

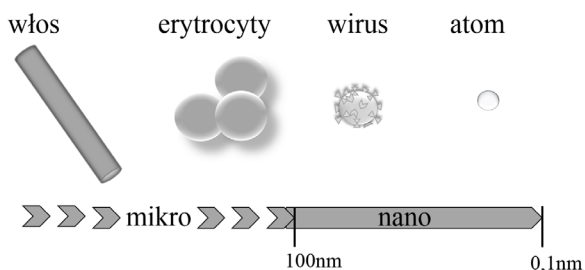
KATARZYNA STACHOWICZ

Zakład Neurobiologii
Instytut Farmakologii im. Jerzego Maja PAN
Smętna 12, 31-343 Kraków
E-mail: stachow@if-pan.krakow.pl

MAŁE A CIESZY – CZYLI O ZASTOSOWANIU NANOCZĄSTECZEK W MEDYCYNIE I W PRZEMYSŁE

WSTĘP

Za nanocząsteczkę przyjmuje się materię nie przekraczającą swoim rozmiarem 100 nanometrów (nm). W skali nanometrycznej lokują się więc wszystkie cząsteczki pomiędzy 100 a 0,1 nm. Zalicza się do nich zarówno wirusy (w zakresie 100-0,1nm), jak również cząsteczki kwasów nukleinowych (ok. 2,5 nm) i pojedyncze atomy (ok. 0,1 nm) (Ryc. 1), (SZCZEPANIAK-LALEWICZ 2011).



Ryc. 1. Porównanie nanoskali do mikroskali na wybranych przykładach.

Istnieje kilka klasyfikacji dzielących nanocząsteczki ze względu na czynnik różnicujący. Ze względu na pochodzenie wyróżniamy naturalne nanocząsteczki biosfery, takie jak: kwasy nukleinowe, wirusy czy pojedyncze atomy, oraz na sztucznie wytworzone przez człowieka. Nanocząsteczki stworzone przez człowieka to nanomateriały takie jak: nanozłoto, nanosrebro czy grafen. Kolejna klasyfikacja rozróżnia nanocząsteczki ze względu na rozmiar względem osi xyz. Nanocząsteczka, której wszystkie trzy wymiary

mieszczą się w skali nano, czyli cząsteczka zerowymiarowa, to kropka kwantowa. Cząsteczka jednowymiarowa posiada rozmiar nano w dwóch kierunkach, są to tzw. druty kwantowe. Do dwuwymiarowych nanocząsteczek należą warstwy kwantowe, które posiadają rozmiar nano w jednym kierunku. Istnieją jeszcze nanomateriały trójwymiarowe i są to polikryształy. Nanocząsteczki dzielą się również ze względu na skład chemiczny: na cząsteczki organiczne i nieorganiczne (SZCZEPANIAK-LALEWICZ 2011, RZESZUTEK i współaut. 2014, DEBEK i współaut. 2017).

Nanomateriały uzyskuje się na dwa sposoby: poprzez rozdrobnienie materiału wykracającego parametrami poza skalę nano oraz poprzez łączenie mniejszych cząsteczek, np. atomów, w większe struktury nanometryczne. Rozdrabnianie jest to technika „Top-down”, zaś budowa większych struktur uzyskanych na skutek łączenia atomów jest to technika „Bottom-up”. Technika „Top-down” łączy się z niższymi kosztami, jednak uzyskane drobiny nie są jednorodne pod względem wielkości. Różna wielkość ziaren generuje modyfikacje właściwości otrzymanych nanocząsteczek. Technika „Bottom-up” pozwala na uzyskanie powtarzalnych cząsteczek o określonych właściwościach. Stosując metody syntezy chemicznej wywołuje się kontrolowaną agregację atomów do nanocząstek. Proces ten jest precyzyjnie przerywany, przez co uzyskane drobiny charakteryzują się powtarzalnością kształtu i rozmiaru, a przez to posiadają takie same właściwości (SZCZEPANIAK-LALEWICZ 2011, RUNOWSKI 2014).

Nanocząsteczki wymykają się prawom fizyki klasycznej, podlegając prawom fizyki kwantowej i dlatego nanomateriały posiadają charakterystyczne właściwości fizyczne nie występujące w świecie mikrocząstek. Sztandarowym przykładem cząsteczki posiadającej zmienione właściwości fizyczne po rozdrobnieniu do wielkości nano jest cząsteczka nanozłota, która w zależności od wielkości drobiny pochłania inny rodzaj energii, przez co można zaobserwować, iż drobiny posiadają inny kolor niż oczekiwany. Najmniejsze cząsteczki nanozłota są czerwone, zaś największe niebieskie (SZCZEPANIAK-LALEWICZ 2011, RUNOWSKI 2014). Zmienione właściwości optyczne nanocząstek wynikają ze zmienionych parametrów ich powierzchni, a precyzując, za zmianę parametrów optycznych nanozłota odpowiadają plazmony. Oscylujące elektrony tworzą chmurę złożoną z kwazicząstek, czyli plazmonów. Plazmon jest więc kwantem oscylacji plazmy. Plazmony, znajdujące się na powierzchni metalu, posiadają zdolność pochłaniania światła w określonym zakresie. W zależności od rodzaju i wielkości cząsteczki, na jej powierzchni znajduje się inna gęstość elektronów, w konsekwencji mamy do czynienia z inną częstotliwością rezonansową plazmonów – widzimy więc inny kolor. Bardzo pomocny przy zrozumieniu omawianego zagadnienia jest wzór:

