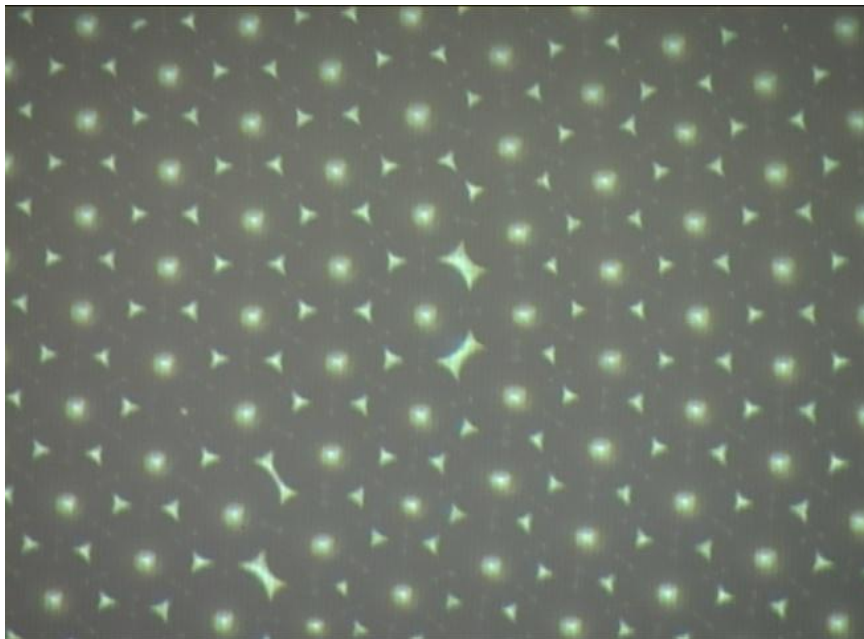


Skrypt

Obsługa bąbelkowego modelu Bragg'a-Nye'a

Opracował: Witold Tatkiewicz

Zdjęcia: Krzysztof Adamczyk



Koło Naukowe Wakans
Wydział Inżynierii Materiałowej
Politechnika Warszawska



Wprowadzenie

Projekt „Dynamiczny model dyslokacji Bragg’a-Nye’a” powstał w kole naukowym zrealizowany w roku 2006. Inspiracją były opowieści o podobnym urządzeniu używanym na Wydziale Inżynierii Materiałowej, jednak krótkie śledztwo wykazało, iż aparat ten zaginął w pomroce dziejów. Motywacji dostarczył nieoceniony Opiekun Koła: dr Janusz Bucki.

Od tamtego czasu model uczestniczył w wielu pokazach: między innymi na targach kół naukowych PW „Konik”, na piknikach naukowych radia Bis. Prezentacje dotyczące tego modelu i jego możliwości były prezentowane między innymi na drugiej Ogólnopolskiej Konferencji Kół Naukowych oraz podczas sesji Szkoły Inżynierii Materiałowej w Krynicy. Na stronach TVPW oraz serwisie YouTube można odnaleźć filmy i reportaże wykonane z jego udziałem.

Od czasu powstania aż do chwili napisania niniejszego opracowania wygląd modelu, treść oraz forma prezentacji ulegały zmianom. W chwili obecnej (rok akademicki 2009/2010) modelowi towarzyszy kilka przedmiotów, nie mających z nim bezpośredniego związku, lecz niewątpliwie uatrakcyjnijają pokazy. Dzięki nim poza walorami dydaktycznymi natura odkrywa swoje piękno i dostarcza zaskakujących doznań estetycznych.

Niniejszy skrypt powstał, aby projekt przestał być uzależniony od jednego człowieka i aby mógł służyć dalej. Kilkuletnie doświadczenie w pracy z modelem zaowocowało powstaniem pewnej formy prezentowania modelu, która z uwagi na wielokrotne powtarzanie stała się poniekąd sztywna. W dużej mierze niniejszy skrypt stanowi zapis tej właśnie prezentacji. Mimo to niżej podpisany autor żywi nadzieję, iż nie jest to ostateczny kształt projektu „Bąbelki” i że nowe pokolenia Wakansowiczów będą go dalej rozwijały.

Witold Tatkiewicz

1. Spis treści

2.	Model	4
2.1.	Lista elementów	4
2.2.	Zalecenia i środki bezpieczeństwa.....	5
3.	Prezentacja	5
3.1.	Przygotowanie.....	5
3.2.	Przebieg.....	5
3.2.1.	Błona baniek mydlanych.....	6
3.2.2.	Bryły.....	6
3.2.3.	„4 miasta”.....	7
3.2.4.	Krystalizacja z cieczy	8
3.2.5.	Koagulacja*.....	8
3.2.6.	Struktura krystaliczna	9
3.2.7.	Fonony *	9
3.2.8.	Defekty sieci	9
3.2.9.	Naprężenia i ruch dyslokacji.....	10
3.2.10.	Zdrowienie*.....	11
3.2.11.	Materiały gradientowe/materiał dwufazowy *	11
3.2.12.	Struktura amorficzna*	11
3.3.	Podsumowanie.....	12
4.	Rady i Uwagi	12
4.1.	Przykuwanie uwagi.....	12
4.2.	Pytania.....	12
4.3.	Uwagi końcowe	12
4.3.1.	Modernizacja modelu.....	12
4.3.2.	Uwagi dla Prezentujących	13





