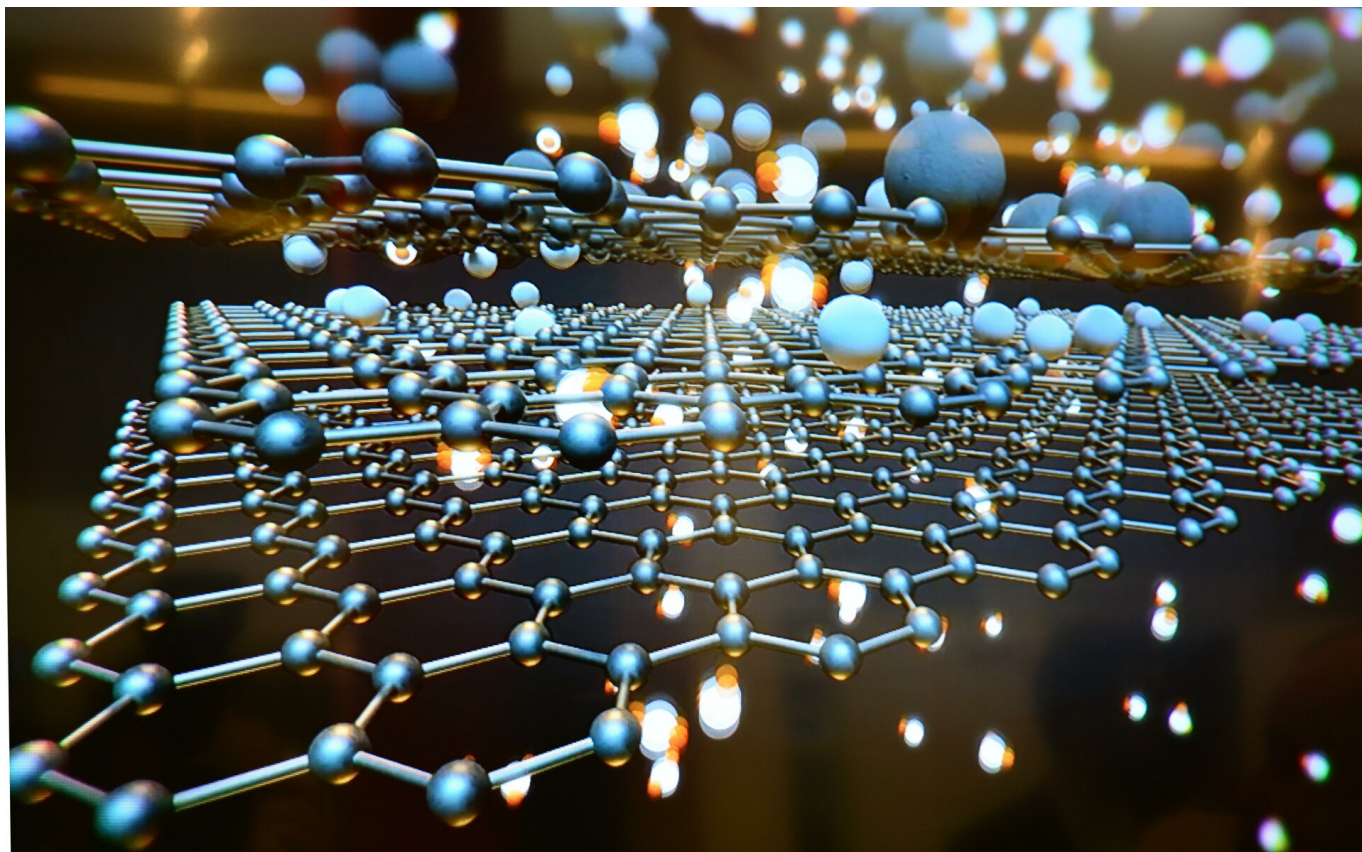