$$\omega_p^2 = \frac{Ne^2}{m\epsilon_0}$$

gdzie ω_p^2 jest to częstość plazmowa (w dosłownym tłumaczeniu: częstota rezonansowa przestrzeni plazmonu), N jest to gęstość liczbowa elektronów ($1/m^3$), e to ładunek elementarny, m to masa elektronu, a ϵ_0 to przenikalność elektryczna (COFFEY 2017a).

Oczywiście nie tylko wielkość cząsteczki ma wpływ na jej właściwości optyczne, istotny jest również jej kształt. Ta sama nanocząsteczka złota emituje inny kolor w zależności od tego, czy jest sferą czy kryształem, gdyż światło dociera do różnych zakamarków i krzywizn powierzchni z różnym natężeniem, stąd ostatecznie zaobserwujemy inny efekt kolorystyczny (COFFEY 2017a). Powyższe właściwości nanostruktur znalazły zastosowanie m.in. w elektronice. W kolejnych rozdziałach artykułu zostanie przedstawione praktyczne wykorzystanie omówionego zjawiska.

Właściwości magnetyczne, to kolejna pożądana cecha nanomateriałów. Nanomateriały wykonane z ferromagnetyków charakteryzują się zmienionymi właściwościami magnetycznymi w stosunku do cząstek światła makro. Wynika to z faktu, iż im mniejsza cząsteczka, tym mniej domen magnetycznych znajduje się na jej powierzchni lub wręcz jest tam tylko jedna domena (Ryc. 2).

Domena magnetyczna jest obszarem namagnesowanym danego ferromagnetyku, który posiada uporządkowane momenty magnetyczne (strzałki na Ryc. 2) w stosunku do zewnętrznego pola magnetycznego (ma więc tak samo zorientowane wektory w domenie). Pod wpływem pola magnetycznego momenty magnetyczne domen mogą ulegać uporządkowaniu powodując „zlewianie się” domen (OWENS 2015). Im materiał jest bardziej uporządkowany, tym łatwiej można go kontrolować, stąd łatwiej można wykorzystać jego właściwości. Posiadając nanocząsteczki charakteryzujące się występowaniem pojedynczych domen magnetycznych, można nimi precyzyjnie manipulować w polu, co znalazło zastosowanie m.in. w medycynie.

Kolejnymi pożądanymi i cennymi właściwościami nanomateriałów są: przewodnictwo elektryczne i cieplne, właściwości hydrofobowe, ale również hydrofilowość, oraz reaktywność chemiczna.

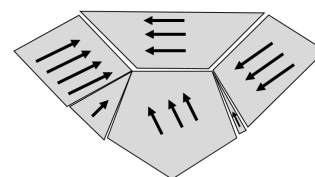
Przewodnictwo elektryczne i cieplne należą do bardzo pożądaných właściwości nanostruktur. Nanomateriały charakteryzujące się wysokim przewodnictwem elektrycznym, jak grafen, oraz posiadające kontrolowane właściwości cieplne znalazły zastosowanie w przemyśle; stale odkrywane są nowe możliwości ich zastosowania. Wyselekcjonowano nanomateriały przewodzące prąd wydajnie, nie powodujące tak dużych strat energii jak występujące w tradycyjnych materiałach. Poprawa przewodnictwa elektrycznego nanomateriałów wynika z charakterystyki przepływu elektronów w materiale przewodzącym. Udowodniono, iż elektrony w grafenie zachowują się jak strumień wody, przenosząc energię z ogromną szybkością bez strat, co wynika ze zmniejszonych oporów w trakcie ich kolizji (MÜLLER i współaut. 2009, KU i współaut. 2020). Odkrycie to wzbudziło nadzieję w świecie fizyki i ukazało nowe możliwości aplikacyjne i wdrożeniowe.

Hydrofobowe właściwości nanomateriałów wynikają z faktu, iż powierzchnia kontaktu nanomateriału z przysłowiową „kroplą wody” ulega podzieleniu na ogromną liczbę

jedna domena
magnetyczna



wiele domen
magnetycznych



Ryc. 2. Rycina poglądowa przedstawiająca nanocząsteczkę z jedną domeną magnetyczną, oraz kryształ z wieloma domenami magnetycznymi.