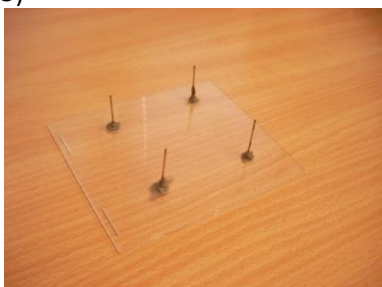

2. Model

2.1. Lista elementów

Dynamiczny Model Dyslokacji Bragg'a-Nye'a (czyt. braga-neja) składa się z następujących elementów:

- Kuweta – Do niej nalewa się ośrodek służącego do otrzymania warstwy bąbelków.
- Przykrywka do kuwety – Służy do przykrycia kuwety podczas transportu. Istnieje możliwość przykręcenia, lecz w praktyce nie stosuje się tego.
- Pompka akwariowa – Do sprawnego wytwarzania bąbelków.
- Rurka – Łącznik pomiędzy pompką a igłą. Umożliwia sterowanie produkcją bąbelków.
- Igły - Do wydmuchiwania bąbelków. Podczas pokazu wystarczy jedna. Im mniejsza ma średnicę, tym lepiej.
- Grzebień – Do wprowadzania naprężeń (patrz rozdział 3.2.9)
- Szkielety brył – Do rozpinania błon oraz tworzenia niekulistych baniek mydlanych.
- „Stolik” – Do pokazu „4 miasta” (patrz rozdział 3.2.3).
- Zapalniczki – Do sprawnego usuwania bąbelków.
- *Lejek (w chwili obecnej nie znajduje się)* – do zlewania płynu po pokazie oraz do wydmuchiwania dużych baniek mydlanych.
- Płyn – Zwany w żargonie „sokiem z gumijagód”. Skład: 1/3 woda destylowana, 1/3 gliceryna, 1/3 płyn do zmywania naczyń (z doświadczenia poleca się PUR, natomiast przestrzega przed LUDWIKiem). Podczas pokazu Wykorzystuje się ok. 0,5 litra tego specyfiku. Nadaje się do powtórnego użytku, także marnotrawstwem jest wylewanie go po pokazie – powinno się go zlać z powrotem. Ilość 2l gliceryny starcza na ok. 4 lata eksploatacji modelu. Gdy płynu jest mało nie należy wstrząsać butelką – piana schodzi ok. 3 dni. Płyn nie jest w żadnym razie niebezpieczny ani drażniący.
- Torba – Wszystkie powyższe komponenty mieszczą się w torbie ułatwiając transport i przechowywanie.
- Rzutnik do folii oraz ekran – komponenty nie należące na stałe do zestawu – zaleca się pożyczanie na miejscu lub wzięcie z Wydziału. Ekran może być z powodzeniem zastąpiony białą ścianą.

Tabela 1 Niektóre elementy modelu.: 1)kuweta, 2)pompka, 3)rurka, 4)igły, 5)„stolik”, 6)zapalniczki

1) 	2) 	3) 
4) 	5) 	6) 

2.2. Zalecenia i środki bezpieczeństwa

Ponadto przy prowadzeniu pokazu zaleca się stosowanie rękawiczek lateksowych, fartucha laboratoryjnego oraz gogli. Operowanie modelem jest związane ze zwilżaniem dłoni (przynajmniej palców) co przy kilkugodzinnych pokazach staje się męczące. Możliwość zachlapania płynem również istnieje, więc fartuch chroni przed niepotrzebnymi plamami. Gogle nie pełnią żadnej konkretnej roli, natomiast uzupełniają cały „uniform naukowca” nadając osobie prezentującej poważny wygląd co nie jest bez znaczenia w przypadku pokazów prowadzonych dla wymagających odbiorców (zwłaszcza dzieci).

Poleca się również aby w miejscu prezentowania znalazły się chusteczki higieniczne/ręczniki papierowe itp., aby w razie potrzeby w każdej chwili móc wytrzeć ręce lub ewentualne plamy/krople płynu.

UWAGA!

POWIERZCHNIA RZUTNIKA POWINNA BYĆ BEZWZGLĘDNIEM SUCHA!

WSZELKIE PRZECIEKI POWINNY BYĆ NATYCHMIAST WYCIERANE!

Podczas pracy z kompletnym zestawem nalewa się płyn na naczynie znajdujące się na urządzeniu elektrycznym. Należy bezwzględnie zachować ostrożność i nie dopuścić do powstawania rozległych plam płynu. Wszelkie wycieki nie tylko zaciemniają obraz, ale również stwarzają niebezpieczeństwo zarówno dla prowadzącego jak i dla widzów.

3. Prezentacja

3.1. Przygotowanie

Dobrze jest, jeśli bezpośrednio przed pokazem umyje się kuwetę i wytrze pozostałe potrzebne elementy. Należy zadbać, aby w miejscu pokazu znajdowało się źródło zasilania.

Powinno się sprawdzić działanie pompki, drożność rurki i igieł. Następnie należy rozstawić elementy tak, aby wygodnie było prezentować. Elementy potrzebne do prezentacji powinny być w zasięgu rąk.

Podstawa dla kuwety/rzutnika powinna być dobrze wypoziomowana. Wielkość bąbelków jest funkcją średnicy igły, ciśnienia powietrza oraz głębokości na jakiej znajduje się otwór igły. Zatem różna grubość warstwy płynu powodować będzie wydmuchiwanie bąbelków o różnej średnicy. Zazwyczaj jest to niewskazane, lecz w przypadku pokazu 3.2.11 jest jak najbardziej pożądane.

