FUTURE SPACE

Scenariusz zajęć

Autor/ Autorzy: Paweł Wajer

Cywilizacje kosmiczne

Słowa kluczowe:

Cywilizacje kosmiczne

Życie

Kosmos

Egzoplanety

Tematyka: Poszukiwanie życie we Wszechświecie

Wiek uczniów: 15-19 lat

Czas: 2 x 45 minut

Przedmioty:

fizyka

informatyka

CBK PAN · POLSA Polska Agencja Kosmiczna · NEMO · NOESIS Thessaloniki Science Center & Technology Museum · OEiiZK Ośrodek Edukacji Informatycznej i Zastosowań Komputerów w Warszawie

KONSPEKT ZAJĘĆ

Wiek Wszechświata, liczba zawartych w nich gwiazd, egzoplanet itp. sugerują, że życie w kosmosie powinno być powszechne. Enrico Fermi zwrócił uwagę na to, że skoro w galaktyce może istnieć duża liczba cywilizacji rozwiniętych technicznie, to czemu nie obserwujemy śladów ich obecności, np. sygnałów które wysyłają, sond, statków kosmicznych, czy wreszcie przedstawicieli tych cywilizacji. Jest to tzw. paradoks Fermiego. Skoro śladów obcych cywilizacji do tej pory nie udało się zauważyć, może to oznaczać, że:

- założenia dotyczące liczby cywilizacji pozaziemskich są błędne i życie występuje znacznie rzadziej;
- obce cywilizacje kosmiczne wysyłają sygnały w przestrzeń kosmiczną, ale nasza cywilizacja nie jest dostatecznie rozwinięta, aby dokonać detekcji tych sygnałów. Oznacza to, że np. szukamy śladów emisji fal elektromagnetycznych w postaci, jaką znamy. Inne cywilizacje mogą używać innego, nieznanego nam medium do komunikacji, albo znanego, ale technicznie nie jesteśmy w stanie go odebrać.

Można sobie wyobrazić wiele powodów, dlaczego nie udało się nawiązać kontaktu z inną cywilizacją kosmiczną, np.:

- Upadek cywilizacji:
  - *Zniszczenie cywilizacji z powodu konfliktów na skalę globalną*. Przykłady źródeł potencjalnych konfliktów: kurczenie się zasobów niezbędnych do egzystowania np. żywności, wody, cennych minerałów itp. Broń atomowa, biologiczna czy chemiczna może być sposobem na samozniszczenie.
  - *Globalna zapaść ekologiczna*. Konsekwencje zanieczyszczenia środowiska: brak wody pitnej, wyjałowienie gleby, emisja gazów cieplarnianych, zniszczenie warstwy atmosfery chroniącej przed promieniowaniem. Zanieczyszczenie środowiska jako jedna z przyczyn ograniczenia (lub całkowitego niszczenia) rozwoju cywilizacji.
  - *Epoka lodowcowa*. Epoka lodowcowa może zniszczyć cywilizację kosmiczną. Skutki: zmiany parametrów pozycji planety na orbicie około gwiazdowej takie jak zmiana nachylenia między równikiem a ekliptyką. Inne: epoki lodowcowe spowodowały ogromne zmiany w liczebności gatunków zamieszkujących Ziemię.
- Ziemska cywilizacja jest jedyną, która występuje we Wszechświecie.
- Odległość pomiędzy dwiema gwiazdami, w otoczeniu których istnieje życie. Odległość ta może wynosić setki, tysiące czy więcej lat świetlnych. Dwie cywilizacje, znajdujące się dostatecznie daleko od siebie mogą upaść (lub co najmniej jedna z nich), zanim się skontaktują.
- Hipoteza ZOO, która stwierdza, że inne cywilizacje kosmiczne celowo unikają komunikacji z Ziemią, aby umożliwić ludziom ewolucję bez zakłóceń. Przykładowe powody: nie chcą ingerować w naszą cywilizację albo jest dla nich zbyt prymitywna. Analogia z mrówkami: wolimy oglądać mrówki i obserwować w ten sposób ich zachowanie niż próbować z nimi „rozmawiać”. Słaby punkt tej

hipotezy: jeśli liczba rozwiniętych cywilizacji jest duża, to niektóre z nich mogą chcieć się z nami spotkać, a nie tylko obserwować.

