GUIA DOCENT · SIMULACIENCIA

Guia docent: simulació d'espectres atòmics

Fitxa ràpida

La simulació mostra que un àtom només absorbeix i emet fotons d'energies concretes, quan rep llum o xocs d'electrons, i en construeix l'espectre. A Catalunya el seu ús principal és a Química de 1r de Batxillerat i a Química de 2n de Batxillerat, on el currículum anomena els espectres d'emissió i d'absorció, amb aplicació a 4t d'ESO.

Dada	Detall
Enllaç	simulaciencia.es/ca/simulacions/espectros/
Cursos	Química de 1r de Batxillerat i Química de 2n de Batxillerat (ús principal), 4t d'ESO; repàs puntual a Física de 2n de Batxillerat
Matèria	Física i Química; Química i Física al batxillerat
Durada orientativa	15–20 minuts d'explicació amb la simulació projectada
Material	Projector o pissarra digital; funciona al navegador, també al mòbil i a la tauleta, sense instal·lar res
Coneixements previs	Idea d'àtom amb electrons en nivells, espectre visible i colors; al batxillerat, E = h·f i l'electronvolt
Accessibilitat	Tema fosc, clar i d'alt contrast (botó de la roda dentada)

Com funciona la simulació

La simulació té tres modes, «Fotons», «Col·lisió» i «Gas Ionitzat», que es trien a dalt del tauler esquerre. A sota, el desplegable «Element» ofereix hidrogen (4 nivells), heli (3), sodi (3) i neó (5). A Fotons i a Col·lisió es veu un àtom amb les seves òrbites retolades amb la seva energia. A la dreta apareix un «Diagrama de nivells» en eV. En els tres modes, a baix hi ha l'«Espectre d'emissió» de 380 a 780 nm; a Fotons la franja es parteix en dues i a sobre apareix l'«Espectre d'absorció». A sota, una altra barra recull l'UV (200–380 nm) i l'IR (780–3000 nm).

Mode	Què controla el docent	Què mostra
Fotons, «Llum blanca»	«Un fotó» (es dispara amb un clic a la font del llenç) o «Emissió contínua», amb «Flux de fotons» de «Lent» a «Màxim»	Fotons de longitud d'ona a l'atzar entre 380 i 780 nm. L'àtom només absorbeix els que coincideixen amb una de les seves línies visibles
Fotons, «Monocromàtica»	«Longitud d'ona» de 380 a 780 nm, en passos de 2 nm; comença a 550 nm	Si el fotó coincideix amb una transició, el rètol indica «ABSORBEIX 656 nm» i l'electró puja d'òrbita. Si no, el fotó passa de llarg
Col·lisió	«Energia de l'electró» de 0,5 a 6,0 eV, en passos de 0,1; comença a 3,0 eV. «Tret únic» (clic al canó) o «Feix continu» amb «Freqüència de tret»	Rètol «EXCITACIÓ» si l'electró té prou energia o «Col·lisió elàstica — energia insuficient» si no en té. Un tauler indica quins nivells s'assoleixen amb aquesta energia
Gas Ionitzat	«Voltatge del tub» d'1 a 8 eV, en passos de 0,2; comença a 5,0 eV. «Densitat del gas» de «Molt diluïda» a «Molt densa» (de 4 a 20 àtoms); comença a «Mitjana» (10 àtoms)	Un tub amb càtode i ànode. Els electrons exciten àtoms, que brillen i emeten. Comptadors d'electrons lliures, àtoms excitats i fotons emesos, i el nombre de fotons a sobre de cada línia

Quatre elements sostenen l'explicació:

- **El diagrama de nivells.** Mostra els nivells amb la seva energia i totes les transicions possibles. La transició que acaba de passar es ressalta, i un punt marca el nivell de l'electró.
- **El rètol d'estat.** A sobre de l'àtom apareix, per exemple, «ABSORBEIX 486 nm» o «EMET 656 nm» amb els nivells de sortida i d'arribada, acolorit amb el color de la llum.
- **Els espectres.** Cada fotó emès encén la seva línia a la barra de 380–780 nm. Les línies UV i IR van a la barra inferior. A Fotons, cada fotó absorbit enfosqueix la seva ratlla a l'espectre d'absorció, un arc de Sant Martí situat just a sobre, així que les ratlles fosques i les brillants queden alineades. Les línies s'apaguen a poc a poc, excepte en pausa.
- **El tauler d'energia accessible.** A Col·lisió, «Amb 3,0 eV pots arribar a:» marca amb ✓ o ✗ cada nivell i l'energia que necessita.