„nano-powierzchni”, przez co zmieniają się siły naprężenia na styku kropla/materiał – siły koherentne kropli wody przewyższają siły oddziałujące pomiędzy kroplą a materiałem, stąd kropla wody nie wsiąka w materiał, lecz utrzymuje się na jego powierzchni (COFFEY 2017b, STACHOWICZ 2019). Powyższe właściwości nanomateriałów znalazły szerokie zastosowanie w przemyśle.

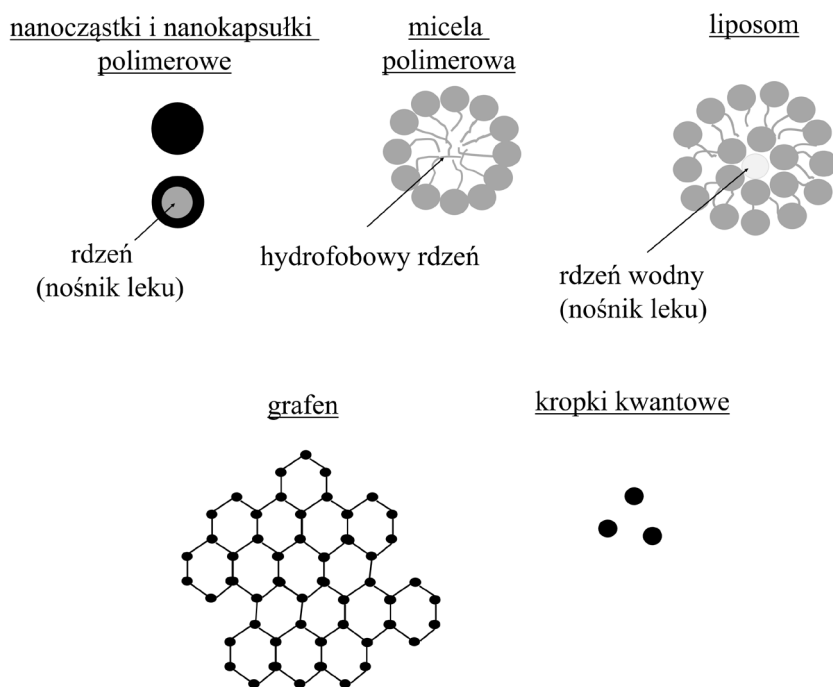
Nanocząsteczki są bardzo reaktywne chemicznie, co wynika paradoksalnie z dużej powierzchni kontaktu, powstałej na skutek wzrostu powierzchni granic pomiędzy nanoziarnami (FOLTYNOWICZ i współaut. 2017). Równocześnie zaobserwowano, że im mniejsza jest cząsteczka, tym więcej atomów znajduje się na jej powierzchni, co wymiennie przyczynia się do wzrostu jej reaktywności (FOLTYNOWICZ i współaut. 2017).

WYKORZYSTANIE NANOCZĄSTECZEK W MEDYCYNIE

W medycynie nanocząsteczki wykorzystuje się zarówno w postaci prostych cząsteczek, jak również jako złożone kompozyty (nanoobiekty) (Ryc. 3). Przy czym stosuje się je zarówno w terapii, jak i w diagnostyce medycznej.

Do nanomateriałów stosowanych w medycynie należą więc: kropki kwantowe, proste nanocząsteczki, nanokapsułki mieszczące w swoim wnętrzu zarówno cząsteczki leku, jak i znaczniki fluorescencyjne, ale również materiał magnetyczny. Bardziej złożo-

ne kompozyty nanometryczne, naśladujące naturalne składniki komórkowe, to micelle polimerowe i liposomy (RZESZUTEK i współaut. 2014, DĘBEK i współaut. 2017, SZYMANOWSKI i współaut. 2020). Zastosowanie znalazły również nanomateriały takie jak grafen, którego możliwości praktycznego wykorzystania poszukiwane są w laboratoriach na świecie. Ze względu na charakterystyczne cechy i właściwości grafenu zostanie mu poświęcony osobny rozdział niniejszej pracy. Lek lub znacznik dostarczony do organizmu w postaci nanocząstki lub nanoobiektu podlega metabolizmowi, tak jak każdy wielko-cząsteczkowy składnik. Dlatego dostarczając do organizmu nanocząsteczki bierze się pod uwagę zarówno ich farmakokinetykę, jak również farmakodynamikę – nanocząsteczka podlega m.in. absorpcji, biodystrybucji, klirensowi. Małe nanocząsteczki nie przekraczające 10 nm podlegają klirensowi nerkowemu (współczynnik oczyszczania osocza krwi), zaś większe są usuwane przez wątrobę oraz system fagocytarny (BOBO i współaut. 2016). Nanocząsteczka, po dostaniu się do organizmu, może skupiać wokół siebie również cząsteczki białek, powodując ich agregację. W celu uniknięcia powstawania agregatów białkowych, a tym samym ograniczenia efektywności nanocząsteczek, powleka się je m.in. warstwą glikolu polietylenowego (PEG) (BOBO i współaut. 2016). Nanoobiekty polimerowe można wykorzystać przez sprzężenie z lekiem w celu zwiększenia okresu półtrwania i biodostępności leku, lub po-



