



Kimika

IKERTU SAILA

Batxilergoko 2. mailarako **Kimika** liburua Zubia Editoriala, S. L.ren eta eta Santillana Educación, S. L.ren Hezkuntza Argitalpenetarako Sailean **Joseba Santxo Uriarte** eta **Teresa Grence Ruizen** zuzendaritzapean sortu, taxutu eta gauzaturiko talde-lana da.

Liburu honen prestatze-lanean honako talde honek esku hartu du:

Cristina Guardia Villarroel

Ana Isabel Menéndez Hurtado

Lanbide-profilak:

José María Prada Carrillo

Lan praktikoa:

María del Carmen Vidal Fernández

EDIZIOA

David Sánchez Gómez

Ainhoa Basterretxea Llona

Raúl Carreras Soriano

Bárbara Braña Borja

PROIEKTUAREN ZUZENDARITZA

Joseba Santxo Uriarte

Antonio Brandi Fernández

Liburu honetako jarduerak ezin dira inola ere liburuan bertan egin. Jardueretan proposatzen ditugun taulak, eskemak eta gainerako baliabideak ikasleak koadernoan egin beharrekoen ereduak baino ez dira.

Unitatearen sarrerako orrialdea

Unitateen hasieran, edukien gainean hausnartzeko eta arreta bereganatzeko irudi bat dago.

Unitateko edukiak. Edukien azalpenen eta teknika edo prozeduren eskema bat

Irudia. Unitateko edukiak aurkeztuko dituen argazki bat.

Testua. Edukien garrantziari buruzko sarrerako gogoeta bat.



Unitatearen izenburua

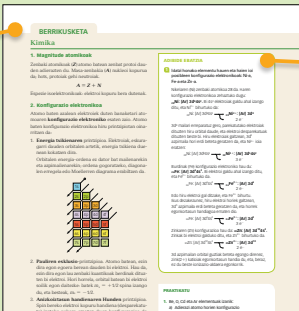
Hasteko. Gaiaren gaineko gogoeta edo eztabaida eragingo duten zenbait galdera.

Edukien orrialdeak

Edukien garapena zenbait elementuren bidez dago egituratuta.

Berrikusketa. Unitateko edukia jorratzen hasi aurretik, Matematikako, Teknologiako edo Fisika eta Kimikako zenbait eduki gogoratuko dira, gaia ulertzeko ezinbestekoak.

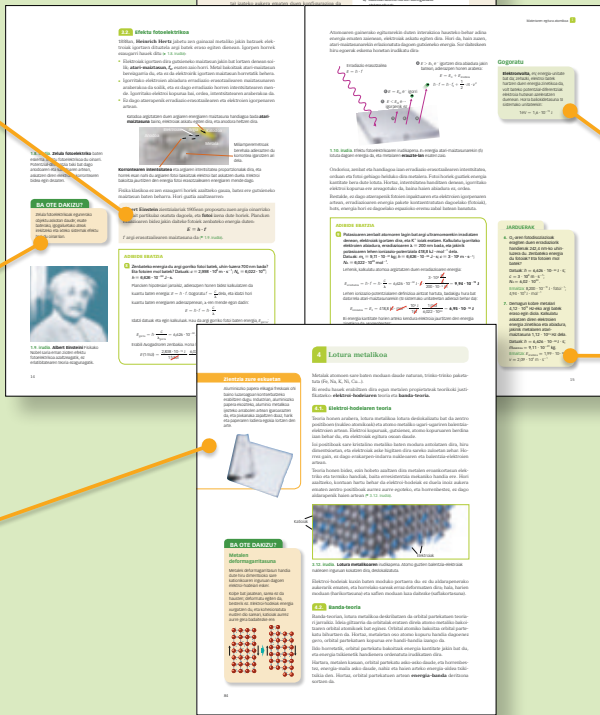
Adibide ebatiak. Unitate osoan barrena, adibide ebati ugari daude –zenbakizkoak eta ez-zenbakizkoak–, azalduetako edukiak praktikan jartzeko lagungarriak.



Nabarmenak. Funtsezko edukiak eta definizioak koloretako hondo batekin daude nabarmenduta.

Ba ote dakizu? Ikasgaiarekin lotura duten arren, unitatearen garapenerako garrantziak ez diren edukiak hartzen ditu barnean.

Zientzia zure eskuetan.
Ikasleen eguneroko bizitzan
landuko diren edukiekin
zerikusia duten elementuak
hautemateko lagungarria.



Gogoratu. Atal honetan, aurreko ikasturteetan edo unitateetan landutako edukien berri ematen da. Bai eta unitateko edukiak ere, aurrerago gogoan izateko.

Jarduerak behealdean.
Inguruan azaldu diren edukiak
lantzeko jarduerak dira.

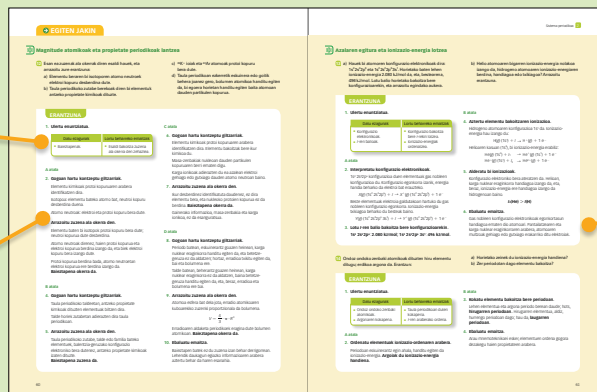
EGITEN JAKIN

Atal honetan, unitateko edukiak barneratu direla erakusteko ondo jakin behar diren prozedurak jasotzen dira.