Els botons «⏸ Pausa» i «↺ Neteja» són comuns als tres modes; «↺ Neteja» esborra l'espectre i els comptadors. El desplegable «Transicions de l'àtom» llista cada transició amb la seva longitud d'ona, la seva regió (visible, UV o IR) i els seus nivells. «Conceptes essencials» resumeix $E = h \cdot f = h \cdot c / \lambda$ i $\Delta E = E_{sup} - E_{inf}$.

Ús a cada curs

A 4t d'ESO la simulació serveix per donar contingut als models atòmics. A Química de 1r de Batxillerat és l'eina central per relacionar la interacció amb la radiació i l'estructura electrònica. A Química de 2n de Batxillerat dona suport als espectres atòmics i al pas des del model de Bohr. Al bloc de 1r a 3r d'ESO no hi ha sabers on encaixi, més enllà de la llum com a transferència d'energia.

Els sabers i els criteris d'avaluació citats són els del currículum de Catalunya: Decret 175/2022 (DOGC núm. 8762, de 29 de setembre de 2022) per a l'ESO i Decret 171/2022 (DOGC núm. 8758, de 22 de setembre de 2022) per al batxillerat. A l'ESO, els sabers de 1r, 2n i 3r formen un sol bloc i cada centre decideix en quin curs treballa cada saber; 4t té el seu propi bloc. Al batxillerat, Física i Química són matèries separades des de 1r. Està previst que a partir del curs 2026-27 la Física i la Química de 1r de Batxillerat es fusionin en una sola matèria, «Física i Química»; quan se'n publiqui el currículum caldrà revisar l'apartat de 1r.

4t d'ESO: nivells d'energia i color de la llum

15–16 anys · 10th grade als EUA · Year 11 al Regne Unit

Sabers. La matèria: «Reconeixement dels principals models atòmics i dels constituents dels àtoms per establir la relació amb els avenços de la física i de la química més rellevants de la història recent» i «Relació, a partir de la seva configuració electrònica, de la distribució dels elements a la taula periòdica amb les seves propietats fisicoquímiques més importants...». Les destreses científiques bàsiques: «Ús de diversos entorns i recursos d'aprenentatge científic, com ara el laboratori o els entorns virtuals...».

Criteris d'avaluació. 1.1 (analitzar conceptes i fenòmens interpretant informació en diferents formats, com models i esquemes) i 6.1 (interpretar la ciència com un procés en construcció, tant amb perspectiva històrica com a través de les línies de recerca actuals).

El currículum català de 4t no anomena els espectres ni els nivells d'energia; entren en el «reconeixement dels principals models atòmics». La llum com a transferència d'energia és al bloc de 1r a 3r («Experimentació amb materials d'ús quotidià de fenòmens de transferència d'energia en forma de llum i so»).

Objectius. Reconèixer que l'electró només ocupa nivells d'energia concrets. Associar absorbir amb pujar de nivell i emetre amb baixar-ne. Relacionar el color de la llum amb l'energia del salt. Entendre l'espectre com l'empremta de cada element.

Seqüència d'explicació (15–20 min).

1. Mode Fotons amb hidrogen, «Monocromàtica» a 550 nm i «Un fotó» (configuració inicial excepte la llum). Disparar amb un clic a la font. El fotó passa de llarg. Preguntar per què l'àtom no l'aprofita.
2. Pujar la longitud d'ona a 656 nm i disparar. El rètol diu «ABSORBEIX 656 nm (n=2 → n=3)» i l'electró salta a l'òrbita següent. Al diagrama, el salt és d'1,89 eV.
3. Esperar uns 3–5 s: l'àtom emet un fotó de 656 nm en qualsevol direcció. La línia vermella apareix a l'espectre. Concloure que l'àtom retorna l'energia com a llum del mateix color.
4. Repetir-ho amb 486 nm (2,55 eV) i 434 nm (2,86 eV). Assenyalar que la llum més blava o violeta correspon a salts més grans. De vegades la baixada es fa en dos passos: un fotó IR de 1879 nm i després un altre de 656 nm.
5. Passar a Gas Ionitzat a 5,0 eV. Apareixen les tres línies visibles de l'hidrogen. Canviar l'element a sodi (línia groga de 589 nm, fanals antics) i a neó (vermells i taronges dels rètols lluminosos). Cada element dona un espectre diferent.