Gdy wszystko jest gotowe wlewamy porcję płynu do kuwety i czekamy na Słuchaczy.

3.2. Przebieg

Poniżej przedstawiono przebieg prezentacji. Zaproponowana kolejność sprawdza się w praktyce, gdyż przeprowadza widza powoli od pojęć prostych i znanych do bardziej skomplikowanych i nieoczywistych. Pokazy oznaczone gwiazdką (*) nie należą do głównego „ciągu” pokazu – są zbyt czasochłonne lub specjalistyczne. Jednak nie dla zaangażowanego studenta Wydziału Inżynierii Materiałowej.

Mimo to – nie kolejność, ani nie treść jest najważniejsza. Prezentacja ma być atrakcyjna. Jeśli Prezentujący wypracuje inną i czuje się z tym swobodnie – tym lepiej dla Niego (bo mniej się męczy) i jego Słuchaczy (bo wtedy prezentacje będzie dla nich bardziej zrozumiała).

3.2.1. Błona baniek mydlanych

Zaprezentowanie: Rozpięcie błony mydlanej na lejku, ścianie bryły. Wydmuchanie bańki mydlanej.

Jak: Po prostu...

Omówienie: Błona mydlana jest tworem niekorzystnym energetycznie. Znaczy to, że będzie dążyła do tego, aby posiadać/reprezentować sobą jak najmniejszą porcję energii. Co w tym przypadku sprowadza się do tego, iż błona dąży do tego, aby miała jak najmniejszą powierzchnię. Siła, która wyraża tą dążność to napięcie powierzchniowe. Właśnie dlatego bańki mydlane są kuliste – kula jest bryłą o najmniejszym stosunku powierzchni do objętości. Gdy zaburzymy błonę – czyli gdy ją przebijemy całość destabilizuje się, pęka i powstaje kropla.

Błonka może powstać, gdy w roztworze wodnym mamy rozpuszczony detergent (środek powierzchniowo czynny, mydło). Cząsteczki tej substancji są amfifilowe, to znaczy że posiadają co najmniej dwa końce – jeden hydrofilowy (wodolubny, zwilżalny) a drugi hydrofobowy (wodo-nielubny, niezwilżalny). Cząsteczki takie układają się w warstwy jedna przy drugiej, tak, aby fragmenty o różnych właściwościach były przy sobie. Cząsteczki takie będą się gromadziły na powierzchni cieczy, gdyż te części, które nie lubią wody będą je wypychały na powierzchnię. Gdy będziemy powoli wyciągali ramkę z takiego roztworu to dzięki napięciu powierzchniowemu podniesimy trochę ciecz do góry. Cząsteczki takie bardziej się przyciągają niż woda, więc woda będzie wypływała dołem, a błonka będzie się trzymała. Aż dwie warstewki po obu stronach ramki się zetkną. I w ten sposób utworzyliśmy błonę bańkową.

Możemy obserwować też piękne kolory baniek. Jest to związane z tym, że pomiędzy warstwami detergentu mamy zamkniętą małą ilość wody, która spływa na dół. Więc błona będzie grubsza na dole. Światło przechodząc przez błonę podlega interferencji, czyli nakłada się na siebie i wzmacnia pewne kolory w zależności od tego, jakiej grubości jest błona. Ponieważ grubość zmienia się, zmieniają się też kolory. Jest to również powód dla którego bańki mydlane pękają z góry – woda gromadzi się u dołu bańki i na szczycie jest ona najcieńsza.

3.2.2. Bryły

Zaprezentowanie: Rozpięcie błony na wszystkich krawędziach szkieletu bryły. Wprowadzenie bąbla powietrza. Rozpięcie błon na nie wszystkich krawędziach szkieletu. „Przebicie” palcem błony.

Jak: Wkładamy szkielet do kuwety i kolejno „przewracamy” go z boku na bok, tak, aby zaliczyć wszystkie ściany. Staramy się, aby jedna a krawędzi była pod powierzchnią płynu podczas „przewracania”. Również przy wyjmowaniu bryły należy ją odchylić, aby kontakt z płynem miała krawędź a następnie wierzchołek.

Aby wprowadzić powietrze należy raptownie (ale i niezbyt gwałtownie) przyłożyć szkielet z rozpiętymi wszystkimi błonami całą ścianą do płynu. Wyjmować tak jak poprzednio – ściana, krawędź, wierzchołek i w górę. To którą ścianę przyłożymy nie jest obojętne, natomiast spisywanie tu zasad byłoby nazbyt niepraktyczne w porównaniu do łatwości z jaką rozeznanie w tej kwestii przychodzi w praktyce.

Dobrze jest, aby na powierzchni płynu w kuwecie nie znajdowały się małe bańki mydlane – na tym etapie tylko przeszkadzają. Można je albo odsunąć, albo oczyścić powierzchnię za pomocą płomienia zapalniczki.

Odpowiednie błonki należy następnie przebijać suchym palcem lub innym przedmiotem (np. długopis). Aby włożyć palec w błonę nie przebijając jej należy go dokładnie nawilżyć.

