



**PROGRAM MERYTORYCZNY**

**WYSTAWA PN.  
„Obrazy nanoświata - NanoArt”**

**Autorzy:**  
**dr Agnieszka Piekara**  
**mgr Monika Goszcz**  
**mgr inż. Dorota Kosmalska**  
**mgr Aleksandra Laska**  
**inż. Marta Zaborowska**  
**dr Tomasz Greczyło**

## SPIS TREŚCI

1. Założenia ogólne .....	3
2. Cele edukacyjne .....	5
3. Materiał nauczania związany z celami edukacyjnymi .....	7
4. Sposoby osiągnięcia celów .....	16
5. Plan realizacji zajęć .....	18
6. Opis założonych osiągnięć uczestnika .....	19
7. Projekt ewaluacji działań .....	20
8. Załączniki .....	21
8.1. Ankieta ewaluacyjna – przed blokiem zajęć .....	21
8.2. Ankieta ewaluacyjna – po bloku zajęć .....	22
8.3. Wzór sprawozdania merytorycznego trenera .....	23
8.4. Plansze wystawy .....	24
8.5. Wykaz źródeł wykorzystanych do opracowania merytorycznego .....	24
9. Bibliografia .....	26

## 1. Założenia ogólne

Wystawa zatytułowana „Obrazy nanoświata - NanoArt” jest elementem wydarzenia edukacyjnego pod nazwą „NanoDay – dzień z nanonauką i nanotechnologią”, którego celem jest popularyzacja wiedzy na temat zagadnień z zakresu nanonauki oraz nanotechnologii poprzez prowadzenie na terenie wybranych szkół podstawowych i ponadpodstawowych 6 godzinnego bloku zajęć tematycznych<sup>i</sup>. Działaniem o szczególnie interdyscyplinarnym charakterze będzie wystawa, na którą złożą się prezentacje obrazów nanoświata oraz towarzyszące im aktywności edukacyjne zawarte na planszach wystawy.

Nadrzędny celem bloku zajęć, których element stanowi wystawa jest podniesienie kompetencji i umiejętności uczniów szkół podstawowych i ponadpodstawowych z zakresu przedmiotów przyrodniczych, przede wszystkim fizyki, wpisujące się w działania zmierzające do podniesienia kompetencji osób uczestniczących w edukacji na poziomie wyższym, odpowiadających potrzebom gospodarki, rynku pracy oraz społeczeństwa. Szczegółowy opis celów zawarto w części 2. *Cele edukacyjne.*

Niniejszy dokument zawiera kluczowe elementy konstytuujące program merytoryczny wystawy tj.:<sup>ii</sup>:

- opis sposobu realizacji wyodrębnionych celów kształcenia i zadań edukacyjnych zawartych w wybranych przedmiotowych podstawach programowych kształcenia ogólnego<sup>iii,vi</sup>;
- procedury osiągnięcia dodatkowych celów kształcenia wynikających z podjętej tematyki nanonauki i nanotechnologii<sup>iv</sup>, z uwzględnieniem możliwości indywidualizacji pracy w zależności od potrzeb i możliwości uczniów oraz warunków, w jakich program będzie realizowany;
- propozycje narzędzi i metod umożliwiających ocenę skuteczności realizacji celów<sup>v</sup>.

Optymalny czas eksplorowania wystawy przez uczniów to 45 minut podczas, których prowadzone będą działania zmierzające do ugruntowanie materiału zawartego w wykładzie poprzedzającym. Aktywności wystawy stanowią element wprowadzenia do zagadnień nanotechnologii na poziomie wiedzy, umiejętności oraz kompetencji społecznych uczniów klas 6 – 8 szkoły podstawowej oraz klas ogólnokształcących szkół ponadpodstawowych. Szczegółowy opis treści zamieszczono w części 3. *Materiał nauczania związany z celami edukacyjnymi.*

Wystawa obejmuje 15 plansz tematycznych przedstawiających różne aspekty nanonauki i zawiera interaktywną prezentację praktycznych zastosowań nanotechnologii oraz sposobów badania nanostruktur (naturalnych i wytworzonych przez człowieka).

Wystawę otwierają plansze z podstawowymi informacjami o przedsięwzięciu oraz elementy o charakterze wprowadzenia do zagadnień nanoświata zawierające:

- *omówienie* pojęć skali wielkości, rozmiarów nanometrycznych, rozmiarów atomowych;
- *prezentację* wybranych aspektów historycznych rozwoju nanotechnologii i nanonauki.

Centralny element wystawy stanowi grupa plansze prezentujących kluczowe zagadnienia nanonauki i nanotechnologii związane m. in. z:

- nanomateriałami i powłokami,
- grafenem i elektroniką,
- technikami obrazowania i badania nanostruktur,
- nanochemią i katalizą,
- przykładami wykorzystania w różnych gałęziach życia.

Symboliczną planszą zamykającą wystawę jest plansza zatytułowana „Przyszłość nanotechnologii”, która stanowi wstęp do *rozważania* nt. tego, jak nauka może inspirować do zmieniania świata.

Szczególne oddziaływanie wystawy na wyobraźnię uczestników realizowane będzie za pośrednictwem licznych, wielobarwnych zdjęć i ilustracji, aktywujących uczniów do działań potencjalnie skutkujących lepszym zrozumieniem tej dziedziny wiedzy.

Szczegółowy opis działań zawarto w części 4. *Sposoby osiągnięcia celów* a opis merytoryczny posterów zawarto w części 8. *Załączniki*.

## 2. Cele edukacyjne

Głównym celem wystawy „Obrazy nanoświata - NanoArt” jest poszerzenie wiedzy oraz kompetencji społecznych uczniów szkół podstawowych i ponadpodstawowych z zakresu przedmiotów przyrodniczych, przede wszystkim fizyki.

W toku zajęć z wystawą realizowane będą następujące, zbieżne z założeniami podstawy programowej kształcenia ogólnego w szkole podstawowej<sup>iii</sup> oraz ponadpodstawowej<sup>vi</sup>, cele ogólne:

- poszerzenie wiedzy i umiejętności z zakresu przedmiotów matematyczno-przyrodniczych ze szczególnym uwzględnieniem kompetencji matematycznych oraz kompetencji w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii<sup>vii</sup>;
- wszechstronny rozwój osobowości ucznia przez pogłębianie wiedzy oraz zaspokajanie i rozbudzanie jego naturalnej ciekawości poznawczej;
- wspieranie uczniów w rozpoznawaniu własnych predyspozycji i określeniu drogi dalszej edukacji;
- kształtowanie postawy otwartej wobec świata i innych ludzi, aktywności w życiu społecznym oraz odpowiedzialności zbiorowej;
- zachęcanie do zorganizowanego i świadomego samokształcenia opartego na umiejętności przygotowania własnego warsztatu pracy oraz pracy w zespole.

