

PERSONIFICACIÓ I MODELITZACIÓ DE L'ÀTOM

Three quarks for Muster Mark!
Sure he has not got much of a bark
And sure any he has it's all beside the mark.

Finnegans Wake

James Joyce

Índex

1	Introducció	3
1.1	Materials	4
2	Activitats proposades	5
2.1	Activitat 1: Interacció EM	5
2.2	Activitat 2: Model de l'àtom	6
2.3	Inconsistència del model de Rutherford	11
2.4	El Zoo de Partícules	14
2.5	El nucli atòmic segons el M.E	16
2.6	Les interaccions al M.E.	18
3	Referències	19
4	Annexos	22
4.1	La modelització i la personificació	23
4.2	Fitxes de Treball	25
4.3	Altres Recursos	43

1 Introducció

En aquesta activitat es proposa la modelització de l'àtom utilitzant una metodologia de personificació. Aquesta tècnica consisteix en la realització de models científics utilitzant el propi cos. Als Annexos podeu trobar més informació sobre aquesta tècnica, així com sobre la modelització i els seus beneficis didàctics. Si no heu fet servir alguna de les dues, és convenient que hi doneu un cop d'ull.

En principi és una activitat pensada per fer a 3r d'ESO, però es pot fer també a batxillerat, especialment si es du a terme la darrera activitat opcional.

Per dur-la a terme cal un espai ampli -moure les taules de l'aula, pati, gimnàs...- però cal tenir present que durant la 4a activitat cal que els alumnes visualitzin dos petits vídeos.

En total són 6 activitats separades en dues parts: les tres primeres activitats tenen com a objectiu fer una modelització de l'àtom segons la física clàssica, que en mostri les limitacions, i les dues següents introdueixen el Model Estàndard i personifiquen l'àtom amb la construcció d'un model basat en la física de partícules que mostri els protons i els neutrons formats per quarks. La darrera fa referència a l'ús de partícules bosons per explicar les interaccions al model estàndard i es podria considerar una activitat d'ampliació per a batxillerat.

A més a més, en la modelització clàssica es presenten dues propostes per a la segona activitat: en la primera opció -més senzilla- directament es fa el model de Rutherford, mentre que en la segona -més completa- s'intenta fer el mateix procés deductiu que van fer els físics per passar del model de Dalton al de Rutherford.

Així, el conjunt d'activitats és prou versàtil i permet al docent treballar només els continguts clàssics (activitats 1 i 2), introduir també el model estàndard (activitats 3,4 i 5) i aproximar-se a la modelització de les interaccions fonamentals amb partícules mitjanceres.

No s'analitza el model de Bohr amb els orbitals i els nivells d'energia fixa, ja que les seves restriccions (nivells d'energia fixa, orbitals probabilístics, ...) són complicades de representar.

A l'explicació de cada activitat es distingeixen diverses parts ben diferenciades.

- Un títol descriptiu d'allò que es pretén realitzar.
- Unes qüestions a analitzar per part dels alumnes. Vindrien a ser unes orientacions sobre les preguntes que els hi ha de fer el docent. En les fitxes dels annexos es presenten en forma de preguntes que els alumnes han de contestar.
- Observacions per al docent d'allò que ens podem trobar a l'activitat i orientacions sobre com resoldre els problemes i generar els debats.
- Les conclusions a què s'hauria d'arribar en acabar l'activitat. Es pot agafar com a corrector.

1.1 Materials

Encara que es pot fer aquesta activitat sense cap mena de material, per facilitar les coses es proposa utilitzar els següents materials:

- POST-IT de colors en els que apuntar les càrregues positives, negatives o neutres i que els alumnes s'hauran d'enganxar.
- L'anàlisi que es demana a cada activitat pot fer-se oralment o es pot donar la fitxa que podeu trobar a l'annex perquè l'ompli cada alumne o grup d'alumnes.
- Cal tenir algun dispositiu per tal que els alumnes visualitzin uns vídeos a l'activitat 4. En cas contrari caldrà que el professor faci una breu explicació de la situació exposada al vídeo.

Es deixa a criteri del docent quines són les evidències d'aprenentatge que han de presentar finalment els alumnes.

2 ACTIVITATS PROPOSADES I

2.1 Activitat 1: Interacció electromagnètica.

INSTRUCCIONS: *Dividiu-vos en tres grups: electrons, protons i neutrons. Moveu-vos per la sala seguint les consignes del docent.*

Analitzeu les següents qüestions:

- Com són les seves trajectòries i la seva velocitat?
- Es mouen totes igual?
- Què passa quan interaccionen?

Observacions

El docent fa la distribució en electrons, protons i neutrons. Segons es vulgui, al post-it es pot posar la càrrega, el nom de la partícula, el seu símbol i els nombres màssic i atòmic,

El docent demana que interactuïn les diferents partícules (els alumnes), primer les d'un mateix grup entre elles i després entre els diferents grups.

Les partícules (els alumnes) es mouen per la sala i només interactuen amb altres quan es troben a certa distància (sense que sigui necessari arribar a xocar); aquest «acostament» l'estableixen els mateixos alumnes.

Conclusions de l'activitat

- Quan es troben dues partícules amb la mateixa càrrega elèctrica, es repelen.
- Quan es troben dues partícules amb diferent càrrega elèctrica, s'atrauen.
- Els protons i els electrons tenen càrregues elèctriques oposades.
- Els neutrons no tenen càrrega elèctrica i es mouen sense interaccionar per tota la sala, sigui quina sigui la partícula que estigui al seu voltant.

2.2 Activitat 2: Model de l'àtom

2.2.1 Proposta 1: Àtom de Rutherford

INSTRUCCIONS: Amb 6 o 7 alumnes representant aquests mateixos ingredients (electrons, protons, neutrons i interacció elèctrica), construïu un àtom segons el model de Rutherford.

Sobre la personificació, analitzeu les següents qüestions:

- Escala de l'àtom.
- Ions i isòtops.
- Per què orbiten els electrons?
- La matèria està plena o buida?

Observacions

Els alumnes agafen, un parell de protons i un parell de neutrons i els col·loquen junts en un nucli, agafen un parell d'electrons i els posen a girar al voltant. Normalment els alumnes trien la mateixa quantitat de protons que de neutrons i també d'electrons.

