

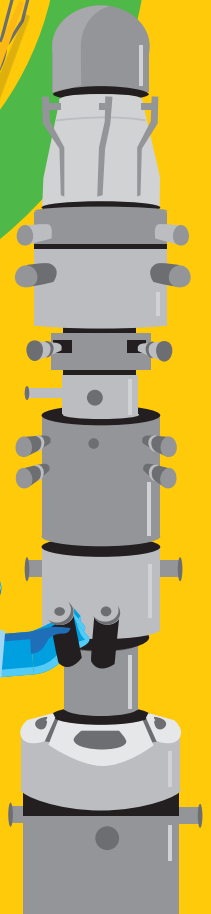


SOLARIS

NARODOWE CENTRUM
PROMIENIOWANIA
SYNCHROTRONOWEGO



**ZAJRZYJ DO
ŚWIATA NAUKI
z Centrum
SOLARIS**



**Zajrzyj do świata nauki
z Centrum SOLARIS**

Autorzy:
Agnieszka Cudek, Kinga Wróbel

Postać Elektro:
Marcin Czaja

Projekt graficzny i skład:
Pracownia Register

ISBN 978-83-967410-2-8

Kraków 2023



ISBN 978-83-967410-2-8





Witajcie w fascynującym świecie nauki!

To środowisko, w którym doskonale czują się nie tylko wytrawni naukowcy czy fascynaci wiedzy, ale także, a może nawet głównie, wszystkie umysły ciekawe świata. Takie osoby, zwracając uwagę na rzeczy oczywiste, widzą w nich serię pytań, proszących o znalezienie odpowiedzi.

Czy kiedykolwiek słyszeliście o akceleratorach cząstek? A może obito się Wam o uszy czym są synchrotrony lub kriomikroskopy? W naszej książce opowiemy Wam o tym, jak działa i do czego służy synchrotron oraz dlaczego wspólnie z kriomikroskopem są tak cenne dla świata nauki. Dowiecie się również, jaką rolę te urządzenia odgrywają w rozwoju wiedzy we współczesnej biologii, chemii, fizyce, a także medycynie i technologii. Opowiemy Wam także jak odkrycia dokonane na synchrotronach przekładają się na codzienne życie każdego z nas.

W poznawaniu tajników Centrum SOLARIS pomoże Wam nasz laboratoryjny bohater – Elektro.



Co to jest synchrotron?



Synchrotrony to urządzenia, które pomagają naukowcom z całego globu badać otaczający nas świat na najróżniejszych płaszczyznach, w skali atomowej i molekularnej.

Synchrotrony są rodzajem akceleratora kołowego czyli urządzenia, w którym przyspiesza się cząstki. W Centrum SOLARIS przyspieszane są elektrony, które krążą w próżni wokół pierścienia synchrotronu (tzw. pierścienia akumulacyjnego), gdzie zyskują coraz większą energię. Gdy tor ruchu elektronów pędzących z prędkością bliską prędkości światła jest zakrzywiany (dzięki ogromnym magnesom), na zakrętach powstaje promieniowanie elektromagnetyczne. To ono nazywane jest światłem synchrotronowym.