Ulertu enuntziatua.

Eskema erraz baten bitartez, ondo ulertuz irakurriko da proposatutako jarduera.

Garapena. Urratsez urrats, proposatutako jarduera garatzeko argibideak emango dira.



Ebaluatu emaitza.

Kasu bakoitzean, lortutako emaitza ebaluatuko da, jardueraren testuingurua kontuan hartuta.

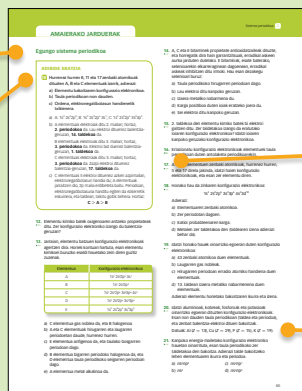
Amaierako jarduerak

Ikasitakoa finkatzeko jarduera-bilduma.

Atalak. Jarduerak unitateko edukiak kontuan hartuta daude sailkatuta.

Adibide ebatziak.

Jardueren artean ere badira adibide ebatziak, mota jakin bateko problemen aurre-aurrean.



Zailtasun-maila. Kode honen bitartez adierazten da jardueren zailtasun-maila:

●●● Erraza ●●● Tartekoa ●●● Zaila

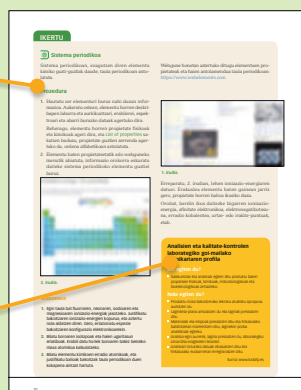
Emaitza. Zenbakizko emaitza duten jarduerak beste lerro batean dute erantzuna. Hala, ikasleen lana erraztuko da.

Lan praktikoa

Unitate bakoitzaren amaieran, material osagarria dago.

Unitate bakoitzaren amaieran orrialde berezi bat dago, unitateko edukiari modu praktikoan heltzeko, laborategian egin beharreko esperimenteren baten bidez edo proiekturen bat egiteko iradokizunak emanez.

Kimikaren arloko zenbait lanbideri buruzko zenbait ohar ere badira.



Oinarrizko gaitasunak

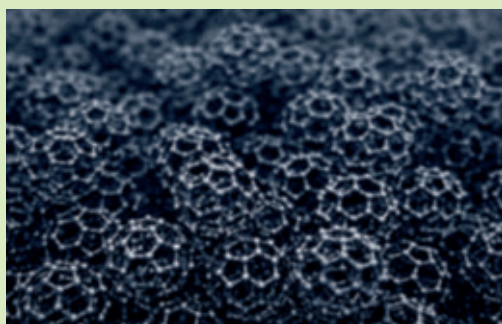
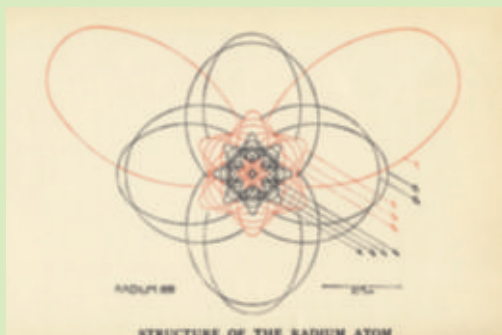
Liburuan zehar, HEZIBERRIren arabera oinarrizko gaitasunen ikurrak ikusiko dituzu zenbait jardueraren ondoan. Ikur horiek kasu bakoitzean zer gaitasun lantzen den adierazten dituzte.

Arloko gaitasunak

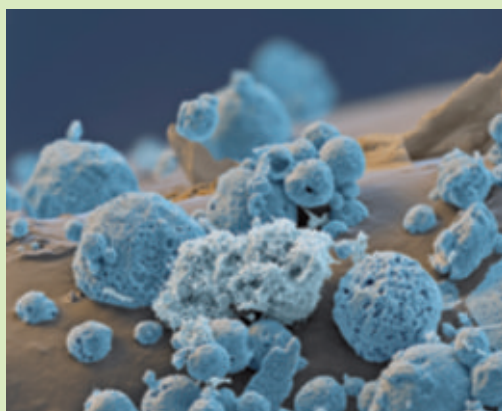
- Hizkuntza- eta literatura-komunikaziorako gaitasuna
- Matematikarako gaitasuna
- Zientziarako gaitasuna
- Teknologiarako gaitasuna
- Gizarterako eta herritartasunerako gaitasuna
- Arterako gaitasuna
- Mugimendurako gaitasuna

Zehar gaitasunak

- Hitzez, hitzik gabe eta era digitalean komunikatzeko gaitasuna
- Ikasten eta pentsatzen ikasteko gaitasuna
- Elkarbizitzarako gaitasuna
- Ekimenerako eta ekintzaile-sena garatzeko gaitasuna
- Izaten ikasteko gaitasuna