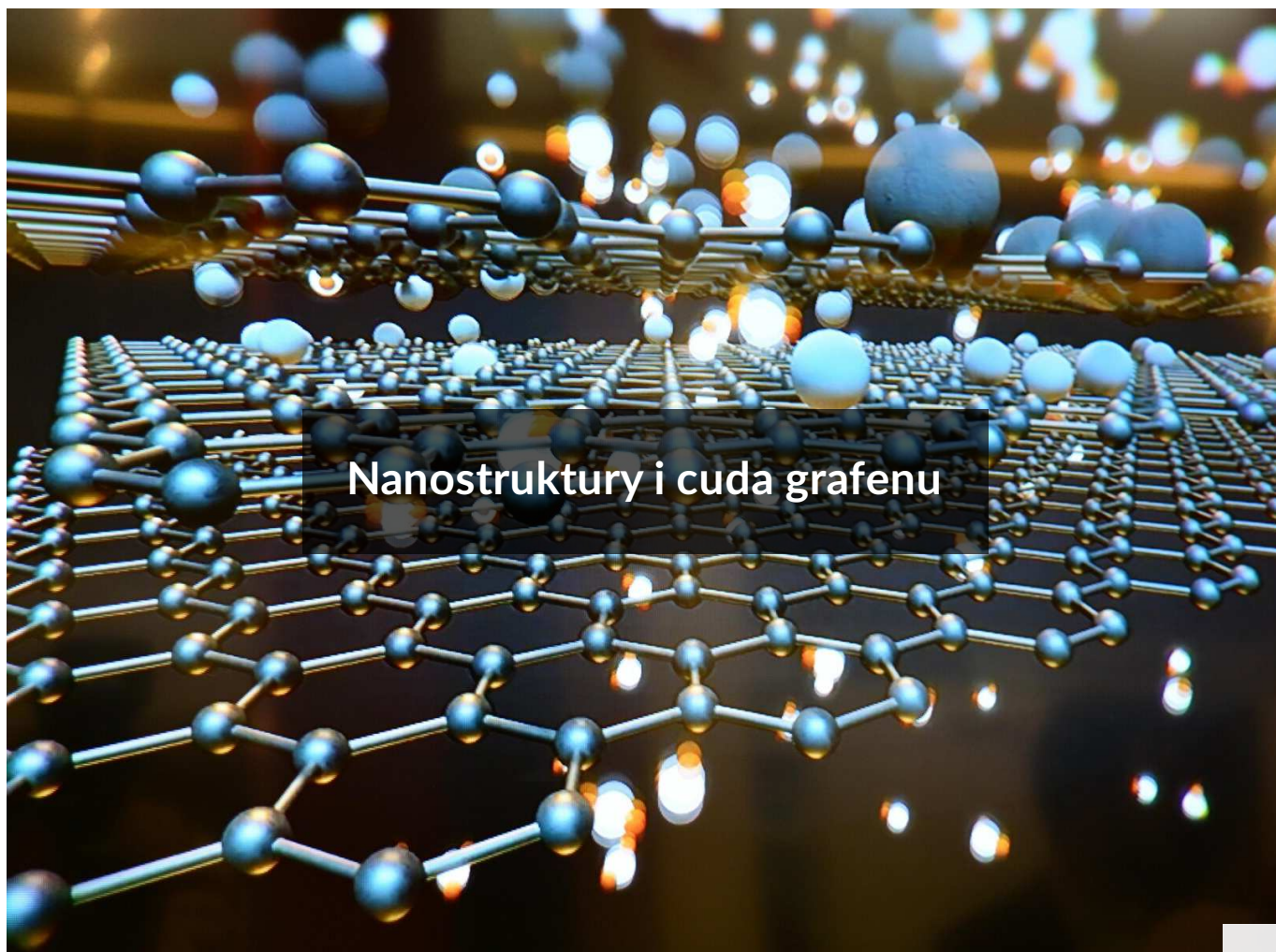