Podczas wystawy realizowane będą następujące **przedmiotowe** cele kształcenia – wymagania ogólne (w nawiasach okrągłych podano nazwę przedmiotu oraz oznaczenie celu z podstawy programowej dla szkoły podstawowej<sup>iii</sup>, a w nawiasach kwadratowych z podstawy programowej szkół ponadpodstawowych<sup>vi</sup>):

- wykorzystanie i tworzenie informacji – używanie języka matematyki do opisu rozumowania i uzyskania wyników (matematyka II.3);
- rozumowanie i argumentacja – dostrzeganie regularności, podobieństw oraz analogii, formułowanie wniosków na ich podstawie i uzasadnianie ich poprawności [matematyka IV.2];
- rozumowanie i zastosowanie nabytej wiedzy do rozwiązywania problemów – wskazywanie związku między właściwościami substancji a ich budową chemiczną (chemia II.4);
- rozumowanie i zastosowanie nabytej wiedzy do rozwiązywania problemów – wskazywanie związku właściwościami substancji z ich zastosowaniem i ich wpływem na środowisko naturalne [chemia II.2]
- planowanie i prowadzenie obserwacji oraz doświadczeń; wnioskowanie w oparciu o ich wyniki (biologia II.);

- wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej nas rzeczywistości (fizyka I.);
- przedstawia wybrane informacje z historii odkryć kluczowych dla rozwoju fizyki [fizyka I.).

Uszczegółowienie powyższych celów w postaci wymagań znajduje się w części 6. *Opis założonych osiągnięć uczestnika.*

### 3. Materiał nauczania związany z celami edukacyjnymi

Poszerzanie wiedzy, doskonalenie umiejętności oraz kształtowanie postaw realizowane będzie z wykorzystaniem konkretnych zagadnień z obszaru nanonauki i nanotechnologii stanowiących treść wystawy. Złożą się na nie następujące treści (zawarte na 15 planszach w formacie A0), które są zbieżne z informacjami zawartymi w multimedialnej prezentacji stanowiącej element wykładu poprzedzającego wystawę:

#### 1. Wstęp

Informacje o projekcie i szkole, w której realizowany jest NanoDay.

#### 2. Świat nano- podstawy fizyczne

- a) oś liczbowa przedstawiająca skalę – od metrów do nanometrów z przypisanymi do danego rzędu wielkości obiektami (np. od metrów – człowiek, centymetry - motyl, milimetry – pchła, mikrometry – włosy, drobiny kurzu itp., aż do nano – DNA, proteiny, molekuły, atomy);
- b) ciekawostki w obrazowy sposób ilustrujące z jak małymi obiektami mamy do czynienia np. gdyby każdy Polak miał 1 nm wzrostu i wszyscy Polacy stanęli jeden na drugim to wieża jaką w ten sposób utworzą miałyby tylko 4 cm itp. (częściowo w formie grafik);
- c) wprowadzenie pojęcia nanotechnologia i nanonauka;
- d) znaczenie powierzchni obiektów nanometrycznych – opis (+grafiki) jak zmienia się wpływ powierzchni przy schodzeniu z rozmiarami poszczególnych wymiarów; im mniejszy obiekt, tym większy udział atomów powierzchniowych, duża reaktywność nanocząstek, trudności w utrzymaniu ich stabilności, skłonność do agregacji; nanomateriały nano różnią się swoimi właściwościami od takich samych materiałów w skali mikro; nanotechnologia wytwarza więc produkty o zupełnie innych właściwościach użytkowych; nanocząstki, z których złożone są te materiały podlegają nie tylko prawom fizyki klasycznej, ale przede wszystkim prawom fizyki kwantowej; z racji swojego nanorozmiaru wykazują unikatowe właściwości fizykochemiczne, elektryczne, optyczne, biologiczne, fizyczne, jak i technologiczne;
- e) rodzaje obiektów nanometrycznych: kropki kwantowe (0D), nanodruty (1D), nanopowłoki (2D) i ograniczenia w wymiarach tych obiektów.

#### 3. Świat nano- historia

Historia nanotechnologii sięga lat 50. XX w., gdy Richard P. Feynman wygłosił wykład pt. *There's Plenty of Room at the Bottom (Tam na dole jest jeszcze dużo miejsca)*; Feynman przedstawił koncepcję miniaturyzacji oraz możliwości tkwiące w wykorzystaniu technologii mogącej operować na poziomie nanometrycznym. Jednakże nanotechnologia była obecna i stosowana przez człowieka już w średniowieczu np.:

- kolorowanie witraży korzystając z nanocząstek chlorku złota i tlenków innych metali;
- stal damasceńska, w której znajdowały się nanorurki węglowe oraz nanowłókna cementytu;
- lakierowanie porcelany lakierem zawierający nanocząstki metali – srebro, miedź.

Oś czasu z ilustracjami:

- 1931 - Max Knoll i Ernst Ruska budują w Berlinie mikroskop elektronowy - pierwsze urządzenie pozwalające zobaczyć strukturę nanocząsteczkową, na poziomie atomowym;
- 1959 - Richard Feynman wygłasza wykład pt. *Tam na dole jest jeszcze dużo miejsca (There's Plenty of Room at the Bottom)*;
- 1968 - Alfred Y. Cho i John Arthur opracowują metodę epitaksji; pozwala ona tworzyć powierzchniowe warstwy jednoatomowe techniką półprzewodnikową – wzrostu nowych warstw monokryształu na istniejącym podłożu krystalicznym, powielając układ istniejącej sieci krystalicznej podłoża;
- 1974 - Wprowadzenie terminu "nanotechnologia"; po raz pierwszy użył go badacz z Uniwersytetu w Tokio, Norio Taniguchi – podczas konferencji naukowej; definicja japońskiego fizyka nadal pozostaje w użyciu, a brzmi: "Nanotechnologia jest produkcją z wykorzystaniem technologii w celu osiągnięcia bardzo wysokiej dokładności i wyjątkowo małych wymiarów, tzn. precyzji rzędu 1 nm";
- 1981 - Gerd Binnig i Heinrich Rohrer budują skaningowy mikroskop tunelowy;
- 1985 - Robert Floyd Curl Jr., Harold Walter Kroto i Richard Errett Smalley odkrywają fulereny, cząsteczki składające się z parzystej liczby atomów węgla (od 28 do ok. 1500), tworzące zamkniętą, pustą w środku bryłę;
- 1989 - Donald M. Eigler z firmy IBM układa napis "IBM" – z 35 atomów ksenonu na powierzchni niklu;
- 1991 - Sumio Iijima z firmy NEC w japońskiej Tsukubie odkrywa nanorurki węglowe - struktury mające postać pustych w środku walców; współcześnie najlepiej poznane są nanorurki węglowe, których ścianki tworzy zwinięty grafen;
- 1998 - Zespół Ceesa Dekkera z Politechniki w Delft w Holandii tworzy tranzystor wykorzystujący nanorurki węglowe;
- 2006 - James Tour wraz z zespołem naukowców z Uniwersytetu Rice University konstruuje mikroskopijny "wóz" z cząsteczki oligo(fenylenoetynyleny), z osiami z atomów aluminium i kołami z cząsteczek fulerenów C60; nanopojazd poruszał się na powierzchni z atomów złota, pod wpływem wzrostu temperatury



ry, dzięki obrotom fulerenowych "kół"; powyżej temperatury 300°C przyspieszał tak bardzo, że chemicy nie byli już zdolni go śledzić;