Cal tractar les diferències entre nombre màssic i nombre atòmic, i entre ions i isòtops.

Cal fer-los reflexionar sobre el fet que l'àtom elèctricament neutre ha de tenir la mateixa quantitat de protons que d'electrons, però això no implica res per als neutrons.

D'altra banda, sorgeix immediatament la qüestió de si les càrregues oposades «s'enganxen» (model de Thomson) o orbiten unes al voltant de les altres (model de Rutherford). En aquest cas cal fer la segona opció. (Cal fer-los reflexionar respecte el que han vist a l'activitat A1: els protons i electrons quedaven enganxats en trobar-se, però ara els segons orbiten al voltant dels primers. Cal comentar que es tracta del mateix tipus d'interacció, amb l'única diferència de l'existència d'una velocitat en un eix diferent de la recta que uneix al protó i l'electró (es pot aprofitar per establir una analogia amb la interacció gravitatòria, o amb el fet de fer girar una pilota lligada a una corda).

Cal fer-los notar que el model proposat no està a escala; val la pena esmentar com hauria de ser la representació per respectar la proporcionalitat entre les distàncies (mida de l'àtom 10000 vegades la del nucli => nucli 3 alumnes = 1m => electrons a 10 km).

Així la matèria és buida. Els àtoms no es travessen perquè els electrons exteriors es repelen.

Aquesta activitat es pot ampliar, jugant amb els alumnes per a què construeixin diferents tipus d'àtoms i els hagin d'anomenar, o bé que, a partir del símbol escrit a la pissarra, l'hagin de construir.

Conclusions de l'activitat

- l'àtom representat no està a escala. Per a estar a escala els alumnes que representen els electrons haurien de girar a uns quants quilòmetres de distància.
- El nombre de protons és el nombre atòmic.
- Si el nombre de protons és diferent del nombre d'electrons, l'àtom té càrrega elèctrica i s'anomena ió. Si té un excés d'electrons, té càrrega negativa (anió) i si té un defecte d'electrons, té càrrega positiva (catió)
- Si canviem el nombre de neutrons sense canviar el nombre de protons, tenim un isòtop.
- El nombre de neutrons i protons és el nombre màssic.
- Els electrons orbiten perquè es mouen en una direcció perpendicular a la força, per tant la força els fa girar.
- La matèria està buida.

2.2.2 Proposta 2: Evolució dels models atòmics.

INSTRUCCIONS: A partir de les evidències experimentals que s'han anat obtenint al llarg de la història, anem a fer models atòmics.

Primera evidència. Model de Dalton «d'esferes sòlides».

El 1804 John Dalton estudia la natura de les partícules gasoses, les seves reaccions i els seus xocs.

Evidències experimentals sobre els àtoms:

- són partícules molt petites
- no es trenquen en les col·lisions
- són neutres
- tenen una massa fixa, diferent per cada element
- no tenen parts internes

Observacions sobre l'activitat:

Es reparteixen o expliquen les evidències i les seves conclusions experimentals.

En aquesta els alumnes han de representar molècules gasoses formades per dos (o més) àtoms neutres (H_2 , O_2 , H_2O , CO_2 ...). Cada àtom és un alumne. Les molècules es mouen segons la teoria cineticomolecular ja estudiada pels alumnes.

Ha de quedar clara la idea que aquest model és el més senzill que explica les observacions.

Segona evidència. Model de Thomson del «pastís de panses».

El 1897 Joseph John Thomson estudia els rajos catòdics, formats per electrons que surten dels àtoms d'un gas, de manera que els seus àtoms queden carregats positivament.

Conclusions experimentals sobre els àtoms:

- són partícules molt petites
- no es trenquen en les col·lisions
- són neutres
- tenen una massa fixa, diferent per cada element
- no tenen parts internes
- contenen electrons

Observacions sobre l'activitat:

Es reparteixen o expliquen les evidències i les seves conclusions experimentals.

Alguns alumnes de cada àtom se'ls nomena «electrons» amb càrrega negativa (senyalar amb un post-it). Als altres se'ls hi assigna una càrrega positiva arbitrària (+1, +2, +3, ...).

En aquesta modelització, els alumnes han d'incorporar el fet que els àtoms tenen càrregues negatives molt petites. A més a més són neutres, per tant les càrregues negatives s'han de veure compensades per altres càrregues positives. Cada àtom estarà format per una càrrega positiva i diverses negatives que la compensen.

Cal demanar-los que pensin en la manera més simple possible de tenir càrregues negatives disposades sobre una gran càrrega positiva, de manera que tinguem un àtom neutre. La solució seria una esfera positiva amb electrons distribuïts uniformement per l'interior de la càrrega. Aquesta modelització no es possible perquè els alumnes no poden posar-se uns «dins» dels altres.

Molts alumnes intentaran fer un model atòmic de Rutherford. Encara que és més correcte que el model que estan representant en aquesta activitat, cal remarcar que no és el model més simple possible donada l'evidència experimental de l'activitat en aquest punt.

Tercera evidència. Model de Rutherford de «nucli positiu».

El 1911 Ernest Rutherford bombardeja una làmina d'or amb partícules alfa (nuclis d'Heli positius). La majoria travessen la làmina sense desviar-se. Uns pocs surten rebotats cap enrere.

Conclusions experimentals sobre els àtoms:

- són partícules molt petites
- no es trenquen en les col·lisions
- són neutres
- tenen una massa fixa, diferent per cada element
- no tenen parts internes
- tenen electrons
- la part positiva dels àtoms està concentrada al centre i és molt petita (10000 vegades més petita que l'àtom en si)

Sobre la darrera modelització, analitzeu les següents qüestions:

- Escala de l'àtom.
- Ions i isòtops.
- Per què orbiten els electrons?
- La matèria està plena o buida?

Observacions

Els alumnes agafen un parell de protons i un parell de neutrons i els col·loquen junts en un nucli. Agafen un parell d'electrons i els posen a girar al voltant. Normalment els alumnes trien la mateixa quantitat de protons que de neutrons i també d'electrons.

Cal tractar les diferències entre nombre màssic i nombre atòmic, i entre ions i isòtops.