Nanostruktury i cuda grafenu

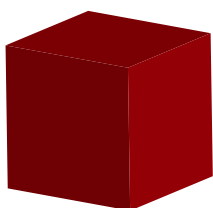
- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film edukacyjny](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Nanostruktury i cuda grafenu

Czy to nie ciekawe?

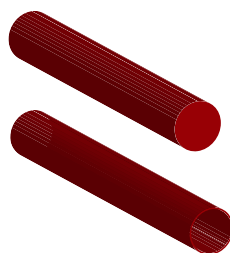
Przedrostek *nano-* stosuje się wszędzie tam, gdzie skalę zmniejszamy miliard razy. Innymi słowy *nano-* oznacza mnożnik 10^{-9} (tzn. jedna miliardowa). W szczególności w fizyce, służy jako przedrostek jednostek fizycznych (nanometr, nanokulomb). A nanostruktura? Rozmiary pojedynczego atomu są rzędu 10^{-10} metra, zatem można przypuszczać, że słowem „nanostruktura” moglibyśmy nazwać zbiór kilkudziesięciu atomów połączonych ze sobą. Czy to dobry trop? Dowiesz się, czytając dalej....



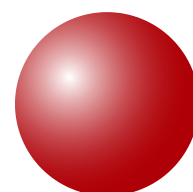
3D
materiał
objętościowy



2D
warstwa



1D
rurka/ drut



0D
sfera

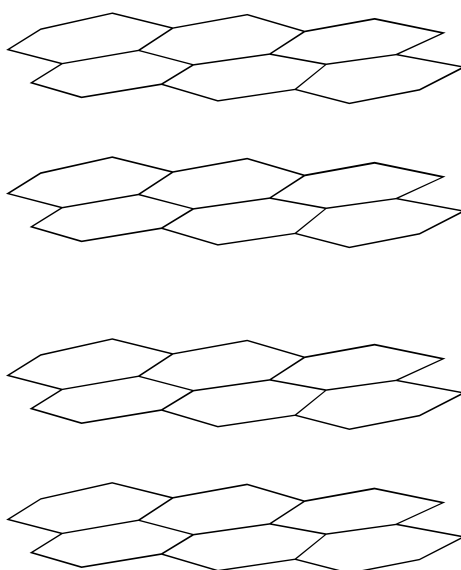
Twoje cele

- dowiesz się, co to są nanostruktury,
- poznasz różnice pomiędzy nanodrutem a nanorurką i pomiędzy grafenem a fullerenem,
- zastosujesz informacje do rozwiązywania problemów rachunkowych,
- poznasz i ocenisz argumenty przemawiające za rozwojem badań nad zastosowaniami nanostruktur.

Przeczytaj

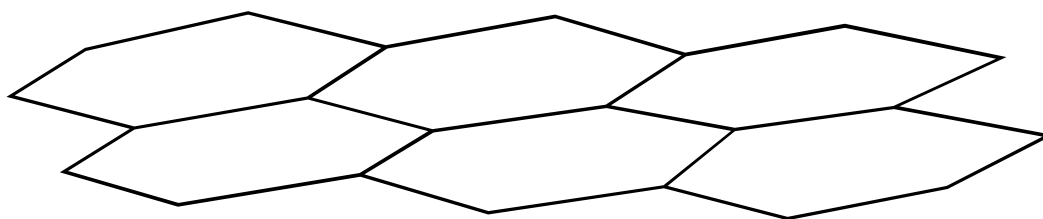
Warto przeczytać

Grafit i diament to węgiel. Grafit miękki, diament twardy jakdiament. Grafit przewodzi prąd elektryczny, diament jest izolatorem. Jak to możliwe? Oba materiały zbudowane z tych samych atomów, a mają diametralnie różne własności. Tajemnica tkwi w ułożeniu tych atomów i ich wiązaniach. W graficie atomy tworzą sześciocząłonowe pierścienie połączone ze sobą wiązaniami kowalencyjnymi tylko w jednej płaszczyźnie. Płaszczyzny te trzymają się słabymi siłami zwanymi wiązaniem [van der Waalsa](#). A w diamencie atomy powiązane są bardzo silnym wiązaniem kowalencyjnym: każdy atom węgla wiąże się z czterema innymi i tworzą podstawową strukturę w kształcie czworościanu foremnego. W strukturze tej nie ma wolnych (niezwiązanych) elektronów. Grafit i diament – są to odmiany alotropowe węgla. Okazuje się , że nie jedyne! Należą do nich jeszcze grafen, [fullereny](#) i nanorurki. Ze względu na to, że ich własności związane są z rozmiarami rzędu miliardowych części metra nazywa się je również **nanostrukturami**.



Rys. 1. Schemat ułożenia warstw atomów w graficie

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.



Rys. 2. Schemat ułożenia atomów w grafenie

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Właśnie z grafitu (Rys. 1.) uzyskano pierwszą bardzo ciekawą nanostrukturę – grafen (Rys. 2.).

GRAFEN, czyli 2D

Grafen zbudowany jest z pojedynczej warstwy atomów węgla. Atomy węgla tworzą w grafenie płaską, dwuwymiarową siatkę, której struktura przypomina plaster miodu. Dlatego o tej nanostrukturze można powiedzieć (w pewnym uproszczeniu), że jest dwuwymiarowa – 2D.