Química de 1r de Batxillerat: espectres i estructura electrònica

16–17 anys · 11th grade als EUA · Year 12 al Regne Unit

Sabers. Enllaç químic i estructura de la matèria: «Organització de l'estructura electrònica dels àtoms i anàlisi de la interacció amb la radiació electromagnètica: explicació de la posició d'un element a la taula periòdica i de la similitud en les propietats dels elements químics de cada grup en situacions reals».

Criteris d'avaluació. 1.1 (aplicar els models, les lleis i les teories científiques en l'anàlisi de fenòmens fisicoquímics) i 3.3 (emprar diferents formats per interpretar i expressar informació sobre un procés fisicoquímic).

El currículum català de 1r no anomena els espectres atòmics; entren en l'«anàlisi de la interacció amb la radiació electromagnètica». Apareixen amb nom propi a Química de 2n de Batxillerat.

Objectius. Calcular l'energia d'un fotó amb E = h·c / λ. Relacionar cada línia amb una diferència d'energia entre nivells. Distingir l'excitació per fotons (energia exacta) de l'excitació per xoc (energia mínima). Aplicar la conservació de l'energia a les cascades.

Seqüència d'explicació (15–20 min).

1. Fotons amb hidrogen i «Monocromàtica». Obrir «Transicions de l'àtom». Calcular a la pissarra l'energia d'un fotó de 656 nm: $E = 6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3{,}00 \cdot 10^{8} / 656 \cdot 10^{-9} = 3{,}03 \cdot 10^{-19}$ J = 1,89 eV. Comprovar que coincideix amb el diagrama.
2. Posar 600 nm i disparar: 2,07 eV no correspon a cap salt i el fotó no s'absorbeix. Posar 486 nm: s'absorbeix i l'electró puja al nivell de 2,55 eV.
3. Observar la desexcitació des de 2,55 eV. Si baixa en dos passos, emet 1879 nm (0,66 eV) i 656 nm (1,89 eV). Sumar: 0,66 + 1,89 = 2,55 eV. L'energia es conserva.
4. Mode Col·lisió amb hidrogen i «Tret únic». Amb 1,5 eV surt «Col·lisió elàstica — energia insuficient». Amb 2,0 eV l'àtom s'excita a 1,89 eV i emet 656 nm. Amb 3,0 eV arriba al nivell de 2,86 eV. Comparar-ho amb el fotó, que necessita l'energia justa.
5. Gas Ionitzat amb sodi a 3,0 eV: només apareix la línia de 589 nm (2,10 eV). Pujar a 3,8 eV: els xocs arriben al nivell 3d i apareix també 819 nm a la zona IR. Comprovar que 2,10 + 1,52 = 3,62 eV. No hi ha

línia directa 3d → 3s: aquest salt està prohibit i l'àtom baixa sempre per 3p.

6. Tancar amb l'espectre d'absorció. Tornar a Fotons amb hidrogen, «Llum blanca» i «Emissió contínua». L'àtom retira del feix just els fotons de 434, 486 i 656 nm: a l'«Espectre d'absorció» apareixen ratlles fosques en aquestes posicions, a sobre de les línies d'emissió.

Química de 2n de Batxillerat: del model de Bohr a l'espectre de l'hidrogen

17–18 anys · 12th grade als EUA · Year 13 al Regne Unit

Sabers. Enllaç químic i estructura de la matèria › Espectres atòmics i tècniques espectroscòpiques: «Caracterització dels espectres atòmics com a evidència experimental responsable de la necessitat de la revisió del model atòmic...» i «Interpretació dels espectres d'emissió i absorció dels elements i de la seva contribució en el coneixement de l'Univers. Relació amb l'estructura electrònica de l'àtom». Enllaç químic i estructura de la matèria › Principis quàntics de l'estructura atòmica: «Relació entre el fenomen dels espectres atòmics i la quantització de l'energia. Del model de Bohr als models mecano-quàntics: necessitat d'una estructura electrònica a diferents nivells...».