1. Materiaren egitura atomikoa	7
1. Magnitude atomikoak	9
2. Eredu atomikoen historia	11
3. Teoria kuantikoaren jatorria	13
4. Bohrren eredu atomikoa	18
5. Mekanika kuantikoa	21
6. Konfigurazio elektronikoa	25
7. Partikula subatomikoak. Jatorrizko unibertsoa	28
Egiten jakin	30
Ikertu: Hidrogeno atomoaren orbitalak	38
2. Sistema periodikoa	39
1. Sistema periodikoaren historia	41
2. Egungo sistema periodikoa	43
3. Pantailatzea eta karga nuklear eraginkorra	47
4. Propietate periodikoak	49
5. Propietate fisiko-kimikoak eta taula periodikoko kokapena	56
Egiten jakin	60
Ikertu: Sistema periodikoa	70
3. Lotura kimikoa	71
1. Zergatik lotzen zaizkio atomoak elkarri?	74
2. Lotura ionikoa	77
3. Lotura kobalentea	82
4. Lotura metalikoa	84
5. Propietate fisikoen erkaketa lotura motaren arabera	87
Egiten jakin	88
Ikertu: Sare kristalinoak	94
4. Lotura kobalentea	95
1. Lewisen zortzikotea	97
2. Lotura-geometria	103
3. Hibridazioa	107
4. Polaritatea	113
5. Molekulen arteko lotura	119
6. Propietate fisikoak eta lotura-indarrak	124
Egiten jakin	126
Ikertu: Molekulen geometria	132
5. Termokimika	133
1. Erreakzio kimikoak eta energia	135
2. Energia-trukea prozesu batean	137
3. Termodinamikaren lehen printzipioa	138
4. Entalpia	139
5. Nola kalkulatu entalpia-aldaketa	142
6. Prozesuen espontaneotasuna	146
7. Errekuntza-erreakzioak	151
Egiten jakin	156
Ikertu: Entalpia NH_4NO_3 -a uretan disolbatzean	162



6. Zinetika kimikoa.....	163
1. Erreakzio-abiadura	165
2. Nola gertatzen dira erreakzio kimikoak?	169
3. Erreakzio-abiadura kontzentrazioaren mende.....	171
4. Erreakzio-abiadurari eragiten dioten faktoreak	175
5. Katalisi entzimatikoa	180
6. Erreakzio-mekanismoak.....	181
Egiten jakin	183
Ikertu: Erreakzio-abiadurari eragiten dioten faktoreak.....	194
7. Oreka kimikoa	195
1. Oreka kimikoaren definizioa	197
2. K_c eta K_p oreka-konstanteen adierazpenak.....	199
3. Orekari eragiten dioten faktoreak. Le Châtelierren printzipioa	211
4. Oreka heterogeneoak. Hauspeatze-erreakzioak	215
5. Haber-Bosch prozesua.....	223
Egiten jakin	225
Ikertu: CaCO_3 -a hauspeatzea eta disolbatzea	236
8. Azido-base erreakzioak.....	237
1. Azidoen eta baseen ezaugarri orokorrak.....	240
2. Azido-base teoriak	240
3. Uraren oreka ionikoa.....	243
4. Azidotasuna neurtzea. pH kontzeptua.....	244
5. Azidoen eta baseen sendotasun erlatiboa	247
6. Neutralizazio-erreakzioak.....	256
7. Gatzen hidrolisia	262
8. Disoluzio erregulatzaileak	266
9. Azido eta base organikoen eta ez-organikoen ekoizpena industrian	268
10. Ingurumen-kutsadura.....	270
Egiten jakin	272
Ikertu: Azido-base balorazioaren kurba	282
9. Elektroi-transferentziako erreakzioak	283
1. Oxidazioa eta erredukzioa	285
2. Erredox erreakzioak doitzea	288
3. Erredox erreakzioen estekiometria	291
4. Erredox balorazioak. Tratamendu esperimentalak	293
5. Pila voltaikoak.....	294
6. Pila motak	301
7. Elektrolisia.....	305
8. Elektrolisiaren erabilerak.....	311
9. Metalen korrosioa. Prebentzioa.....	313
Egiten jakin	314
Ikertu: Daniell pila.....	324



10. Kimika organikoa	325
1. Konposatu organikoak	328
2. Isomeria	334
3. Konposatu organikoen erreaktibotasuna	338
4. Erreakzio organiko motak	340
Egiten jakin	347
Ikertu: Xaboa egitea	354
11. Kimika organikoaren erabilerak	355
1. Interesgarriak diren konposatu organiko sinpleak	357
2. Makromolekulak	364
3. Polimero sintetikoak	370
4. Erregai fosilak	379
5. Kimika organikoa eta osasuna	383
6. Eguneroko bizitzako beste polimero batzuk	385
Egiten jakin	386
Ikertu: Polimero bat egitea: nylona	390

ERANSKINAK

I. Formulazio ez-organikoa	391
1. Sarrera	391
2. Taula periodikoa, oxidazio-zenbaki ohikoenak jasota	392
3. Konposatu ez-organikoen antolaketa-eskema	392
4. Elementuak	393
5. Konposatu bitarrak	393
6. Konposatu hirutarrak	397
7. Konposatu kuaternarioak	400
8. Ioiak	400
Amaierako jarduerak	402
II. Formulazio organikoa	403
1. Sarrera	403
2. Formula organikoen adierazpena	403
3. Konposatu organikoen antolaketa-eskema	404
4. Hidrokarburo alifatikoak	405
5. Hidrokarburo aromatikoak (arenoak)	409
6. Hidrokarburo ordezkatuak	411
7. Konposatu heterofuntzionalak	419
Egiten jakin	420
Amaierako jarduerak	421
III. Konstante fisikoen eta kimikoen taulak	423
IV. Elementuen sistema periodikoa	424
V. Taula periodikoa iruditan	426
VI. Elementuen taula etimologikoa	428
VII. Laborategiko lana	430

