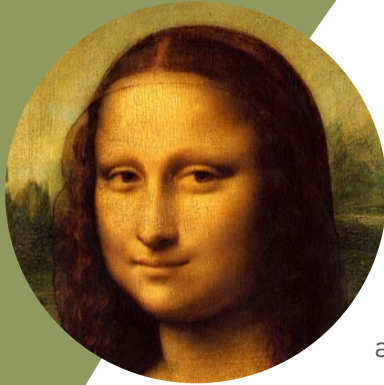


EL PODER DE LA LLUM DE SINCROTRÓ

QUÈ ÉS, COM FUNCIONA I PER
A QUÈ SERVEIX EL SINCROTRÓ ALBA

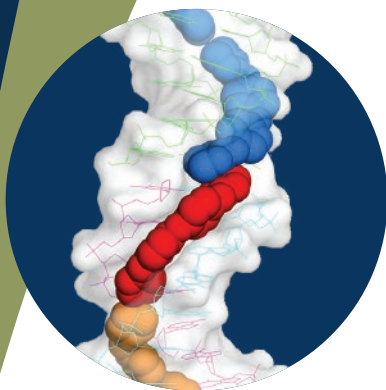
DOSSIER EDUCATIU PER A ESO I BATXILLERAT



La Gioconda de **Leonardo da Vinci** és un dels quadres més famosos de la història. El seu **somriure enigmàtic**, les transicions suaus entre llums i ombres i el desdibuixament dels contorns són algunes claus de la seva fama. Leonardo aconseguia aquests efectes amb una **tècnica anomenada sfumato**, que consisteix a superposar capes de pintura. El seu talent li havia permès superposar capes de fins a poques mil·lèsimes de mil·límetre de gruix!



Avui dia podem tenir jocs, centenars de vídeos i milers de fotografies a la butxaca. L'estudi de nous materials és fonamental per continuar augmentant la velocitat i la memòria dels nostres dispositius. Els **skyrmions magnètics**, per exemple, són unes **estructures nanoscòpiques** que es poden utilitzar per augmentar la capacitat dels aparells actuals.



La **malària** és una malaltia que causa gairebé **mig milió de morts cada any**. Els paràsits que la provoquen han desenvolupat resistència als medicaments i els tractaments ja no són tan eficaços. Per això és important **trobar nous fàrmacs** que actuïn millor contra els paràsits resistents. Aquest és el cas del **CD27**, un compost sense patent que es pot fabricar a qualsevol laboratori farmacèutic del món.

QUÈ TENEN A VEURE
AQUESTES **3** HISTÒRIES?

QUÈ ÉS EL SINCROTRÓ ALBA?

Un sincrotró és un aparell que aconsegueix que **partícules microscòpiques com els electrons es moguin a velocitats properes a la de la llum** al llarg d'una circumferència.

Quan duen a terme aquest moviment, els electrons emeten un tipus de llum molt particular, la **llum de sincrotró**. Amb aquesta llum es pot **estudiar la matèria a escales atòmiques i moleculars**.

Així, **gràcies a la llum de sincrotró, es poden fer experiments** per comprovar l'eficàcia d'un medicament contra la malària, estudiar objectes com els *skyrmions* per augmentar la memòria dels dispositius electrònics, o descobrir com n'eren, de gruixudes, les capes de pintura amb què Leonardo da Vinci va pintar *La Gioconda*.

Hi ha una **cinquantena de sincrotrons a tot el món**, una vintena dels quals es troben a Europa. Situat a Cerdanyola del Vallès, **ALBA** és l'únic sincrotró de l'Estat espanyol.

Sincrotró ALBA.



COMPLETEU

Al Sincrotró ALBA s'acceleren

electrons perquè

emetin llum

que s'utilitza per fer

experiments i estudiar

la matèria a escales

molt petites .

HI HA ALGUNA DIFERÈNCIA ENTRE EL SINCROTRÓ ALBA I L'LHC?