Każdy z nas robił kiedyś takie pojedyncze warstwy grafenu, używając ołówka. Grafit zawarty w ołówku to nic innego, jak wiele warstw grafenu ułożonych jedna na drugiej. Pisząc ołówkiem zostawiamy takie warstwy na kartce papieru.

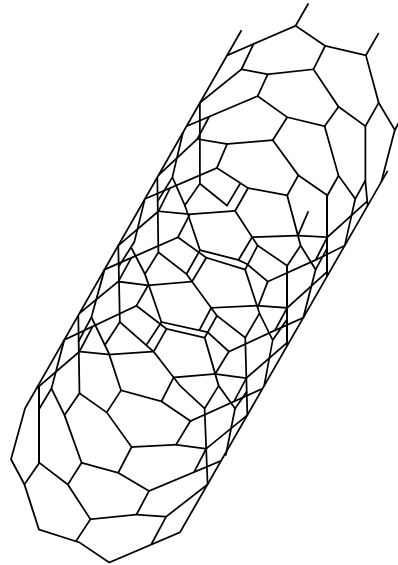
Grafen jest doskonałym przewodnikiem elektrycznym i termicznym. Posiada unikalne właściwości optyczne i mechaniczne. Wszystko to powoduje, że prowadzone są intensywne prace nad zastosowaniem tego niedawno odkrytego dwuwymiarowego materiału w różnych dziedzinach nauki i techniki.

Obecnie nowe i zaawansowane materiały oparte są na nanotechnologii. Nanomateriały to materiały, które mają pojedynczą jednostkę (element budulcowy) o wielkości (w co najmniej jednym wymiarze) około 1-100 nanometrów.

Niezwykle mały rozmiar powoduje wiele interesujących właściwości:

- wytrzymałość mechaniczna (grafen jest 10 razy twardszy niż stal),
- stabilność termiczna i odporność termiczna (grafen można podgrzać do 2000°C),

- wysoka przewodność elektryczna (grafen ma 20 razy lepszą przewodność elektryczną niż miedź),
- właściwości optyczne (unikalne właściwości emisji i absorpcji – grafen ma 97% przezroczystości).



Rys. 3. Zwinięty w nanorurkę grafen

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

NANODRUTY I NANORURKI, czyli 1-D

Nanostruktury jednowymiarowe to takie przestrzenne obiekty, w których dwa z wymiarów przestrzennych obiektu są poniżej 100 nm, a tylko jeden może przyjmować wielkości makroskopowe. Do tej grupy zaliczyć można różnego rodzaju nanorurki i nanodruty. Dla przykładu nanorurkę węglową można wyobrazić sobie jako pojedynczą warstwę grafenu zwiniętą w rulon o średnicy ok. 1 nm (stąd nazwa „nano”- rurka). Istnieją też nanorurki wielościennie tzn. nanorurka włożona w drugą nanorurkę. Nanodruty natomiast mają trochę inną strukturę. Wyglądają bardziej jak walec niż cylinder, czyli w środku są pełne w przeciwieństwie do nanorurek.

Nanostruktury jednowymiarowe można robić z różnych materiałów, np. węgla, krzemu, złota.

Wszystkie opisane powyżej nanostruktury są wykorzystywane do badań nowych zjawisk fizycznych lub chemicznych oraz do budowania nowych nanourządzeń.

W dwóch poniższych tabelach porównano własności tradycyjnego grafitu z grafenem (2D) i nanorurkami (1D), czyli grafenem tworzącym inną strukturę.

Tabela 1. Porównanie własności grafitu i grafenu

Własność	Grafit 3D	Grafen 2D [4]	Co to znaczy?
Mobilność nośnika	10^6 (w umownych jednostkach) [1]	200 000 (w umownych jednostkach)	Jak szybko może poruszać się elektron.
Przewodnictwo cieplne	$46,8 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-2}$ [2]	$500 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-2}$	Grafen ponad 100 razy lepiej przewodzi ciepło, jest lepszym przewodnikiem.
Wytrzymałość na rozciąganie	4,8 MPa [3]	130 GPa	Grafen jest 27 tysięcy razy bardziej odporny na rozciąganie.
Sprężystość	4,19 GPa [3]	1TPa	Grafen jest 250 razy bardziej sztywny niż grafit.