- Hipoteza planetarium, wg. której nie istniejemy realnie a w wirtualnej rzeczywistości wytworzonej przez realne obce formy życia (trochę podobnie jak w filmie „Matrix”).

Zaproponowano wiele różnych rozwiązań paradoksu Fermiego, przykładowo:

- ➲ 30 przykładowych rozwiązań opisanych na stronie internetowej ⇒link
- ➲ 18 przykładowych rozwiązań opisanych na stronie internetowej ⇒link
- ➲ 31 przykładowych rozwiązań opisanych na stronie internetowej ⇒link

W proponowanej lekcji przeanalizujemy hipotezę mówiącą, że obce cywilizacje narodziły się losowo w czasie, a ich czas trwania jest skończony. Proponowana lekcja będzie składać się z teoretycznego wprowadzenia niezbędnego do pracy w części praktycznej. W szczególności uczniowie dowiedzą się (i omówią w części praktycznej) powody, dla których cywilizacje kosmiczne (jeśli istniały/istnieją) mogą upaść. W trakcie tego ćwiczenia warto wspomnieć uczniowi, że te powody mogą dotyczyć również naszej cywilizacji.

W zestawie ćwiczeń pt. „Prawdopodobieństwo kontaktu między komunikującymi się cywilizacjami” uczniowie:

- przyjmują pewne założenia dotyczące życia hipotetycznych cywilizacji kosmicznych, takie jak np. ich liczebność w kosmosie itp.
- obliczą prawdopodobieństwo, że cywilizacje te istnieją (istniały) w tym samym czasie i mogą się (mogły się) spotkać.

CELE LEKCJI

- ➲ Stymulowanie zainteresowania przestrzenią kosmiczną, problematyką potencjalnego istnienia życia w Kosmosie poza Ziemią oraz powodami które mogą skutkować upadkiem kosmicznych cywilizacji.
- ➲ Aktywne uczestnictwo w lekcji, zwłaszcza w jej części praktycznej. Analiza i dyskusja wyników symulacji komputerowych przeprowadzonych podczas lekcji.

REZULTATY LEKCJI

- ➲ Uczniowie będą wiedzieli, czym jest paradoks Fermiego oraz będą znali kilka możliwych rozwiązań tego paradoksu.
- ➲ Uczniowie będą znali możliwe przyczyny upadku cywilizacji kosmicznych, w tym ziemskiej.
- ➲ Uczniowie dowiedzą się, jak zaplanować oraz przeprowadzić symulacje komputerowe, stawiać różnego rodzaju hipotezy oraz sprawdzać, przy pomocy symulacji komputerowych, ich prawdziwość.

KORELACJA Z PODSTAWĄ PROGRAMOWĄ

✍ **INFORMATYKA**		
	Zakres podstawowy	Zakres rozszerzony
Rozumienie, analizowanie i rozwiązywanie problemów	I.4; I.5	
Rozwijanie kompetencji społecznych	IV.1	
✍ **FIZYKA**		
	Zakres podstawowy	Zakres rozszerzony
Wymagania przekrojowe	I.7, I.8, I.15	I.7, I.8, I.19

KLUCZOWE KOMPETENCJE XXI WIEKU*

(jakim kompetencjom kluczowym XXI wieku odpowiada scenariusz)

- ☑ kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji
- ☑ kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii
- ☑ kompetencje cyfrowe

* *Więcej informacji o kompetencjach kluczowych na stronie: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018H0604(01)&from=EN*

MATERIAŁY DYDAKTYCZNE DO PRZEPROWADZENIA ZAJĘĆ

- Prezentacja w formacie pptx oraz pdf, zatytułowana *Cywilizacje kosmiczne*
- Dwie karty pracy: „Karta_pracy_1.docx" i „Karta_Pracy_2.docx"

Materiały pomocnicze (online):

- Dlaczego kosmici się z nami nie kontaktują? - Paradoks Fermiego ⇒link
- The Fermi Paradox — Where Are All The Aliens? ⇒link Materiał zawiera polskie napisy.
- The Fermi Paradox II — Solutions and Ideas – Where Are All The Aliens? ⇒link Materiał zawiera polskie napisy.