Ryc. 3. Przykładowe nanomateriały wykorzystywane w medycynie.

wlec lek biodegradowalnym polimerem, który będzie uwalniał terapeutyk w kontrolowany sposób (BOBO i współaut. 2016). Liczby bronią się same, stąd spektakularna zmiana okresu półtrwania stosowanego w klinice chemioterapeutyku z 3 godzin do 80-ciu, jest doskonałym przykładem efektywności nanotechnologii (BOBO i współaut. 2016). Wykorzystanie nanomicel polimerowych i liposomów pozwala na dostarczanie leków do pożądaných kompartmentów komórkowych z wykorzystaniem ich predyspozycji polarnych (BOBO i współaut. 2016). Nanocząsteczki

pomagają nie tylko kontrolować szybkość uwalnianego terapeutyku, ale, ze względu na wielkość, zwiększają jego biodostępność (BŁASZCZAK-ŚWIĄTKIEWICZ i współaut. 2013, BOBO i współaut. 2016).

Możliwości wykorzystania nanocząsteczek w medycynie są bardzo duże, poczynając od diagnostyki po terapię, zarówno nowotworową, jak i terapię schorzeń psychicznych, czy stomatologię. Tabela 1 prezentuje kilka wybranych możliwości aplikacyjnych nanoobjektów (BOBO i współaut. 2016).

Tabela 1. Wykorzystanie nanocząsteczek w medycynie. (A) klasyfikacja na podstawie budowy cząsteczek, (B) klasyfikacja na podstawie zaaplikowanego zjawiska fizycznego (wybrane przykłady).

A Wykorzystanie nanocząsteczek w medycynie – klasyfikacja na podstawie budowy cząsteczki		
Nanocząsteczka/nanomateriał	Zastosowanie	Literatura
Kropki kwantowe	-diagnostyka nowotworowa	RZESZUTEK i współaut. 2014
	-kontrast w tomografii komputerowej	SZYMANOWSKI i współaut. 2020
	-znakowanie DNA	
	-szacowanie stopnia zatrucia organizmu	
Nanocząstki i nanokapsułki	-terapia nowotworowa	SZYMANOWSKI i współaut. 2020
	-stomatologia	DĘBEK i współaut. 2017
	-schorzenia o podłożu immunologicznym i z autoagresji	BOBO i współaut. 2016
	-zapalenie wątroby typu B i C	
Micele polimerowe i liposomy	-terapia nowotworowa	SZYMANOWSKI i współaut. 2020
	-psychostymulanty	BOBO i współaut. 2016
	-schizofrenia	
	-hyperlipidemia	
	-immunosupresanty	
B Wykorzystanie nanocząsteczek w medycynie – klasyfikacja na podstawie zaaplikowanego zjawiska fizycznego		
Zjawisko fizyczne	Zastosowanie	Literatura
Rezonans plazmonów	-wspomaganie radioterapii	RZESZUTEK i współaut. 2014
	-diagnostyka nowotworowa	RZESZUTEK i współaut. 2014
Właściwości magnetyczne	-rezonans magnetyczny	
Przewodnictwo elektryczne	-terapia nowotworowa	RZESZUTEK i współaut. 2014
Przewodnictwo cieplne	-terapia nowotworowa	RZESZUTEK i współaut. 2014
Właściwości hydrofobowe/hydrofilne	-terapia nowotworowa	SZYMANOWSKI i współaut. 2020
	-psychostymulanty	BOBO i współaut. 2016
	-schizofrenia	
	-hyperlipidemia	
	-immunosupresanty	

W literaturze poświęconej nanoobiektom stosowanym w medycynie, uwagę zwraca fakt ich szerokiego zastosowania w terapii nowotworowej (RZESZUTEK i współaut. 2014, BOBO i współaut. 2016, SZYMANOWSKI i współaut. 2020). Jest to wynik nie tylko efektywniejszego dostarczenia leku do zmiany nowotworowej przez nanocząsteczki lub immunokoniugaty wynikający z ich wielkości (SZYMANOWSKI i współaut. 2020), ale również możliwość wykorzystania zjawisk fizycznych charakteryzujących świat nano, pozwalając „od środka” wyznakować lub zniszczyć tkankę zmienioną chorobowo (STOCKHOFE i współaut. 2014). W tym celu wykorzystuje się m.in. cechy cząsteczek nanozłota opisane we wstępie pracy, czyli charakterystyczną frekwencję rezonansową plazmonów powierzchniowych. Po dostarczeniu cząsteczek nanozłota do wnętrza zmiany nowotworowej, powyższe zjawisko można wykorzystać wprost do „przeżrzenia” guza, a więc podniesienia temperatury wnętrza zmiany nowotworowej do około 60°C, co doprowadza do przerwania błon komórkowych i degradacji guza. Uzyskuje się to poprzez ukierunkowane naświetlanie cząsteczek nanozłota konkretną długością fali promienia lasera w tzw. zakresie „okna biologicznego”, czyli około 1000 nm (ang. near-infrared region, NIR) (KOPERKIEWICZ 2015). Jest to frekwencja wywołująca reakcję cząsteczek nanozłota, w wyniku której energia świetlna zamieniana jest w ciepło, a równocześnie mieści się w zakresie podczerwieni, nie powoduje więc zniszczenia zdrowej tkanki sąsiadującej z guzem (KOPERKIEWICZ 2015). Powyższe parametry dostosowuje się odpowiednio do rodzaju i lokalizacji guza. Przytoczony sposób aktywacji cząsteczek nanozłota, oprócz efektu cieplnego, prowadzi również do zmiany metabolizmu guza (KOPERKIEWICZ 2015).