Cal fer-los reflexionar sobre el fet que l'àtom elèctricament neutre ha de tenir la mateixa quantitat de protons que d'electrons, però això no implica res per als neutrons.

D'altra banda, sorgeix immediatament la qüestió de si les càrregues oposades «s'enganxen» (model de Thomson) o orbiten unes al voltant de les altres (model de Rutherford). En aquest cas cal fer la segona opció. (Cal fer-los reflexionar respecte el que han vist a l'activitat A1: els protons i electrons quedaven enganxats en trobar-se, però ara els segons orbiten al voltant dels primers. Cal comentar que es tracta del mateix tipus d'interacció, amb l'única diferència de l'existència d'una velocitat en un eix diferent de la recta que uneix al protó i l'electró (es pot aprofitar per establir una analogia amb la interacció gravitatòria, o amb el fet de fer girar una pilota lligada a una corda).

Cal fer-los notar que el model proposat no està a escala; val la pena esmentar com hauria de ser la representació per respectar la proporcionalitat entre les distàncies (mida de l'àtom 10000 vegades la del nucli => nucli 3 alumnes = 1m => electrons a 10 km).

Aquesta activitat es pot ampliar, jugant amb els alumnes a què construeixin diferents tipus d'àtoms i els hagin d'anomenar, o bé que a partir del símbol escrit a la pissarra l'hagin de construir.

2.3 Activitat 3: Inconsistència del model de Rutherford.

INSTRUCCIONS: *Si els protons tenen la mateixa càrrega elèctrica, per què poden estar tan junts al nucli sense repel·lir-se?*

Analitzeu els següents punts:

- A l'activitat 1 els protons que estaven a distàncies semblants a la del nucli, quina força patien?
- Elaboreu una hipòtesi que expliqui com pot ser que els protons es mantinguin junts utilitzant el que s'ha comentat a l'activitat 1 i 2.

Observacions

Aquesta activitat pretén posar en evidència els límits del model que s'acaba de construir.

Normalment sorgeixen tres respostes d'interès: dues d'elles (a i b) mostren una manca de comprensió de la interacció electromagnètica; la tercera (c) té sentit «físic», tot i que queda descartada per l'abast de la interacció electromagnètica entre els protons. Poden sortir-ne d'altres. Primer analitzarem les dues primeres (a) i (b) i després la darrera (c).

a) La càrrega dels protons queda «compensada» per l'existència dels electrons que orbiten al voltant del nucli (el nombre d'electrons és igual al nombre de protons en un àtom neutre), per tant als protons «no els queda càrrega» per repel·lir-se entre si.

b) Els neutrons «neutralitzen» o «absorbeixen» la càrrega dels protons.

En tots dos casos, els alumnes conceben la càrrega com un fluid que «es gasta» o «s'absorbeix».

Cal reflexionar per descartar aquestes idees i debatre com passa en realitat, aprofitant els resultats de l'activitat 1 com a contraexemple:

-les càrregues que es movien lliurement no «perdien» la seva capacitat d'interacció per la presència d'altres càrregues contràries més allunyades.

-si els neutrons no tenen càrrega elèctrica i, per tant, no interaccionen elèctricament (en l'activitat 1 passaven impassibles per la sala independentment de la presència d'altres partícules carregades), per què han d'absorbir o neutralitzar càrrega positiva dels protons? No són aquestes accions, formes d'interaccionar?

És important debatre i contrastar idees fent referència a les activitats anteriors, com l'activitat 1, per posar de manifest la importància de la coherència en la construcció d'un model.

Cal arribar a la conclusió que els neutrons no participen de cap manera (coneguda pels alumnes fins al moment, és a dir, segons el que s'ha vist a les dues primeres activitats) en la no repulsió dels protons en el nucli per la interacció EM.

(És possible que sorgeixi el dubte de què sigui l'activitat 1 la què està mal feta; en aquest cas val la pena refer-la i intentar arribar a noves conclusions)

c) Els neutrons es situen entre els protons, de manera que augmenta la distància entre ells. Com estan més allunyats no noten la repulsió.

Aquesta proposta és certa físicament, ja que efectivament la força elèctrica decau amb la distància. Tot i que és interessant, aquesta idea queda anul·lada immediatament en veure que els electrons, estant molt més lluny, si senten la força d'atracció; es pot debatre més sobre l'abast de la interacció elèctrica comparant-la amb el radi dels neutrons.

Pot ser interessant comentar que aquest augment de la distància entre els protons tindrà efectes pel que fa a l'estabilitat dels àtoms més grans en el model final.

Conclusions de l'activitat

Després d'aquesta primera tanda d'activitats, es conclou que amb els ingredients que ens proporciona el model atòmic que tenim fins ara no és possible respondre de manera adequada a la qüestió que planteja l'activitat 3.

Incorporant el context històric

Deixant oberta l'activitat 3, és un bon moment per recórrer al context històric en què van aparèixer els nous models basats en física de partícules. Això posa de manifest la importància de la contextualització en el procés de modelització; els models no es fan de manera aïllada, sinó que responen als ingredients del context històric o social.

En cas que hàgiu fet la segona proposta a l'Activitat 2 (evolució dels models atòmics), aquest fet ja hauria de ser més que evident.

2.4 Activitat 4: El Zoo de Partícules

INSTRUCCIONS: *Vegeu el vídeo descriptiu. Els físics troben un «zoològic» de partícules, igual que anys abans els químics es van trobar amb un «zoològic» d'elements.*

Analitzeu els següents punts:

- Són situacions semblants? En què s'assemblen i en què es diferencien les dues situacions?
- Creieu que aquestes situacions caòtiques (elements i partícules) poden tenir solucions semblants?

Observacions

Després de veure el vídeo 1 es convida els alumnes a establir una analogia entre la conclusió a què van arribar els químics en veure tants elements químics i la disjuntiva a la qual es van enfrontar els físics a principis del segle XX.

Els físics van arribar a un model més senzill, basat en l'existència d'electrons, protons i neutrons, que explicava la diversitat d'elements observats.

Això facilita que els alumnes mateixos arribin a la conclusió que es pot proposar que totes aquestes partícules estiguin formades per altres components, combinats de diferent manera.