Omówienie: Gdy rozpinamy błony baniek mydlanych na bardziej skomplikowanych powierzchniach tworzą się malownicze wzory. Również w tym przypadku zasada minimum energii zachowuje swoją moc: błony będą się starały przyjąć jak najmniejszą powierzchnię. Kształt zależy od „warunków początkowych” naszej konfiguracji, co sprowadza się do wykorzystania odpowiednich szkieletów brył. Dzięki temu możemy z łatwością wyznaczyć środek geometryczny brył (czworościan),

przekątnych i tak dalej. Łona jest „swobodna” jest płaska – ciśnienie po obu jej stronach jest identyczne. Natomiast jeśli zamkniemy pewną objętość powietrza wewnątrz błon, wówczas nasze równania równowag należy zmodyfikować, uwzględniając pewną energię objętościową. Wówczas widzimy, że ścianki nie są płaskie, lecz wypukłe. Nie jest również oczywiste, czy powstałe w ten sposób powierzchnie to czasy kuliste, czy też bardziej skomplikowane powierzchnie. I jak można zaobserwować, bańki wcale nie muszą być kuliste – mogą być czworościennie, sześciennie...

Warto zwrócić uwagę na fakt, iż rozwiązania-stabilne konfiguracje nie są symetryczne, mimo iż warunki początkowe są (widoczne to jest w przypadku sześcianu). Płaszczyzna środkowego kwadracika może być równoległa do jednej z trzech par ścian równoległych. Ostatecznie ustala się jedna. Jest to związane oczywiście ze sposobem rozwiązania, czyli tym, w jaki sposób rozpina się błonki. Jest to jakaś analogia faktu, że zależnie od sposobów obliczania można uzyskać różne – z pozoru - wyniki.

Za pomocą bek mydlanych można również zaprezentować również inne powierzchnie. Usuwając odpowiednie „warunki brzegowe” można otrzymać na przykład hiperboloidę obrotową, albo powierzchnię siodłową.

(Niepokazywane – powierzchnia baniek rozpięta pomiędzy dwiema równoległymi obręczami, jak w przypadku walca jest obrotową krzywą sznurkową <cosinus hiperboliczny>).

Aby sobie pomóc w tworzeniu baniek warto zwilżyć dłonie. Wówczas błona nie pęka tak łatwo. Natomiast dotknięcie czymś suchym od razu powoduje pęknięcie błonki.

3.2.3. „4 miasta”

Zaprezentowanie: Umieszczenie „stolika” w kuwecie, wydmuchanie bąbla wewnątrz, przebicie jednej ze ścianek i „pomoc” w ustaleniu się stabilnej konfiguracji.

Jak: „Stolik” („nóżki” i „blat”) należy wstępnie zwilżyć maczając w kuwecie, następnie za pomocą rurki należy wydmuchać jeden bąbelek (za pomocą własnych płuc), względnie usuwając bańki niepożądane. Następnie przebić jedną ze ścianek. Aby doszło do zmiany konfiguracji błonki na poszczególnych bokach muszą się zetknąć. Aby temu pomóc należy delikatnie poruszać całym stolikiem nie wyjmując „nóżek” ponad taflę płynu w kuwecie.

Następnie na białej tablicy (jeśli jest) można naszkicować charakterystyczne kąty oraz zapisać rozwiązanie „zadania”.

Omówienie: Bańki mydlane mogą nam również pomóc w rozwiązywaniu mniej trywialnych problemów. Wyobraźmy sobie takie zadanie:

Cztery miasta są rozmieszczone na wierzchołkach kwadratu o boku długości „a”. Należy je połączyć autostradą, albo linią telefoniczną, tak, aby zużyć najmniej materiału. Czyli tak, aby trasa miała jak najmniejszą długość.

Zadanie to można oczywiście rozwiązać analitycznie – założyć pewne zmienne, ułożyć równanie długości drogi w zależności od nich, zróżniczkować, znaleźć miejsce zerowe, udowodnić, że jest to minimum i podać wynik. Albo można próbować obliczać geometrycznie. W końcu – można użyć baniek mydlanych.

W tym celu musimy skonstruować odpowiedni układ – taki jak ten i przeprowadzić obliczenia, czyli wydmuchać odpowiednią bańkę. Na początku rozwiązanie nie przypomina tego właściwego z uwagi na objętość powietrza zawartą w środku. Teraz to rozwiązanie odpowiada zadaniu, w którym z góry ustalamy pewien obszar, jaki ma być ograniczony przez naszą autostradę. Gdy się pozbędziemy powietrza w środku (tu przebić jedną ze ścianek) rozpoczynają się obliczenia. (Jeśli błona zatrzyma się na krawędziach, delikatnie poruszyć „stolikiem”). Czasem szczęściu trzeba pomóc.

(Gdy ustali się równowaga). Tak wygląda stabilne rozwiązanie. Co ciekawe, można zaobserwować wzór popularny w przyrodzie. Kąt pomiędzy „poprzeczką” jak i „ramionami” to 120° , czyli taki sam jak w plastrach miodu. Jeśli chodzi o długość tego rozwiązania wynosi ona $a(1+\sqrt{3})$ i jest mniejsza od intuicyjnego rozwiązania z dwiema przekątnymi, czyli $2\sqrt{2}a$ o zaledwie 3,5%. Jak widać

takie niewielkie różnice już są wystarczające dla tego układu. Ponownie zwracam uwagę, iż rozwiązanie nie jest symetryczne – zależy do tego, który bok został przebity.

Jak widzimy bańki można wykorzystywać w zadaniach optymalizacyjnych. Jest to coraz bardziej rozpowszechniony kierunek obliczeń spotykanych w fizyce, chemii czy też ekonomii. Kto wie, być może odpowiednio skonstruowany układ początkowy byłby w stanie podpowiedzieć, jakie ulgi podatkowe wybrać, aby jak najmniej oddać ZUS-owi, albo jak najszybciej dojechać z domu do szkoły w godzinach szczytu.