Criteris d'avaluació. 5.5 (representar i visualitzar els conceptes de química que presentin més dificultats amb eines digitals, incloent-hi experiències de laboratori virtual) i 6.1 (explicar i raonar els conceptes fonamentals de la química aplicant conceptes, lleis i teories d'altres disciplines, especialment de la física).

El currículum català no anomena els postulats de Bohr ni la sèrie de Balmer; entren en el pas «del model de Bohr als models mecano-quàntics».

Objectius. Interpretar l'espectre visible de l'hidrogen com la sèrie de Balmer. Lligar els postulats de Bohr amb el que es veu. Mostrar la quantització amb llindars d'energia. Reconèixer les limitacions del model en àtoms amb diversos electrons.

Seqüència d'explicació (15–20 min).

1. Assenyalar els rètols de l'hidrogen: els nivells de la simulació són n = 2, 3, 4 i 5, amb energies mesurades des de n = 2. El fonamental, n = 1, queda fora del model.
2. Comprovar-ho amb E_n = −13,6 / n² eV: $E_3 - E_2$ = 1,89 eV, $E_4 - E_2$ = 2,55 eV i $E_5 - E_2$ = 2,86 eV. Coincideixen amb el diagrama. Amb la fórmula de Balmer surten 656, 486 i 434 nm.
3. Gas ionitzat amb hidrogen a 2,0 eV: només apareix la línia de 656 nm. Pujar a 2,6 eV: apareix també 486 nm. A 3,0 eV apareix 434 nm. Cada línia té un llindar: l'energia està quantitzada.
4. Assenyalar les línies IR de 1879 i 1278 nm a la barra inferior. Corresponen a salts que acaben a n = 3, la sèrie de Paschen.
5. Tornar a Fotons amb «Llum blanca» i «Emissió contínua». Les ratlles fosques de l'espectre d'absorció queden just a sobre de les línies d'emissió: les longituds d'ona absorbides són les mateixes que les emeses. Relacionar els dos espectres del mateix element i la seva utilitat per conèixer la composició de les estrelles.
6. Canviar a sodi. Les etiquetes 3s i 3p remeten a subnivells que Bohr no explica. Fer-ho servir per presentar les limitacions del model i la necessitat dels nombres quàntics.

Física de 2n de Batxillerat: repàs puntual

17–18 anys · 12th grade als EUA · Year 13 al Regne Unit

No hi ha un saber específic d'espectres. La simulació pot donar suport a Física relativista, quàntica, nuclear i de partícules, en tractar «Les limitacions de la física clàssica...» i l'«Estudi qualitatiu i quantitatiu de l'efecte fotoelèctric...». Amb hidrogen, 550 nm i «Emissió contínua» al flux «Màxim», cap fotó no

s'absorbeix. L'analogia amb l'efecte fotoelèctric és directa: importa l'energia de cada fotó, no quants n'arriben.

Concepcions alternatives que ajuda a corregir

La simulació ataca sobretot la idea que l'energia de la llum és contínua i depèn només de la seva intensitat. Cada fila indica la idea prèvia freqüent i com desmuntar-la amb la simulació.

Idea de l'alumnat	Idea correcta	Com mostrar-ho
«Si arriba molta llum, l'àtom acabarà absorbint»	Cada fotó només s'absorbeix si la seva energia coincideix amb un salt	Hidrogen, «Monocromàtica» a 550 nm, «Emissió contínua» i flux «Màxim»: cap fotó no s'absorbeix. A 656 nm, sí
«L'electró pot tenir qualsevol energia»	L'energia de l'àtom està quantitzada	Diagrama de nivells amb hidrogen: només 0; 1,89; 2,55 i 2,86 eV. A 600 nm el fotó passa de llarg
«La llum vermella té més energia que la blava»	L'energia del fotó creix en baixar λ	Hidrogen: 656 nm correspon a 1,89 eV i 434 nm a 2,86 eV. Mirar la mida de cada salt al diagrama
«L'àtom retorna el mateix fotó a l'instant, com un mirall»	Queda excitat un temps i emet en qualsevol direcció, de vegades en diversos passos	Hidrogen a 486 nm: al cap d'uns segons pot emetre 1879 nm i després 656 nm, en direccions diferents
«Un electró necessita l'energia justa, igual que un fotó»	Per xoc n'hi ha prou amb una energia igual o més gran que el salt	Col·lisió amb hidrogen a 2,0 eV: excita el nivell d'1,89 eV. A 1,5 eV, «Col·lisió elàstica — energia insuficient»
«El llum brilla perquè el gas s'escalfa o crema»	Els xocs dels electrons exciten els àtoms i aquests emeten en desexcitar-se	Gas Ionitzat amb hidrogen a 1,0 eV: hi ha electrons però cap fotó. Pujar a 2,0 eV: apareix la llum de 656 nm
«Tots els gasos fan la mateixa llum»	Cada element té el seu espectre, com una empremta	Gas Ionitzat a 5,0 eV: canviar entre hidrogen, heli, sodi i neó i comparar les línies
«Només existeix la llum que veiem»	Hi ha emissions ultraviolades i infraroges	Gas Ionitzat amb sodi a 3,8 eV: apareix 819 nm (IR) a la barra inferior. Amb hidrogen a 5,0 eV, 1879 i 1278 nm