[1] <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0712/0712.4020.pdf>

[2] Michael Stefanescu, Advances in the Science and Engineering of Casting Solidification: An MPMD Symposium Honoring Doru

[3] <http://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=516>

[4] <https://en.wikipedia.org/wiki/Graphene>

Tabela 2. Porównanie własności grafitu i nanorurek

Własność	Grafit 3D	Węglowa nanorurka 1D	Co to znaczy?
Mobilność nośnika	10^6 (w umownych jednostkach) [1]	100 000 (w umownych jednostkach) [5]	Jak szybko może poruszać się elektron
Przewodnictwo cieplne	$46,8 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-2}$ [2]	$3500 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-2}$ [4]	Nanorurka ponad 70 razy lepiej przewodzi ciepło, jest lepszym przewodnikiem.
Wytrzymałość na rozciąganie	4,8 MPa [3]	150 GPa [4]	Nanorurka jest 30 tysięcy razy bardziej odporna na rozciąganie.
Sprężystość	4,19 GPa [3]	0,2- 5 TPa [4]	Nanorurka jest 250 razy bardziej sztywna niż grafit.

[1] <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0712/0712.4020.pdf>

[2] Michael Stefanescu, Advances in the Science and Engineering of Casting Solidification: An MPMD Symposium Honoring Doru

[3] <http://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=516>

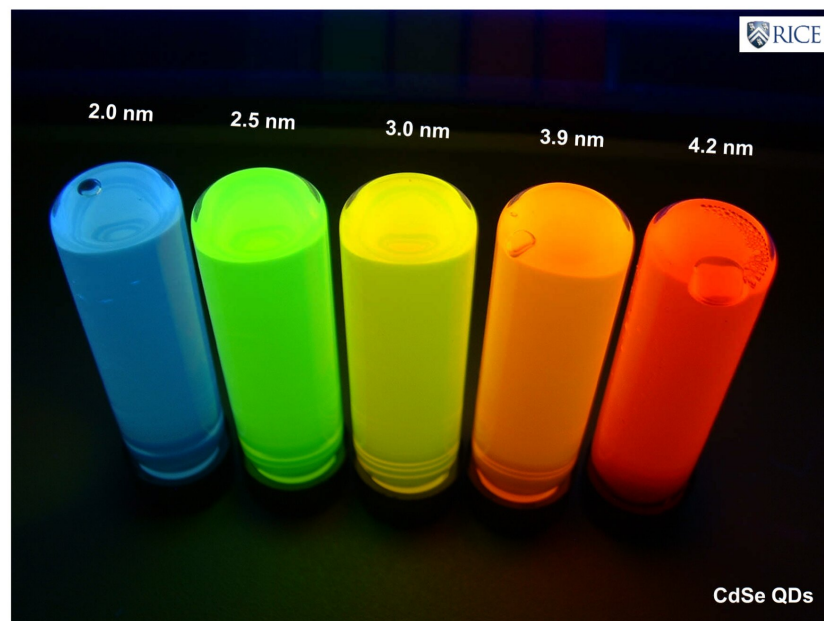
[4] https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_nanotube#Strength

[5] Du1rkop T., Getty S. A., Cobas E., Fuhrer M. S., Extraordinary Mobility in Semiconducting Carbon Nanotubes, American Chemical Society, 2004, Vol. 4, No. 1, p. 35-39

KROPKI KWANTOWE – czyli 0-D

Nanostruktury zerowymiarowe (kropki kwantowe) – wszystkie wymiary przestrzenne takiej struktury są poniżej 100 nm, a często przyjmuje się, że poniżej 10 nm. Jednym z ciekawszych przykładów jest fullerene, który zawiera 60 atomów węgla (tzw. C_{60}) ma kształt dwudziestościanu ściętego, czyli wygląda dokładnie tak jak piłka futbolowa. Fullereny mogą zawierać od 28 do 1500 atomów węgla tworzących zamkniętą regularną strukturę pustą w środku. Innym przykładem są tzw. koloidalne kropki kwantowe, które również przypominają kształtem piłkę, z tą jednak różnicą, że w środku są pełne. Jedną z ciekawych właściwości tych kropek jest to, że w zależności tylko od ich rozmiarów potrafią emitować światło w różnych kolorach. Ponadto naukowcy potrafią budować jednowymiarowe struktury dosłownie atom po atomie.

Fotografia przedstawia kropki kwantowe z selenku kadmu (Fot. 1.). Każda z nich ma inne rozmiary i emituje inną barwę światła.



Fot. 1. Kropki kwantowe selenku kadmu

Źródło: Michael S. Wong, dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CdSe_Quantum_Dots.jpg [dostęp 24.04.2022], licencja: CC BY-SA 3.0.