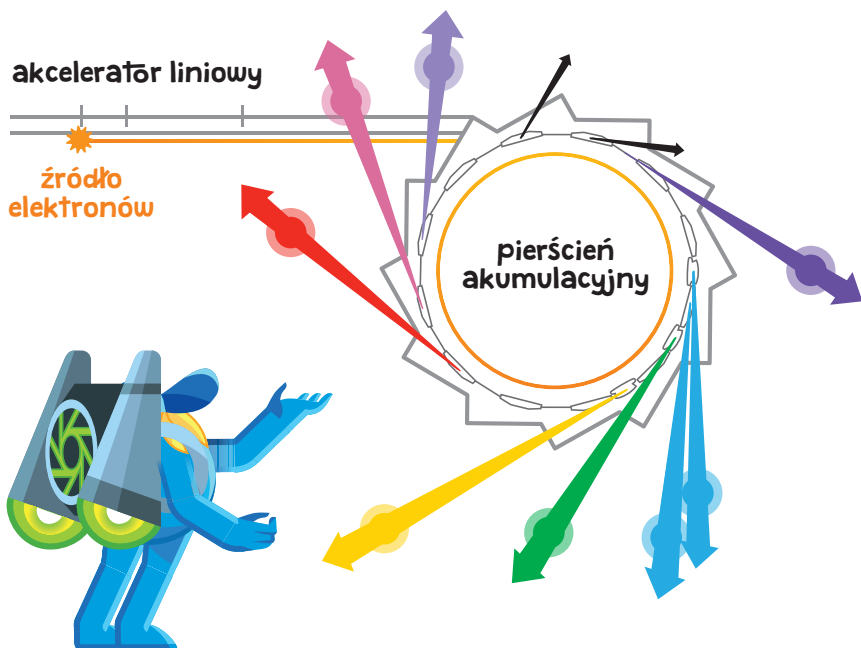
Następnie światło to wyprowadzane na zewnątrz pierścienia akumulacyjnego, trafia do linii badawczych. Tam, na stanowiskach pomiarowych, światło synchrotronowe kierowane jest na próbki i dzięki specjalnym detektorom zbierany jest z nich sygnał. Naukowcy prowadzący badania dokonują jego interpretacji, dostarczając informacji o otaczającym nas świecie i nierzadko odkrywając nowe właściwości i zjawiska w materii.

Czym zatem jest synchrotron SOLARIS? To urządzenie, które produkuje światło wykorzystywane do prowadzenia badań w wielu przyrodniczych, technicznych i humanistycznych dziedzinach nauki. To jedyne takie urządzenie nie tylko w Polsce, ale w Europie Środkowo-Wschodniej. Na naszym kontynencie istnieje zaledwie 13, a na świecie około 30 synchrotronów. Bardzo często działają przy uniwersytetach. Tak też jest w przypadku SOLARIS, Centrum jest częścią Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Główne elementy synchrotronu – podróż elektronów



Nigdzie na świecie nie ma fabryki produkującej części do synchrotronów. Poszczególne elementy są wytwarzane na zamówienie, dlatego każdy synchrotron ma unikalną konstrukcję. Jest ona wynikiem wielu lat pracy fizyków, mechaników, konstruktorów i elektryków. Synchrotron SOLARIS i w tym miejscu jest wyjątkowy, ponieważ ma swojego brata bliźniaka w Lund. Szwedzki synchrotron MAXIV 1.5GeV i SOLARIS powstały w oparciu o wspólny projekt, który został udostępniony polskiemu środowisku naukowemu, przed rozpoczęciem budowy w 2010 roku.



I. Działo elektronowe i akcelerator liniowy

Podróż elektronów po synchrotronie zaczyna się 8 metrów poniżej poziomu gruntu, gdzie zlokalizowane jest działo elektronowe. Służy ono do produkcji naładowanych cząstek, które później rozpędzane są w systemie. W skład działła wchodzi metal (tlenek baru rozgrzany do temperatury 1000°C), z którego wybijane są elektrony trafiające następnie do akceleratora liniowego. Akcelerator, czyli mówiąc prościej „przyspieszacz” jest przeszło 40 m tubą wyposażoną w struktury przyspieszające, magnesy oraz układy diagnostyczne i próżniowe. W jej środku panuje próżnia – bardzo podobna do tej w kosmosie. To ona pozwala swobodnie rozpędzać się elektronom, które dzięki temu nie zderzają się cząsteczkami gazów pozostałych w rurze, tzw. gazów resztkowych. Elektrony w akceleratorze liniowym, popychane przez impulsy fali elektromagnetycznej, przyspieszane są do prędkości ok. 99,99% prędkości światła.

II. Pierścień akumulacyjny czyli akcelerator kołowy

Tak rozpędzone elektrony podróżują w paczkach – podobnych do wagoników na kolei. W każdym z nich jest ponad miliard elektronów. W takiej formie zagiętą do góry rurą (linią transferową) przesyłane są do akceleratora kołowego, znajdującego się już nad powierzchnią ziemi. Pierścień akumulacyjny, to wciąż metalowa rura, w której panuje próżnia, mająca kształt przypominający obwarzanek. W rzeczywistości składa się z 12 części prostych i tylu też zakrzywionych. Tor ruchu elektronów kontrolowany jest przez system ogromnych magnesów.