PRZEBIEG LEKCJI 1

✍ *Przed rozpoczęciem pierwszej lekcji nauczyciel prosi uczniów o obejrzenie filmu (linki do filmów znajdują się w części „Materiały pomocnicze (online)”).*

🕓 WSTĘP DO ZAJĘĆ ⇒ 15 MINUT

➲ Nauczyciel przedstawia prezentację, która zawiera ważne informacje potrzebne do zrozumienia tematu i do pracy uczniów w części praktycznej (slajdy 1-4).

🕓 CZĘŚĆ PRAKTYCZNA ⇒ 30 MINUT

➲ Pierwsza lekcja kończy się dyskusją z uczniami dotyczącą obejrzanych filmu/filmów → można to zrobić w formie ćwiczenia 1 (Karta pracy nr 1) *Upadek cywilizacji kosmicznych*.

✍ *Ćwiczenie 1: Upadek cywilizacji kosmicznych*

➲ Celem tego ćwiczenia jest zastanowienie się i podanie ewentualnych powodów upadku cywilizacji kosmicznych (jeśli istniały/istnieją).

Uzupełnij tabelę, wpisując w odpowiednich kolumnach możliwe przyczyny upadku cywilizacji. Przyczyny te podzielone zostały na trzy części: przyczyny wewnętrzne, przyczyny naturalne i przyczyny zewnętrzne.

Nr	Przyczyny wewnętrzne, związane z rozwojem cywilizacji	Przyczyny naturalne, związane z procesami i zjawiskami mogącymi wystąpić na planecie	Przyczyny zewnętrzne, związane z procesami i zjawiskami zachodzącymi poza planetą
1			
2			
3			
4			
5			

Przykłady przyczyn wewnętrznych:

- Wojna globalna lub mająca miejsce na znacznej części globu przy użyciu broni masowej zagłady, przykładowo:
  - wojna atomowa
  - wojna z wykorzystaniem broni chemicznej
  - wojna z wykorzystaniem broni biologicznej.
- Zapaść ekologiczna lub/i globalne zmiany klimatyczne (globalne ocieplenie, epoka lodowcowa):
  - Wylesianie i utrata bioróżnorodności. Przykładem znacznego spadku liczby mieszkańców w skali lokalnej są Wyspy Wielkanocne. Spadek liczby mieszkańców był prawdopodobnie spowodowany wyczerpywaniem się zasobów naturalnych wyspy i wycięciem większości drzew.

- Globalne ocieplenie spowodowane akumulacją gazów cieplarnianych w atmosferze planety. Gazy te to na przykład: dwutlenek węgla, metan, podtlenek azotu, para wodna oraz niektóre syntetyczne gazy zawierające brom, chlor czy fluor.
- Epoka lodowcowa spowodowana przez np. wojnę atomową.

Przykłady przyczyn naturalnych:

- Geologiczne:
  - trzęsienia ziemi
  - aktywność wulkaniczna
- Meteorologiczne:
  - Tornada i silne burze
  - Powodzie

Przykłady przyczyn zewnętrznych:

- Zderzenia z planetoidami
- Wybuch gwiazdy macierzystej lub pobliskiej supernowej.

✍ *Więcej przykładów różnego rodzaju zdarzeń o charakterze katastroficznym znajduje się na stronie internetowej ⇒link*

PRZEBIEG LEKCJI 2

WSTĘP DO ZAJĘĆ ⇒ 5 MINUT

- Lekcja rozpoczyna się prezentacją przedstawioną przez nauczyciela (slajdy 5-12).

CZĘŚĆ PRAKTYCZNA ⇒ 30 MINUT

- Następnie uczniowie zaczynają przeprowadzać eksperymenty symulacyjne przedstawione w zestawie ćwiczeń (Karta pracy nr 2) pt. *Prawdopodobieństwo kontaktu między komunikującymi się cywilizacjami*.
- Podczas przeprowadzania ćwiczeń uczniowie stawiają i sprawdzają różne hipotezy dotyczące tematyki przedstawionej w ćwiczeniach, dyskutują i omawiają wyniki.