ZASTOSOWANIA NANOSTRUKTUR

Nanomateriały są strukturami, które ze względu na swoje unikatowe właściwości (np. elektryczne, optyczne, mechaniczne) rozbudzają wyobraźnię nie tylko naukowców, ale również przemysłu. Wytwarzanie nowych materiałów otwiera nowe możliwości zastosowań w różnych dziedzinach życia.

W ostatnim czasie, używając grafenu udało się skonstruować tranzystor pracujący z rekordową szybkością 300 GHz. Dla porównania, procesory, które są w naszych komputerach pracują z szybkością co najwyżej kilku GHz.

Ponadto, grafen może być używany jako super wytrzymały papier. Papier zrobiony z grafenu jest kilkanaście razy bardziej wytrzymały od stali i dwa razy od niej twardszy, mimo iż wygląda jak zwykły czarny papier.

Bardzo dużym zainteresowaniem cieszą się nanostruktury w medycynie. Od wielu lat prowadzone są badania nad nowymi metodami leczenia z wykorzystaniem nanostruktur, które mogłyby np. dostarczać leki bezpośrednio do chorej komórki. Transport miałby się odbywać poprzez zamknięcie leku w nanokapsułce węglowej (wytworzonej np. z fullereny lub nanorurki węglowej), której środek miałby być wypełniony lekiem. Jeżeli środek wypełniony jest materiałem ferromagnetycznym, taka nanostruktura staje się małym magnesem zapakowanym w izolujące atomy węgla. Taka nanokapsułka może być przesuwana przy pomocy zewnętrznego pola magnetycznego.

Już od jakiegoś czasu [nanotechnologia](#) stosowana jest w kosmetyce, pozwalając np. na uzyskanie różnego rodzaju kremów, które dopasowują się do skóry na poziomie molekularnym. W sklepach można dziś kupić kremy ochronne, przeciwsłoneczne, filtry UV i emulsje antybakteryjne. Wszystkie te specyfiki zawierają różnego rodzaju nanostruktury poprawiające ich właściwości.

Słowniczek

Nanonauka

badanie zjawisk i manipulacja elementami materii na poziomie atomowym, molekularnym i makromolekularnym, gdzie właściwości materii różnią się w istotny sposób od właściwości w większych skalach wymiarowych.

Nanotechnologia

projektowanie i wytwarzanie struktur, których rozmiary są poniżej 100 nm, i które posiadają nowe własności wynikające z nanorozmiaru.

Wiązanie van der Waalsa

(ang. *van der Waals bindings*) oddziaływania van der Waalsa to oddziaływania między dipolem trwałym a indukowanym (wzbudzonym). W cząsteczkach niemających trwałego

momentu dipolowego może on być wzbudzany przez cząsteczki z trwałym momentem; następnie taki wzbudzony dipol i trwały dipol oddziałują na siebie podobnie jak dwa trwałe dipole, lecz znacznie słabiej.

