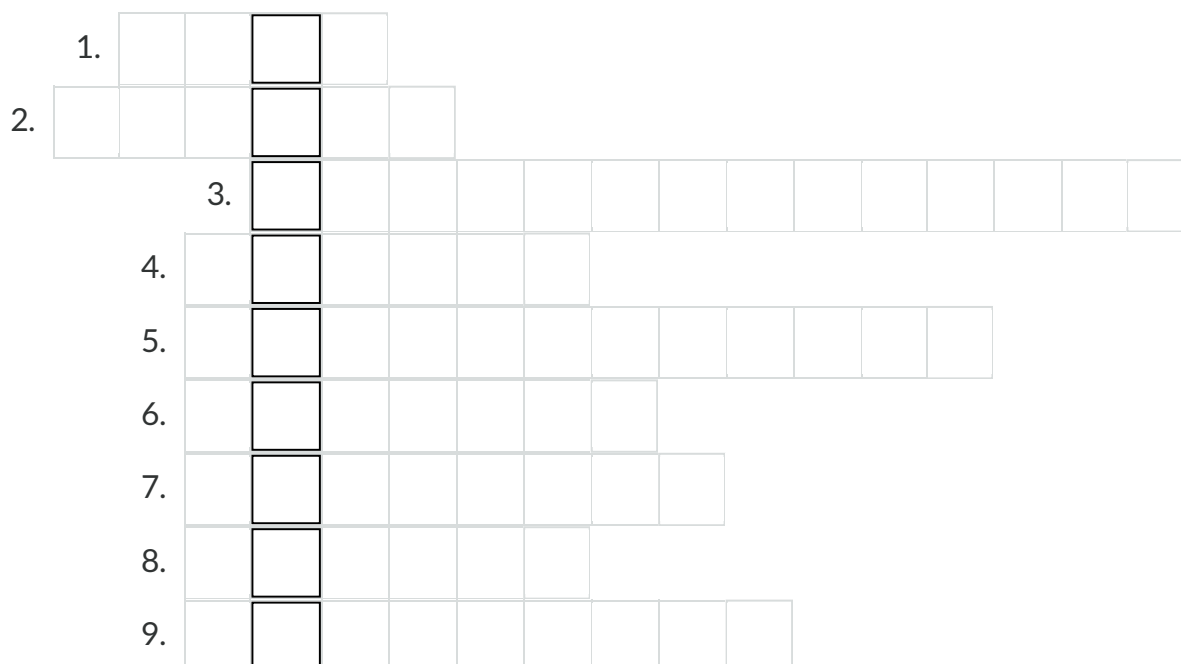
wzrośnie

odwrotnie

Zródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 8

Rozwiąż krzyżówkę.



1. Wielkość fizyczna, dzięki której ciała oddziałują ze sobą grawitacyjnie.
2. Czarna. . ., powstająca w wyniku śmierci gwiazdy.
3. Nazywane np. grawitacyjnym.
4. Sławny fizyk, znany m.in. ze sformułowania prawa powszechnego ciążenia.
5. Oddziaływanie, dzięki któremu planety krążą wokół Słońca.
6. Może zostać wyemitowana w postaci światła.
7. . . . zdarzeń, powierzchnia wokół czarnej dziury.
8. Rodzaj aktywnej galaktyki, emitującej ogromne ilości energii.
9. Prawdopodobnie, supermasywne czarne dziury stanowią centrum części (a może nawet wszystkich) z nich.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Słownik

czarna dziura

obszar o sile przyciągania grawitacyjnego tak dużej, że nic nie jest w stanie go opuścić, nawet światło (stąd nazwa). Powstaje, gdy w małej objętości zgromadzi się odpowiednio duża masa.

horyzont zdarzeń

powierzchnia otaczająca czarną dziurę, po przekroczeniu której nic nie wydostanie się z obszaru jej oddziaływania.

prawo powszechnego ciążenia (Newtona)

każde dwa ciała we Wszechświecie przyciągają się wzajemnie siłą wprost proporcjonalną do iloczynu mas tych ciał i odwrotnie proporcjonalną do kwadratu odległości między środkami tych mas:

$$F_g = G \frac{M \cdot m}{r^2},$$

gdzie:

F_g – siła grawitacji,

G – stała grawitacji, wynosząca ok. $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$,

M, m – masy ciał,

r – odległość między środkami ciał.

prędkość relatywistyczna

prędkość na tyle zbliżona do prędkości światła, że nie można dla niej stosować klasycznych wzorów, należy natomiast korzystać ze wzorów wynikających z postulatu o nieprzekraczalności prędkości światła.

relatywistyczny

wynikający z teorii względności Einsteina.

Bibliografia

Sagnowska B., Szot-Gawlik D., Godlewska M., Rozenbajgier M., Rozenbajgier R., 2017, *Świat fizyki*, Warszawa, WSiP

Notatki

Miejsce na Twoje notatki