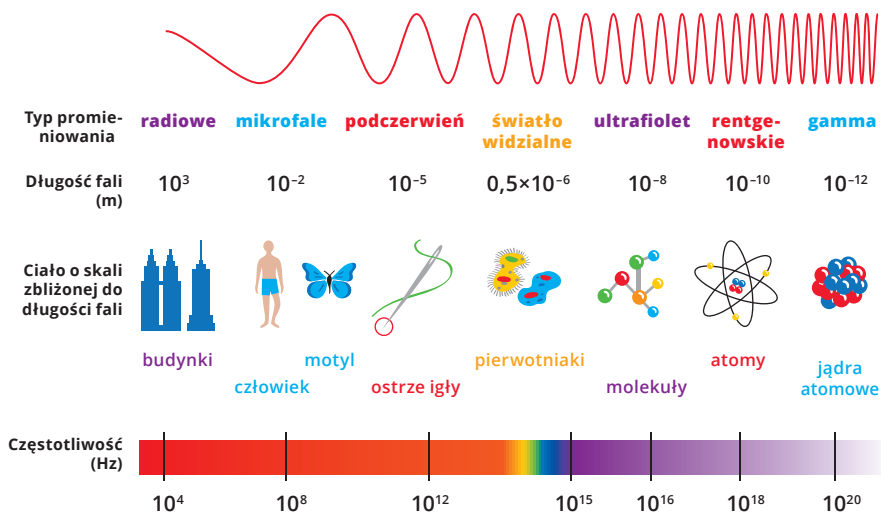
Kluczowy dla naukowców jest efekt uboczny skręcania elektronów w akceleratorze kołowym. To właśnie tam elektrony emitują światło, które wyprowadzane jest na zewnątrz pierścienia, na linie badawcze.

III. Światło synchrotronowe

Czym jednak w ogóle jest światło? To błysk latarki po zmroku, czy może blask Słońca? Światło dla fizyków to forma promieniowania elektromagnetycznego, które jest widoczne dla ludzkiego oka. Składa się z fotonów, czyli cząstek elementarnych, które nie mają masy, ale niosą energię. Światło porusza się po liniach prostych i może być odbijane, załamywane lub pochłaniane przez różne materiały. Jest niezbędne do widzenia i odgrywa kluczową rolę w różnych dziedzinach, takich jak fotografia, fizyka, astronomia i telekomunikacja.



Światło synchrotronowe znacznie różni się od tego, które widzimy na co dzień. Jak już wiemy cząstki przyspieszane w synchrotronie emitują promieniowanie synchrotronowe – światło. Jest ono bardzo intensywne, miliony razy jaśniejsze niż to, które dociera ze Słońca na Ziemię. Ma także szeroki zakres długości fal: od promieniowania rentgenowskiego, poprzez światło widzialne, na podczerwieni kończąc. Jest ono także bardzo wysokiej jakości, dzięki czemu może być używane do badań w wielu dziedzinach nauki i techniki.