1

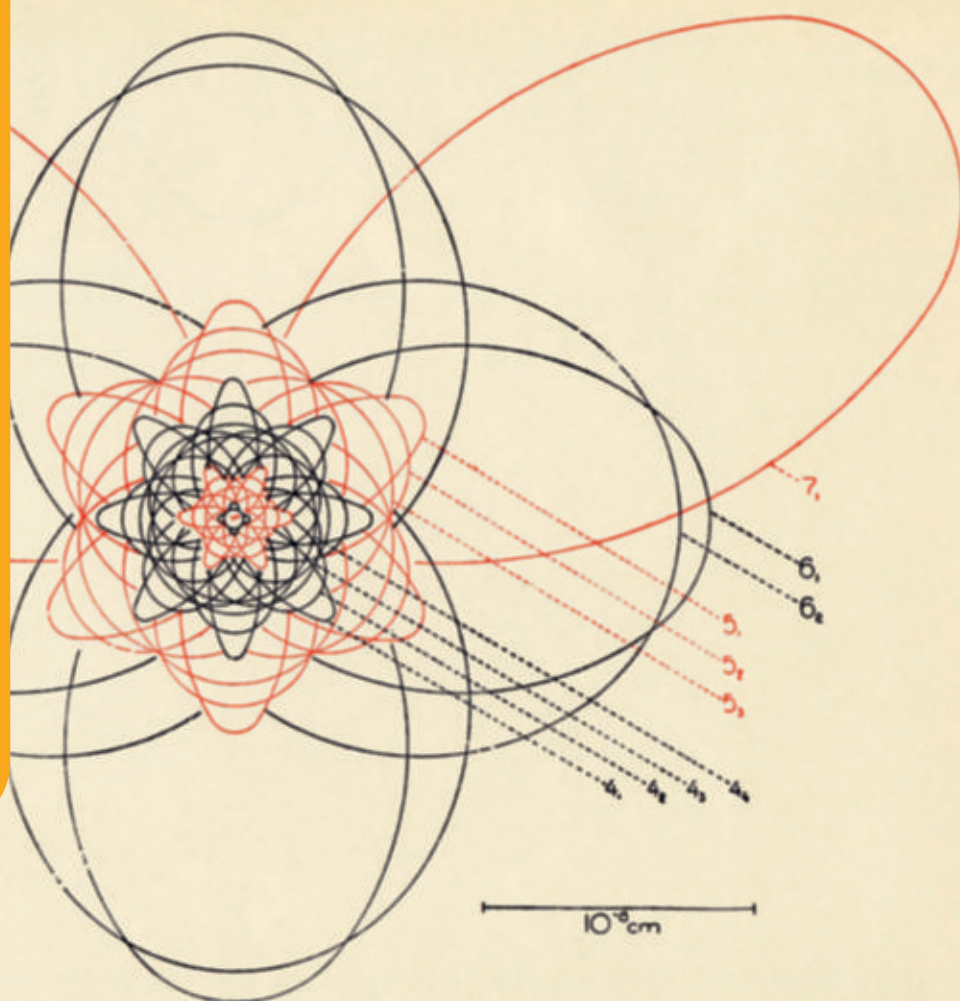
Materiaren egitura atomikoa

EDUKIAK

- 1 Magnitude atomikoak
- 2 Eredu atomikoen historia
- 3 Teoria kuantikoaren jatorria
- 4 Bohrren eredu atomikoa
- 5 Mekanika kuantikoa
- 6 Konfigurazio elektronikoa
- 7 Partikula subatomikoak. Jatorrizko unibertsoa

EGITEN JAKIN: Mekanika kuantikoko oinarrizko kontzeptuak interpretatzea eta adieraztea.

IKERTU: Hidrogeno atomoaren orbitalak.



STRUCTURE OF THE RADIUM ATOM

Irudian, radio elementu kimikoaren diagrama bat ikusten da; zehazki, 1898an aurkitu zuten radioa. Lehenbizikoz, Kramersek eta Holstek argitaratu zuten danieraz, 1922an. Diagramaren erreproduktzioa, dena den, ingeleserako itzulpenean kaleratu zuten, 1926an, *The Atom and the Bohr Theory of Its Structure* liburuan.

Diagramak Bohrrek 1913an proposatutako eta Sommerfeldek hobetutako eredu atomikoa du oinarri. Elektroiak nukleoaren inguruan nola antolatzen diren azaldu nahi izan zuten, planeta-sistema baten modura. Hala ere, ereduak atzean gelditu zen 1925etik aurrerako aurrerapenengatik, orbital atomikoen teoria dela eta.

HASTEKO

- ★ Ikertu nork aurkitu zuen radio atomoa 1898an, eta zer ondorio izan zituen elementu hori aurkitzeak.
- 🔍 Metodo zientifikoari jarraituz proposatzen diren eredu teorikoak esperimentuetan frogatu behar dira. Zer fenomeno jarri zituen zalantzan Bohr-Sommerfeld ereduak?

Kimika

1. Eredu atomikoak

Daltonen teoria atomikoa, 1803. Atomo zatiezina. Teoria honek krisia izan zuen elektroia aurkitu zutenean, 1897an. Atomoa ez da zatiezina.

Thomsonen eredu atomikoa, 1904. Elektroiak karga positiboko eta dentsitate homogeneousko esfera batean txertatuta. Krisia izan zuen urrezko xaflaren esperimenterua egin zutenean, 1911n. Karga elektriko positiboaren dentsitatea ez dago berdin banatuta atomo osoan.