- 2013 - Naukowcy z IBM tworzą animowany film, który można obejrzeć dopiero po powiększeniu 100 mln razy; nosi tytuł "Chłopiec i jego atom", a narysowany został za pomocą dwuatomowych kropeczek rozmiaru miliardowej części metra, które są pojedynczymi molekułami tlenku węgla; kreskówka przedstawia chłopca, który najpierw bawi się piłką, a potem podskakuje na trampolinie; jedna z molekuł gra też rolę piłki; cała akcja rozgrywa się na miedzianej powierzchni, a każda klatka filmu ma rozmiar nie większy niż kilkadziesiąt nanometrów;
- 2016 - Według publikacji w naukowym czasopiśmie "Nature Nanotechnology" pracownicy naukowcy z holenderskiego Uniwersytetu Technicznego w Delft opracowali przełomowe nośniki danych z zapisem na pojedynczych atomach; nowy sposób zapewniać ma ponad pięćset razy większą gęstość zapisu danych w porównaniu z jakąkolwiek obecnie stosowana technologia.

#### 4. Nanotechnologia i nanostruktury w naturze

- a) Efekt liścia lotosu – nasturcja utrzymuje liście w czystości dzięki tzw. efektowi liścia lotosu; elektronowy mikroskop skaningowy ESEM pokazuje, jak kropelki wody oddzielają się od powierzchni liścia; dzieje się tak dzięki pokrytej meszkiem powierzchni, która powoduje, że kropelki wody szybko spływają, zabierając ze sobą brud z powierzchni liścia; efekt lotosu – zbadany szczególnie dokładnie przez profesora Barthlotta i współpracowników z Uniwersytetu w Bonn – znalazł już zastosowanie w wielu produktach, na przykład w farbach do elewacji, po których woda spływa zabierając ze sobą brud; również ceramika sanitarna o strukturze wykorzystującej efekt lotosu łatwiej da się utrzymać w czystości;
- b) Gekon - gekony wdrapiają się na każdą ścianę, potrafią biegać po suficie z głową w dół, a nawet zwiszać z niego, przytrzymując się tylko jedną nogą; jest to możliwe – oczywiście – dzięki nanotechnologii; stopa gekona jest pokryta maleńkimi włoskami, które są tak giętkie, że mogą na dużym obszarze zbliżyć się do podłoża na odległość kilku nanometrów; wówczas zaczyna działać tak zwane oddziaływanie van der Waalsa, które mimo, że jest bardzo słabe, lecz utrzymuje ciężar ciała gekona dzięki milionom punktów zaczepienia; wiązanie można łatwo zerwać na podobnej zasadzie, jak odrywa się taśmę klejącą; w ten sposób gekon może biegać po suficie; materiałoznawcy mają nadzieję wyprodukować wkrótce „syntetycznego gekona”;
- c) Małże – te same, które podaje się w restauracji gotowane z warzywami – to mistrzowie nanotechnologicznego sklejania; aby przyczepić się do skały, małż otwiera skorupę i wysuwa stopę, którą wygina w kształt przyssawki; przez maleńkie ka-

naliki wyrzuca z siebie strumienie klejących kropelek, miceli; w wytworzony w ten sposób obszar o obniżonym ciśnieniu, gdzie micelle rozrywają się, wydzielając mocny klej podwodny, który natychmiast spienia się, tworząc poduszeczkę; maź przytwierdza się do tego amortyzatora za pomocą elastycznych nici bisiorowych, zabezpieczając się w ten sposób przed porywami fal morskich;

- d) Motyle - skrzydła owadów a zwłaszcza motyli są najbardziej charakterystycznym elementem budowy ich ciała; zbudowane są z bardzo cienkiej błony rozpiętej pomiędzy sztywnymi żyłkami; skrzydła motyli są pokryte dachówkowo ułożonymi nanoblaszkami zawierającymi pigmenty; składają się one z wielu unikalnych i skomplikowanych nano/mikrostruktur, które obecnie są poza możliwościami jakiegokolwiek technologii umożliwiającej ich sztuczne odtworzenie; w szczególności motyle z gatunku Morpho są pod względem atrakcyjne, gdyż matka natura wyposażyła ich wielofunkcyjne skrzydła w bardzo złożone struktury; w przypadku tropikalnych motyli, jak te z gatunku Morpho menelaus, jaskrawo-niebieska barwa z metalicznym połyskiem powstaje w wyniku tzw. opalizacji czyli dyfrakcji oraz interferencji światła odbitego od powierzchni nanołusek; motyl ten żyje w lasach deszczowych Południowej Ameryki, zatem można go spotkać głównie w Brazylii i Wenezueli, rozpiętość skrzydeł owada wynosi od 13 – 14 cm; Morpho podczas lotu w deszczu utrzymuje czystość oraz suchość skrzydeł ze względu na ich własności hydrofobowe, a jednocześnie usuwane krople deszczu czyszczą skrzydła z kurzu i innych zabrudzeń; charakterystyczna budowa skrzydeł tego motyla sprzyja kierunkowej adhezji kropeł wody z powierzchni skrzydeł, dlatego też Morpho jest zawsze suchy; wszystko dzięki nanoblaszkom, z których zbudowanych jest tysiące mikrobłaszek pokrytych cienką warstwą wosku, co nie stanowi niemal oporu dla ruchu kropeł.

## 5. Zagrożenia

- zwrócenie uwagi, że nanocząstki, które negatywnie oddziałują na organizmy żywe są nie tylko wynikiem ludzkiej działalności, ale także skutkiem naturalnych procesów zachodzących w przyrodzie (pożary, wybuchy wulkanów, reakcje chemiczne
- Cząstki o wielkości powyżej 10  $\mu\text{m}$  mogą przedostać się jedynie do górnych dróg oddechowych. Mniejsze, o wielkości kilku mikrometrów są w stanie dotrzeć także do dolnych dróg oddechowych, w tym płuc. Nanocząstki są w stanie przeniknąć przez nasz naskórek i przedostać się do pęcherzyków płucnych i krwiobiegu, skąd przenoszą się do mózgu, wątroby, serca, nerek i innych organów.
- schemat człowieka, na którym zaznaczone będą organy i układy, na które negatywny wpływ mogą mieć nanocząstki, a także opis konkretnych chorób •choroby neurologiczne:

- choroba Parkinsona, choroba Alzheimera
  - choroby serca, arytmia
  - choroby nerek i wątroby o różnej postaci
  - choroba Leśniewskiego i Crohna, rak odbytu, rak jelita
  - choroby autoimmunologiczne, egzema, łuszczyca
  - choroby układu krążenia tj. miażdżyca, zwężenie naczyń krwionośnych, zakrzepy krwi, nadciśnienie
  - astma, zapalenie oskrzeli, rozedma płuc, rak płuc
- przedstawienie dróg, przez które do organizmu dostają się nanocząstki
- skóra (przedostanie się do ustroju poprzez kontakt ze skórą. Nanocząstki z uwagi na niewielkie rozmiary nie mają problemów, aby pokonać barierę naskórka i dostać się do naszego organizmu)
  - układ pokarmowy (spożycie produktów, zawierających toksyczne nanocząstki)
  - układ oddechowy (inhalacja, czyli wdychanie nanocząstek. Najwięcej nanocząstek przenika przez drogi oddechowe. Szacuje się, że w ciągu jednej godziny człowiek wdycha ok. miliona tych cząstek, z czego co najmniej połowa może dostać się do płuc)

Przykład dwutlenku tytanu, który w formie mikro jest nietoksyczny, a w formie nano toksyczny → substancje, które na ogół nie są szkodliwe dla człowieka, mogą stać się toksyczne, jeżeli zredukujemy ich rozmiar do wielkości nanometrycznych. Przykładem jest dwutlenek tytanu ( $TiO_2$ ). W formie mikrometrycznej to biały proszek, zaś w skali nano staje się zupełnie przezroczysty! Ponadto, jest on wtedy niezwykle niebezpieczny dla ludzkiego organizmu

## 6. Powłoki

- a) Nanometr to jedna miliardowa metra, czyli jedna milionowa milimetra. Trudno sobie wyobrazić taką wielkość prawda? Przyjmijmy więc uproszczenie, że w potocznym, komercyjnym rozumieniu nanopowłoki są niewidoczne dla oka, za to ich działanie jest zauważalne i dające wiele możliwości praktycznego zastosowania w życiu codziennym i przemyśle, oraz produkcji.
- b) Powłoki hydrofobowe - nanopowłoki to innowacyjna technologia. Nanopowłoki tworzą niewidzialną ochronę, która zabezpiecza każdą powierzchnię przed powstawaniem wszelkiego rodzaju zabrudzeń, osadów, powstawaniem kamienia, glonów, grzybów czy pojawianiem się mchu.
- c) Powłoki na panelach słonecznych - Panele słoneczne opracowane na Politechnice Federalnej w Lozannie (EPFL) są pokryte całkiem nowymi, opatentowanymi powłokami. Naukowcy stworzyli wyjątkowo wytrzymały czarny materiał zachowujący swój oryginalny kolor, a tym samym utrzymujący zdolności absorbowania

światła przez dłuższy czas w porównaniu z tradycyjnymi panelami. Czarny kolor jest kluczowym elementem paneli termicznych, gdyż pozwala on na absorpcję ponad 90% docierającej energii.

- d) Powłoki hydroksyapatytowe na metaliczne implanty kości – Ceramika jest materiałem stosunkowo wysoko biokompatybilnym (+ wyjaśnienie, co to oznacza), ale jej właściwości mechaniczne są niewystarczające do użytkowania jako implanty kości. Metale mają dużo lepsze właściwości mechaniczne, ale są gorzej tolerowane przez organizm. W związku z tym, metalowe implanty kości pokrywa się bardzo cienką powłoką ceramiczną, która nie zmienia właściwości mechanicznych implantu, ale pozwala „oszukać” organizm, który z dużo mniejszym prawdopodobieństwem skłonny jest odrzucić wszczep. Najlepszym rodzajem ceramiki jest hydroksyapatyt, który jest naturalnym składnikiem kości, a da się zsyntezować w laboratorium. Metaliczny implant pokryty nanopowłoką hydroksyapatytu, po wszczepieniu do organizmu ludzkiego, traktowany jest jako naturalna kość.
- e) Powłoki pasywne - pasywne warstwy tlenkowe na powierzchni metali i ich stopów mają olbrzymi wpływ na ich odporność korozyjną. Są to najcieńsze naturalnie tworzące się warstwy na powierzchni metali o grubości 2-5 nm. Pasywacja powoduje przejście metalu ze stanu aktywnego w stan pasywny (tj. taki, w którym metal zachowuje odporność chemiczną na działanie środowiska, mimo iż ma termodynamiczną zdolność do reagowania w danych warunkach). Pasywacja niektórych metali (np. Al., Cr, Ni, Ti) zachodzi samorzutnie (samo pasywacja) pod wpływem tlenu zawartego w powietrzu. Inne tworzywa można uczynić pasywnymi sztucznie, poddając je polaryzacji anodowej lub działaniu utleniacza o odpowiednim stężeniu. Sztucznie pasywuje się również metale skłonne do samo pasywacji, ponieważ warstewka pasywna nie zawsze zapewnia odpowiednią ochronę przed korozją.

## 7. Zastosowanie grafenu i elektronika

- a) pokazanie struktury grafitu, od ołówka, przez warstwową strukturę kryształu, aż po sześciokątną siateczkę – grafenu;
- b) grafen w odróżnieniu od kruchego grafitu jest bardzo wytrzymałym materiałem;
- c) dodatkowo jest on materiałem niezwykle dobrze przewodzącym prąd elektryczny, już przy bardzo małych rozmiarach; umożliwia to zmniejszenie rozmiarów układów elektronicznych (porównanie rozmiarów starego procesora i nowego obok siebie w większej skali, przy zachowaniu proporcji);
- d) wkład polskich naukowców w rozwój grafenu;
- e) super cienkie telewizory, w których stosuje się diody LED; trzy różnokolorowe diody LED tworzą jeden piksel takiego ekranu;
- f) zapis magnetyczny;

g) procesor.

## 8. Nanotechnologia w medycynie

- a) kremy do opalania z nanocząstkami ZnO lub TiO<sub>2</sub> – grafika dedykowana uczniom z informacją o tym, że ważne jest stosowanie kremów z filtrami, a przy okazji ważne zastosowanie nanotechnologii (pojęcie filtrów, promieniowania ultrafioletowego emitowanego przez słońce oraz ewentualne zagrożenia wynikające z nie-stosowania takich kremów);
- b) nanoroboty – grafika, zdjęcia SEM, projekty takich nanourządzeń oraz ich zastosowania w dostarczaniu leków, jakie choroby będzie można leczyć, porównanie wielkości nanorobotów do wielkości krwinki czerwonej;
- c) wszystkie nanostruktury przydatne w celowym dostarczaniu leków/substancji do organizmu;
- d) nanocząstki w opatrunkach (nanosrebro itp.) – grafika z plastrami;
- e) nanowłókna, jako rusztowania dla tkanek;
- f) biosensory.

## 9. Nanochemia i kataliza

- a) pojęcie katalizy i katalizatora (na podstawie reakcji przykładowych);
- b) nanokatalizatory (zalety stosowania nanomateriałów – rozmiar, własności fizyczno-chemiczne);
- c) kilka przykładów reakcji katalizowanych nanocząstkami (oczyszczanie powietrza, produkcji biopaliw, redukcja CO itp.);
- d) nanocząstki perowskitów, jako katalizatory, nanocząstki innych związków, jako katalizatory;
- e) fotokatalizatory.