3.2.4. Krystalizacja z cieczy

Zaprezentowanie: Oczyszczenie tafli płynu z baniek, napuszczanie banieczki warstwa po warstwie aż do wypełnienia całej powierzchni. Uzupelnienie ewentualnych braków.

Jak: Oczyszczenie za pomocą płomienia. Aby napuszczać banieczki należy ustawić pompkę akwariową na odpowiednie ciśnienie za pomocą pokrętła. Gdy banieczki się skleją – są za duże. Następnie miarowymi ruchami przeczesywać powierzchnię korytka utrzymując igłę na stałej wysokości (najczęściej opierając końcówkę o dno). W trakcie należy ustawić ostrość rzutnika, aby banieczki były dobrze widoczne.

Omówienie: No dobrze, powiedzieliśmy sobie co nieco na temat baniek mydlanych. Jednak, jakby nie patrzeć, jesteśmy z koła naukowego Inżynierii Materiałowej, a bańki mydlane nie są jeszcze materiałami konstrukcyjnymi ani inżynierskimi (nie, żebym o tym wiedział). Jednak istnieje ciekawy związek pomiędzy naszą dziedziną a bąbelkami.

Okazuje się, że jeśli wytworzymy odpowiednio dużo bąbelków o jednakowej średnicy, będą się one zachowywały jak atomy, z których jesteśmy zbudowani. Bo na wszystkich szczeblach organizacji materii – od atomów po galaktyki – zasada minimum energii zachowuje swoją moc. Jak to sobie powiedzieliśmy w przypadku baniek mydlanych minimum energii dotyczy minimum powierzchni. W przypadku atomów mamy do czynienia z minimum energii elektromagnetycznej. Otóż, atomy składają się z dodatnio naładowanych jader oraz ujemnie naładowanych chmur elektronowych. Czyli różnoimiennie naładowane chmury z jądrami będą się przyciągały, a ładunki jednoimiennie jader i chmur będą się odpychały. I teraz: istnieje taka odległość pomiędzy atomami, gdzie obie te siły są w idealniej równowadze. I atomy naturalnie ustawiają się w tym położeniu. Każde wytracenie atomu z tego położenia jest związane z przyłożeniem jakiejś siły – czy po to, aby atomy przybliżyć, czy też po to, aby je oddalić. I tak samo zachowują się banieczki.

Na ten pomysł pod koniec lat czterdziestych ubiegłego wieku wpadli pan Bragg i pan Nye. Pan Bragg był wówczas uznanym naukowcem uhonorowanym nagrodą Nobla. Czyli napracował się, a potem się rozerwał pracą z bąbelkami. Znane jest równanie Bragg'a – to ten sam pan.

To co teraz pokazuję jest dobrą analogią procesu krystalizacji z cieczy. Czyli to co się dzieje z płynnym metalem, gdy wlewamy go do formy. Temperatura spada, i gdy przekroczona zostaje temperatura topnienia materiał przechodzi w stan stały. To znaczy, że atomy ustawiają się w pewne charakterystyczne miejsca. Tak samo jak banieczki. Najpierw przy krawędziach, a następnie w głąb materiału.

3.2.5. Koagulacja*

Zaprezentowanie: Stworzenie „wysp” baniek na środku i zaobserwowanie ich łączenia się z krawędziami.

Jak: Ten punkt wymaga cierpliwości. Na początku należy utworzyć kilka warstw baniek na krawędziach, a następnie jedną albo kilka „wysp” banieczek na środku kuwety. „Wyspy” powinny móc się swobodnie poruszać w toni. Im większe, oraz im bliżej krawędzi tym szybciej zaobserwujemy efekt. Gdy „wyspa” łączy się z granicą widać, jak porządkują się poszczególne defekty/tworzą granice.

Omówienie: Możemy również obserwować, jak zachodzi koagulacja. Na początek stworzymy krystalit w cieczy, a następnie będziemy obserwowali jak się łączy z istniejącą strukturą.

Widać wyraźnie, jak przy zetknięciu dopasowuje on swoją orientację w przestrzeni aby dopasować się do istniejącej sieci. Również podczas łączenia dochodzi do grupowania się atomów na krawędziach.

3.2.6. Struktura krystaliczna

Zaprezentowanie: Wypełnienie banieczkami całej tafli. Omówienie widocznych obszarów gęstego upakowania, mono- i polikryształów, granic ziaren. Wskazane jest rysowanie na tablicy.

Jak: Doprowadzić „kryształizację z cieczy” do końca.

Omówienie: Tak powstała struktura, mimo iż z baniek mydlanych do złudzenia przypomina to, co się dzieje z atomami w metalach. To tak, jak byśmy mieli powiększenie na żywo milion razy, a najbardziej zaawansowanym technologicznie sprzętem jest pompka akwariowa. Istnieją mikroskopy, które pozwalają na to samo, ale kosztują grube miliony euro, próbka wymaga skomplikowanej preparatyki, silnego schłodzenia, dużo czasu i zachodu.