Rutherforden eredu atomikoa, 1911. Elektroiak atomoaren azalean, planeta-sistema baten modura. Nukleoa erdi-erdian dago, eta hartan dago kontzentratuta karga elektriko positiboa. Krisia izan zuen atomoak inguruarekin energia nola trukatzaren duen frogatu zutenean, 1913an. Ereduaren bidez ez zen behar bezala azaldu elektroien orbitak zergatik diren egonkorak.

2. Magnitude atomikoak

Atomoak oinarritzko hiru partikulaz osatuta daude: **protoiak** eta **neutroiak** nukleoan daude, eta **elektroiak**, azalean.

Zenbaki atomikoa (Z) atomo batean zenbat protoi dauden adierazten du. **Masa-zenbakia** (A) nukleoi kopurua da (protoiak gehi neutroiak).

$$A = Z + N$$

Atomoak honela adierazten dira: A_ZX .

ADIBIDE EBATZIA

- 1** Adierazi ${}^{31}_{15}\text{P}$ espeziean zenbat protoi, zenbat neutroi eta zenbat elektroia dauden.

Ikurra irakurtzean, identifikatu: $Z = 15$ eta $A = 31$.

Protoi kopurua hau da: $Z = 15$.

Kargarik adierazten ez denez, atomoa neutroa da, eta elektroia kopurua ere hauxe da: $Z = 15$.

Neutroi kopurua hau da: $N = A - Z = 31 - 15 = 16$.

3. Elektroien baten zenbaki kuantikoak

Zenbaki kuantiko nagusiak (n) elektroia zer energia maila nagusitan dagoen adierazten du.

Zenbaki kuantiko orbitalak (l) elektroia higitzen den espazioko eremuak zer forma duen adierazten du.

Zenbaki kuantiko magnetikoak (m_l) elektroia higitzen den orbitak zer orientazio hartzen duen adierazten du, espazioan dagoen eremu magnetiko baten norabidea aintzat hartuta.

Spinaren zenbaki kuantikoak (m_s) elektroien berezko eremu magnetikoaren orientazioa adierazten du.

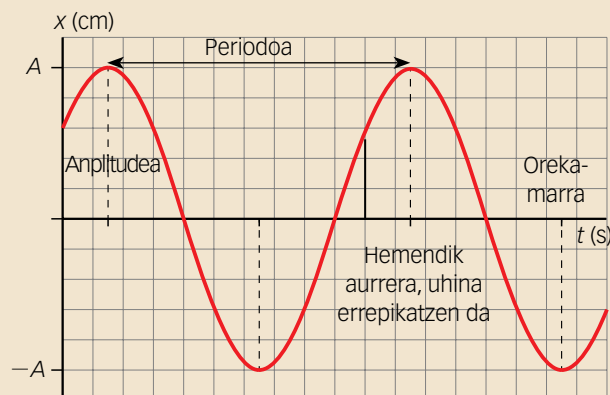
Lau zenbaki kuantikoen konbinazioari **tetrada** esaten zaio, eta elektroia atomoaren azalean nola dagoen adierazten du. Atomo berean, ezin dira bi elektroia egon tetrada berarekin. Hona hemen tetrada baten adibidea: $(3, 2, -1, +1/2)$.

4. Erradiazio elektromagnetikoa

Erradiazio elektromagnetikoa energia transmititzeko modu bat da, eta uhin gisa hedatzen da.

Uhin-luzera (λ) uhin baten ondoz ondoko bi gailurren arteko distantzia txikiena da. SI sisteman, uhin-luzeraren unitatea metroa da.

Maiztasuna (f , baina ν letra grekoa ere erabiltzen da) puntu jakin batean igarotzen den gailur kopurua da, denbora-unitateko. Unitatea segundoaren alderantzizkoa da, s^{-1} , edo hertza, Hz. **Periodoaren** (T) alderantzizkoa da.



Uhin-luzera eta maiztasuna erlazionatuta daude, honela: $c = f \cdot \lambda$. Adierazpen horretan, c argiaren abiadura da hutsean; zehazki, $3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

ADIBIDE EBATZIA

- 2** Kalkulatu mikrouhin-labe batek igortzen duen uhin-luzera, maiztasuna 2.450 MHz-ekoa dela jakinda. Datua: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Aurrena, adierazi maiztasuna SI sistemako unitatetan.

$$f = 2.450 \text{ MHz} \cdot \frac{10^6 \text{ Hz}}{1 \text{ MHz}} = 2,45 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

Izan gogoan uhin-luzeraren eta maiztasunaren arteko erlazioa:

$$c = f \cdot \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m}}{2,45 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1}} = 0,122 \text{ m}$$

1 Magnitude atomikoak

Zientzialariek 200 urte baino gehiago daramatzate materiaren egitura aztertzen. Aldi horretan, zenbait eredu atomiko sortu dira, egin diren aurkikuntza esperimentalei erantzuteko; hartara, materiaren egituraren azterketak betebeteen islatzen ditu metodo zientifikoaren erabilera eta kimikaren dinamismoa. Egitura atomikoa ezagutzea oso garrantzitsua da, elementu kimikoen propietateak, elementuek loturak eratzeak duten gaitasuna eta elementuen erreaktibotasuna baldintzatzen dituelako.

Aurreko ikasturteetan landu duzunez gero, gogoan izango duzu atomoak oinarritzko hiru partikulaz osatuta daudela: **protoiz**, **neutroiz** eta **elektroiz**. Partikula horien kopuruak atomoak bereizteko erabiltzen dira, eta garrantzitsua da zenbaki horiekin lotutako zenbait kontzeptu gogoratzea.