Nanocząsteczki stanowią doskonały znacznik, pozwalając na lepsze wyodrębnienie komórek zmienionych nowotworowo na tle tych zdrowych oraz wcześniejsze ich wykrycie. Lepsze znakowanie wynika zarówno z małego rozmiaru nanocząsteczki, która głębiej penetruje obszar tkanki, ale też z jej właściwości fizykochemicznych (KOPERKIEWICZ 2015).

Rozważając wykorzystanie właściwości nanocząsteczek w medycynie, warto wspomnieć o właściwościach magnetycznych omawianych drobin. Ze wstępu pracy wiadomo, iż poprzez zmianę wielkości cząsteczki można zmieniać ilość domen magnetycznych, co wymiennie wpływa na zachowanie cząsteczki w polu magnetycznym. Właściwość tę wykorzystuje się m.in. do obrazowania w diagnostyce chorób (BŁASZCZAK-ŚWIATKIEWICZ i współaut. 2013, OWENS 2015). W

technice obrazowania za pomocą rezonansu magnetycznego (ang. magnetic resonance imaging, MRI) stosuje się m.in. nanocząsteczki tlenku żelaza. Cząsteczki te mogą być kierowane w konkretne miejsce organizmu za pomocą zewnętrznego pola magnetycznego (BŁASZCZAK-ŚWIATKIEWICZ i współaut. 2013). Kontrast uzyskany za pomocą nanocząstek jest większy niż ten uzyskany przy użyciu wielkocząsteczkowych znaczników, co pozwala na dokładniejszą diagnostykę (BŁASZCZAK-ŚWIATKIEWICZ i współaut. 2013).

WYKORZYSTANIE NANOCZĄSTECZEK W PRZEMYŚLE

Nanotechnologia stanowi olbrzymią gałąź przemysłu. Obejmuje ona zarówno przemysł spożywczy, jak również włókienniczy, samochodowy, elektroniczny, wojskowy i wiele innych. Ze względu na ogrom możliwości aplikacyjnych nanotechnologii wspomniane zostaną tylko wybrane aspekty jej wykorzystania.

W przemyśle wykorzystuje się m.in. hydrofobowe i antybakteryjne właściwości nanomateriałów. Materiały te dają możliwość produkcji włókien nieprzemakalnych, samoczyszczących się, posiadających właściwości antybakteryjne dzięki obecności cząsteczek nanosrebra. Trwają prace badawcze nad produkcją materiałów z włókien chwytających przed urazami, rozpraszającymi siłę uderzenia. Ponadto, opracowywane są włókna sensoryczne, monitorujące temperaturę i ciśnienie oraz włókna opatrujące rany (CZERWIŃSKA 2014, FOLTYNOWICZ i współaut. 2017).

Specyficzne właściwości nanocząsteczek znalazły zastosowanie przy produkcji farb, lakierów oraz różnego rodzaju powłok ochronnych. Produkowane są coraz doskonalsze farby, lakiery i powłoki samoczyszczące, odporne na zarysowania. Opracowywane są materiały odporne na korozję i na ścieranie. Powyższe cechy nanomateriałów wykorzystuje się zarówno w przemyśle motoryzacyjnym, jak i w budownictwie i inżynierii. Lekkie, a równocześnie super wytrzymałe materiały budowlane, oddychające, regulujące temperaturę wnętrza stanowią przyszłość nanotechnologii (CZERWIŃSKA 2014, FOLTYNOWICZ i współaut. 2017).

Nanoprzewody, fotowoltaika i elektronika to osobny rozdział przemysłu nano. Opracowywane są nanoprzewody, nanochipy, baterie o nieosiągalnej do tej pory szybkości pracy (CZERWIŃSKA 2014, FOLTYNOWICZ i współaut. 2017). Własności plazmonów powierzchniowych wykorzystuje się m.in. do produkcji ekranów o wysokiej rozdzielczości. Magnetyczne właściwości nanocząsteczek znalazły zastosowanie w telefonach komórko-

wych oraz w komputerach i PC do produkcji napędów (FOLTYNOWICZ i współaut. 2017).