En aquest punt el docent presenta el vídeo 2 i la taula del model estàndard amb 6 quarks. Les combinacions per parelles o tríos expliquen la diversitat d'hadrons trobats a partir dels raigs còsmics.

Conclusions de l'activitat

- El descobriment dels elements i de les partícules del zoo es produeixen de manera semblant: comencen a descobrir-se de mica en mica i de cop es comencen a descobrir molts elements/partícules, donant lloc a una situació molt caòtica.
- El descobriment d'elements va correspondre sobretot a químics, i el de partícules a físics.
- El descobriment de parts més fonamentals va fer que una situació complicada se simplifiqués de manera semblant a la Taula Periòdica i al Zoo de Partícules.

2.5 Activitat 5: El nucli atòmic segons el model estàndard de partícules

INSTRUCCIONS: *Construiu de nou un nucli atòmic, però ara tenint en compte que els protons estan formats per quarks (dos quarks up i un quark down), i els neutrons també (un quark up i dos quarks down) i que no sabem com interaccionen aquests quarks.*

Analitzeu els següents punts:

- Com haurien d'interaccionar els quarks per explicar que els protons puguin estar junts sense repel·lir-se?

Observacions

Es reparteixen post-it per als diferents quarks (up i down) i electrons. Pot ser interessant que els quarks tinguin anotades les seves càrregues elèctriques ($+2/3$, $-1/3$ respectivament)

Els alumnes amb quarks s'han d'agrupar fent grups de 3 per formar un protó o un neutró, de manera que cada alumne agafa l'espatlla a l'alumne de l'esquerra, però amb llibertat de moviment i amb una mà lliure.

Apropant dos protons representats d'aquesta manera, s'insta els alumnes a que aquestes noves partícules (els quarks) «facin alguna cosa» per mantenir els protons units evitant la seva repulsió. De manera natural els quarks d'un protó agafen de les mans als quarks d'un altre protó.

Es poden afegir uns quants protons i neutrons més que s'uneixin entre sí. Finalment es disposen els protons orbitant el nucli.

Es presenta així un nou model atòmic en el qual hi ha una altra força diferent entre els protons, més fort que l'electromagnètica: la força forta.

És important tractar algunes característiques d'aquesta nova força:

Per exemple, que es dona principalment entre els quarks que estan més a prop, és a dir, els que formen un mateix protó o neutró; així com el seu curt abast.

També cal posar de manifest el paper dels neutrons en l'estabilitat del nucli atòmic, que s'entén ara també a partir del nou model de quarks. Com els neutrons estan compostos per quarks, igual que els protons, els quarks d'aquests també contribueixen a fer que els protons no es repelin i com són neutres no repel·leixen els protons. Per això els àtoms amb més protons tenen també més neutrons (elèctricament no hi ha cap raó que expliqui aquest fenomen).

Si es vol (especialment si han aparegut respostes c a l'activitat 3) es pot reflexionar com el fet que la força forta és de molt curt abast aquells nuclis amb molts protons i neutrons necessiten més neutrons per estabilitzar el nucli, fins al punt que els nuclis més grans sempre són inestables (radioactius).

Altres possibilitats, si es vol ampliar el model, és parlar de les propietats de la força forta com la llibertat asimptòtica i el confinament aprofitant l'exercici d'haver d'estar agafats (confinats) però amb certa llibertat de moviment si s'acosten entre si (llibertat asimptòtica).

Es pot explicar també que la força que els alumnes representen entre els quarks de dos protons diferents té un caràcter «residual» (analogia amb les forces de Van der Waals).

Conclusions de l'activitat

- Els protons i els neutrons estan formats per partícules més fonamentals anomenades quarks
- Els quarks interaccionen entre si amb la força nuclear forta.
- La força nuclear forta és una força de curt abast
- La força nuclear forta permet que els protons estiguin junts dins el nucli sense que es repelin per la força electromagnètica.

2.6 Activitat 6 (OPCIONAL): Les interaccions al model estandard.

INSTRUCCIONS: *Estant a distància, com ho podríem fer per repel·lir-nos sense tocar-nos? Com ho podríem escenificar?*

En la representació, analitzeu:

- Què representa l'objecte que llanceu
- Com hauria de ser aquest objecte en les diferents interaccions que coneixeu? Quines limitacions presenta la nostra personificació?

A continuació:

- Imagineu que no podeu fer servir cap objecte, si només compteu amb el medi en què esteu, com podeu transmetre moment al company?

Observacions

En aquesta situació es tracta que els alumnes s'adonin que una manera de repel·lir-se els uns als altres és llançant-se una pilota o similar.

Cal que reflexionin perquè en la nostra vida quotidiana això no succeeix així (fregament).

També haurien de reflexionar en les diferents interaccions (EM, Nuclear Forta i nuclear Feble) i les seves característiques (distància d'actuació, intensitat relativa, atractiva-repulsiva) i com la personificació no és capaç de mostrar bé aquestes diferències (per exemple, no es pot fer una força atractiva llançant pilotes d'un alumne a l'altre)

La darrera qüestió és per introduir en la discussió el concepte de camp. Una analogia que acostuma a funcionar és comparar el camp, per exemple, electromagnètic, amb un camp nevat. Els fotons serien aleshores els flocs de neu que formen aquest camp.

També es pot aprofitar per mostrar alguns diagrames de Feymann i introduir-los aquest tipus de representació.

3 Referències

ACHER, A., ARCÀ, M., i SANMARTÍ, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Science Education*, 91, 398-418.

BARSALOU, L.W. (2008). Grounded Cognition Annual Review of Psychology. 59, 617-45.

BLANCO, G. (2009). El hombre que encontró los quarks. *KosmosLogos*. [en línia] <www.noticiadelcosmos.com/2009/03/el-hombre-que-encontro-los-quarks.html> . [Consulta: setembre 2019]

CERN/ATLAS (2010): CERN: The Standard Model of Particle Physics [en línia]. <www.youtube.com/watch?v=V0KjXsGRvoA>. [Consulta: setembre 2019]

CHAMIZO, J. A. (2006). Los modelos de la química, *Educación Química*, 17(4), 476-482.

DRIVER, R. (1985). Children's ideas in science. *Bunckingham: Open University Press*.