Partikula	Karga elektrikoa (C)	Masa (g)	Aurkitzailea/urtea
Protoia	$+1,602 \cdot 10^{-19}$	$1,673 \cdot 10^{-24}$	Eugene Goldstein/1886
Elektroia	$-1,602 \cdot 10^{-19}$	$9,109 \cdot 10^{-28}$	Joseph J. Thomson/1897
Neutroia	0	$1,675 \cdot 10^{-24}$	James Chadwick/1932

1.1. taula. Protoia, neutroia eta elektroia. Masak, karga elektrikoak, aurkitzaileen izenak eta aurkitu zituzten urteak.

Zenbaki atomikoa

Zenbaki atomikoa, Z , atomo batean dauden protoien kopurua adierazteko erabiltzen da.

Elementu guztiek zenbaki atomiko bereizgarriak dituzte, nork berea. Bestalde, atomoa elektrikoki neutroa bada, protoi kopurua eta elektroien kopurua beti dira berdinak.

Masa-zenbakia

Masa-zenbakia, A , nukleoi kopurua adierazteko erabiltzen da. Hots, nukleoan dauden partikulen kopurua adierazten du: protoiak gehi neutroiak.

$$A = Z + N$$

Gogoratu

Ikur kimikoa, X , zenbaki atomikoa, Z , eta masa-zenbakia, A , jakinik, honela adieraz daiteke atomo bat:



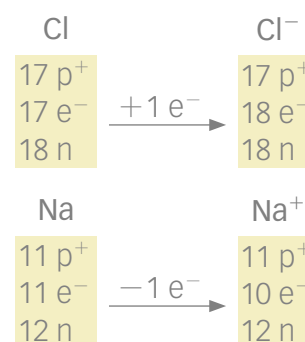
1.1. Ioiak

Atomo batek elektroiak gal edo irabaz ditzake; hori gertatzen denean, karga elektrikoa hartzen du, eta ioi bihurtzen (► 1.1. irudia).

Atomo batek elektroiak irabazten dituenean, karga negatibo handiegia hartzen du, eta **ioi negatibo** edo **anioi** bihurtzen da.

Atomo batek elektroiak galtzen dituenean, karga negatibo txikiegia du, eta **ioi positibo** edo **katioi** bihurtzen da.

Ioiak honela adierazten dira: ${}^A_ZX^q$. Atomoak hartu duen karga elektrikoa q da, eta hura kalkulatzeko, protoi kopurua ken elektroien kopurua egin daiteke. Bestalde, X letra dena delako elementuaren ikur kimikoa da, elementu horretatik abiatuta eratzten baita ioia.



1.1. irudia. Kloro eta sodio ioien irudikapena.

BA OTE DAKIZU?

Isotopo erradioaktiboen erabilerrak

- Medikuntza: diagnostikoa eta tratamendua. ^{60}Co , ^{131}I eta beste isotopo batzuk.
- Industria: materialen kalitatea aztertzeko probak, elikagai-industriako ontziak aztertzera.
- Ikerketa: bidezidor metabolikoen trazatzaileak. ^3H , ^{14}C , ^{15}N eta beste isotopo batzuk.
- Materialen datazioa: hondar arkeologikoak, mineralak, ^{14}C , ^{40}K .
- Nekazaritza: landareen metabolismoa. ^{32}P , ^{42}K , ^{14}C eta beste isotopo batzuk.

JARDUERAK

1. Adierazi $^{138}_{56}\text{Ba}$ espeziearen protoi, elektroi eta neutroi kopuruak.
2. Adierazi ikur bidez 53 protoi, 54 elektroi eta 78 neutroi dituen espeziea.
3. Ioi negatibo baten karga -3 da. Elektroi kopuru osoa 36 da, eta masa-zenbakia, 75. Kalkulatu protoi eta neutroi kopuruak.
4. 6,941 u masa atomikoko litioak bi isotopo natural ditu: litio-6a eta litio-7a. Masa atomikoak, hurrenez hurren: 6,01513 u eta 7,01601 u. Zein isotopok du ugartasun handiena naturan?

1.2. Isotopoak

Isotopo esaten zaie protoi kopuru bera eta masa-zenbaki desberdina dituzten atomoak. Hau da, elementu kimiko beraren atomoak dira, baina neutroi kopuru desberdina dute.

Elementu kimiko gehienak isotopoen nahaste baten modura agertzen dira naturan. Esate baterako:

Hidrogenoaren isotopoak: ^1_1H (protioa) ^2_1H (deuterioa) ^3_1H (tritioa)

Taula periodikoan ageri diren elementu kimikoen masa atomikoak zenbaki osoak dira; izan ere, elementu kimiko batek naturan dituen isotopo guztien masak islatzen ditu masa atomikoak, baita isotopo bakoitzaren ugartasun erlatiboa ere.

Elementu baten **masa atomikoa** masa isotopikoen batezbestekoa da, isotopo bakoitzaren ugartasunaren arabera haztatua.

Ekuaizio hau erabiltzen da masa atomikoa kalkulatzeko:

$$\text{masa atomikoa} = \left(\frac{1. \text{isotopoaren ugartasuna} (\%)}{100} \cdot 1. \text{isotopoaren masa} \right) + \left(\frac{2. \text{isotopoaren ugartasuna} (\%)}{100} \cdot 2. \text{isotopoaren masa} \right) + \dots$$

ADIBIDE EBATZIAK

- 3** Adierazi ikur bidez 11 protoi, 11 elektroi eta 12 neutroi dituen espeziea.