Zestaw ćwiczeń: Prawdopodobieństwo kontaktu między komunikującymi się cywilizacjami

- W ramach ćwiczenia wprowadzającego uczniowie mogą poeksperymentować z różnymi wartościami parametrów wejściowych algorytmów, aby uzyskać prawdopodobieństwa większe niż np. 1%. Warto zwrócić uczniom uwagę, aby parametry wejściowe były mniej lub bardziej realistyczne, np. czas, w którym zaczęły pojawiać się obce cywilizacje, nie może być wcześniejszy niż moment powstania Wszechświata itp.
- Algorytmy użyte w ćwiczeniach są probabilistyczne. Oznacza to, że gdy uczniowie uruchomią ten sam algorytm po raz drugi, z tymi samymi parametrami wejściowymi, uzyskane prawdopodobieństwo może się nieznacznie różnić od tego uzyskanego poprzednio. Podobnie, gdy rzucamy idealnie symetryczną monetą 100 razy, powinniśmy spodziewać się mniej więcej 50 orłów i 50 reszek. W praktyce w jednym eksperymencie możemy otrzymać np. 45 orłów i 55 reszek, w drugim 52 orły i 48 reszek.

Krótki opis algorytmów wykorzystywanych w ćwiczeniach:

- *Algorytm 1: prawdopodobieństwo jednoczesnego istnienia co najmniej dwóch cywilizacji - wersja, w której wszystkie cywilizacje kosmiczne istnieją przez ten sam okres.*

- W tym scenariuszu zakładamy, że cywilizacje techniczne zaczęły rodzić się najwcześniej T_{tot} lat temu. Każda z tych cywilizacji istnieje dokładnie T_{ext} lat. W czasie T_{tot} może narodzić się dokładnie n_{civ} cywilizacji. Zakładamy, że cywilizacje mogą narodzić się w przypadkowych (jednostajnie losowo rozłożonych) momentach czasu.
- Algorytm zaimplementowany jest w następujący sposób:

1. Parametry wejściowe: T_{tot}, T_{ext}, n_{civ}
2. Zainicjuj „licznik zdarzeń” L=0
3. Wygeneruj losowo n_{civ} liczb t_i mniejszych niż T_{tot}, gdzie t_i to czas, w którym powstała dana cywilizacja. Oznacza to, że cywilizacja żyje w przedziale czasowym $[t_i, t_i+T_{ext}]$.

4. Dla cywilizacji numer i sprawdź, czy inna cywilizacja, *j*, zaczęła żyć w przedziale czasu $[t_i, t_i+T_{ext}]$. Jeśli tak, zwiększ parzysty licznik *L* o 1.
5. Powtórz punkty 3 i 4 N razy.
6. Wynik: prawdopodobieństwo = *L/N*.

➲ Algorytmy 2 i 3 są zaimplementowane w podobny sposób.

➢ *Algorytm 2: Prawdopodobieństwo współistnienia co najmniej jednej cywilizacji w tym samym czasie, w którym istnieje nasza cywilizacja.*

➲ Prawdopodobieństwo równoczesnego istnienia co najmniej jednej cywilizacji z naszą (lub dowolnej, która istniała) przez T_{earth} lat. Zakładamy, że cywilizacje techniczne zaczęły rodzić się najwcześniej T_{tot} lat temu. Każda z tych cywilizacji istnieje T_{ext} lat. W czasie T_{tot} mogą narodzić się dokładnie n_{civ} cywilizacje. Zakładamy, że cywilizacja może narodzić się w przypadkowych (jednostajnie losowo rozłożonych) momentach czasu.