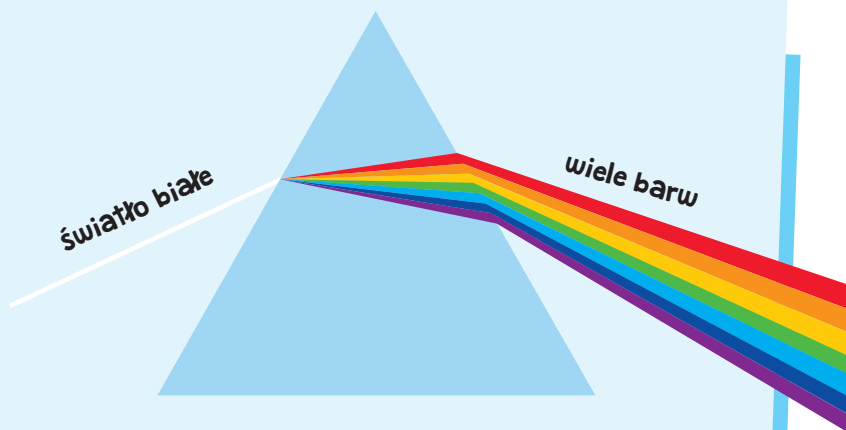


Jedną z najważniejszych cech promieniowania synchrotronowego jest duże skupienie jego wiązki, co umożliwia bardzo precyzyjne badania różnych materiałów. Właśnie dlatego naukowcy z całego świata korzystają z synchrotronów takich, jak SOLARIS. Dzięki udostępnianej im wiązce światła mogą prowadzić eksperymenty, które pozwalają na poznanie właściwości i zjawisk zachodzących w materii na najdrobniejszych poziomach, w skali atomowej i molekularnej.

CIEKAWOSTKA

Czy wiesz, że światło białe (widzialne) składa się z wielu barw?

Rozszczepienie światła widzialnego to zjawisko, w którym światło białe jest rozdzielone na wiele różnych kolorów, gdy przechodzi przez pryzmat lub kryształ. Pierwszy raz zaobserwował to Isaac Newton, co pozwoliło naukowcom zrozumieć, że światło jest złożone z wielu różnych kolorów. Ten sam efekt można zauważyć w tęczy, gdy światło słoneczne świeci na kroplę deszczu, dając wspaniały widok kolorowych pasm na niebie.



IV. Linie badawcze i stacje końcowe

Z perspektywy eksperymentów i naukowców, najważniejszym elementem całego Centrum są linie badawcze. W synchrotronach istnieje wiele różnych rodzajów stacji końcowych, z których każda wykorzystuje określony rodzaj światła do konkretnych zastosowań badawczych. Na przykład, niektóre linie używają zakresu światła zawierającego promieniowanie rentgenowskie, podczas gdy inne korzystają z podczerwieni, ultrafioletu lub światła widzialnego. Naukowcy przyjeżdżają do synchrotronów aby prowadzić eksperymenty, które nie są możliwe przy użyciu innych technik czy narzędzi. Dzięki synchrotronom mogą badać na bardzo wiele sposobów zarówno powierzchnie, jak i wnętrza różnych materiałów. W ten sposób dowiadują się, jak te materiały są zbudowane, jaki mają skład chemiczny oraz właściwości elektryczne czy magnetyczne.



Najczęściej (ale nie wyłącznie) linie badawcze na synchrotronie SOLARIS wykorzystują fale rentgenowskie. To takie promieniowanie, które używane jest przez lekarzy do prześwietleń kości przy złamaniach. Jednak światło synchrotronowe jest dużo bardziej intensywne i skupione. Promieniowanie X ma bardzo krótką długość fali (wysoką energię) co pozwala na przenikanie przez materię i czyni je przydatnym w badaniach wewnętrznej struktury próbek.

Promienie X oddziałują z atomami i elektronami w próbce, powodując m.in. ich rozpraszanie lub pochłanianie w określony sposób. Mierząc wzory rozproszonego lub pochłoniętego promieniowania X, naukowcy mogą określić strukturę, skład i zachowanie próbki.

CIEKAWOSTKA



Czy wiesz jak bardzo unikatowy jest synchrotron SOLARIS?

- *Nazwa Centrum oraz poszczególnych linii badawczych synchrotronu nawiązują do światowej literatury fantastycznej. Solaris to tytuł jednej z najsłynniejszych powieści polskiego pisarza science fiction – Stanisława Lema. Przyjmując tę nazwę władze jednostki oddały hołd wybitnej twórczości tego literata, który od 1997 roku jest honorowym obywatelem Krakowa.*
- *Obwód pierścienia akumulacyjnego, w którym pędzą elektrony to 96 m. Po jednym wstrzyknięciu wiązki przez działą elektromowe, cząstki potrafią krążyć nawet do 13 godzin. Synchrotron zużywa dziennie przeszło 19 tysięcy kWh energii elektrycznej. To średnie zużycie 2800 domków jednorodzinnych.*
- *Zużywana energia przekłada się na pracę 9 stacji końcowych i 2 kriomikroskopów, działających 24 godziny na dobę, 7 dni w tygodniu. Do synchrotronu podpiętych jest 7 linii badawczych – URANOS, PIRX, DEMETER, PHELIX, ASTRA, CIRI i POLYX. Kolejne są w fazie budowy. Finalnie możliwości SOLARIS obejmują istnienie około 20 linii i czterech kriomikroskopów.*