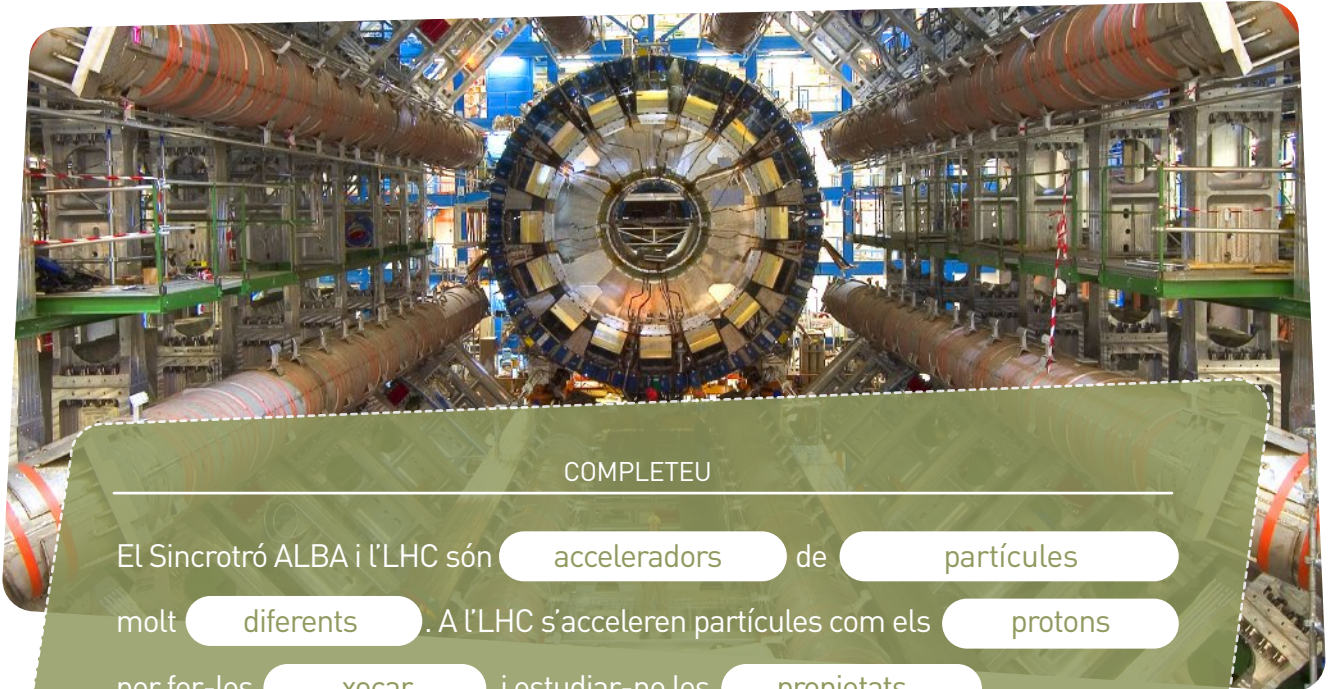
L'**LHC és l'accelerador de partícules més gran i potent del món**. Situat a Ginebra, fa uns anys s'hi va descobrir el famós **bosó de Higgs**. Tot i que tant l'ALBA com l'LHC són acceleradors de partícules, hi ha moltes diferències entre ells:

El **Sincrotró ALBA accelera electrons**, mentre que a l'**LHC s'acceleren partícules com els protons**. Com que els protons són gairebé 2.000 vegades més pesants que els electrons, costa més accelerar-los i fa falta una tecnologia diferent.

L'objectiu del **Sincrotró ALBA és accelerar electrons perquè produeixin llum**. Aquesta llum s'utilitza per fer experiments: es poden estudiar, per exemple, cèl·lules afectades per un virus amb la finalitat de trobar medicaments per guarir-les. En canvi, l'**objectiu de l'LHC és accelerar partícules com els protons per fer-les xocar entre elles i estudiar-ne les propietats** o, per exemple, descobrir si estan fetes de partícules més petites.

Com que costa tanta energia accelerar protons, l'**LHC és una instal·lació enorme**: el tub per on circulen les partícules té una **circumferència de 28 quilòmetres**. En canvi, el tub del Sincrotró ALBA té un **perímetre de 268 metres**.

Instal·lacions de l'experiment ATLAS a l'LHC / CERN.