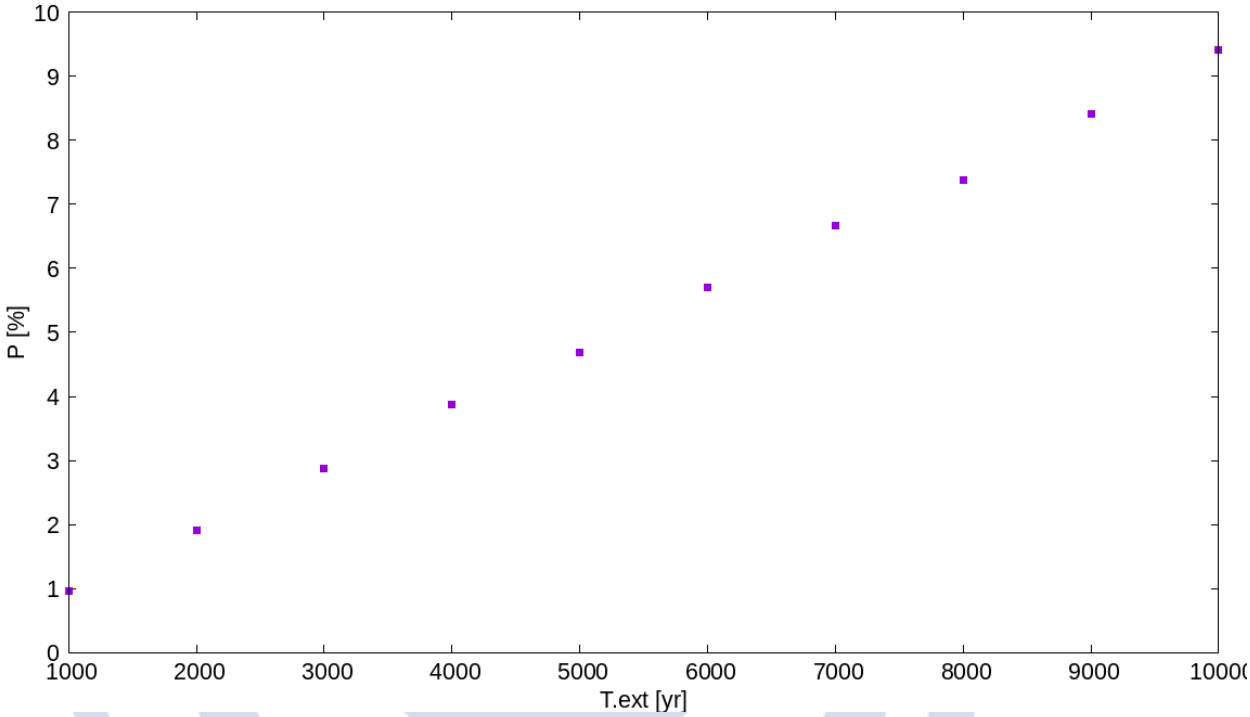
➢ *Algorytm 3: prawdopodobieństwo jednoczesnego istnienia co najmniej dwóch cywilizacji - wersja, w której cywilizacje istnieją przez pewien losowy czas.*

➲ W tym scenariuszu zakładamy, że cywilizacje techniczne zaczęły rodzić się najwcześniej T_{tot} lat temu. Każda z tych cywilizacji istnieje przez pewną niestałą liczbę lat (równomiernie losowo rozłożoną) zawartą pomiędzy minimalnym czasem oraz maksymalnym czasem życia cywilizacji. W czasie T_{tot} mogą narodzić się dokładnie n_{civ} cywilizacje. Zakładamy, że cywilizacja może narodzić się w przypadkowych (jednostajnie losowo rozłożonych) momentach czasu.