## 10. Nanosensory

- a) ogólne pojęcie sensorów i dlaczego są ważne, ogólna zasada działania;
- b) nanorurki węglowe – znaczenie i wykorzystanie w projektowaniu sensorów;
- c) biosensory (wykrywanie glukozy, stężenie glukozy);
- d) wykrywanie/badanie stężenia acetylenu np. w warzywach i owocach świadczące o dojrzałości i przydatności do spożycia;
- e) sensory stosowane do detekcji rozwoju patogenów z produktach spożywczych;
- f) sensory tlenu i dwutlenku węgla;
- g) sensory stosowane w wojsku np. wykrywanie toksycznych gazów;
- h) liczne zdjęcia i ilustracje obrazujące zagrożenie.

## 11. Techniki obrazowania i badania nanostruktur

Rozwój nanomateriałów był i jest możliwy dzięki ogromnemu postępowi w zakresie metod charakteryzowania nanoskali. Metody te można podzielić na metody pośrednie, które dają nam informacje na temat budowy materiału bez obrazu tej budowy (np. pomiar masy wyrobów ceramicznych, na podstawie którego można określić ich porowatość) oraz bezpośrednie, które pozwalają nam otrzymać obrazy struktur nanomateriałów.

Podstawowym narzędziem, które pozwala zajrzeć w głąb nanoświata jest mikroskop.

- a) Mikroskop (zdjęcie) mikros – "mały" skopeo – „patrzę, obserwuję” urządzenie służące do obserwacji małych obiektów, zwykle niewidocznych gołym okiem, albo przyjrzenia się subtelnym detalom obiektów małych, aczkolwiek widocznych nieuzbrojonym okiem.
- b) Mikroskopia elektronowa – w tym rodzaju mikroskopii do badania i uzyskiwania obrazów badanej próbki wykorzystuje się efekty powstające przy oddziaływaniu wiązki elektronowej z próbką.
- c) Skaningowy mikroskop elektronowy – rodzaj mikroskopu elektronowego umożliwiający obserwację topografii badanego materiału. Służy do obserwacji i charakteryzacji materiałów organicznych i nieorganicznych w skali od nanometrycznej do mikrometrycznej. Wiązką pierwotną w tej metodzie badawczej jest wiązka elektronów.
- d) Skaningowa mikroskopia jonowa FIB - FIB wyposażony jest w źródło jonów (najczęściej galu), które przyspieszane są napięciem 2-50 keV i uderzają w powierzchnię próbki, powodując rozpylanie materiału. Kontrolując wiązkę jonów można otrzymywać dowolne kształty powierzchni oraz wycinać próbki z dowolnie wybranych obszarów. Rejestrując oddziaływanie wiązki z materią za pomocą odpowiednich detektorów można otrzymać obraz próbki.
- e) Transmisyjny mikroskop elektronowy - rejestrowane są elektrony przechodzące przez próbkę. Próbką w takim mikroskopie musi być cienka płytka o grubości rzędu setek nanometrów. Przygotowanie takiej próbki jest trudne i znacznie ogranicza zastosowania mikroskopu.
- f) Mikroskop sił atomowych - rodzaj mikroskopu ze skanującą sondą (ang. scanning probe microscope, SPM). Umożliwia uzyskanie obrazu powierzchni ze zdolnością rozdzielczą rzędu wymiarów pojedynczego atomu dzięki wykorzystaniu sił oddziaływań międzyatomowych, na zasadzie przemieszczania ostrza nad lub pod powierzchnią próbki.

Wszystkie punkty będą rozbudowywane o zdjęcia z mikroskopów oraz schematyczne zasady działania.

## 12. Mikroskopia AFM

- a) W mikroskopii sił atomowych (AFM) obraz otrzymujemy dzięki interakcji między ostrzem bardzo cienkiej dźwigienki i materiału.
- b) Pokazanie schematu materiału i dźwigienki oraz zaznaczenie strzałkami odpychania atomów, przedstawi uproszczone działanie mikroskopu siła atomowych, bez zgłębiania charakteru oddziaływań międzyatomowych.
- c) Dodatkowo przedstawienie przykładów obrazów uzyskanych metodą AFM, takich jak pamięci magnetycznej, układu scalonego, schodkowej struktury materiału czy nanodrutu, w zestawieniu z obrazami z mikroskopu optycznego i pokazania różnicy przybliżenia, umożliwi uzmysłowienie, dlaczego potrzebujemy tak dokładnych pomiarów.

### 13. Mikroskopia TEM, SEM

- a) Mikroskopia elektronowa to przydatna i coraz bardziej powszechna technika służąca do charakterystyki powierzchni, obszarów przypowierzchniowych, składu chemicznego oraz struktur materiałów o budowie nanostrukturalnej. Od momentu wynalezienia transmisyjnego mikroskopu elektronowego stała się kluczową techniką pozwalającą obserwować struktury i materiały atomowych rozmiarów
- b) Mikroskopia SEM (skaningowa mikroskopia elektronowa) i TEM (transmisyjna mikroskopia elektronowa) pozwala obrazować strukturę materiałów, dzięki elektronom, które je bombardują.
- c) Przez ukazanie schematu padających elektronów, które odbijają się lub przechodzą przez materiał, można przedstawić uproszczony mechanizm działania mikroskopu, z kolei ukazując obrazy uzyskane dzięki mikroskopom, rozbudzić wyobraźnię.
- d) Przedstawienie pyłków, owada, układu scalonego czy wyciętego w nanomateriale bałwanka.

### 14. Nanomateriały i nanotechnologia w domu

- a) Impregnaty hydrofobowe - nanotechnologia pozwala na wytwarzanie powłok hydrofobowych zabezpieczających w zasadzie każdą powierzchnię przed zanieczyszczeniem różnego pochodzenia, a także przed wodą. W impregnaty znajdują się nanocząstki o wiele mniejsze od porów zabezpieczanej powierzchni, co pozwala cząstkom na głębokie przeniknięcie i zapewnia bardzo efektywną ochronę. Warstwa hydrofobowa nie tylko nie przepuszcza wody, skutkiem czego chroni przed wykwitami wapiennymi czy korozją, ale też zabezpiecza podłoże przed promieniowaniem ultrafioletowym. Jednocześnie powłoka hydrofobowa jest paroprzepuszczalna, czyli pozwala ona „oddychać” materiałom.
- b) Warstwą hydrofobową pokrywa się drewno, tekstylia, szyby, lakier samochodowy i różnego rodzaju podłoża mineralne, jak kostkę brukową, fugi, elewacje budynków lub beton.