Przemysł medyczny wykorzystuje nanotechnologię m.in. do produkcji zasilaczy rozruszników serca dzięki wykorzystaniu właściwości piezoelektrycznych tlenku binarnego (FOLTYNOWICZ i współaut. 2017). Nanokompozyty wykorzystywane są jako materiał ceramiczny w leczeniu uszkodzeń kostnych (FOLTYNOWICZ i współaut. 2017).

KILKA SŁÓW O GRAFENIE NA STRONIE

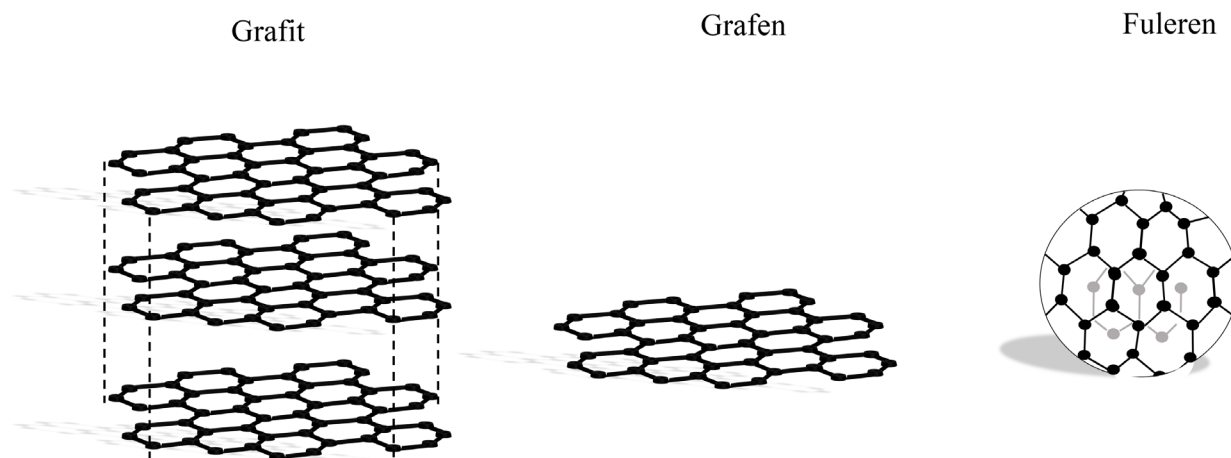
Grafen stanowi odmianę 2D grafitu, jest więc jednowarstwową jego odmianą symetryczną w przestrzeni płaskiej, zaś kulista jego odmiana to fuleren (Ryc. 4).

Wyprodukowanie grafenu okazało się przełomem w badaniach kwantowych zjawisk fizycznych. Grafen zredukowany z przestrzeni trójwymiarowej grafitu do płaskiej powierzchni wykazuje niespotykane dotąd właściwości fizyczne (NOVOSELOV i współaut. 2004, 2005, 2007a, b; ALLEN i współaut. 2010). Wśród nich należy wymienić m.in. kwantowy efekt Halla, obserwowany w temperaturze pokojowej! (NOVOSELOV i współaut. 2007b, ALLEN i współaut. 2010). Do momentu odkrycia grafenu, kwantowy efekt Halla obserwowany był w temperaturach poniżej temperatury wrzenia ciekłego helu, a więc poniżej $-268,95^{\circ}\text{C}$. Zmiana ta niesie za sobą daleko idące konsekwencje, m.in. niesłychaną szybkość przekazywania energii (ALLEN i współaut. 2010). Jak już wspomniano, jest to wynik specyficznego zachowania elektronów, które zachowują się jak cząsteczki pozbawione masy, przez co nie obserwuje się oporów w czasie ich kolizji (NOVOSELOV i współaut. 2004, 2005, 2007a b; MÜLLER

i współaut. 2009; ALLEN i współaut. 2010; KU i współaut. 2020). Równocześnie, jeżeli elektrony zachowują się jak cząsteczki pozbawione masy, oznacza to, iż poruszają się z prędkością światła (NOVOSELOV i współaut. 2005). Efekt ten obserwowany jest tylko w grafenie – jednowarstwowej strukturze płaskiej, w której atomy węgla ułożone są w taki sposób, iż tworzą „plaster miodu”. Konsekwencją powyższego odkrycia są nieskończone możliwości aplikacyjne grafenu. Wymienić należy nanoprzewody o niespotykanej do tej pory szybkości przekazywania energii, baterie o mega pojemności oraz giętkie ekrany LED (ang. Light Emitting Diode) wszelkiego typu sprzętu elektronicznego (ALLEN i współaut., 2020). Grafen znajduje również zastosowanie do oczyszczania środowiska i wody, poprzez właściwość „wylapywania” zanieczyszczeń. Z czysto fizycznego punktu widzenia, grafen może posłużyć jako materiał pozwalający na badanie behawioru czarnych dziur, a w konsekwencji, odkrywania nowych źródeł energii. W branży badawczej i medycznej grafen może być stosowany do produkcji sensorów i biosensorów. Sensory wykonane z grafenu wykazują wyższą czułość od tradycyjnych, a równocześnie wykazano, iż nie zakłócają przekazywania synaptycznego (SHAO i współaut. 2010, FABBRO i współaut. 2015).