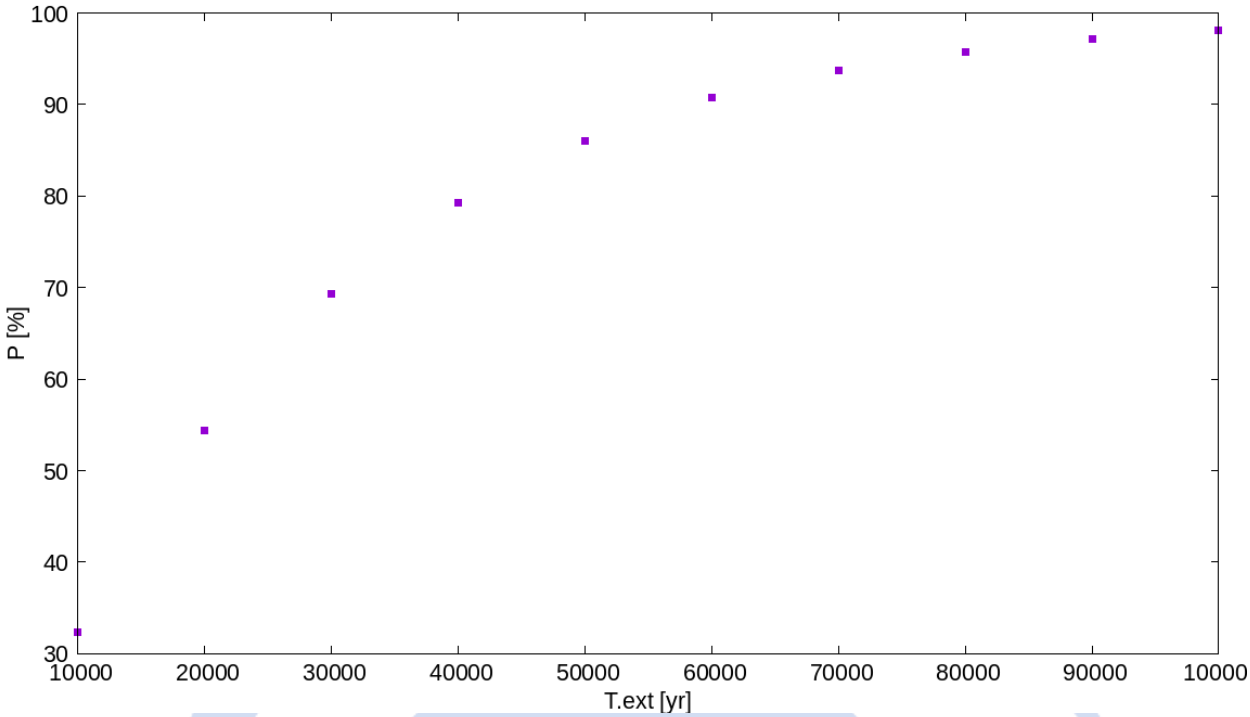
✍ Ćwiczenie 1

Sprawdź za pomocą algorytmu 1, że dla danej liczby cywilizacji prawdopodobieństwo kontaktu między co najmniej dwoma z nich jest tym większe, im dłuższy jest czas życia tych cywilizacji. Załóż, że T_{tot}=1miliard lat, n_{civ}=100 i T_{ext}=1, 2, 3, …, 10 tysięcy lat. Wykreśl, korzystając z arkusza kalkulacyjnego lub innego dostępnego programu pozwalającego na tworzenie wykresów, prawdopodobieństwo kontaktu jako funkcję T_{ext}. Czy jest to funkcja liniowa? Sprawdź swoją hipotezę pod kątem innych wartości parametrów wejściowych, na przykład użyj n_{civ}=200 i T_{ext}=10, 20, 30, …, 100 tysięcy lat.

- Rozwiązanie dla T_{tot}=1 miliard, n_{civ}=100 i T_{ext}=1, 2, 3, …, 10 tysięcy lat:



- Rozwiązanie dla T_{tot}=1 miliard, n_{civ}=100 i T_{ext}=10, 20, 30, …, 100 tysięcy lat:



W tym przypadku prawdopodobieństwo wyraża się następującym wzorem:

$$P = 1 - \left[1 - (n_{civ} - 1)\frac{T_{ext}}{T_{tot}}\right]^{n_{civ}}$$

pod warunkiem, że $(n_{civ} - 1)T_{ext} < T_{tot}$, w przeciwnym wypadku wynosi ono 1. W przypadku, gdy wyrażenie $(n_{civ} - 1)\frac{T_{ext}}{T_{tot}}$ jest dużo mniejsze od 1, można wykorzystać przybliżenie $(1 - x)^a \cong 1 - ax$ słuszne dla $x \ll 1$. Wtedy wzór na prawdopodobieństwo przyjmuje przybliżoną postać:

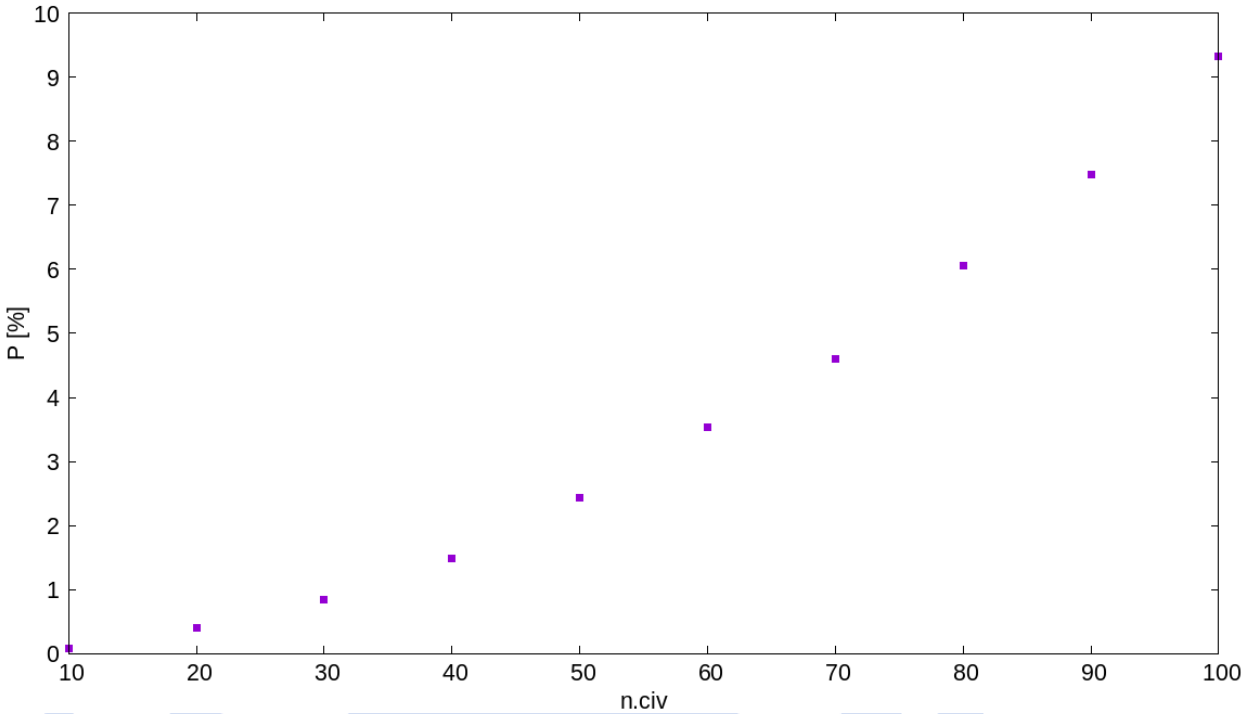
$$P \cong n_{civ}(n_{civ} - 1)\frac{T_{ext}}{T_{tot}}$$

Z powyższego wzoru widzimy zatem, w przypadku, gdy wyrażenie $(n_{civ} - 1)\frac{T_{ext}}{T_{tot}}$ jest dużo mniejsze od 1, wykres funkcji P jako funkcja T_{ext} jest podobny do funkcji liniowej.

✍ Ćwiczenie 2

Sprawdź za pomocą algorytmu 1, że dla danego stałego czasu życia cywilizacji, prawdopodobieństwo kontaktu jest tym większe, im większa jest liczba tych cywilizacji, które wystąpiły we Wszechświecie. Załóż, że T_{tot}=1 miliard lat, T_{ext} =10 tysięcy lat i n_{civ}=10, 20, 30, …, 100. Wykreśl prawdopodobieństwo jako funkcję n_{civ}. Czy jest to funkcja liniowa? Powtórz symulacje z różnymi parametrami wejściowymi.

- Rozwiązanie dla T_{tot}=1 miliard lat, T_{ext} =10 tysięcy lat oraz n_{civ}=10, 20, 30, …,100:



Ogólnie rzecz biorąc, P jako funkcja n_{civ} nie jest funkcją liniową. Jeśli wyrażenie $(n_{civ}-1)\frac{T_{ext}}{T_{tot}}$ jest małe, P jest proporcjonalne do $n_{civ}(n_{civ}-1)$ co wynika ze wzoru przybliżonego na P przedstawionego w uwagach do poprzedniego ćwiczenia. Jest to więc funkcja kwadratowa zmiennej n_{civ}.

✍ Ćwiczenie 3

Sprawdź, czy następująca hipoteza jest prawdziwa czy fałszywa: prawdopodobieństwo kontaktu dwóch cywilizacji jest takie samo, jeśli czas życia cywilizacji będzie 10 razy większy, a łączna liczba cywilizacji 10 razy mniejsza.

Użyj algorytmu 1.

- ❖ Rozwiązanie:

Nie jest to prawda, na przykład dla T_{tot}=1 Gyr, T_{ext}=10 tysięcy lat i n_{civ}=100 mamy P=9,3%, dla T_{tot}=1 miliard lat, T_{ext} =100 tysięcy lat i n_{civ}=10, P=0,9%.

Dla małych wartości $(n_{civ}-1)T_{ext}/T_{tot}$ mamy w przybliżeniu P=$n_{civ}(n_{civ}-1)T_{ext}/T_{tot}$ (zerknij do uwag do ćwiczenia pierwszego). Oznacza to, że jeśli T_{ext} jest 10 razy większy, powinniśmy mieć około 3-4 razy mniej cywilizacji (dokładniej taka liczba n_{civ}, aby było $n_{civ}(n_{civ}-1)$=10) do uzyskania zbliżonej wartości P.