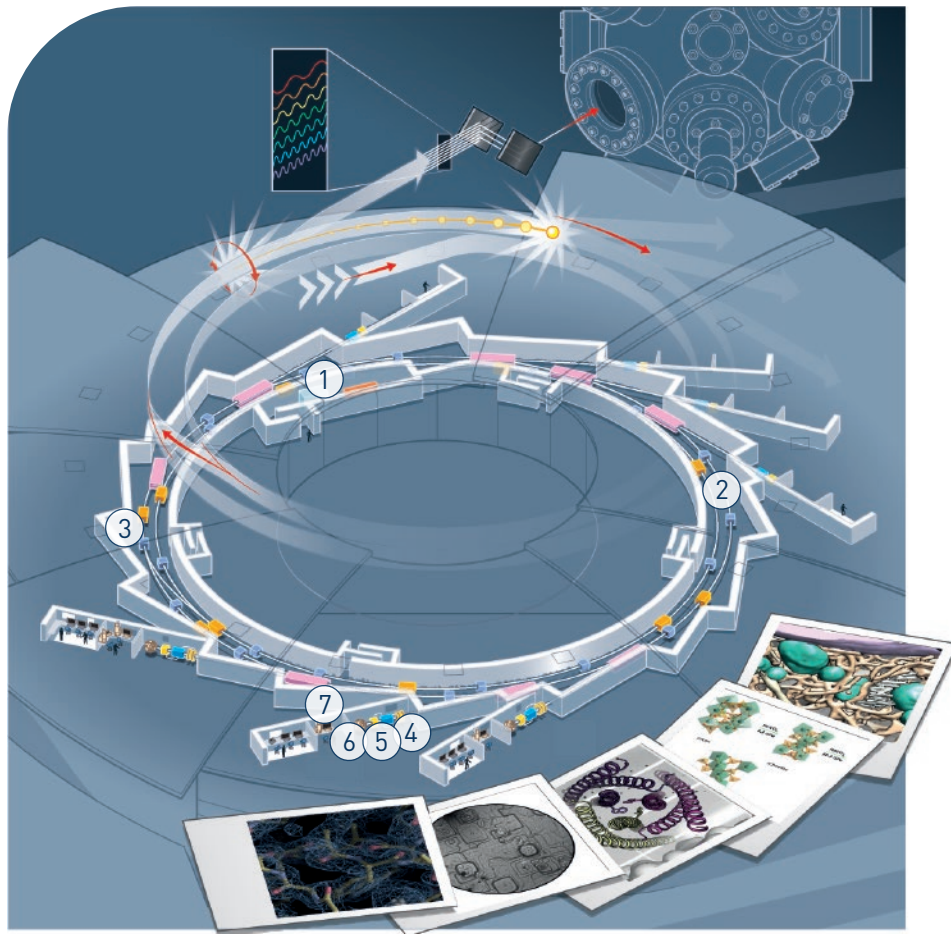
COMPLETEU

El Sincrotró ALBA i l'LHC són de molt . A l'LHC s'acceleren partícules com els per fer-les i estudiar-ne les .

COM FUNCIONA EL SINCROTRÓ ALBA?

Numereu els processos següents **en funció de l'ordre** en què se segueixen i **col·loqueu-los al lloc corresponent** de l'esquema:

- ① S'extreuen els electrons d'un metall.
- ② S'acceleren els electrons fins a velocitats properes a la de la llum.
- ③ S'injecten els electrons a l'anell d'emmagatzematge perquè segueixin una trajectòria circular.
- ④ La llum emesa pels electrons es capta i es modifica en funció de l'experiment que es vol fer.
- ⑤ Un cop modificada, la llum es fa servir per il·luminar la mostra que es vol estudiar.
- ⑥ Un detector recull la llum després de passar per la mostra.
- ⑦ La llum s'emmagatzema i s'analitza per obtenir informació de la mostra.



D'ON SURTEN ELS ELECTRONS?

Quan toquem un objecte amb la mà i notem que està calent, estem notant que les partícules que el formen **es mouen i vibren més ràpidament que en un objecte fred**. La temperatura és una mesura del moviment de les partícules que constitueixen un cos: **a més temperatura, més moviment**. Si les partícules de l'objecte que hem tocat es mouen i vibren molt ràpidament, els impactes amb la pell poden produir dolor o fins i tot ferides. Això és el que passa en una cremada.

Si s'escalfa prou un metall, arriba un moment que els electrons del seu interior es mouen tan ràpidament que poden saltar fora del metall i abandonar-lo. Al **Sincrotró ALBA s'utilitza aquest procés per obtenir electrons**: s'escalfa un metall per sobre dels 1.000 graus centígrads fins que els electrons tenen prou energia per sortir-ne.



Metall d'on s'obtenen els electrons.

COMPLETEU

Els electrons s'obtenen a partir de que per sobre dels . A aquestes temperatures, els electrons es del material.

COM S'ACCELEREN ELS ELECTRONS?

Un cop han abandonat el metall, els **electrons s'acceleren fins a velocitats properes a la de la llum**. Això es fa en **dues etapes**:

En la primera, s'utilitzen **camps elèctrics per augmentar la velocitat dels electrons** al llarg d'un tram recte. En aquest accelerador lineal, els electrons assoleixen velocitats que superen el **99% de la velocitat de la llum**.

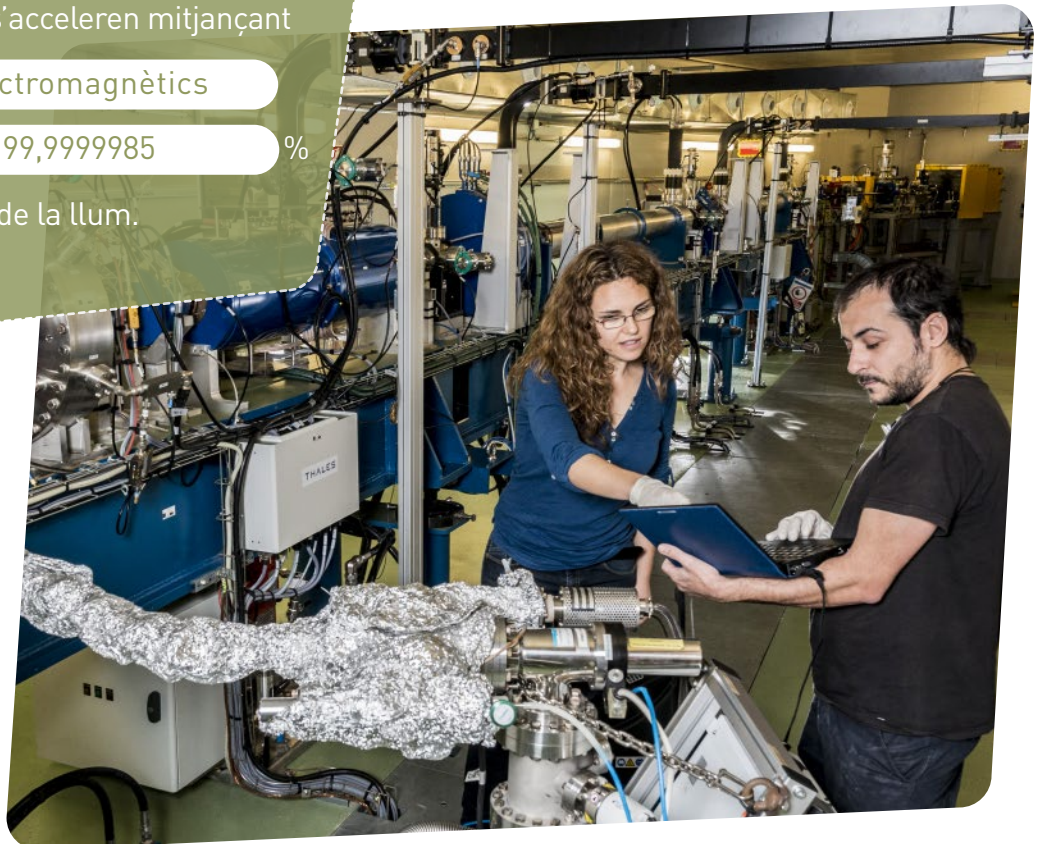
En la segona, els **electrons entren a l'interior d'un anell anomenat *propulsor***. Gràcies a l'ús de camps electromagnètics, els electrons segueixen la trajectòria circular definida per l'anell i la seva **velocitat augmenta fins al 99,9999985% de la velocitat de la llum**.