- *Elektrony mogą poruszać się swobodnie wyłącznie w warunkach bardzo wysokiej próżni – porównywalnej do tej w kosmosie. Tak doskonałą próżnię zapewnia w SOLARIS ponad 200 pomp próżniowych zainstalowanych przy wszystkich infrastrukturach, wewnątrz których poruszają się elektrony.*
- *Nad zgraniem całego systemu akceleratorów czuwa skomplikowana aparatura programistyczna i komputerowa, która możliwa jest dzięki 75 km kabli rozłożonych w całym budynku Centrum i 26 km światłowodów. Łącznie to odległość równa dystansowi z Krakowa do Zakopanego.*
- *W trakcie pracy poszczególne układy infrastruktury synchrotronowej emitują duże ilości ciepła. Stabilna temperatura możliwa jest dzięki rozbudowanemu systemowi chłodzenia wodnego. Wykorzystuje się w nim bardzo czystą, demineralizowaną wodę, która jest rozprowadzana do poszczególnych podzespołów rurami o łącznej długości przeszło 14 kilometrów. To tak jakby rozłożyć rury na drodze z SOLARIS do Rynku Głównego i z powrotem.*
- *Synchrotron to niezwykle wrażliwa struktura, w przypadku której drgania i ruch gruntu mogą znacząco utrudniać prowadzenie badań. Lokalny transport drogowy może powodować takie niestabilności, dlatego w okolicy siedziby Centrum SOLARIS zastosowano specjalne rozwiązania. Jednym z nich jest rondo, które zastąpiło próg zwalniający. Pojazdy pokonując ten próg mogłyby wytwarzać drgania mające wpływ na prace badawcze. Również podczas budowy biegnącej w pobliżu linii tramwajowej zastosowano specjalne podkłady, które tłumią drgania wynikające z jazdy po torach.*

Dlaczego potrzebujemy synchrotronów?

Synchrotrony to narzędzia niezwykle ważne dla badaczy pracujących w wielu dziedzinach nauki. Dużą ilość eksperymentów można przeprowadzić jedynie z wykorzystaniem synchrotronów. Żadne inne urządzenia nie są w stanie dostarczyć takiej ilości szczegółowych informacji, w tak krótkim czasie.

Niezwykle intensywna i skupiona wiązka światła synchrotronowego zawiera wszystkie długości fali. Z tego powodu synchrotrony są idealne do eksperymentów na poziomie atomowym i molekularnym. Otrzymana wiedza jest wykorzystywana w m.in. medycynie, produkcji nowych leków i szczepionek, ochronie środowiska, magazynowaniu energii, materiałoznawstwie, nanotechnologii, przemyśle spożywczym, ochronie zabytków i wielu innych. Badacze prowadzący eksperymenty na synchrotronach realizują je bezpłatnie. Wspólnym celem prowadzonych badań jest kształtowanie i rozwój światowej nauki.



Na synchrotronach dokonywane są przełomowe odkrycia, które w czasie rzeczywistym zmieniają otaczający nas świat.

Przykłady odkryć badawczych z użyciem światła synchrotronowego

→ BIAŁKO – PODSTAWOWY BUDULEC KAŻDEGO ORGANIZMU

Dzięki wiązce światła synchrotronowego padającego na kryształy białek, naukowcy mogą określać położenie atomów w cząsteczce białka, a tym samym ustalić jego strukturę 3D. Informacje te wykorzystywane są do projektowania leków i szczepionek. Analizując strukturę 3D konkretnego białka po podaniu leku, wiadome jest czy specyfik działa zgodnie z założeniem badacza. Można powiedzieć, że każdy nowoczesny lek dostępny dzisiaj w aptece był na pewnym etapie prac badany na synchrotronie lub kriomikroskopie.