✍ Ćwiczenie 4

Oblicz prawdopodobieństwo kontaktu naszej cywilizacji z obcą, zakładając, że T_{tot}=1 miliard lat, T_{ext}=100000 lat, n_{civ}=500, T_{earth}=1000 lat? Do obliczeń użyj algorytmu 2.

- ❖ Rozwiązanie: P=5%

✍ Ćwiczenie 5

Oblicz prawdopodobieństwo kontaktu naszej z obcą cywilizacją dla stałych wartości T_{tot}, T_{ext}, T_{earth} w funkcji n_{civ}? Czy jest to funkcja liniowa? Sprawdź swoją hipotezę pod kątem różnych wartości parametrów wejściowych. Do obliczeń użyj algorytmu 2.

W tym przypadku prawdopodobieństwo wyraża się następującym wzorem:

$$P = 1 - \left[1 - \frac{T_{earth} + T_{ext}}{T_{tot}}\right]^{n_{civ}}$$

pod warunkiem, że $T_{earth} + T_{ext} < T_{tot}$. W przeciwnym wypadku prawdopodobieństwo to wynosi 1. Dla małej wartości $(T_{earth} + T_{ext})/T_{tot}$ (tj. znacznie mniejszej niż 1.), można wykorzystać przybliżenie $(1-x)^a \cong 1 - ax$ słuszne dla $x \ll 1$. Wtedy wzór na prawdopodobieństwo przyjmuje przybliżoną postać:

$$P \cong n_{civ}\frac{T_{earth} + T_{ext}}{T_{tot}}$$

Z powyższego wzoru wynika zatem, że w przybliżeniu to prawdopodobieństwo jest liniową funkcją n_{civ}.

✍ Ćwiczenie 6

Użyj algorytmu 1, aby znaleźć prawdopodobieństwo kontaktu między cywilizacjami dla T_{tot}=1 miliard, T_{ext}=100 tysięcy lat i n_{civ}=100. Użyj algorytmu 3, aby obliczyć to samo prawdopodobieństwo dla cywilizacji żyjących od 50 do 150 tysięcy lat. W tym przypadku możemy spodziewać się, że średni czas życia cywilizacji wynosi 100 tysięcy lat. Czy prawdopodobieństwo jest takie samo, jak obliczone za pomocą algorytmu 1?

- W obu przypadkach otrzymujemy P=63%.

✍ Ćwiczenie 7

Cywilizacja starożytnego Egiptu powstała około 5000 lat temu, z drugiej strony dinozaury żyją około 100 milionów lat. Oblicz prawdopodobieństwo, że dwie cywilizacje mogą żyć w tym samym czasie, zakładając, że T_{ext} wynosi odpowiednio 5000 i 100 milionów lat, przyjmując różne wartości n_{civ} i T_{tot}. Do obliczeń użyj algorytmu 1.

PODSUMOWANIE ZAJĘĆ ⇒ 10 MINUT

- Omówienie wyników pracy uczniów.
- Warto zauważyć, że prawdopodobieństwo współistnienia w tym samym czasie cywilizacji kosmicznych jest bardzo małe.
- Warto również zauważyć, że czas istnienia cywilizacji może być ograniczona przez globalne katastrofy, uderzenia asteroid itp. Zaawansowane technicznie cywilizacje mogą prawdopodobnie obronić się przed wieloma katastrofami, ale te na początku rozwoju technologicznego mogą nie przetrwać wielu z tych wydarzeń.
- Nawet jeśli dwie lub więcej cywilizacji kosmicznych współistnieją w tym samym czasie, kontaktowanie się ze sobą może nie być możliwe. Mogą istnieć w różnych częściach galaktyki (odległość między tymi cywilizacjami może wynosić nawet sto tysięcy lat świetlnych), a nawet mogą żyć w różnych galaktykach.

UWAGI NAUCZYCIELA PO PRZEPROWADZENIU ZAJĘĆ

Materiał edukacyjny opracowany w ramach projektu FUTURE SPACE (nr umowy: 2019-1-PL01-KA201-065434), współfinansowany przez Unię Europejską w programie ERASMUS+

LICENCJA: CC BY-SA 4.0 https://futurespaceproject.eu/