COMPLETEU

Els electrons s'acceleren mitjançant

camps electromagnètics

fins al 99,9999985 %
de la velocitat de la llum.



Accelerador lineal d'electrons.

COM ES MANTENEN ELS ELECTRONS A VELOCITATS TAN ALTES?

Un cop els electrons tenen la velocitat adequada, **s'introdueixen a l'anell d'emmagatzematge**.

Allà, segueixen una **trajectòria circular** que té el gruix d'un cabell i fan un milió de voltes cada segon.

Mentre giren, **emeten la llum que es recull i s'utilitza per fer experiments**.

A mesura que transcorre el temps, però, els electrons van xocant contra les parets interiors de l'anell i cada vegada en circulen menys. Cada 24 hores, el nombre d'electrons es redueix a la meitat. Això vol dir que contínuament s'han d'anar produint, accelerant i injectant electrons a l'anell d'emmagatzematge. Al Sincrotró ALBA es fa aquesta injecció cada 20 minuts.

A més, a causa de l'emissió de llum, els **electrons perden energia i giren cada vegada més lentament**.

Per mantenir la seva velocitat i aconseguir que la llum emesa tingui sempre les propietats adequades per fer experiments, s'han d'impulsar els electrons contínuament. Això s'aconsegueix **gràcies als camps elèctrics creats en les anomenades cavitats de radiofreqüència**.

Aquestes cavitats han d'impulsar els electrons al mateix ritme que donen voltes. **La sincronització entre l'impuls i la velocitat de gir dels electrons és el que dona el nom de sincrotró a aquest tipus d'acceleradors**.

Anell d'emmagatzematge (esquerra) i anell propulsor (dreta).



COMPLETEU

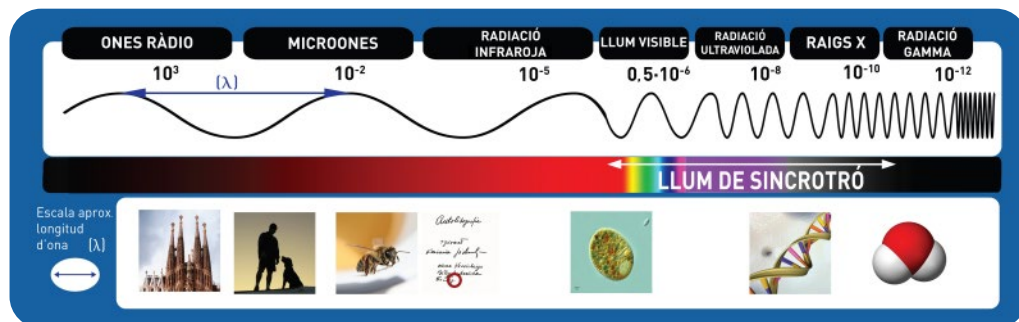
Els amb la paret de l'anell fan que cada vegada girin electrons. A més, com que emeten , els electrons perden . Per tant, cal i electrons periòdicament.

COM ÉS LA LLUM QUE EMETEN ELS ELECTRONS?

En la seva trajectòria circular, els **electrons emeten llum de molts tipus**. N'hi ha de visible (blava, vermella, etc.), però també hi ha llum que **l'ull humà no pot veure**, com la **infraroja**, la **ultraviolada** o els **raigs X**.

La longitud d'ona és una propietat de les ones que ens dona una idea de la seva mida. Quan una ona es troba amb un obstacle de mida similar, interacciona amb l'objecte i experimenta alteracions. Comparant l'ona abans i després de la interacció, podem obtenir informació de com és l'objecte. Els **raigs X tenen una longitud d'ona al voltant dels 10^{-10} metres**, és a dir, 0,0000000001 metres. La distància entre els àtoms que constitueixen la matèria és d'una mida semblant. Per aquesta raó, **en la majoria d'experiments s'utilitzen els raigs X**.