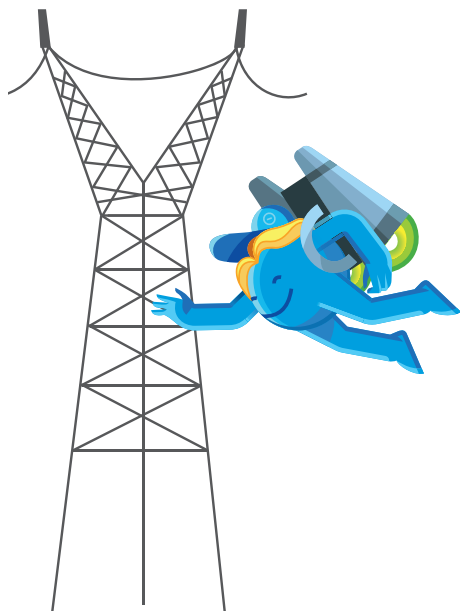


→ WALKA Z RAKIEM

Tak potężne narzędzia badawcze jakimi są synchrotrony służą również do diagnostyki i walki z rakiem. Przeprowadzone eksperymenty pozwalają w skali komórkowej na odróżnienie tkanek zdrowych od chorych, w znacznie krótszym czasie niż dotychczas. Metoda mikrospektroskopii w podczerwieni pomaga patologom w budowaniu modeli histopatologicznych, które służą do wczesnej diagnozy raka. Skracając czas oczekiwania na dobór odpowiedniego leczenia – zmniejszają ryzyko i skutki uboczne choroby.

→ NADPRZEWODNICTWO

Synchrotrony są wykorzystane do badania właściwości materiałów nadprzewodzących, czyli takich, które przewodzą prąd elektryczny z zerowym oporem. Mają one wiele potencjalnych zastosowań, np. w przesyłaniu energii elektrycznej bez strat transferowych. Badając strukturę elektronową materiałów nadprzewodzących za pomocą promieniowania synchrotronowego, naukowcy mogą lepiej zrozumieć, jak działają i jak można je ulepszyć.



→ BIOPALIWA

Produkcja oleju palmowego wykorzystywanego przede wszystkim w wyrobie słodczy, generuje ogromne ilości odpadów. Dzięki badaniom z użyciem światła synchrotronowego naukowcy opracowali nowoczesną technologię

wytwarzania biopaliw z pęków owoców i łupin ziaren palmowych. Analiza struktury próbek umożliwiła zaprojektowanie znacznie bardziej efektywnego katalizatora, zdolnego do przekształcania odpadów z oleju palmowego w zrównoważone biopaliwa.

→ ZABYTKI I KONSERWACJA SZTUKI

Promieniowanie synchrotronowe jest często wykorzystywane do badania dzieł sztuki, w celu uzyskania informacji na temat ich historii lub budowy. Emitując promieniowanie synchrotronowe na te obiekty, naukowcy mogą określić obecne w nich



pierwiastki chemiczne oraz ich rozmieszczenie. Wiedza ta umożliwia odkrywanie detali technik artysty i użytych materiałów, a w dalszej konsekwencji służy pomocą w renowacji lub konserwacji. To dzięki promieniowaniu synchrotronowemu możliwe było dojrzenie szkicu portretu autorstwa Vincentego van Gogha, który ten umieścił pod powierzchnią jednego ze swoich dzieł, następnie go zamalowując.



→ SMAK LODÓW

Smak i tekstura lodów w dużym stopniu zależą od wielkości kryształków lodu je tworzących. Im są one mniejsze i bardziej okrągłe, tym są lepsze. Uzyskane na synchrotronie wyniki badań pozwoliły na lepsze zrozumienie mechanizmów powstawania lodu oraz określenie wpływu warunków produkcji tego smakołyku. Doprowadziły także do opracowania nowych receptur, które w ciepłe dni testują miłośnicy lodowych deserów.



→ SKAMIELINY I WYKOPALISKA

Dzięki badaniom prowadzonym na synchrotronach możliwe jest zajrzenie w głąb skamielin bez potrzeby ich niszczenia. Badanie gęstości składników próbki skały daje obraz ukrytych w jej wnętrzu kości i resztek materiałów organicznych. Technika tomografii rentgenowskiej opartej na synchrotronie umożliwiła odkrycia paleontologiczne próbek sprzed 125 milionów lat.