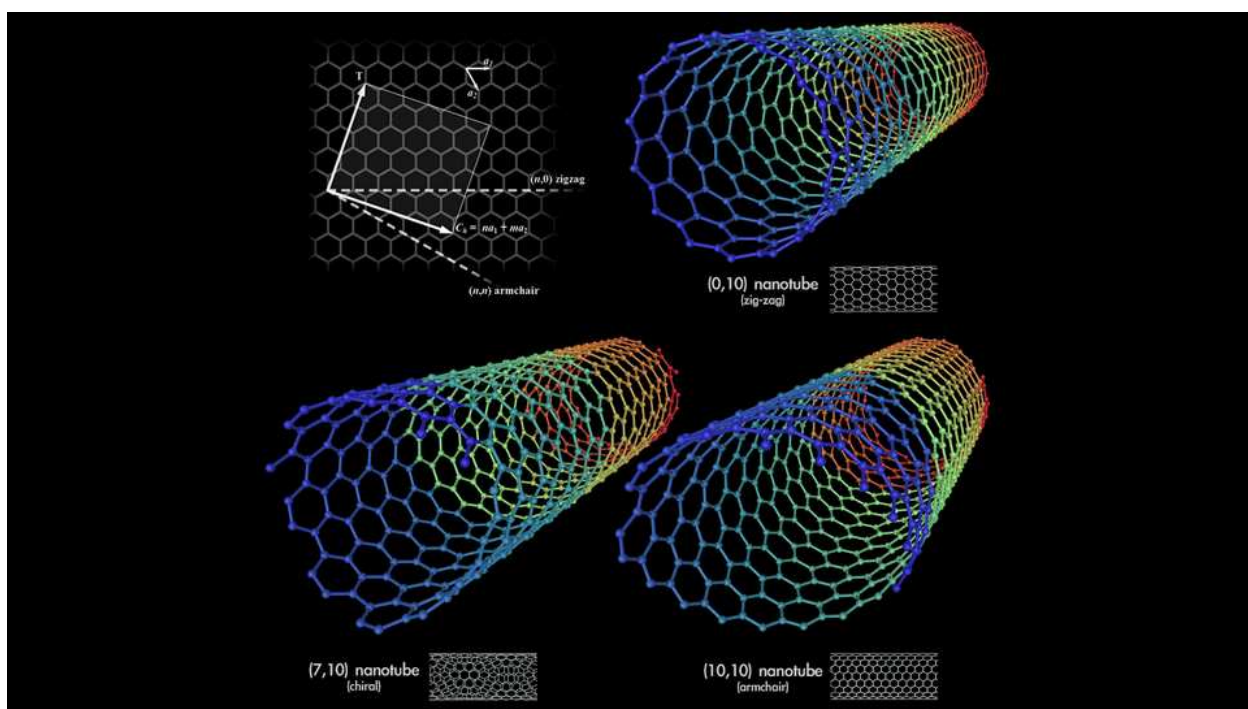
Fullereny

(ang. *fullerens*) cząsteczki składające się z parzystej liczby atomów węgla, tworzące zamkniętą, pustą w środku bryłę geometryczną. Cząsteczki fulerenów zawierają od 28 do około 1500 atomów węgla.

Film edukacyjny

Nanostruktury i cuda grafenu

Obejrzyj film, w którym ekspert w dziedzinie nanostruktur opowie o swoich badaniach. Znajdziesz odpowiedzi na ważne pytania dotyczące nanostruktur i grafenu, zadane ekspertowi w tej dziedzinie.



Film dostępny pod adresem [/preview/resource/R1U0pQFS6nM0P](https://preview/resource/R1U0pQFS6nM0P)

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Film stanowi relację eksperta w dziedzinie nanostruktur ze swoich badań. Zapoznaj się z audiodeskrypcją filmu.

Polecenie 1

Czy pojedyncza warstwa atomów węgla jest widoczna gołym okiem i jakie korzyści niesie ze sobą praca nad tym materiałem?

Polecenie 2

Czy można łączyć ze sobą różne nanomateriały i po co to robić?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Przyporządkuj przedrostki do odpowiadających im liczb w zapisie wykładniczym

nano-	10^{-3}
femto-	10^{-15}
mikro-	10^{-9}
mili-	10^{-6}
piko-	10^{-12}

Ćwiczenie 2



Nagrodę Nobla za odkrycie grafenu otrzymali w / / roku fizycy / / Andriej Gejm i jego doktorant Konstantin Nowosiółow. Pracowali oni na / .

Ćwiczenie 3



Oceń prawdziwość poniższych stwierdzeń:

1. Nanorurki węglowe mogą mieć zaimplantowane w środku atomy innego pierwiastka

P ☐ / F ☐

2. Nanostruktury mogą być tworzone z materiałów innych niż węgiel

P ☐ / F ☐

3. Grafen jest bardzo złym przewodnikiem ciepła

P ☐ / F ☐

Ćwiczenie 4

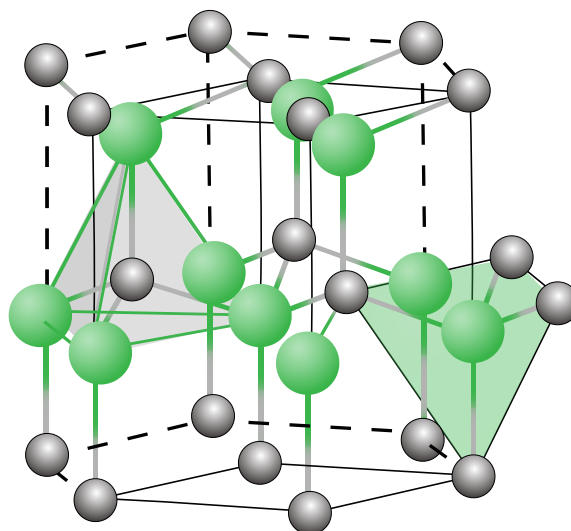


Grafen jest / / przewodnikiem

elektryczności. Jego wytrzymałość mechaniczna jest dużo /

niż stali. Jest / przewodnikiem ciepła.