Si en lloc d'utilitzar els raigs X s'utilitzés la llum infraroja, que té una longitud d'ona de 10^{-6} metres, és a dir, d'una mil·lèsima de mil·límetre, no veuríem cap diferència entre la llum abans i després de la interacció. L'ona és molt més gran que els àtoms i, per tant, aquests no serien capaços d'alterar-la. La situació és la mateixa que si una sèrie d'onades del mar es troben amb un tap de suro o amb un vaixell de 20 metres de llarg. En quin cas es veuran més afectades les onades?



Les diverses longituds d'ona de la llum.

COMPLETEU

En un sincrotró es produeix llum , , i . Com que tenen una semblant a la entre els , la llum més utilitzada en els són els .

COM ES FA SERVIR LA LLUM QUE EMETEN ELS ELECTRONS?

Quan giren, els **electrons emeten llum en la direcció del seu moviment**. Això vol dir que just en el moment de ser emesa, la **llum es mou en la mateixa direcció i sentit que els electrons**. Però els electrons **es mouen en cercle** com a conseqüència dels camps electromagnètics. La **llum, en canvi, segueix movent-se en línia recta** i, per tant, és **tangent a la trajectòria circular dels electrons**.

La **llum emesa** pels electrons es recull i s'utilitza en les **anomenades línies de llum**.

Aquests dispositius es col·loquen seguint la trajectòria de la llum: **recta i tangent a l'anell**.

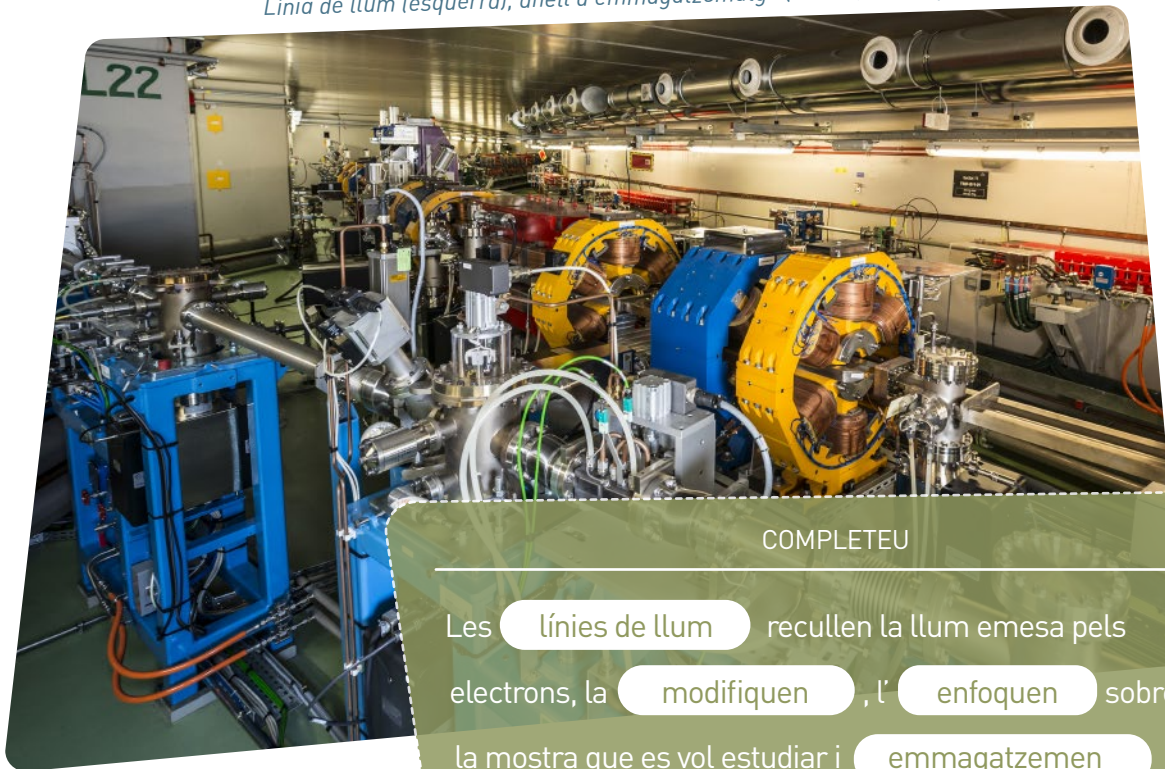
En aquestes línies hi ha aparells que modifiquen la llum en funció de l'experiment que es vol fer.

Un cop modificada, altres aparells s'encarreguen d'enfocar-la cap a la mostra que es vol estudiar.

Després d'impactar amb la mostra, un **detector capta la llum resultant i emmagatzema les dades perquè es puguin analitzar**.

Al Sincrotró ALBA hi ha 8 línies de llum i se n'estan construint 3 més.

Línia de llum (esquerra), anell d'emmagatzematge (centre) i anell propulsor (dreta).



COMPLETEU

Les **línies de llum** recullen la llum emesa pels electrons, la **modifiquen**, l'**enfoquen** sobre la mostra que es vol estudiar i **emmagatzemen** els resultats.

QUINS AVANTATGES TÉ LA LLUM DE SINCROTRÓ?