A więc widzimy atom – każdy otoczony przez sześciu swoich kolegów. I kolejny, i kolejny i kolejny i tak dalej. Wyznaczają one tak zwane kierunki krystalograficzne, wzdłuż których są ułożone atomy. Mamy tu do czynienia z tak zwanym porządkiem dalekiego zasięgu. Tak się układają atomy w kryształach. Na przykład w kryształach górskim, albo w diamentach albo w kryształach krzemu, z których są zrobione dyski twarde komputerów. Mając dane zaledwie kilka informacji o takim układzie – odległości między atomami oraz charakterystyczne kąty możemy opisać położenie wszystkich atomów w całym kryształach. Choćby i milion atomów dalej, jeśli kryształ jest idealny mamy wystarczające informacje, aby znaleźć w danym miejscu atom.

Ponadto jest to bardzo charakterystyczne ułożenie, zwane płaszczyzną gęstego upakowania. Jeśli mamy kulki to na jednej płaszczyźnie nie jesteśmy w stanie zmieścić więcej kulek, niż w takim układzie.

Lecz, jeśli w obrębie naszego wzroku znajdzie się większy obszar zauważymy pewne zaburzenia. Zauważymy, iż są wysoce uporządkowane obszary, między którymi znajdują się strefy niedopasowania. Obszary regularne to małe kryształy, czyli krystality, albo inaczej ziarna materiału. Obszary nieregularne to granice międzyziarnowe. Taki układ znajduje się w większości materiałów metalicznych, jakie spotykamy na co dzień – czy blacha w karoserii samochodu, czy zbrojenie betonu budowie, czy koperta zegarka, albo złoty ząb. Materiały te składają się z bardzo wielu takich małych kryształów połączonych granicami.

Jest to bardzo ważne, iż od tego, jakiej wielkości są ziarna, tym większa jest wytrzymałość materiału. Sterując wielkością tego parametru możemy dobierać materiał do naszych potrzeb.

3.2.7. Fonony *

Zaprezentowanie: Wywołanie fononów i obserwacja jak propagują w całej próbce.

Jak: Poruszyć/uderzyć/szturchnąć w jedną z krawędzi kuwety i obserwować rozchodzące się fale.

Omówienie: W takiej strukturze możemy obserwować rozchodzące się fonony. Jest to pewien typ drgać, któremu ulegają kolektywnie grupy atomów. Są to drgania termiczne atomów. Ich grupy są w fazie, czyli mają ten sam stopień wychylenia w danym momencie czasu. Atomy zespołowo przybliżają i oddalają się ze sobą. Fonony mogą oddziaływać z i defektami struktury.

3.2.8. Defekty sieci

Zaprezentowanie: Pokazanie defektów/stworzenie nowych, manipulowanie istniejącymi. Wskazane jest rysowanie na tablicy.

Jak: Pozostawić układ z poprzedniego podpunktu. Tworzenie/przesuwanie wakansów za pomocą igły. Tu przydatna jest spostrzegawczość.

Omówienie: Jeśli się dobrze przyjrzymy znajdziemy również inne odstępstwa od struktury idealnie, czyli jak my to nazywamy – defekty. Jednym z nich jest brak atomu, czyli tak zwany wakans. Od tego właśnie defektu bierze się nazwa naszego koła naukowego. Wakanse są bardzo ważnymi defektami, odpowiedzialnymi za dyfuzję, czyli za „mieszanie” się materiału i wędrowanie jego składników. W wysokiej temperaturze wakanse mogą się poruszać. To trochę na odwrót, bo to przeskakują atomy, ale globalnie, efektywnie wygląda to tak, jakby poruszał się wakans. Przypomina to poruszanie się dziur elektronowych w półprzewodnikach w tranzystorze. Wakanse są odpowiedzialne za degradację materiału w wysokich temperaturach. Wakanse mogą się łączyć, tworzyć coraz to większe pustki.

Możemy też zobaczyć, że niektóre bąbelki są labo większe, albo mniejsze. Obrazuje nam to atomy domieszek znajdujące się w materiale. Widzimy jak kierunki krystalograficzne wyginają się wokół takich intruzów. Ponieważ, tak jak powiedzieliśmy, wytrącenie atomu z położenia równowagowego wymaga wykonania pewnej pracy, defekty tego typu zwiększają energię materiału. W większości wypadków powoduje to wzmocnienie materiału poprzez tak zwane umocnienie dyspersyjne.

Bardzo małe bąbelki przypominają atomy wodoru. Są one tak małe, że prawie nie rozpychają sąsiadów, bardzo łatwo wnikają do materiału, ale jednocześnie bardzo ciężko się ich pozbyć.

W końcu bardzo ciekawe defekty, odpowiedzialne za odkształcanie się materiału, czyli to co się dzieje z atomami, gdy otwieramy puszkę napoju, zginamy spinacz biurowy, albo samochód zderza się z drzewem. Kiedy są nieruchome trudno jest je zobaczyć. Wskazują na nie miejsca, gdzie jeden atom jest otoczony przez pięciu albo siedmiu kolegów. Wówczas widać, że mamy jedną nadmiarową półpłaszczyznę, widzimy, że jedna prosta zamiast być ciągłą kończy się. Taki defekt może się poruszać – atomy przeskakują jeden po drugim i taka półpłaszczyzna przemieszcza się. Zaraz to obejrzymy.

3.2.9. Naprężenia i ruch dyslokacji

Zaprezentowanie: Włożyć do rynienki grzebień. „Ścisnąć” trochę materiał, odpuścić. Następnie ponownie powoli „rozciągać” bąbelki. Na koniec kilkakrotnie „przyłożyć naprężenie ścinające”.