- c) Preparaty czyszczące - Mikroskopijne cząsteczki obecne w tych preparatach nadzwyczaj efektywnie czyszczą powierzchnię, ponieważ głęboko w nią wnikają. Środki te świetnie radzą sobie z usuwaniem nawet trudnych zabrudzeń, jak przykładowo zacieków z kamienia czy tłustych naleciałości w piekarniku. Dodatkowo w środkach czyszczących znajdują się nanocząstki srebra uniemożliwiające rozwój pleśni, grzybów i roztoczy.
- d) Środki czyszczące wytwarzane z zastosowaniem nanotechnologii nie zawierają substancji niebezpiecznych dla zdrowia ani nie posiadają nieprzyjemnego zapachu. Są to preparaty ekologiczne więc można używać ich nawet na powierzchniach pozostających w kontakcie z produktami żywnościowymi, czyli np. na blatach w kuchni. Porównywalnie bezpieczną grupą środków czyszczących są neutralizatory woni przeznaczone do domu, samochodu lub elementów wyposażenia dla zwierząt – legowisk oraz kuwet.
- e) Tkaniny - tkanina powlekana nanosrebrem może być stosowana w szerokim zakresie m.in. przy wytwarzaniu opatrunków na rany, odzieży ochronnej i szpitalnej, masek i rękawic chirurgicznych, uniformów wojskowych (srebro ma właściwości antybakteryjne). Wysoka elastyczność tkaniny umożliwia zastosowanie w produkcji kostiumów sportowych i rekreacyjnych. Stwarza też nowe możliwości w modzie. Czujniki umieszczone na rękawach koszuli pozwolą na włączenie oświetlenia LED umieszczonego w odzieży.
- f) Ochraniacze dla piłkarzy - ochraniacze goleni używane przez piłkarzy są często wykonane z nanostrukturalnych tworzyw sztucznych, ponieważ są lekkie, a ich zwiększona wytrzymałość oznacza, że cienkie warstwy zapewniają wystarczającą ochronę przed potencjalnie niebezpiecznymi zdarzeniami.
- g) Kosmetyki (kremy UV) – w kosmetykach nanocząstki zwiększają skuteczność oraz przyswajalność aktywnych składników. Obecne są w kremach odżywczych, produktach przeznaczonych do higieny jamy ustnej (nanozioła). Tlenki tytanu i miedzi grają rolę filtrów promieniowania UV w kremach do opalania. Nanocząstki srebra i miedzi mogą w przyszłości zastąpić konserwanty stosowane obecnie w kosmetykach.

## 15. Przyszłość nanotechnologii

Futurystyczne wizje zastosowania nanotechnologii (w tym przemysł kosmiczny) z miejscem gdzie uczniowie mogą narysować swoje pomysły na zastosowanie nanotechnologii.

## 4. Sposoby osiągnięcia celów

Wystawa prowadzona będzie przez osobę oprowadzającą uczniów wśród kolejnych plansz–plakatów jednocześnie werbalnie uzupełniająca prezentowane treści oraz wyjaśniająca zagadnienia szczególnie interesujące uczniów. Osoba ta będzie motywować uczestników do



formułowania pytań oraz realizowania zadań opisanych na wybranych planszach. Poszczególne plakaty będą bogato ilustrowane fotografiami, rysunkami, schematami oraz będą zawierały zadania praktyczne dla uczniów polegające m. in. na:

- rozwiązywaniu problemu zamieszczonego na planszach, a wymagającego ingerencji w ich treść np.: opisanie, dorysowanie, połączenie, pokolorowanie, itp.;
- wycięcie – usunięcie fragmentów wystawy;
- doklejenie lub dorysowanie elementów wystawy,
- rozwiązanie zagadki, rebusu, krzyżówki.

W związku z charakterem zadań towarzyszących wystawie komplet plakatów nie będzie mógł być wykorzystany w innej placówce i po jej zakończeniu pozostanie w szkole, w której realizowane są działania pn. „NanoDay – dzień z nanonauką i nanotechnologią”.

Główne źródła materiałów merytorycznych składających się na wystawę zawarto w literaturze w części 8. *Załączniki*.

## 5. Plan realizacji zajęć

Zgodnie z zapisami wniosku projektowego działania pn. „NanoDay – dzień z nanonauką i nanotechnologią” realizowane będą w wyłonionych w procedurze rekrutacyjnej szkołach podstawowych i ponadpodstawowych w terminie od stycznia do grudnia 2020 roku.

Zaplanowane działania będą realizowane zgodnie z harmonogramem:

godzina	forma	liczba uczestników	czas (min.)	uwagi
9:00 – 10:30	wykład	60	2 x 45	sala audytoryjna z projektorem i możliwością prowadzenia pokazów
<b>10:30 – 11:30</b>	<b>wystawa</b>	<b>60</b>	<b>45</b>	<b>sala audytoryjna lub korytarz szkolny z możliwością rozłożenia plakatów</b>
12:00 – 13:00	warsztaty A/B	25 + 25	1,5 x 45	zajęcia warsztatowe w dwóch grupach równoległych
13:15 – 14:15	warsztaty B/A	25 + 25	1,5 x 45	zajęcia warsztatowe w dwóch grupach równoległych

Wystawa pn. „Obrazy nanoświata – NanoArt” jest samodzielną, ale integralną częścią bloku zajęć edukacyjnych zainicjowanych przez wykład. Wystawa będzie realizowana zgodnie z dedykowanym programem merytorycznymi, którego cele i treści będą skorelowane z programem wykładu i warsztatów.

Sekwencja zajęć zostanie powtórzona 6rotnie, w 6 szkołach podstawowych oraz 4rotnie w 4 szkołach ponadpodstawowych. Zakłada się, że łączna:

- liczba uczniów szkół podstawowych uczestniczących w zajęciach wyniesie przynajmniej 270 osób z czego połowę stanowią dziewczęta,
- liczba uczniów szkół ponadpodstawowych uczestniczących w zajęciach wyniesie przynajmniej 180 osób z czego połowę stanowią dziewczęta
- liczba osób, które podniosły kompetencje w ramach planowanych działań uczelni wspartych z Europejskiego Funduszu Społecznego wyniesie przynajmniej 380 z czego połowę będą stanowiły dziewczęta.

## 6. Opis założonych osiągnięć uczestnika

W wyniku realizacji wystawy pn. „Obrazy nanoświata – NanoArt” uczestnicy:

1. zdobędą wiedzę pozwalającą im:
  - stosować pojęcia *skala wielkości* i *rozmiar atomu*;
  - posługiwać się pojęciami *nanotechnologia* i *nanonauka*;
  - wymienić, jakiego *rzędu wielkości* mają obiekty nanometryczne i opisać jak mają się one do skali wielkości znanego nam wszechświata;
  - opisać znaczenie powierzchni dla właściwości substancji (powierzchnia substancji ma inne właściwości fizyczne niż objętość);
  - rozpoznać rodzaje nanostruktur niskowymiarowych (błony kwantowe, druty kwantowe i kropki kwantowe) i opisać jakościowo efekt kwantowania rozmiarowego;
  - wymienić materiały, które dzięki zastosowaniu nanotechnologii wykazują niezwykle właściwości fizykochemiczne (materiały hydrofobowe, katalizatory, układy scalone, grafen, ferrofluid, materiały z pamięcią kształtu, diody LED, nanocząstki).
2. wykształcą umiejętności, dzięki którym:
  - wskazują metody badawcze umożliwiające poznawanie składu chemicznego i struktury materii w nanoskali;
  - rozpoznają metody spektroskopowe oraz mikroskopowe (STM, AFM);
3. demonstrują postawy:
  - otwartości na różnorodność świata otaczającego;
  - świadomości jak natura „wykorzystuje” nanotechnologię (efekt lotosu, budowa skrzydła motyla, sposób poruszania się gekon (ale również owady)).