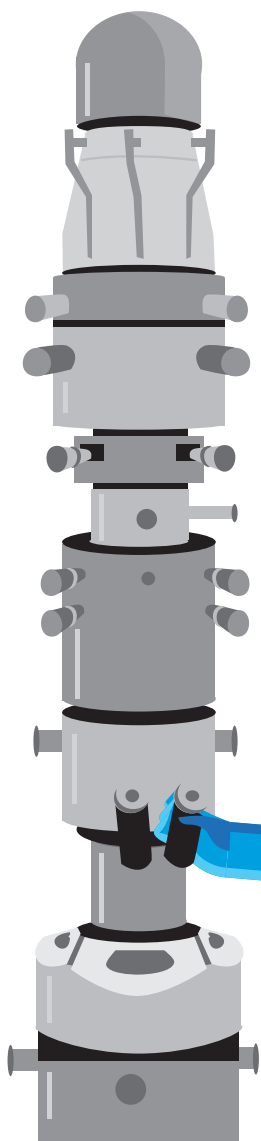
Kriomikroskopia elektronowa SOLARIS (Cryo-EM)

Centrum SOLARIS to nie tylko synchrotron. Pod dachem ośrodka prowadzone są także badania z wykorzystaniem dwóch najnowszej generacji kriomikroskopów. Jak wiemy, mikroskop to urządzenie pomagające naukowcom zobaczyć rzeczy, które są zbyt małe, aby móc je dostrzec gołym okiem. Mikroskop elektronowy to potężne narzędzie, które umożliwia naukowcom obserwację na poziomie atomowym. Mikroskopy elektronowe w SOLARIS nie są podłączone do synchrotronu, ale stanowią unikalną i komplementarną infrastrukturę Centrum.

Kriomikroskopy używane są do badania cząsteczek biologicznych, takich jak białka i wirusy, które nawet w najlepszych mikroskopach świetlnych nie są widzialne. Naukowcy mogą używać tych narzędzi, aby zobaczyć, jak te małe molekuly poruszają się i oddziałują ze sobą. To natomiast pomaga w zrozumieniu jak działają.

Próbki do mikroskopii elektronowej są mrożone ciekłym etanem i zamykane w cienkiej, amorficznej warstwie lodu, co pomaga zachować naturalny stan białek i wirusów. Taki szybki proces zamrożenia umożliwia ich obserwację w stanie, który jest bardzo zbliżony do tego, jak wygląda w naturalnym środowisku.

Wykonując wiele zdjęć pod różnymi kątami, naukowcy tworzą trójwymiarowy model cząsteczki. Pomaga im w tym skomplikowany system komputerowy, który zestawia od kilkuset tysięcy



do nawet milionów zdjęć, konstruując obraz 3D. Kriomikroskopy elektronowe są niezastąpionym narzędziem w walce z wieloma chorobami. Dzięki możliwości dokonania analizy struktury białek błonowych, naukowcy mogą zaprojektować takie leki, które oddziałując wyłącznie na chore tkanki, działają celowo, eliminując skutki uboczne. Technika ta pomogła rozwinąć wiedzę na temat działania kluczowych białek w ludzkim organizmie, np. rybosomów.



Natomiast całkiem niedawno dzięki kriomikroskopom elektronowym zbadano strukturę kolca wirusa wywołującego COVID-19. Był to pierwszy krok do stworzenia szeregu skutecznych szczepionek, które zakończyły pandemię.

Czy wiesz już wszystko?

Solarisowy quiz wiedzy



1 Czym jest synchrotron?

- a** Jest to rodzaj mikroskopu.
- b** Jest to rodzaj akceleratora, w którym przyspieszane są elektrony.
- c** Jest to stowarzyszenie naukowców.

2 Ile metrów wynosi obwód synchrotronu SOLARIS?

- a** 14 kilometrów.
- b** 80 metrów.
- c** 96 metrów.

3 Jaka jest intensywność światła wytwarzanego w synchrotronie?

- a** Taka jak światła docierającego do Ziemi ze Słońca.
- b** Miliony razy większa niż światło docierające ze Słońca na Ziemię.
- c** Światło synchrotronowe nie jest równie jasne, jak to docierające do Ziemi ze Słońca.