Jak: Manipulować grzebieniem na powierzchni bąbelczek. W razie potrzeby uzupełnić dziury bąbelkami.

Omówienie: Gdy będziemy przesuwali bąbelki względem siebie możemy obserwować co się dzieje z materiałem w mikro skali podczas odkształcania. Czyli jak zachowują się atomy podczas na przykład procesów technologicznych. Moje przesuwanie grzebieniem symuluje to co się dzieje z materiałem, gdy przykładamy naprężenia, czyli działamy na niego pewną siłą. W najprostszym przypadku jesteśmy ciekawi, jak zachowa się materiał, gdy go po prostu rozciągamy.

Na początku następuje odkształcenie elastyczne – materiał zachowuje się jak sprężyna. Możemy go trochę wydłużyć, albo ścisnąć, ale atomy nie zmieniają swojego względnego położenia (swoich kolegów). Gdy tylko usunę bodziec wywołujący naprężenie – w tym wypadku grzebień – atomy wrócą do swoich poprzednich położenia. Zależność pomiędzy tym jak dużo siły wkładam w odkształcenie a tym jak bardzo materiał się odkształcił nazywamy modułem Younga i oznaczamy symbolem E. Jest to wielkość makroskopowa, mierzalna, jak bardziej obecna w życiu codziennym. Natomiast wynika ona bezpośrednio z tego jak mocno przyciągają się atomy w mikroskali. Oczywiście dochodzą do tego jeszcze wszystkie defekty, o których mówiliśmy do tej pory, które zmniejszają jego wartość. Ale już produkuje się materiały z bardzo małą ilością defektów, które mają bardzo wysoki moduł Younga. Takimi materiałami są na przykład whiskey – monokryształy włosowate posiadające tylko jedną dyslokację śrubową. Innym przykładem są nanorurki: bardzo wydłużone konstrukty z harmonicznie rozłożonymi atomami węgla. Jednak zarówno w pierwszym jak i drugim przypadku problemem jest to, że twory te są bardzo małe. Gdybyśmy mogli zbudować linę o większej średnicy z takich materiałów, moglibyśmy zbudować windę kosmiczną.

Teraz zobaczymy co się dzieje z materiałem, gdy przyłożymy większe obciążenia. Jak widać dochodzi do większych zmian. Dyslokacje, czyli defekty, o których już wspominałem mają możliwość przesuwania się. Dodatkowa płaszczyzna potrafi przeskakiwać jedna płaszczyzna po drugiej. Ruchy te występują nawet w regionach odległych od miejsca, w którym przyłożymy nasz bodziec.

To jest niebywała zaleta tego modelu, gdyż jest to jedyny znany mi przykład, gdy można obserwować ruch dyslokacji na żywo, a nie tylko stany pośrednie. Uzyskiwane powiększenia są rzędu miliona razy, a najbardziej zaawansowanym technologicznie elementem zestawu jest pompka akwariowa. Koszt w porównaniu do bardzo kosztownych transmisyjnych mikroskopów elektronowych wysokiej rozdzielczości (HRTEM) to ułamek setnej części procenta. A i dysponując takim sprzętem musimy spędzić ok. 8h na preparowaniu jednej próbki. Nie mówiąc o tym, że obserwacje prowadzi się w wysokiej próżni i niskich temperaturach.

3.2.10. Zdrowienie*

Zaprezentowanie: Wprowadzenie dużego odkształcenia do materiału a następnie obserwowanie zmian podczas „zdrowienia”.

Jak: Pomieszać intensywnie bąbelki igłą (lub dwiema na raz). Obszar „odkształcany” nie powinien być duży – wielkości mniej więcej dłoni. Należy uważać, by nie wprowadzić nowych baniek, nie podzielić już istniejących itp. Ruch powinien po prostu wprowadzić możliwie dużo defektów. Po wyjęciu igieł obserwować to miejsce przez ok. minutę. Już zaraz po zaprzestaniu mieszania bańki powinny zacząć się porządkować. Pojedyncze przeskoki baniek/wakansów/dyslokacji czy ruch granic mogą być obserwowane również po pewnym czasie.

Omówienie: Do daleko idących zmian w materiale dochodzi nie tylko podczas odlewania (kryształacji). Do zmian może dochodzić również w stanie stałym. Jedną z takich przemian jest zdrowienie. Podlegają jemu materiały odkształcone poddane wyżarzaniu.

Defekty reprezentują pewną energię wprowadzoną do materiału. Nie może ona być uwolniona w niskich temperaturach ze względu na bariery termiczne – ruch atomów jest wówczas bardzo wolny. Jednak gdy podniesiemy temperaturę defekty zaczną się porządkować: zaniknie pewna ilość dyslokacji różnoimiennych, a pozostałe rozmieszczą się tak, aby tworzyć jak najmniejsze naprężenia, czyli zazwyczaj strukturę komórkową. Podobne zjawiska obserwujemy również w tym modelu.

3.2.11. Materiały gradientowe/materiał dwufazowy *

Zaprezentowanie: Wytworzenie baniek o różnej wielkości na długości kuwety.

Jak: Można wykorzystać pochylenie stolika i produkować banieczki o średnicy zmieniającej się liniowo. Jednak jest to mało realistyczne. Poleca się wykorzystanie 2-3 średnic igieł albo 2-3 różnych ustawień pompki akwariowej do wydmuchiwania baniek o różnym rozmiarze.