Protoi kopurua eta elektroi kopurua berdinak dira, eta horrek esan nahi du espeziea neutroa dela. Bestalde, honela kalkulatu da masa-zenbakia: $A = Z + N$, $A = 11 + 12 = 23$. Erabili liburuaren amaieran dagoen taula; ikusiko duzu $Z = 11$ zenbaki atomikoa duen elementua sodioa dela: $^{23}_{11}\text{Na}$.

- 4** Zenbat protoi, zenbat neutroi eta zenbat elektroi daude $^{16}_8\text{O}^{2-}$ espezie kimikoan?

$Z = 8$ eta $A = 16$; bi elektroi irabazi dituen anioi bat da: p^+ kopurua $= Z = 8$; e^- kopurua $= 8 + 2 = 10$; n^0 kopurua $= N = A - Z = 16 - 8 = 8$.

- 5** Espezie jakin batek 47 protoi, 61 neutroi eta 46 elektroi ditu. Adierazi espeziea ikur bidez.

47 protoi dituenek, $Z = 47$. Protoi kopurua handiagoa denez elektroi kopurua baino, katioi bat da, eta karga hau du: $q = p^+ - e^- = 47 - 46 = +1$. $A = Z + N = 47 + 61 = 108$. Taulan begiratuta, ikusiko duzu elementua zilarra dela: $^{108}_{47}\text{Ag}^+$.

- 6** Honako hauek dira magnesioaren isotopoen ugartasunak eta masak: ^{24}Mg , % 78,99, 23,985042 u; ^{25}Mg , % 10, 24,985837 u; eta ^{26}Mg , % 11,01, 25,982593 u. Kalkulatu magnesioaren masa atomikoa.

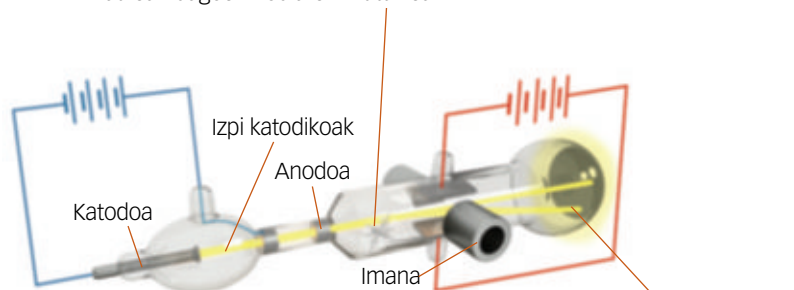
Goiko formularen arabera, honela kalkulatu da masa atomikoa:

$$M(\text{Mg}) = \left(\frac{78,99}{100} \cdot 23,985042 \right) + \left(\frac{10}{100} \cdot 24,985837 \right) + \left(\frac{11,01}{100} \cdot 25,982593 \right) = \mathbf{24,305052 \text{ u}}$$

2 Eredu atomikoen historia

Zientziaren historian zehar, zenbait eredu atomiko sortu dira, metodo zientifikoaren autozuzenketaren seinale:

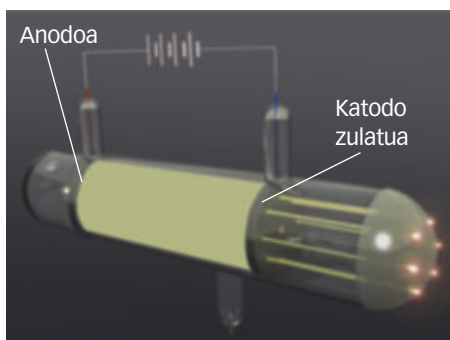
Izpi sorta lerro zuzenean hedatzen da; bidean jarritako ehogailu bat mugiarazteko gauza da, eta lumineszentzia sortzen du anodoaren atzean dagoen hodiaren muturrean.



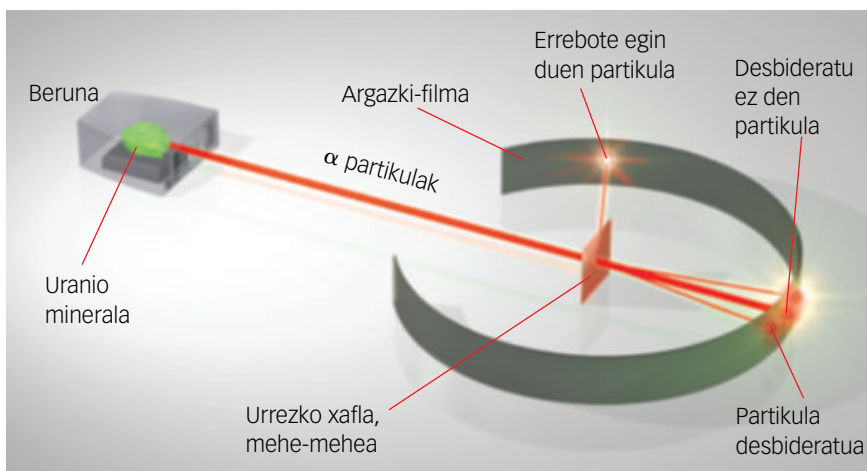
1.2. irudia. J. J. Thomsonen esperimentua.

Izpi katodikoak **karga elektriko negatiboko partikulaz** osatuta daude.

Esperimentu honen eraginez (Thomson), zientzialariek onartu zuten atomoaren barruan partikula negatiboak daudela (elektroiak).



1.3. irudia. Izpi kanalak anodotik irten eta katodorantz abiatzen dira. Izpia eremu elektriko eta magnetikoen eraginez desbideratzen da. Zehazki, plaka elektriko negatiboak erakartzen du izpia. Ondorioz, izpi kanalak **karga positiboko partikula elektriko**z eginda daude.