Izquierdo et al., (2016) M. Izquierdo, A.G. García-Martínez, M. Quintanilla, A. Adúriz-Bravo. Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: aportes para la formación del profesorado de ciencias. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia*. DOI: <https://doi.org/10.14483/9789588972282>

JOHNSON-GLENBERG, M. C., LINDGREN, R., KOZIUPA, T., BOLLING, A., NAGENDRAN, A., BIRCHFIELD, D., i CRUSE, J. (2012). Serious Games in Embodied Mixed Reality Learning Environments. *Games, Learning and Society Conference*. 8, 8. <<http://press.etc.cmu.edu/index.php/product/gls-8-0/>> [Consulta: setembre 2019]

PALOMAR, R.; SOLBES, J. (2015). Evaluación de una propuesta para la enseñanza y el aprendizaje de la astronomía en secundaria. *Enseñanza de las ciencias*, 33(2), 91-111.

SOLBES, J. I TUZÓN, P. (2014). Indagación y modelización del núcleo atómico y sus interacciones. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, no 78.

TUZON, P. i SOLBES, J. (2016). Particle Physics in High School: A Diagnose Study. *PloS one*. 11. e0156526. 10.1371/journal.pone.0156526.

TUZON, P. i SOLBES, J. (2017). La modelización usando corporeización en la Enseñanza de las Ciencias. *Enseñanza de las ciencias, Núm. Extra*, p. 587-594. [en línia] <<https://ddd.uab.cat/record/184591>> [Consulta: octubre 2019].

TUZON, P. i SOLBES, J. (2016). Particle Physics in High School: A Diagnose Study. *PLoS ONE*. 11(6), Pág e0156526

VAN DRIEL, J.H.; VERLOOP, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. *International Journal of Science Education*, núm. 24, pp. 1255-1272.

Annexos

Annexos

A continuació podeu trobar diferents materials que us poden ajudar a portar l'activitat a l'aula.

En primer lloc trobareu una petita introducció a la modelització i a la personificació com a eines didàctiques per l'aprenentatge de la ciència.

A continuació trobareu les fitxes de Treball, pensades per a fotocopiar i entregar als alumnes per a anotar les seves observacions i conclusions.

Finalment trobareu altres recursos útils per treballar les dues últimes activitats, relacionades amb el Model Estàndard de la física de partícules, com una taula de les partícules del Zoo de Partícules descobertes al llarg dels anys, així com un esquema del Model Estàndard. També trobareu informació sobre els quarks i les semblances entre l'experiment que els va descobrir i l'experiment de Rutherford.

La modelització com a eina didàctica

La modelització en el procés d'ensenyament-aprenentatge de les ciències experimentals es presenta com una estratègia capaç d'assegurar un aprenentatge molt significatiu (Acher, Arcà i Sanmartí, 2007). En particular des de l'òptica constructivista, en què l'ensenyament intenta aproximar-se a l'activitat científica, amb els alumnes treballant en grup en la indagació d'un determinat fenomen, apareix com una tècnica clau, ja que ho és també en l'activitat científica quotidiana. (Acher et al., 2007; Van Driel i Verloop, 2002).

Aquesta modelització esdevé molt necessària davant la impossibilitat de veure o mesurar el fenomen que es pretén estudiar (Palomar i Solbes, 2015; Tuzón i Solbes, 2016) perquè l'objectiu s'aparta molt de l'escala humana a nivell astronòmic, molecular o atòmic, aspectes que plantegen moltes dificultats de comprensió a l'alumnat.

Aquesta modelització apareix de manera continuada al llarg de la història de la ciència, i es una de les competències bàsiques de la Dimensió indagació de fenòmens naturals i de la vida quotidiana del currículum de l'ESO. Més enllà de l'estudi dels models, també es planteja la necessitat que els alumnes sàpiguen aplicar els principals models i processos de les ciències (Izquierdo et al., 2016) i és per això que veiem determinant que no només estudiïn el model si no que aprenguin a construir-lo.

L'estratègia de modelització es basa aleshores en la construcció d'una idea que ha d'estar necessàriament relacionada amb el fenomen real que es pretén estudiar. A partir d'aquesta idea s'han d'identificar les semblances i les diferències entre el model i el fenomen. Les primeres serviran per emetre hipòtesis contrastables durant el símil, mentre que les segones fan que el model sigui més accessible per la investigació que el fenomen real (Tuzon, Solbes 2017).

El desenvolupament del model és concebut com un procés iteratiu en què s'introdueix la modificació del mateix en obtenir noves dades -proporcionades pel professor o incorporades pels alumnes relacionades amb el fenomen (Chamizo, 2006).

Tot aquest procés posa en evidència les dificultats d'aprenentatge de l'alumnat (preconcepcions, formes de raonament, actituds i valors previs) (Solbes, 2009). El model apareix de forma constructiva i només s'accepta després de la revisió dels conflictes amb les versions anteriors i no per imposició externa del professor,

convertint l'alumne en protagonista del seu aprenentatge i afavorint un rol de guia per al professor.

La personificació com a eina didàctica

Dins de la modelització es poden utilitzar diferents tècniques. En aquest cas es proposa l'ús de la personificació, corporeització o *embodiment*. En aquesta tècnica els alumnes utilitzen els seus cossos com a agents actius del model proposat, representant les propietats del fenomen. Això fa que es mantinguin constantment vinculats amb l'evolució del model, cosa que no passa amb la modelització a través d'un dibuix o maqueta, on les propietats del model s'interpreten com quelcom extern. La personificació es presenta avui dia com una estratègia d'aprenentatge exitosa, que ha demostrat la seva eficàcia com a eina que afavoreix l'assoliment de competències a través de camps com la neurociència i la psicologia cognitiva (Johnson-Glenberg et al., 2012; Barsalou, 2008).

L'èxit d'aquesta tècnica es deu principalment a què durant la personificació s'activa una gran quantitat de neurones senso-motores, de manera congruent amb el concepte que s'està aprenent que propicia un aprenentatge molt més profund que el que s'aconsegueix amb la simple observació (Lindgren i altres, 2012).