A més dels sincrotrons, hi ha molts **altres aparells que produeixen raigs X**. Les màquines que fan radiografies als hospitals en són un exemple. Per què no s'utilitzen aquestes altres màquines, que són més senzilles i barates, per fer els mateixos experiments? Resulta que els **raigs X que es produeixen en un sincrotró tenen unes propietats úniques** que permeten fer experiments que no es poden fer de cap altra manera:

Un **sincrotró pot produir molts tipus de raigs X**, mentre que les altres màquines només en produeixen un de determinat. Per tant, amb un **sincrotró es poden fer molts més experiments**. Els raigs X que es produeixen en un sincrotró són molt brillants. Tal com succeeix quan il·luminem una habitació amb una llanterna potent, quan il·luminem una mostra amb raigs X molt brillants, podem apreciar detalls que no veuríem si la llum fos més feble.

La **llum de sincrotró és llum polaritzada**, és a dir que vibra en una direcció molt concreta. Hi ha materials que responen de manera molt diferent a la llum en funció de com vibra. Per tant, la **llum polaritzada permet fer experiments que no es poden fer amb llum sense polaritzar**. Un sincrotró pot produir llum polsada, és a dir, pot fer que la llum sigui intermitent. A més, aquesta intermitència pot ser molt ràpida, de **fins a 1.000 flaixos per segon**. Això permet fer una cosa molt semblant a fer fotografies molt seguides de la mostra, de manera que **es poden estudiar processos molt ràpids, com per exemple reaccions químiques**.

Experiment al Sincrotró ALBA.



COMPLETEU

La llum de sincrotró té unes característiques **úniques** que permeten fer experiments **impossibles** de fer d'altres maneres: inclou **molts** tipus de raigs X, és **brillant**, **polaritzada** i **polsada**.

QUINES TÈCNIQUES ES FAN SERVIR AL SINCROTRÓ ALBA?

DIFRACCIÓ DE RAIGS X

Quan s'il·lumina la mostra, poden succeir diverses coses. Hi ha vegades que els seus àtoms desvien els raigs X. Si es capten en una pantalla els raigs després de travessar la mostra i s'estudien les desviacions que han experimentat, es pot deduir com eren i com estaven col·locats els àtoms que les han provocat. **Aquesta tècnica s'anomena difracció de raigs X.** En funció de **com estiguin ordenats** en l'espai els àtoms de la mostra, hi ha **tres tipus de difraccions**:



Si els àtoms estan ordenats i formen estructures que es repeteixen regularment en l'espai, es pot observar amb molta precisió de quina manera han desviat els raigs X. Això permet deduir exactament l'estructura interna de la mostra en 3D. **Aquest tipus de difracció s'anomena monocristal·lina.**



Si els àtoms no estan tan ben ordenats, a la pantalla s'acostuma a obtenir una imatge en forma d'anells. A partir d'aquests anells, i gràcies a tècniques matemàtiques, es pot obtenir l'estructura interna de la mostra en 3D. **Aquest procés s'anomena difracció de pols.**



Finalment, **si la mostra està formada per estructures d'escala més gran** com plàstics, fibres o teixits vius, la imatge resultant dona informació sobre l'estructura interna de la mostra i els canvis que ha experimentat a causa de les condicions ambientals o dels processos fisiològics. **Això s'anomena difracció no cristal·lina.**

COMPLETEU

La de raigs X consisteix a il·luminar la mostra amb raigs X i analitzar les que han experimentat els raigs per deduir com és la mostra .

QUINES TÈCNIQUES ES FAN SERVIR AL SINCROTRÓ ALBA?

ESPECTROSCÒPIA DE RAIGS X

Quan s'il·lumina una mostra, hi ha vegades que el material absorbeix part dels raigs X i al cap d'una estona, com a conseqüència de l'absorció, emet un altre tipus de llum. Les propietats d'aquesta llum depenen de l'estructura interna del material. Per tant, analitzar-la permet obtenir informació de com és la mostra.

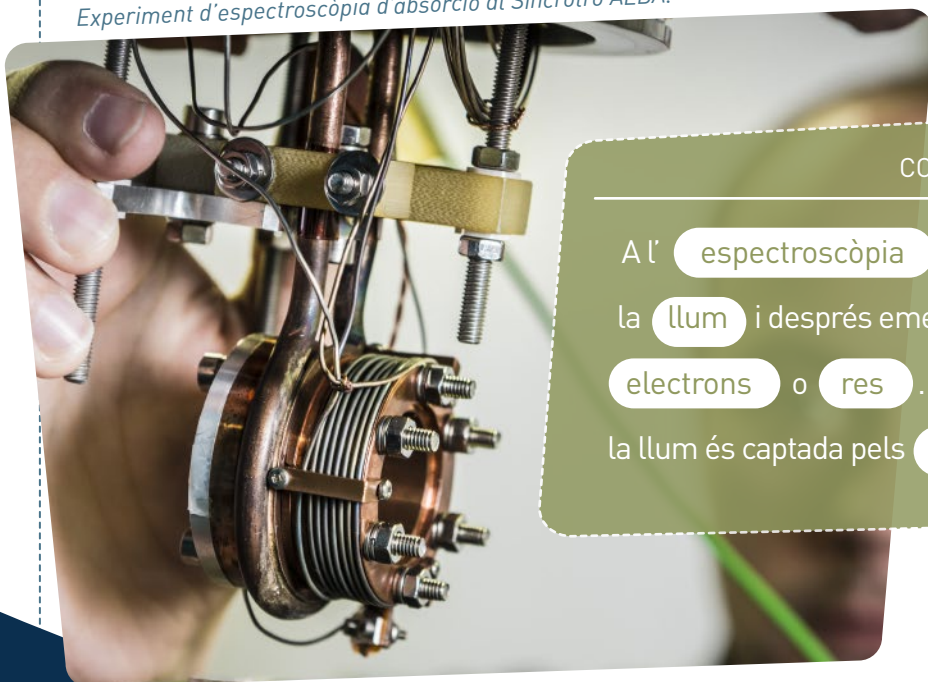
Aquest procés s'anomena *espectroscòpia*. L'absorció de raigs X i l'emissió posterior de llum es poden fer de diverses maneres.