Do opisu poziomu wiadomości i działań oraz umiejętności i kompetencji społecznych (postaw) wykorzystano zbiór czasowników operacyjnych użytych w podstawie programowej nauczania fizyki na II i III etapie edukacyjnym<sup>viii</sup>.

Poziom realizacji założonych osiągnięć uczestników zostanie określony z wykorzystaniem procedur i narzędzi opisanych w części 7. *Projekt ewaluacji działań*.

## 7. Projekt ewaluacji działań

Ewaluacji skuteczności działań edukacyjnych, na które składa się wystawa pn. „Obrazy nanoświata – NanoArt” będzie prowadzona na bieżąco z wykorzystaniem ankiety ewaluacyjnej (za pośrednictwem narzędzi technologii informacyjno-komunikacyjnej) oraz sprawozdań merytorycznych przygotowywanych przez trenerów po przeprowadzeniu bloku zajęć. Planuje się przeprowadzenie ankiety w formie elektronicznej przed rozpoczęciem działań oraz po ich zakończeniu w celu określenia czy i w jakim zakresie nastąpił przyrost kompetencji uczestników działań w ramach „NanoDay – dzień z nanonauką i nanotechnologią”.

Na zakończenie przedsięwzięcia przygotowane zostanie sprawozdanie zbiorcze z realizacji wszystkich bloków zajęć edukacyjnych.

Ankiety ewaluacyjną oraz wzór sprawozdania merytorycznego trenera znajduje się w części 8. Załączniki.

## 8. Załączniki

### 8.1. Ankieta ewaluacyjna – przed blokiem zajęć

**Drogi Uczestniku!** Niniejsza ankieta służy określeniu poziomu Twoich kompetencji w zakresie nanonauki, dlatego zależy nam na szczerych odpowiedziach. W pytaniach 1 – 5 prosimy o wskazanie jednej odpowiedzi, w pytaniach 6 – 8 o zaznaczenie kółkiem jednej z cyfr 1 – 5, wskazującej w jakim stopniu zgadzasz się ze stwierdzeniem. Poniższa tabela wyjaśnia znaczenie cyfr:

5 – zdecydowanie zgadzam się	4 – zgadzam się	3 – nie mam zdania	2 – nie zgadzam się	1 – zdecydowanie nie zgadzam się
------------------------------	-----------------	--------------------	---------------------	----------------------------------

PYTANIA ZAMKNIĘT				
1. Jakiego rzędu są obiekty, którymi zajmuje się nanonauka i nanotechnologia?	$10^{-1}$	$10^{-5}$	$10^{-9}$	$10^{-13}$
2. Ile podstawowych układów nanostrukturalnych wyróżniamy w nanotechnologii?	1	2	3	5
3. Kto jako pierwszy wprowadził pojęcie nanotechnologii?	Newton	Taniguchi	Born	Drexler
4. Który z przykładów nie jest związany z nanostrukturą wytwarzaną przez człowieka?	kielich Likurga	stal damasceńska	nitinol	gekon
5. Który skrót odpowiada nazwie mikroskopu umożliwiającego obserwację nanostruktur?	FAM	AFM	MAT	TFM

PYTANIA DEKLARATYWNE					
6. Uważam, że sporo wiem o nanonauce i nanotechnologii.	5	4	3	2	1
7. Potrafię wskazać przykłady nanotechnologii w otaczającym nas świecie.	5	4	3	2	1
8. Jestem zainteresowana(-ny) przedmiotami przyrodniczymi.	5	4	3	2	1

W pytaniu 9 prosimy o odpowiedź w formie zdań i opinii.

PYTANIE OTWARTE	
9. Napisz, jakie masz oczekiwania związane z udziałem w przedsięwzięciu pn. „NanoDay – dzień z nanonauką i nanotechnologią” (np. o czym chciał(a)byś się dowiedzieć, jakie umiejętności chciał(a)byś zdobyć)	

Dziękujemy za współpracę.

## 8.2. Ankieta ewaluacyjna – po bloku zajęć

**Drogi Uczestniku!** Niniejsza ankieta służy określeniu poziomu Twoich kompetencji w zakresie nanonauki, dlatego zależy nam na szczerych odpowiedziach. W pytaniach 1 – 5 prosimy o wskazanie jednej odpowiedzi, w pytaniach 6 – 8 o zaznaczenie kółkiem jednej z cyfr 1 – 5, wskazującej w jakim stopniu zgadzasz się ze stwierdzeniem. Poniższa tabela wyjaśnia znaczenie cyfr:

5 – zdecydowanie zgadzam się	4 – zgadzam się	3 – nie mam zdania	2 – nie zgadzam się	1 – zdecydowanie nie zgadzam się
------------------------------	-----------------	--------------------	---------------------	----------------------------------

PYTANIA ZAMKNIĘT				
1. Jakiego rzędu są obiekty, którymi zajmuje się nanonauka i nanotechnologia?	$10^{-1}$	$10^{-5}$	$10^{-9}$	$10^{-13}$
2. Ile podstawowych układów nanostrukturalnych wyróżniamy w nanotechnologii?	1	2	3	5
3. Kto jako pierwszy wprowadził pojęcie nanotechnologii?	Newton	Taniguchi	Born	Drexler
4. Który z przykładów nie jest związany z nanostrukturą wytwarzaną przez człowieka?	kielich Likurga	stal damasceńska	nitinol	gekon
5. Który skrót odpowiada nazwie mikroskopu umożliwiającego obserwację nanostruktur?	FAM	AFM	MAT	TFM

PYTANIA DEKLARACYWNE					
6. Uważam, że sporo wiem o nanonauce i nanotechnologii.	5	4	3	2	1
7. Potrafię wskazać przykłady nanotechnologii w otaczającym nas świecie.	5	4	3	2	1
8. Moje zainteresowanie przedmiotami przyrodniczymi zwiększyło się po zajęciach pn. „NanoDay – dzień z nanonauką i nanotechnologią”.	5	4	3	2	1

W pytaniu 9 prosimy o odpowiedź w formie zdań i opinii.

PYTANIE OTWARTE
9. Napisz, czy zajęcia pn. „NanoDay – dzień z nanonauką i nanotechnologią” spełniły Twoje oczekiwania związane z udziałem w przedsięwzięciu i <b>uzasadnij odpowiedź</b> .