Fitxes de treball

En aquest apartat es presenten fitxes de treball que podeu fotocopiar per a repartir entre els alumnes per a que puguin anotar les seves observacions i conclusions. S'han preparat diferents fulls pensant en diferents itineraris i possibilitats d'activitat:

- Activitat 1 i activitat 2 (proposta 1) : 1 full a dues cares

Interacció EM i Model de Rutherford

- Activitat 1 i activitat 2 (proposta 2) : 4 fulls a dues cares

Interacció EM i Evolució dels models atòmics (Dalton, Thomson i Rutherford). S'han separat els fulls a omplir per els alumnes (2 fulls) dels que contenen informació teòrica de l'àtom (2 fulls), per tal que puguin fotocopiar-se en nombres diferents o inclús reutilitzar-se d'un grup a un altre.

- Activitats 3, 4, i 5 : 1 full a dues cares.

Limitacions model de Rutherford, introducció al Model Estàndard i modelització del nucli amb quarks.

- Activitat 6 (opcional) : 1 full a una cara.

Introducció als bosons com a portadors d'interaccions al Model Estàndard.

FITXES DE TREBALL

- Activitat 1 i Activitat 2 (proposta 1)

NOM I COGNOMS: NUM:

DATA: CURS: ETAPA: GRUP:



Activitat 1: Dividiu-vos en tres grups: electrons, protons i neutrons. Moveu-vos per la sala seguint les instruccions.

Analitzeu les següents qüestions:

- Com són les càrregues de les diferents partícules?

- Com és la força que apareix entre les diferents partícules?

- Com són les trajectòries de les diferents partícules? La seva velocitat és constant?

- Es mouen totes igual?

Dibuixeu un esquema on es representin les diferents partícules amb la seva càrrega elèctrica i la força electromagnètica que apareix entre elles.

Activitat 2: Amb 6 o 7 alumnes representant aquests mateixos ingredients (electrons, protons, neutrons i interacció elèctrica), construïu un àtom segons el model de Rutherford.

Sobre la personificació, analitzeu les següents qüestions:

- Està l'àtom a escala?

- Què ha de canviar a l'àtom perquè l'element canviï? Quin nom rep aquest nombre característic de l'àtom?

- Què ha de canviar perquè l'àtom adquireixi càrrega elèctrica? Quin nom rep l'àtom en aquest cas?

- Canvia l'element si canviem el nombre de neutrons? Com s'anomenen aquests àtoms? Quin nombre característic de l'àtom canvia en aquest cas?

- Per què orbiten els electrons i no cauen cap el núcli? Quin altre sistema es comporta de manera similar a aquest model de l'àtom?

- La matèria està plena o buida?

- Dibuixeu l'àtom que heu representat i anoteu el seu símbol amb els nombres corresponents.

FITXES DE TREBALL

- Activitat 1 i Activitat 2 (proposta 2)

Activitat 2 (proposta 2): A partir de les evidències experimentals que s'han anat obtenint al llarg de la història, anem a fer models atòmics.

Consulta la informació sobre la primera evidència experimental sobre l'existència de l'àtom: el model de Dalton «d'esferes sòlides».



Personificació del model. Representeu el model atòmic de Dalton.

Cada alumne és un element diferent. Representeu diferents compostos o mol·lècules, inventades per vosaltres o decidides pel professor.

- Anoteu al següent quadre els elements que heu utilitzat per fer cada compost, així com el nombre d'àtoms de cada element en el compost. Anoteu a continuació la fórmula química de les mol·lècules que heu representat.

Elements i àtoms del compost			
Formula del compost			

Sobre la personificació analitzeu els següents aspectes:

- Un àtom d'Urani té una massa 238 vegades més gran que un àtom d'Hidrògen. Quina part del model de Dalton no està ben representat a la vostra personificació?

- Quina limitació té el model a l'hora d'explicar com es formen les molècules?

- Feu l'esquema segons el model de Dalton d'una de les molècules (reals) que hàgiu representat.

NOM I COGNOMS: NUM:

DATA: CURS: ETAPA: GRUP:

ADMIRA

Consulta la segona evidència sobre l'estructura de l'àtom: el model de Thomson del «pastís de panses».

Personificació del model

Seguint les indicacions, feu una personificació el més simple possible de l'àtom, de manera que el vostre model compleixi tots els fets experimentals coneguts per Thomson.



- Quin fet del model de Thomson no està ben representada a la vostra personificació?

- El model atòmic de Dalton no era capaç d'explicar quina força unia els àtoms entre si per formar mol·lècules. Amb el model de Thomson passa el mateix? Quina força podria unir els àtoms? Què hauria de passar perquè dos àtoms s'unissin entre si mitjançant aquesta força?

- Feu l'esquema segons el model de Thomson d'alguns dels àtoms que hàgiu representat.

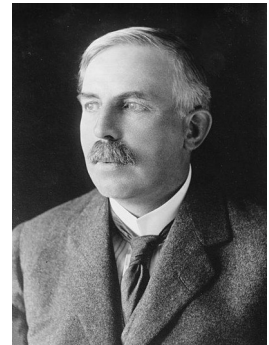
Consulta la tercera evidència sobre l'estructura dels àtoms: el model de Rutherford de «nucli positiu».

Personificació del model

Personifiquen el model atòmic de Rutherford, seguint les instruccions.

Sobre la personificació, analitzeu les següents qüestions:

- Està l'àtom a escala?



- Què ha de canviar a l'àtom perquè l'element canviï? Quin nom rep aquest nombre característic de l'àtom?

- Què ha de canviar per a que l'àtom adquireixi càrrega elèctrica? Quin nom rep l'àtom en aquest cas?

- Canvia l'element si canviem el nombre de neutrons? Com s'anomenen aquests àtoms? Quin nombre característic de l'àtom canvia en aquest cas?

- Per què orbiten els electrons i no cauen cap el núcli? Quin altre sistema es comporta de manera similar a aquest model de l'àtom?

- La matèria està plena o buida?

- Dibuixeu l'àtom que heu representat i anoteu el seu símbol amb els nombres corresponents.

Evidències experimentals de les característiques dels àtoms

A continuació tens tres textos breus explicant l'evolució de l'evidència experimental de l'existència i característiques dels àtoms al llarg dels segles XVIII i XIX.