4 Jakie nazwy noszą linie badawcze?

- a** PIRX, DEMETER, PHELIX, URANOS, ASTRA, CIRI i POLYX.
- b** Linia 1, linia 2, linia 3, linia 4.
- c** Lem, Herbert, Anderson, Clarke.

5 Czym zamraża się próbki do badań z użyciem kriomikroskopów?

- a** Ciekłym etanem.
- b** Wodą.
- c** Nie są zamrażane.

6 Ile synchrotronów znajduje się w Europie Środkowo-Wschodniej?

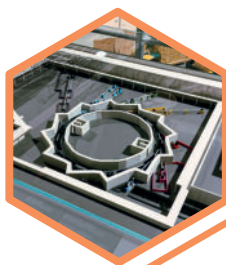
- a** 13
- b** 1
- c** 4



Ścieżka wiedzy SOLARIS

Zwiedzanie jedynego
synchrotronu w Polsce!

Umów
bezpłatną
wycieczkę!



Oprowadzanie
z wykorzystaniem
audio-
przewodników

Ekspozycja
elementów
synchrotronu,
galeria próbek



Makieta
synchrotronu
i linii badawczych

**ŚCIEŻKA
WIEDZY
CENTRUM
SOLARIS**

**System plansz
graficznych**
uzupełniających
treści audio



Książeczka
popularno-
naukowa

Spacer
po akceleratorach
w technologii
haptycznej



Napisz do nas!

zwiedzanie.solaris@uj.edu.pl
www.synchrotron.uj.edu.pl/zwiedzanie

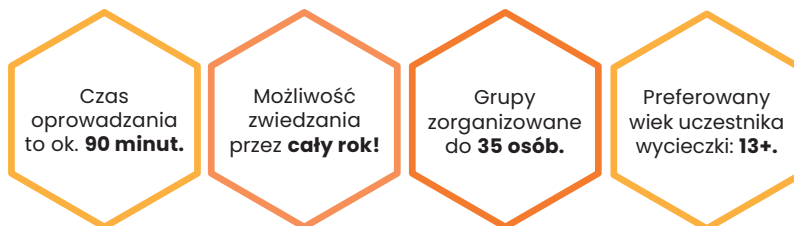


Przedsięwzięcie Ministra Edukacji i Nauki pn. „Wsparcie prowadzenia badań naukowych i prac rozwojowych z wykorzystaniem infrastruktury badawczej Narodowego Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS”



Czy kiedykolwiek słyszeliście o akceleratorach cząstek? A może obito się Wam o uszy – czym są synchrotrony lub kriomikroskopy?





Ścieżka Wiedzy SOLARIS opowie Wam o tym, jak działa i do czego służy synchrotron oraz dlaczego wspólnie z kriomikroskopem są tak cenne dla świata nauki. Dowiedziecie się również, jaką rolę te urządzenia odgrywają w rozwoju współczesnej biologii, chemii, fizyki, a także medycyny i technologii. Poznacie odkrycia dokonane na synchrotronach, które przekładają się na codzienne życie każdego z nas.



Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS Uniwersytet Jagielloński

ul. Czerowne Maki 98
30-392 Kraków

zwiedzanie.solaris@uj.edu.pl
www.synchrotron.uj.edu.pl/zwiedzanie

 @synchrotron.solaris.badania
 @Synchrotron SOLARIS
 @synchrotronsolaris
 @SynchrotronSolaris
 @SOLARIS_science

**Do zobaczenia
w SOLARIS!**





-  @synchrotron.solaris.badania
-  @Synchrotron SOLARIS
-  @synchrotronsolaris
-  @SynchrotronSolaris
-  @SOLARIS_science



**Narodowe Centrum
Promieniowania Synchrotronowego
SOLARIS**

Uniwersytet Jagielloński

ul. Czerwone Maki 98
30-392 Kraków
tel. +48 12 664 40 00
e-mail: zwiedzanie.solaris@uj.edu.pl
www.synchrotron.pl

ISBN 978-83-967410-2-8



9 788396 741028