ZAGROŻENIA ZWIĄZANE ZE STOSOWANIEM NANOCZĄSTECZEK

Omawiając zastosowanie nanomateriałów, nie można zapomnieć o negatywnych skutkach związanych z ich produkcją i wykorzystaniem. Równoległe z rozwojem nanotechnologii, na świecie trwa monitorowanie negatywnego wpływu nanocząsteczek na orga-



Ryc. 4. Schematyczne porównanie struktury grafitu, grafenu i fulerenu.

nizmy i środowisko. Ze względu na ogromną różnorodność nanocząstek badania nad ich potencjalną toksycznością nie nadążają za ich produkcją. Negatywny wpływ na środowisko nanocząsteczek zależy od ich budowy, czystości lub zanieczyszczenia ich powierzchni, reaktywności, rozpuszczalności i wielu innych czynników. Wykazano między innymi, iż niektóre nanocząstki są metabolizowane przez grzyby (np. fulereny), inne zaś w procesie utleniania stają się toksyczne (np. cynk, miedź) (LANGAUER-LEWOWICKA i PAWLAS 2014). Za główną przyczynę cytotoxyczności nanocząsteczek uważa się stres oksydacyjny, zainicjowany na skutek produkcji wolnych rodników tlenowych (LANGAUER-LEWOWICKA i PAWLAS 2014). Wpływ nanocząsteczek na szeroko pojęte środowisko monitoruje międzynarodowa agencja: International Alliance for Nano-Environmental Health and Safety Harmonization (LANGAUER-LEWOWICKA i PAWLAS 2014).

PODSUMOWANIE

Nanotechnologia jest stale młodą, choć nienową dziedziną nauki, która ciągle się rozwija. Możliwości aplikacyjne nanomateriałów w medycynie ograniczają jedynie wyobraźnia i granice metaboliczne organizmu. Podobnie jak bariery metaboliczne ograniczające zastosowanie nanocząsteczek w medycynie, barierę ich stosowania w przemyśle stanowi dobro środowiska. Materiały typu grafen stanowią przyszłość nie tylko dla technologii, ale również pozwalają mieć nadzieję na odkrycie nowych nanomateriałów nieszkodliwych dla organizmów i środowiska, o potężnych właściwościach aplikacyjnych. Rozwój nanotechnologii wiąże się również z możliwością badań zjawisk fizycznych niespotykanych w materii skali makro, czego doskonałym przykładem jest grafen.

Streszczenie

Z nanocząsteczkami mamy do czynienia na co dzień, nie zdając sobie z tego sprawy. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest fakt, iż oko ludzkie nie widzi tak małej skali, a psychika pozwala nam intuicyjnie rozumieć rzeczy namacalne. Tymczasem nanocząsteczka to zarówno wirus, jak i nanocząsteczka złota i atom. Dodatkowo, nanocząsteczki wymykają się prawom fizyki klasycznej, operując w abstrakcyjnym świecie fizyki kwantowej. Dzięki swojej wielkości posiadają one zmienione właściwości biochemiczne, magnetyczne, optyczne i elektryczne. Niniejszy artykuł przybliża czytelnikowi optykę nanocząsteczek oraz wskazuje praktyczne zastosowanie materii świata nano w medycynie i w przemyśle.

LITERATURA

ALLEN M. J., TUNG V. C., KANER R. B., 2010. *Honeycomb carbon: A review of graphene*. Chem. Rev. 110, 132-145.