Omówienie: Ostatnimi czasy popularne są materiały tak zwane gradientowe, czyli takie które zmieniają swoje właściwości w sposób ciągły wzdłuż co najmniej jednego z kierunków. Przykładem modelu materiału tego typu może być wytworzona struktura. Bąbelki o różnych średnicach reprezentują atomy różnych pierwiastków a więc materiały o różnych właściwościach. Obszar w którym rozmiary baniek są takie same będziemy nazywali jedną fazą. W ramach jednej fazy widzimy typową strukturę polikrystaliczną. Granica pomiędzy ziarnami dwóch różnych faz będziemy nazywali granicą fazową. Może ona być koherentna, gdy poszczególne kierunki krystalograficzne zgadzają się ze sobą w obu ziarnach, niekoherentna, gdy się nie zgadzają lub półkoherentna, gdy mamy do czynienia z częściową koherencją.

3.2.12. Struktura amorficzna*

Zaprezentowanie: Wytworzenie struktury amorficznej.

Jak: Najłatwiej jest to zrobić na podstawie poprzedniego punktu. Należy wytworzyć bąbelki o różnych średnicach a następnie dobrze je ze sobą wymieszać. Powstała struktura nie powinna się odznaczać jakkolwiek regularnością.

Omówienie: Jeśli jedną skrajnością materiałów są monokryształy, to druga są materiały amorficzne. W pierwszych mamy do czynienia z idealny porządkiem, a w drugich – kompletnym jego brakiem. Taką strukturą wykryto początkowo w szklach. Materiały metaliczne o takim rozłożeniu atomów są zwane często szklami metalicznymi. Otrzymuje się je prowadząc bardzo szybkie ochłodzenie z prędkością kilku milionów stopni na sekundę, która powoduje silne przechłodzenie i „zamarzanie” struktury cieczy. Uzyskuje się to wytryskując pod ciśnieniem płynny metal ba szybko wirujący bęben z materiału o dobrej przewodności cieplnej (np. miedź). Otrzymujemy materiał o ciekawych właściwościach mechanicznych jak również elektrycznych.

3.3. Podsumowanie

Pokaz kończy się zazwyczaj sakramentalnym „Czy są jakieś pytania?”. Następnie albo wchodzi się w dalszą dyskusję wyjaśniając niejasności, albo zaczyna się prezentację od początku dla widzów, którzy przyszli w trakcie właśnie zakończonej prezentacji

4. Rady i Uwagi

4.1. Przykuwanie uwagi

Z pozoru niefachowa nazwa ośrodka roboczego („sok z gumijagód”) być może kłuje w uszy purystów, ale jest elementem, który podczas prezentacji przykuwa uwagę słuchaczy. Jeśli padnie pytanie „co to za płyn” odradzałbym odpowiadanie z marszu składem podanym na początku skryptu. Podanie bajkowego terminu przykuwa uwagę i ukazuje naukowców w bardziej ludzkim świetle co jest ze wszech miar pożądane.

Ponadto przy typowej odpowiedzi informację o płynie można podać na końcu tonem wyjawiania sekretu – jakby nie patrzeć nie robimy reklamy (być może zaczniemy?). A aura tajemniczości – choćby wymyślonej – również przyciąga.

4.2. Pytania

Również odpowiadanie na pytania dzieci wymaga sporego doświadczenia i wyobraźni. Zamiast rzucania terminami naukowymi należy się wyrażać jasno, mową potoczną i stosując zrozumiałe analogie, np. – woda destylowana – „bardzo czysta woda”, „przykładanie naprężeń” – „tak się dzieje jak zginasz drut”, „metaliczne materiały polikrystaliczne” – „metale z których są zrobione samochody, statki, samoloty”, „monokryształ” – „bardzo czysty materiał, stosowany na przykład na dyski twarde komputerów”.

Dobrze jest odnosić się do pozostałych elementów stoiska – czy to modeli kulkowych, czy zdjęć z wystawy „Oczami Hefajstosa”.

4.3. Uwagi końcowe

4.3.1. Modernizacja modelu

Elementy modelu ulegają co prawda powolnemu, ale mimo to postępującemu niszczeniu. Jest to widoczne zwłaszcza w przypadku szkieletów brył. Pewnego dnia model powinien być odnowiony lub zmodernizowany. Niemądrym byłoby powielać te same błędy co podczas montowania prototypu. Zalecenia odnośnie nowego przyrządu:

- Ścianki boczne kuwety mogą być wyższe – mniejsza obawa o rozlanie się płynu
- Nie jest konieczne, aby model stał na „nóżkach” – istnieje przez to ryzyko rysowania rzutnika

- Można pomyśleć nad systemem przelewania płynu z kувety z powrotem do butelki
Pozostałe niedogodności stają się oczywiste po kilkukrotnym prezentowaniu modelu

4.3.2. Uwagi dla Prezentujących

Skróty myślowe, jak na przykład w rozdziale 3.2.6, że struktura gęstego upakowania występuje w kryształach górskim (bezbarwna odmiana korundu). Jest to nieprawda – w tym mineralu mamy do czynienia z układem trygonalnym nie posiadającym takich płaszczyzn, ale jak we wszystkich kryształach posiada on uporządkowanie dalekiego zasięgu, o czym jest mowa we wskazanym fragmencie. Przykłady można by mnożyć. Radzi się, aby zanim użyje się informacji zawartych w niniejszym skrypcie podczas kolokwium dobrze się nad tym zastanowić.