Llegeix-los quan indiqui el professor per obtenir informació abans de fer la modelització corresponent.

Primera evidència. Model de Dalton «d'esferes sòlides».

John Dalton (1766 - 1844) fou un químic i físic anglès autor de la primera teoria atòmica moderna.

El 1804 John Dalton estudià la natura de les partícules gasoses, les seves reaccions i els seus xocs. El 1808 publicà les seves idees sobre la constitució de la matèria. Dalton recuperà la teoria atòmica de la matèria dels antics grecs. Considera que **tota la matèria es compon d'àtoms indestructibles i indivisibles**, que els diferents elements químics tenen diferents masses atòmiques i que aquests àtoms es mantenen sense canvis durant els processos químics.

La idea clau de les masses atòmiques permet donar una explicació quantitativa de les reaccions químiques.

El model de Dalton permeté aclarir per primera vegada per què les substàncies químiques reaccionaven en proporcions estequiomètriques fixes, la llei de les proporcions constants descoberta el 1801 pel francès Joseph-Louis Proust. A més el model aclaria que tot i existint una gran varietat de substàncies diferents, aquestes podien ser explicades en termes d'una quantitat més aviat petita de constituents elementals o elements.

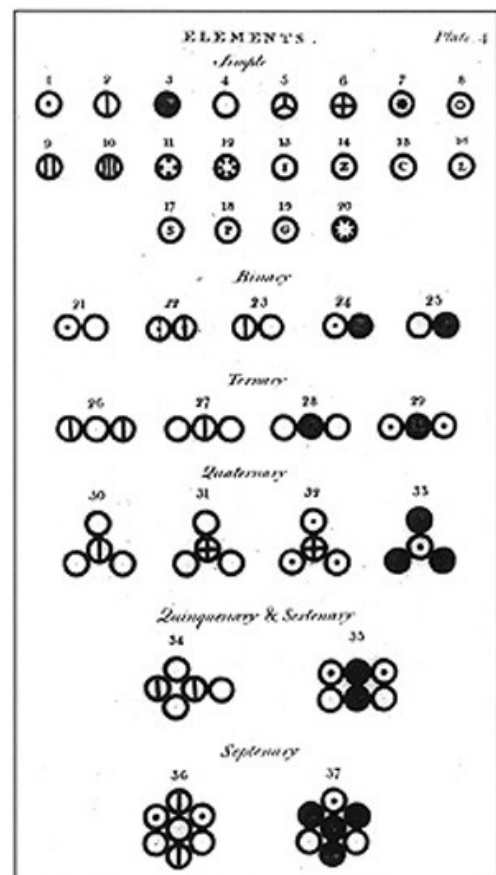


Figura 1: Varis àtoms i mol·lècules representades en *A New System of Chemical Philosophy* (1808 de John Dalton)

Evidències experimentals sobre els àtoms a l'època de Dalton:

- són partícules molt petites
- no es trenquen en les col·lisions
- són neutres
- tenen una massa fixa, diferent per cada element
- no tenen parts internes

Segona evidència. Model de Thomson del «pastís de panses».

Joseph John Thomson o J. J. Thomson (1856 - 1940) fou un professor universitari i físic anglès, guardonat amb el Premi Nobel de Física el 1906 i descobridor de l'electró.

El 1897 J. J. Thomson estudià els rajos catòdics. Aquests rajos, descoberts feia poc temps, eren partícules amb càrrega elèctrica que produïen fosforescència en certs materials.

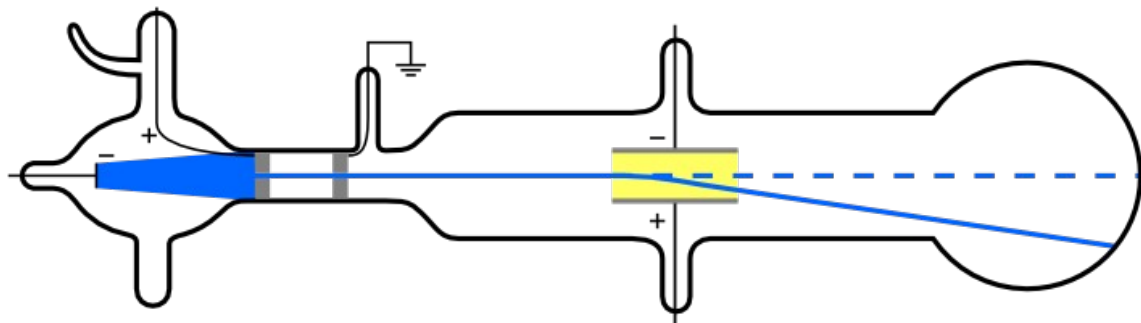


Figura 2: Esquema de l'experiment de JJ Thomson amb rajos catòdics. Els raigs catòdics (blaus) emesos pel còdode a l'esquerra van ser desviats per un camp elèctric (groc) al centre.

Analitzant com es desviaven els rajos amb camps elèctrics i magnètics, i com es produïen els rajos en el còdode, Thomson va determinar que els raigs catòdics eren fets de partícules que ell mateix va anomenar "corpuscles", i aquests corpuscles venien des de dins dels àtoms dels elèctrodes, volent dir així que **els àtoms eren, de fet, divisibles**.

El seu experiment va ser conegut el 1897, i va causar una gran sensació en cercles científics. Li va ser concedit el premi Nobel de física el 1906 pel seu treball sobre la conducció de l'electricitat a través dels gasos.

Un any després del seu descobriment, el 1898, va proposar un model atòmic que expliqués quina podia ser l'estructura interna dels àtoms.

Evidències experimentals sobre els àtoms a l'època de Thomson:

- són partícules molt petites
- no es trenquen en les col·lisions
- són neutres
- tenen una massa fixa, diferent per cada element
- ~~- no tenen parts internes~~
- contenen electrons

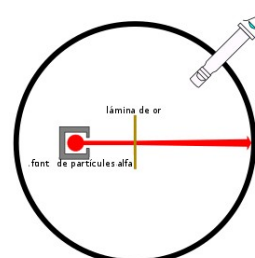
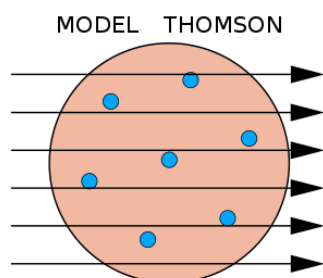
Tercera evidència. Model de Rutherford de «nucli positiu».