Dziękujemy za współpracę.

### 8.3. Wzór sprawozdania merytorycznego trenera

*Miejsce, data*

#### Sprawozdanie merytoryczne trenera

*Imię i nazwisko trenera*

*Nazwa i charakter prowadzonych zajęć*

W dniu (*data*) w godzinach (*od – do*) przeprowadziłam/-em w (*nazwa szkoły*) w.w. zajęcia związane z realizacją przedsięwzięcia pn. „NanoDay – dzień z nanonauką i nanotechnologią”, w których uczestniczyło (*ile*) uczniów (*x* – dziewcząt, *y* – chłopców oraz *z* – osób z niepełnościami).

Zajęcia przebiegły bez przeszkód zgodnie z programem (*nazwa programu*) i pozwolił na realizację założonych celów edukacyjnych.

Podczas zajęć (*krótki opis przeprowadzonych działań i ich efektów*).

Lista obecności na zajęciach stanowi załącznik do niniejszego sprawozdania.

*(podpis trenera)*

*(podpis Kierownika Projektu)*

#### 8.4. Plansze wystawy<sup>ix</sup>

Graficzne opracowanie plansz wystawy jest zadaniem, które zostanie zrealizowane w dalszym toku działań projektu i zostanie dołączone do programu w formie załącznika niezwłocznie – zgodnie z harmonogramem zawartym we wniosku<sup>i</sup>.

#### 8.5. Wykaz źródeł wykorzystanych do opracowania merytorycznego

R.W. Kelsall, I.W. Hamley, M. Geoghegan, *Nanotechnologie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.

J. Barcicki, *Podstawy katalizy heterogenicznej*, Wydawnictwo UMCS, Lublin 1998.

An Introduction to electron microscopy, FEI Company 2010, <http://www.fei.com> [dostęp 10.11.2019]

B. Wróbel, K. Zienkiewicz, D. J. Smoliński, J. Niedojadło, M. Świdziński, *Podstawy mikroskopii elektronowej*, Skrypt dla studentów biologii, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2005.

A. Hałas, H. Szymański, *Mikroskopy elektronowe*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1965.

<https://www.nanowerk.com/nanosensors.php> [dostęp 10.11.2019]

H. Langauer-Lewowicka, K. Pawlas, Nanocząstki, nanotechnologia – potencjalne zagrożenia środowiskowe i zawodowe, *Medycyna Środowiskowa - environmental medicine* 2014, Vol. 17, no. 2, 7-14

[http://www.safegasolinecampaign.org/wp-content/uploads/2019/06/MSAT-Fact-Book\\_042919.pdf](http://www.safegasolinecampaign.org/wp-content/uploads/2019/06/MSAT-Fact-Book_042919.pdf) [dostęp 12.2019]

<https://www.news-medical.net/life-sciences/Safety-of-Nanoparticles.aspx> [dostęp 12.2019]

[http://www.safegasolinecampaign.org/wp-content/uploads/2019/06/MSAT-Fact-Book\\_042919.pdf](http://www.safegasolinecampaign.org/wp-content/uploads/2019/06/MSAT-Fact-Book_042919.pdf) [dostęp 12.2019]

[https://www.seekclipart.com/clipart/iJbJJb\\_jpg-black-and-white-download-human-backgrounds-x/](https://www.seekclipart.com/clipart/iJbJJb_jpg-black-and-white-download-human-backgrounds-x/) [dostęp 12.2019]

Dr Karolina Idczak – IFD UW r materiały własne

A. Trembułowicz, G. Ehrlich, G. Antczak, Surface diffusion of gold on quasihexagonal-reconstructed Au(100), *Physical Review B* 84 (2011) 245445-1-5



A. Sabik, P. Mazur, F. Gołek, A. Trembułowicz, G. Antczak, Phthalocyanine arrangements on Ag(100): From pure overlayers of CoPc and F16CuPc to bimolecular heterostructure, *Journal of Chemical Physics* 149 (2018) 144702

Z. Szczudło, A. Trembułowicz, A. Ciszewski, Hf dissolution and surface alloy formation in Hf/W(011) adsorption system, *Journal of Physics: Conference Series*, (XIII International Seminar on Physics and Chemistry of Solids) 79 (2007) 1-6

A. Trembułowicz, L. Jurczyszyn, Z. Szczudło, A. Ciszewski, Ordered surface-alloys formation in the Hf/W(1 0 0) adsorption system, *Journal of Alloys and Compounds* 554 (2013) 246-253

M. Jastrzębska, B. Barwiński, I. Mróz, A. Turek, J. Zalewska-Rejdak, B. Cwalina, Atomic force microscopy investigation of chemically stabilized pericardium tissue, *Eur. Phys. J. E* 16 (2005) 381-388

I. Mróz et al., *Engineering of Biomaterials*, 47-53 (2005) 116

## 9. Bibliografia

- <sup>i</sup> Wniosek o dofinansowanie projektu „NanoDay – dzień z nanonauką i nanotechnologią, Program operacyjny WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ, POWR.03.01.00-00-T154/18
- <sup>ii</sup> Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej z dnia 8 czerwca 2009 r. w sprawie dopuszczania do użytku w szkole programów wychowania przedszkolnego i programów nauczania oraz dopuszczania do użytku szkolnego podręczników, Dz.U. 2009 nr 89 poz. 730
- <sup>iii</sup> Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej z dnia 14 lutego 2017 r. w sprawie podstawy programowej wychowania przedszkolnego oraz podstawy programowej kształcenia ogólnego dla szkoły podstawowej, w tym dla uczniów z niepełnosprawnością intelektualną w stopniu umiarkowanym lub znacznym, kształcenia ogólnego dla branżowej szkoły I stopnia, kształcenia ogólnego dla szkoły specjalnej przysposabiającej do pracy oraz kształcenia ogólnego dla szkoły policealnej, Dz.U. 2017 poz. 356
- <sup>iv</sup> NANOTECHNOLOGIES: Principles, Applications, Implications and Hands-on Activities, A compendium for educators, EUROPEAN COMMISSION 2013
- <sup>v</sup> Red. Anna Goćławska, Ewaluacja zewnętrzna, Poradnik wizytatora, ORE 2015
- <sup>vi</sup> Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej z dnia 30 stycznia 2018 r. w sprawie podstawy programowej kształcenia ogólnego dla liceum ogólnokształcącego, technikum oraz branżowej szkoły II stopnia, Dz.U. 2018 poz. 467
- <sup>vii</sup> ZALECENIE RADY w sprawie kompetencji kluczowych w procesie uczenia się przez całe życie, Data publikacji 17 stycznia 2018
- <sup>viii</sup> T. Greczyło, E. Dębowska, Czasowniki operacyjne używane przy formułowaniu wymagań szczegółowych w podstawie programowej fizyki na II etapie edukacyjnym, Foton 135
- <sup>ix</sup> Wykaz źródeł wykorzystanych w toku tworzenia plansz wystawy zawiera załącznik 8.5