Simplificacions que convé conèixer

La simulació prioritza la idea «nivells discrets, salts amb energia concreta» i per això simplifica els àtoms i els temps. Convé conèixer aquestes llicències per no reforçar idees incorrectes sense voler.

1. **L'hidrogen comença a n = 2.** Els nivells són de n = 2 a n = 5 i valen 0; 1,89; 2,55 i 2,86 eV, mesurats des de n = 2: les línies són les de Balmer. El fonamental, n = 1, queda fora, i el tauler anomena el nivell n = 2 «el més baix del model». A 4t d'ESO n'hi ha prou de parlar de «nivell inferior».
2. **Energies positives i pocs nivells.** Totes les energies es mesuren des del nivell inferior, amb valor 0, i no hi ha energies negatives ni ionització. Cada àtom té entre 3 i 5 nivells. A 2n de Batxillerat convé recordar que $E_n = -13{,}6 / n^2$ eV.
3. **El nivell inferior no sempre és el fonamental.** A l'heli i al neó, el nivell E_1 ja és un estat excitat. Des del fonamental real caldrien uns 20 eV. Al sodi els nivells són 3s, 3p i 3d, amb energies reals; el salt 3s ↔ 3d està prohibit i no apareix. Per al batxillerat, cal presentar-los com a models de nivells, no com a dades exactes.

4. **Absorció amb un marge de 18 nm.** S'absorbeix qualsevol fotó a menys de 18 nm d'una línia: amb hidrogen, 640 nm també s'absorbeix com si fos 656 nm. Les línies reals són molt més estretes. A més, només s'absorbeixen fotons visibles i només des del nivell inferior.
5. **Cascada a l'atzar i temps lents.** L'àtom passa 1,3–2,7 s excitat i després 2 s a cada nivell abans d'emetre. Des de cada nivell baixa a qualsevol nivell inferior amb transició permesa, amb la mateixa probabilitat (al sodi, des de 3d només a 3p). En la realitat la vida mitjana és de l'ordre dels nanosegons i unes transicions són molt més probables que altres.
6. **Xocs simplificats.** L'electró sempre excita el nivell més alt que assoleix i després desapareix; no es veu l'energia que li sobra. A Gas Ionitzat cada xoc vàlid excita amb una probabilitat del 40 %. El «Voltatge del tub» es dona en eV: és l'energia de cada electró, no la tensió real d'un llum.
7. **Òrbites com planetes.** L'electró gira en òrbites circulars dibuixades amb radis de 68 a 168 píxels a l'hidrogen, sense escala real. En Bohr els radis creixen amb n^2. A 2n de Batxillerat convé contrastar-ho amb la idea d'orbital.
8. **Espectres que s'esborren sols.** L'espectre d'absorció només apareix a Fotons i només recull ratlles visibles. Les línies dels dos espectres perden la meitat de la seva brillantor en uns 14 s; en pausa es congelen.
9. **Barra IR limitada a 3000 nm.** Les línies de 4003 nm de l'hidrogen i de 3444 i 6889 nm del neó s'emeten però no es dibuixen. Només apareixen a «Transicions de l'àtom».

Fitxa d'activitats de l'alumnat

La fitxa d'activitats segueix l'esquema prediu, observa i explica. Cada activitat porta un enllaç a la simulació ja preparada, de manera que funciona a l'aula d'informàtica, amb tauletes o com a tasca a casa. Es descarrega en Word i LibreOffice per adaptar-la.