- BLASZCZAK-ŚWIĄTKIEWICZ K., OLSZEWSKA P., MIKI-CIUK-OLASIK E., 2013. *Zastosowanie nanocząsteczek w leczeniu i diagnostyce nowotworów*. Nowotwory J. Onco. 63, 320-330.
- BOBO D., ROBINSON K. J., ISLAM J. i współaut. 2016. *Nanoparticle-based medicines: A review of FDA-approved materials and clinical trials to date*. Pharm. Res. 33, 2373-2387.
- COFFEY T., 2017a. *Surface plasmons. Lecture*. <https://www.youtube.com/watch?v=eVpxn5Cw6YM&list=PLm2F3BtprEjkPfVeupQu3xc-QSvnBYEHW&index=11>.
- COFFEY T., 2017b. *Superhydrophobicity. Lecture*. <https://www.youtube.com/watch?v=cB8U-8Su8exU&list=PLm2F3BtprEjkPfVeupQu3xc-QSvnBYEHW&index=25>.
- CZERWIŃSKA M., 2014. *Zastosowanie nanomateriałów w przemyśle zbrojeniowym*. Chemik 68, 536-543.
- DEBEK P., FELICZAK-GUZIŁ A., NOWAK I., 2017. *Nanostruktury – ogólne informacje. Zastosowanie nanoobektów w medycynie i kosmetologii*. Postępy Hig. Med. Dośw. 71, 1055-1062.
- FABBRO A., SCAINI D., LEÓN V. i współaut., 2015. *Graphene-based interfaces do not alter target nerve cells*. ACS Nano, doi: 10.1021/ascnano.5bo5647.
- FOLTYNOWICZ Z., CZAJKA B., MARANDA A., WACHOWSKI L., 2017. *Aspekty nanomateriałów w zastosowaniach cywilnych i militarnych. Część 2. Wykorzystanie i obawy wynikające z ich uwalniania do środowiska przyrodniczego*. Materiały Wysokoenergetyczne 9, 18-39.
- KOPERKIEWICZ D., 2015. *Nanocząstki złota w fototerminicznej terapii antynowotworowej*. THINK Studenckie Naukowe Czasopismo Internetowe 1, 56-66.
- KU M. J. H., ZHOU T. X., LI Q. i współaut. 2020. *Imaging viscous flow of the Dirac fluid in Graphene*. Nature 583, 537-547.
- LANGAUER-LEWOWICKA H., PAWLAS K., 2014. *Nanocząstki, nanotechnologia – potencjalne zagrożenia środowiskowe i zawodowe*. Med. Srod. 17, 7-14.
- MÜLLER M., SCHMALIAN J., FRITZ L., 2009. *Graphene: a nearly perfect fluid*. Phys. Rev. Lett. 103, doi.org/10.1103/PhysRevLett.103.025301.
- NOVOSELOV K. S., GEIM A. K., MOROZOV S. V. i współaut., 2004. *Electric field effect in atomically thin carbon films*. Science 306, 666-669.
- NOVOSELOV K. S., GEIM A. K., MOROZOV S. V. i współaut., 2005. *Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene*. Nature Let. 438, 197-200.
- NOVOSELOV K. S., MOROZOV S. V., MOHINDDIN T. M. G. i współaut., 2007a. *Electronic properties of graphene*. Phys. Stat. Sol. 244, 4106-4111.
- NOVOSELOV K. S., JIANG Z., ZHANG Y. i współaut., 2007b. *Room-temperature quantum Hall effect in graphene*. Science 315, 1379.
- OWENS F. J., 2015. *Physics of magnetic nanostructures*. Wiley & Sons, Inc.
- RUNOWSKI M., 2014. *Nanotechnologia – nanomateriały, nanocząstki i wielofunkcyjne nanostruktury typu rdzeń/powłoka*. Chemik 68, 766-775.
- RZESZUTEK J., MATYSIAK M., CZAJKA M., SAWICKI K., RACHUBIK P., KRUSZEWSKI M., KAPKA-SKRZYPCZAK L., 2014. *Zastosowanie nanocząsteczek i nanomateriałów w medycynie*. Hygeia Pub. Health 49, 449-457.
- SHAO Y., WANG J., WU H., AKSAY I. A., LIN Y., 2010. *Graphene based electrochemical sensors and biosensors: A Review*. Electroanalysis 22, 1027-1036.

- SZCZEPANIAK-LALEWICZ K., 2011. *Inteligentne nanostruktury – dużo gadania, mało efektów? Mity i fakty*. Prace IO 4, 65-79.
- STACHOWICZ K., 2019. *Adhezja w świecie roślin i zwierząt*. Wszechświat 120, 79-86.
- STOCKHOFE K., POSTEMA J. M., SCHIEFERSTEIN H., ROSS T. L., 2014. *Radiolabeling of nanoparticles and polymers for PET imaging*. Pharmaceuticals 7, 392-418.
- SZYMANOWSKI W., GORNOWICZ A., BIELAWSKA A., BIELAWSKI K., 2020. *Zastosowanie nanotechnologii w immunoterapii nowotworów*. Postępy Hig. Med. Dosw. 74, 131-143.

KOSMOS Vol. 70, 1, 49–56, 2021

KATARZYNA STACHOWICZ

*Department of Neurobiology, Maj Institute of Pharmacology PAS, Smętna 12, 31-343 Kraków, E-mail: stachow@if-pan.krakow.pl***A LITTLE THING, BUT GIVES A SATISFACTION – THAT IS, ABOUT THE USE OF NANOPARTICLES IN MEDICINE AND IN INDUSTRY****Summary**

We deal with nanoparticles every day without being aware of it. The reason for this is the fact that the human eye does not see such a small scale, and the psyche allows us to intuitively understand tangible things. Meanwhile, a nanoparticle is both a virus and a gold nanoparticle and an atom. Additionally, nanoparticles defeat the rules of classical physics, operating in the abstract world of quantum physics. Due to their size, they have altered biochemical, magnetic, optical and electrical properties. This article introduces the reader to the optics of nanoparticles and shows the practical application of nano world matter in medicine and industry.

Keywords: application of nanoparticles, nano, nanomedicine, nanoparticles, nanotech