- En el procés anomenat **fotoemissió**, la mostra emet electrons, que es poden captar per obtenir informació del seu interior.
- Si el material acumula la llum a la seva estructura i s'analitza quanta n'ha acumulat, el procés rep el nom d'**absorció**.
- També pot succeir que els àtoms de la mostra absorbeixin llum i n'emetin només una part, en un procés que es coneix com a **dispersió** o **fluorescència**.
- Finalment, hi ha la possibilitat que no siguin els àtoms els que absorbeixen la llum, sinó que ho facin els enllaços que els uneixen. Com que cada enllaç pot absorbir un tipus i quantitat d'energia determinada, analitzar aquest tipus d'absorció permet saber com estan units els àtoms a l'interior de la mostra. Aquest procés s'anomena **espectroscòpia d'infraroig**.

Experiment d'espectroscòpia d'absorció al Sincrotró ALBA.

COMPLETEU

A l' **espectroscòpia** de raigs X, la mostra pot captar la **llum** i després emetre **un altre tipus de llum**, **electrons** o **res**. A l'espectroscòpia d' **infraroig**, la llum és captada pels **enllaços** de la **mostra**.



QUINES TÈCNIQUES ES FAN SERVIR AL SINCROTRÓ ALBA?

MICROSCÒPIA DE RAIGS X

La llum de sincrotró també es pot utilitzar per observar mostres tal com es fa amb un microscopi convencional. L'avantatge és que **gràcies als raigs X, es poden observar objectes molt petits**, que no es podrien distingir amb un microscopi de llum visible. Aquesta observació es pot fer de diverses maneres.

Quan els raigs X exciten els electrons de la capa superficial de la mostra, es poden utilitzar lents per reconstruir la superfície de la mostra a partir d'aquests electrons. **Aquest procés es coneix amb el nom de microscòpia electrònica de fotoemissió.**

Si la mostra s'irradia amb raigs X de baixa energia, es poden prendre imatges des de diferents angles amb el microscopi. Això permet reconstruir l'estructura 3D de la mostra. **Aquesta tècnica s'anomena microscòpia de transmissió de raigs X.**

En un sincrotró també es poden combinar l'espectroscòpia d'infraroig i la microscòpia òptica. Això permet analitzar sistemes biològics fent servir **llum infraroja en l'anomenada microscòpia d'infraroig.**

Experiment de microscòpia de fotoemissió al Sincrotró ALBA.



COMPLETEU

Un sincrotró també es pot utilitzar com un **microscopi** convencional. Gràcies a les propietats dels **raigs X** aquesta tècnica permet observar objectes més **petits** que els microscopis de **llum visible**.

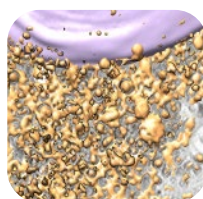
QUÈ ES POT INVESTIGAR AL SINCROTRÓ ALBA?

Els **raigs X** que es produeixen al **Sincrotró ALBA** es poden utilitzar per **analitzar mostres procedents de materials i àmbits molt diversos**.

BIOMEDICINA



Desenvolupament de nous tractaments i tècniques de diagnosi precoç de **càncer de pell**, el càncer més freqüent.
► <https://youtu.be/ml4M7t5456E>

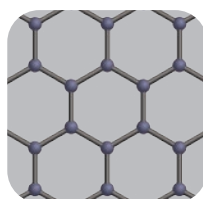


Estudi de cèl·lules de fetge afectades d'**hepatitis C**, amb l'objectiu de dissenyar millors tractaments.
► <https://youtu.be/d-aDMTemxu0>

CIÈNCIA DE MATERIALS



Estudi de nous materials magnètics per ampliar la **memòria** d'ordinadors i telèfons mòbils.



Estudi de nous materials com el **grafè**, un material més dur que el diamant i més resistent que l'acer.

ALIMENTACIÓ



Estudi del procés de **crystal·lització** de la xocolata per aconseguir textures noves i més agradables.



Estudi de **blat enriquit amb seleni**, un nutrient fonamental, per determinar les millors tècniques de cultiu i enriquiment.
► <https://youtu.be/j-ohGQP75oE>

MEDI AMBIENT



Anàlisi del **sòl contaminat amb arsènic** amb l'objectiu d'eliminar-ne el residu.