Ernest Rutherford (1871 - 1937) fou un físic, químic i professor universitari britànic que fou guardonat amb el Premi Nobel de Química de l'any 1908.

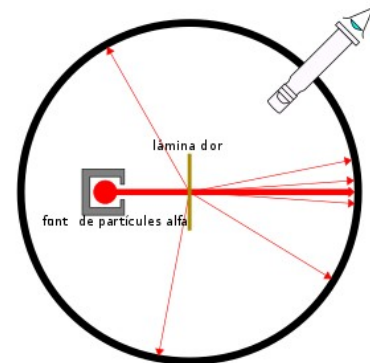
L'experiment de Rutherford, anomenat també com l'experiment de la làmina d'or, va ser realitzat, sota la direcció d'Ernest Rutherford l'any 1909 i donat a conèixer el 1911.

L'experiment va consistir a "bombardejar" amb partícules alfa (nuclis d'Heli) una làmina fina d'or, i observar com afectava la trajectòria d'aquests raigs.

Segons el model de Thomson, les partícules alfa travessarien la làmina metàl·lica sense desviar-se gaire de la seva trajectòria ja que la càrrega positiva i negativa es trobava uniformement distribuïda per tot l'àtom.



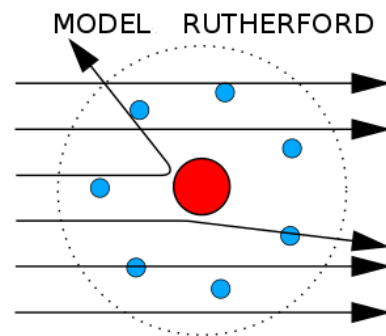
En l'experiment, però, el que van observar era que, encara que la majoria de les partícules alfa travessaven la làmina d'or sense cap desviació de la trajectòria, algunes es desviaven força i algunes fins i tot rebotaven i tornaven cap a la font.



La conclusió de Rutherford va ser que gairebé tota la massa i tota la càrrega positiva de l'àtom està concentrada en un volum molt petit situat al centre de l'àtom anomenat «nucli», envoltat pels electrons. Així, la majoria de partícules alfa travessen l'àtom sense desviar-se. Aquelles poques que xoquen amb el nucli surten rebotades. El descobriment del neutró el 1932 va permetre completar el model.

Evidències experimentals sobre els àtoms a l'època de Rutherford:

- són partícules molt petites
- no es trenquen en les col·lisions
- són neutres
- tenen una massa fixa, diferent per cada element
- tenen electrons
- la part positiva dels àtoms està concentrada al centre i és molt petita



FITXES DE TREBALL

- Activitats 3, 4 i 5

NOM I COGNOMS: NUM:

DATA: CURS: ETAPA: GRUP:

ADMIRA

Activitat 3: Si els protons tenen la mateixa càrrega elèctrica, per què poden estar tan junts al nucli sense repel·lir-se?

Analitzeu els següents punts:

- A l'activitat 1 els protons que estaven a distàncies semblants a la del nucli, quina força patien?

- Elaboreu una hipòtesi que expliqui com pot ser que els protons es mantinguin junts utilitzant el que s'ha comentat a l'activitat 1 i 2.

- A quina conclusió s'arriba segons la física clàssica?

Activitat 4: Vegeu els vídeos descriptius del model estàndard. Els físics troben un «zoològic» de partícules, igual que anys abans els químics es van trobar amb un «zoològic» d'elements.

Analitzeu els següents punts:

- Són situacions semblants? En què s'assemblen i en què es diferencien les dues situacions?

- Creieu que aquestes situacions caòtiques (elements i partícules) poden tenir solucions semblants?

Activitat 5: Construïu de nou un nucli atòmic, però ara tenint en compte que els protons estan formats per quarks (dos quarks up i un quark down), i els neutrons també (un quark up i dos quarks down) i que no sabem com interaccionen aquests quarks.

Analitzeu els següents punts:

- Segons el Model Estàndard, els protons i els neutrons són partícules fonamentals? Per què?

- Com haurien d'interaccionar els quarks per explicar que els protons puguin estar junts sense repel·lir-se?

- Com s'anomena la força que es produeix entre quarks?

- Quina característica té aquesta força?

- Feu un esquema d'un protó i d'un neutró

FITXES DE TREBALL

- Activitat 6 (AMPLIACIÓ)

NOM I COGNOMS: NUM:

DATA: CURS: ETAPA: GRUP:



Activitat 6 (opcional): Estant a distància, com ho podríem fer per repel·lir-nos sense tocar-nos? Com ho podríem escenificar?

En la representació, analitzeu:

- Què representa l'objecte que llanceu

- Com hauria de ser aquest objecte en les diferents interaccions que coneixeu?
Quines limitacions presenta la nostra personificació?

A continuació:

- Imagineu que no podeu fer servir cap objecte, si només compteu amb el medi en què esteu, com podeu transmetre moment al company?

- Feu un esquema amb els diferents tipus de forces i les seves partícules associades.

Altres materials

Model Estàndard de la física de partícules

Tres generacions de la matèria (fermions)

	I	II	III	
massa →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
càrrega →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
espín →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nom →	u dalt	c encant	t cim	γ fotó
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	d baix	s estraný	b fons	g gluó
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e neutrí electrònic	ν_μ neutrí muònic	ν_τ neutrí tauònic	Z^0 bosó Z
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptons	e electró	μ muó	τ tau	W^\pm bosó W

Bosons de Gauge

El Zoo de Partícules

Discovery of the elementary particles

The figure shows the date of the discovery of the elementary particles from 1945 to 1965. The Greek or Latin letters are, in many cases, conventional symbols for families of particles whose members have different masses, and for each mass there may be several particles with different electrical charges. Altogether about 100 different particles are known, not counting their corresponding antiparticles. Most of the discoveries in the years 1945–1955 were made in cosmic-ray experiments. The large number found after 1960 were produced mainly with the proton synchrotrons at Berkeley, Brookhaven and CERN.