Curs	Activitats	Durada orientativa
4t d'ESO	Abans de començar, activitats 1 a 4, preguntes 3 i 4 d'Aplica el que has après, Revisa les teves idees i Autoavaluació	Una sessió
Química de 1r de Batxillerat	Abans de començar, activitats 1 a 6, Aplica el que has après, Revisa les teves idees i Autoavaluació	Una sessió de 50–55 minuts, o dues
Química de 2n de Batxillerat	Activitats 3, 5 i 6 i Per ampliar	Una sessió

La taula d'«Abans de començar» recull cinc idees prèvies sobre la llum i els àtoms. Convé no corregir-la al principi: l'alumnat hi torna a «Revisa les teves idees».

Solucions

Apartat	Solució
Abans de començar	Totes falses. a) Només absorbeix les longituds d'ona dels seus salts (activitat 1). b) Només ocupa certs nivells (activitat 1). c) Importa l'energia de cada fotó, no quants n'arriben (activitat 1). d) Cada element té el seu espectre (activitat 4). e) La blava en transporta més (activitat 3)
Activitat 1	550 nm (verd): no. 600 nm (taronja): no. 656 nm (vermell): sí, n = 2 → 3, 1,89 eV. 486 nm (blau verdós): sí, n = 2 → 4, 2,55 eV. 434 nm (violeta): sí, n = 2 → 5, 2,86 eV. L'electró només pot passar a nivells concrets; el fotó ha de portar exactament aquesta diferència d'energia

Apartat	Solució
Activitat 2	No: al cap de pocs segons baixa i emet un fotó. 656: emet 656 nm en qualsevol direcció; línia vermella a l'espectre. 486: emet 486 nm o, en dos passos, 1879 nm (IR, barra inferior) i 656 nm. 0,66 + 1,89 = 2,55 eV: es conserva l'energia
Activitat 3	656 nm, vermell, 1,89 eV. 486 nm, blau verdós, 2,55 eV. 434 nm, violeta, 2,86 eV. Com menor és la longitud d'ona, més energia, com diu $E = h \cdot c / \lambda$
Activitat 4	Hidrogen: 656, 486 i 434 nm (vermell dominant). Heli: 588 i 447 nm (groc). Sodi: 589 nm (groc). Neó: 703, 639, 585 i 454 nm (vermells i taronges). Cada element té nivells diferents i emet línies diferents: identificant-les se sap quins elements hi ha a la llum d'una estrella
Activitat 5	1,5 eV: col·lisió elàstica, energia insuficient, cap nivell. 2,0 eV: excita el nivell d'1,89 eV i emet 656 nm. 3,0 eV: assoleix els nivells d'1,89, 2,55 i 2,86 eV. L'electró no necessita l'energia exacta: n'hi ha prou que tingui almenys la del salt; la resta li sobra
Activitat 6	Ratlles fosques a 656, 486 i 434 nm, just a sobre de les línies brillants. L'àtom absorbeix i emet en els mateixos salts entre els mateixos nivells
Aplica el que has après	1) $E = 6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3{,}00 \cdot 10^{8} / 656 \cdot 10^{-9} = 3{,}03 \cdot 10^{-19}$ J = 1,89 eV. 2) $\lambda = h \cdot c / E = 1{,}99 \cdot 10^{-25} / (2{,}10 \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19}) \approx 592$ nm, groc: el sodi (589 nm). 3) El sodi emet gairebé només a 589 nm (groc) i el neó té les línies visibles més intenses al vermell i al taronja. 4) La seva energia (2,07 eV) no coincideix amb cap salt: tant fa quants n'arribin
Per ampliar	1) $E_3 - E_2 = 13{,}6 \cdot (1/4 - 1/9) = 1{,}89$ eV; $E_4 - E_2 = 2{,}55$ eV; $E_5 - E_2 = 2{,}86$ eV. Coincideixen. 2) 656 nm apareix cap a 1,9–2,0 eV, 486 nm cap a 2,6 eV i 434 nm cap a 2,9–3,0 eV: cada línia té un llindar perquè l'energia està quantitzada

Juan Ramón Grijota · SimulaCiencia. Guia publicada amb llicència CC BY-SA 4.0: la pots adaptar i compartir citant-ne l'autoria i amb la mateixa llicència. Versió actualitzada i simulació a simulaciencia.es/ca/guies/espectros/.