Ćwiczenie 5



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ilustracja przedstawia fragment sieci krystalicznej selenku kadmu – materiału, który służy do wytwarzania kropek kwantowych. Komórka elementarna tego monokryształu jest:

- ☐ prostopadłościanem o podstawie sześciokąta foremnego
- ☐ sześcianiem
- ☐ prostopadłościanem
- ☐ czworościanem foremnym

Ćwiczenie 6



Warstwę atomów węgla, która tworzy siatkę „plastra miodu” nazywamy grafenem. Taka pojedyncza warstwa pochłania około 2,3% padającego na nią światła. Ile procent światła zostanie pochłonięte po przejściu przez 4 takie warstwy?

Odp. %

Ćwiczenie 7



Jeśli grafen ma 20 razy większą przewodność elektryczną niż miedź, to oznacza, że natężenie prądu płynącego przez przewód z grafenu o tych samych wymiarach co miedź będzie:

- ☐ 20 razy większe
- ☐ 20^2 razy większe
- ☐ Nie można określić, bo nie ma podanego napięcia
- ☐ 20 razy mniejsze

Ćwiczenie 8



Dlaczego diament jest izolatorem a grafit przewodnikiem prądu elektrycznego?

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Anna Kaczorowska
Przedmiot:	fizyka
Temat zajęć:	Zastosowania grafenu
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony

Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników. Zakres podstawowy Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach; 10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach; 11) opisuje przebieg doświadczenia lub pokazu; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość. Treść lekcji wykracza poza materiał przewidziany w podstawie programowej dla zakresu podstawowego i rozszerzonego
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. sprawdzi zastosowania grafenu - jedno bardzo szczegółowo, pozostałe bardziej ogólnie, 2. dokona syntezy własności grafenu i jego zastosowań opracowując materiał na lekcję, 3. oceni poprawność informacji zawartych w prezentacjach pozostałych grup, 4. pogłębi relacje społeczne z członkami swojej grupy.
Strategie nauczania:	strategia projektu
Metody nauczania:	pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca w grupach
Środki dydaktyczne:	komputer i rzutnik multimedialny
Materiały pomocnicze:	e-materiał „Nanostruktury i cuda grafenu”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Metoda projektu zakłada, że tematowi poświęcona jest więcej niż jedna lekcja (przedstawienie tematu projektu, podział na grupy, przydzielenie zadań, zasady komunikacji zostało ustalone miesiąc wcześniej). Uczniowie podzieleni na 5 grup mieli za zadanie przygotować w oparciu o dostarczoną przez nauczyciela i zdobytą samodzielnie literaturę jedno zastosowanie grafenu. Każda z grup opracowała inne zastosowanie. Uczniowie mogą korzystać z informacji zawartych w e-materiale oraz w filmie edukacyjnym. Jako wprowadzenie dla wszystkich uczniów, nauczyciel omawia ogólne własności grafenu (3 minuty).	
Faza realizacyjna:	
Każdy z zespołów przedstawia w postaci prezentacji multimedialnej wynik swojej pracy - zastosowanie grafenu. Powinny znaleźć się zastosowania: w medycynie, w elektronice, produkcji kosmetyków, produkcji leków, oczyszczaniu cieczy i inne. Nauczyciel powinien śledzić prezentacje uczniów i je uzupełniać koniecznymi pytaniami i wyjaśnieniami. Prezentacja pojedynczego zespołu nie powinna trwać dłużej niż 5 minut po to, żeby uczniowie z innych grup mogli zrobić notatki i zadawać pytania.	
Faza podsumowująca:	

Nauczyciel ocenia pracę zespołów i wystawia stopnie, zgodnie z kryteriami ocen przedstawionymi wcześniej.

Praca domowa:

Praca pisemna w zeszycie: Szczegółowa notatka dotycząca 4 wybranych zastosowań grafenu.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania
danego
multimedium**

Wywiad z ekspertem może być punktem wyjścia do lekcji prowadzonej według innej strategii. Można po jego wysłuchaniu rozpocząć lekcję problemową na temat wagi badań naukowych i konieczności finansowania nauki.