Estudi de **catalitzadors** que poden millorar l'eficiència de vehicles elèctrics.
► <https://youtu.be/or00GxYflwA>

PATRIMONI CULTURAL



Estudi i **eliminació de les taques** a les pintures de la capella de Sant Miquel del Monestir de Pedralbes.
► https://youtu.be/CaH4cD_gX2I



Anàlisi dels vitralls de la catedral de Segòvia amb l'objectiu de conèixer **com es van construir** i millorar-ne l'estat de conservació.

QUI POT FER SERVIR EL SINCROTRÓ ALBA?

El **Sincrotró ALBA** és un **accelerador gestionat** per un consorci entre l'**Estat espanyol** i la **Generalitat de Catalunya** que va entrar en funcionament l'**any 2012**.

El **Sincrotró ALBA** està a **disposició d'investigadors del sector públic i d'empreses**. Les propostes d'experiments són analitzades per un grup de científics internacionals i se seleccionen les més interessants. Els **investigadors públics** poden fer servir el sincrotró sense pagar res, però s'han de **comprometre a publicar els resultats dels seus experiments perquè tothom els conegui i els pugui aprofitar**. Les empreses, en canvi, han de pagar per fer experiments, però no estan obligades a publicar els resultats.

Al **Sincrotró ALBA** hi treballen més de **200 persones**.





PROPOSTA DIDÀCTICA

Abans de la visita

1. SIMULEM UN SINCROTRÓ

Material: llum led, pila petita de botó, cinta adhesiva, globus transparent.

Enceneu el llum led fent contacte amb la pila i fixeu-lo amb cinta adhesiva perquè no s'apagui. Introduïu el llum led al globus i infleu-lo. Tanqueu el globus amb un nus i apagueu el llum de l'habitació. Feu girar el led a l'interior del globus de manera que des de fora s'aprecii una circumferència de llum.

Aquesta experiència serveix per copsar el funcionament bàsic d'un sincrotró: partícules que giren i emeten llum. Què passaria si el globus fos opac i tingués forats per on poguéssiu sortir la llum? En quina direcció sortiria?

A l'interior d'un sincrotró, els electrons segueixen una trajectòria circular perquè uns imants molt potents els hi obliguen. La llum, en canvi, avança en línia recta. Per tant, la llum es mou seguint la tangent de la circumferència. En un sincrotró, aquesta llum, com la que sortiria pels forats del globus opac, es recull en diversos punts de la trajectòria circular i s'utilitza per fer experiments.

2. DIFRACTEM LA LLUM

Material: punter làser, cinta adhesiva de color negre, tisores i pantalla o paret blanca.

Apagueu els llums i enceneu el punter làser. Enfoqueu el punter cap a la paret i observeu la forma de la taca de llum. Hauria de ser un cercle. Tot seguit, cobriu el forat del punter per on surt la llum amb tres tires molt primes de cinta adhesiva. Han de quedar dues esclatxes estretes i paral·leles per on pugui passar la llum. Apunteu de nou cap a la paret i torneu a observar la forma de la llum. No hauríeu d'observar dues franges de llum, sinó un patró en què s'alternen diverses franges de llum i fosc que es van debilitant a mesura que s'allunyen del centre de la imatge.

Aquest fenomen és degut a les propietats ondulatòries de la llum. Quan travessen dues esclatxes, les ones de llum es converteixen en dos focus de llum que interfereixen entre ells. En alguns llocs se suma la intensitat de la llum mentre que en d'altres es contraresta. Al minut 4:14' d'aquest vídeo es pot trobar la mateixa experiència feta en un medi més tangible, una superfície d'aigua. Es pot observar perfectament com en alguns punts les ones que es desplacen per la superfície de l'aigua se sumen i fan créixer l'ona, i en d'altres s'anul·len, de manera que l'ona desapareix.

► <https://www.youtube.com/watch?v=luv6hY6zsd0>

(El vídeo admet subtítols en castellà, que es poden activar des del botó de configuració del mateix vídeo).



PROPOSTA DIDÀCTICA

Després de la visita

1. MESUREM EL GRUIX D'UN CABELL

Material: punter làser, regla, cinta adhesiva, pantalla o paret blanca, uns quants cabells (com més diferents millor).

Subjecteu el cabell al punter amb la cinta adhesiva, de manera que estigui situat sobre el feix de llum. Situeu-lo sobre una taula (o una superfície estàtica per evitar moviments) a una distància d'entre un i tres metres de la pantalla o paret blanca (la distància òptima pot dependre del tipus de làser utilitzat). A la paret s'haurien d'apreciar una sèrie de franges de llum simètriques respecte d'una franja de llum central. Measureu la distància entre els centres de les dues franges de llum situades directament a banda i banda de la franja de llum central. Apliqueu l'equació següent:

$$\text{Gruix del cabell} = \frac{\text{Longitud d'ona del làser} \cdot \text{Distància entre el cabell i la paret}}{0,5 \cdot \text{Distància entre les franges de llum}}$$

Tingueu en compte que la longitud d'ona s'indica habitualment en el paquet del làser.

Measureu el gruix de diversos cabells i calculeu-ne la mitjana. Hauríeu d'obtenir un valor proper a la dècima de mil·límetre.



EL PODER DE LA LLUM DE SINCROTRÓ
QUÈ ÉS, COM FUNCIONA I PER A QUÈ SERVEIX EL SINCROTRÓ ALBA

DOSSIER EDUCATIU PER A ESO I BATXILLERAT