1.4. irudia. Berunezko bloke bat, kanpora irteteko aukera ematen duen barrunbe batekin. Barruan, **α partikulak** sortzen dituen material erradioaktiboa jartzen da (adibidez, uranio minerala). Berunak xurgatu egiten ditu irteera-zuloaren norabidea ez duten izpi guztiak. Horrenbestez, urrezko xaflara heltzen diren izpiak material erradioaktibotik datoz zuzenean.

Daltonen eredu atomikoa

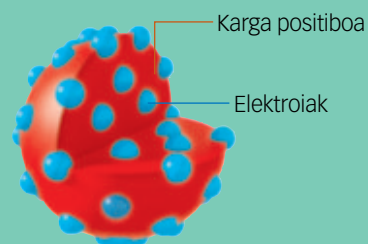
Atomoa zatiezina da

Beheko zerrendan jaso diren esperimentuen eraginez, Daltonen eredua berriz aztertu eta eredu berri bat proposatu zen. Horra esperimentuak:

- 1) Materiaren izaera elektrikoa
- 2) Erradioaktibitatea (Bequerel)
- 3) Elektroiaren aurkikuntza (Thomson) ([► 1.2. irudia](#))
- 4) Millikanen esperimentua. Elektroiaren karga kalkulatzeko

Ondorioa: atomo ez da zatiezina, partikula negatiboz osatuta dago; atomoa neutroa da.

Thomsonen eredu atomikoa

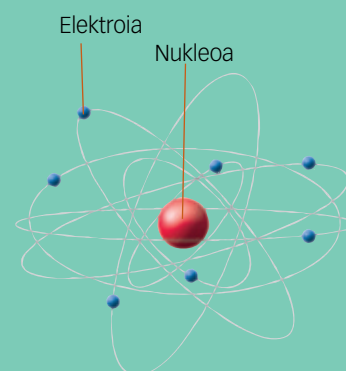


Esfera positiboa, elektroiak txertatuta dituela.

Beheko zerrendako esperimentuak direla eta, Thomsonen eredua berraztertu zen:

- 1) Protoiaren aurkikuntza ([► 1.3. irudia](#))
- 2) Urrezko xaflaren esperimentua ([► 1.4. irudia](#))

Rutherforden eredu atomikoa



Protoiak erdi-erdian (nukleoa), eta elektroiak inguruan, biraka (planeta-eredua).



1.5. irudia. Rutherford (eskuinean) Hans Geiger ikaslearekin. Geigerrek gailu bat asmatu zuen α partikulak banan-banan zenbatzeko.

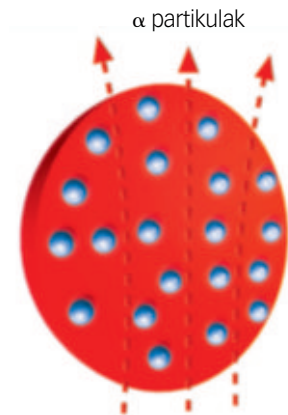
2.1. Rutherforden eredua

Aurkeztu zen azken eredua **Rutherforden** eredu nuklearra izan zen. Urrezko xafla bat alfa partikulekin bonbardatu zuten esperimentu ezagun batean, eta hain zuzen, esperimentu hori dela-eta sortu zen eredua (► 1.4. irudia).

Rutherfordek Geiger eta Marsden ikasleei (► 1.5. irudia) eskatu zien urrezko xafla mehe-mehe bat alfa partikulekin bonbardatzeko;hots, oso helio-nukleo astunekin bonbardatzeko. Gainera, urrezko xaflaren atzean eta aurrean partikula horien detektagailuak jartzeko iradoki zien, eta ikasleak txundituta utzi zituen. Esperimentuaren emaitzak goitik behera aldatu zuen materiaren barnealdeari buruzko ezagutza:

- Alfa partikula gehienek xafla zeharkatzen zuten desbideratu gabe.
- Partikula batzuk pixka bat desbideratzen ziren.
- 20.000 partikularen artean, partikula bat asko desbideratzen zen.
- 20.000 partikularen artean, batek ez zuen xafla zeharkatzen, eta errebote egiten zuen. Xaflaren aurrean jarritako pantailek detektatzen zuten.

Thomsonen eredua zuzena izan balitz, alfa partikula guztiek arazorik gabe zeharkatuko zuten urrezko xafla, gutxi batzuk desbideratuko edo sakabanatuko ziren elektroiekin topo egitean, eta batek berak ere ez zuen errebote egingo (► 1.6. irudia).



1.6. irudia.

Rutherfordek hori guztia azaldu zuen bere eredu atomiko nuklearra oinarri hartuta:

1. Masaren zati handiena eta atomoaren karga positibo guztia oso eremu txiki batean kontzentratuta daude; nukleoan, hain zuzen ere. Atomoaren zati handiena hutsik dago.
2. Karga positiboaren magnitudea desberdina da atomo bakoitzean; gutxi gorabehera, elementuaren masa atomikoaren erdia da.
3. Nukleotik kanpo, elektroiek higitu egiten dira, eta berdinak dira elektroikopurua eta nukleoko unitate positiboen kopurua. Horrelaxe azaltzen da atomoa elektrikoki neutroa dela.

Bi arazo zekartzan Rutherforden eredu nuklearrak:

1. Nukleoaren osotasuna azaltzea, batik bat aintzat hartuta nukleoa partikula positiboz osatuta dagoela soilik; zeinu berekoak direnez, elkar aldaratzen dute. Arazo hori konpontzeko, Rutherfordek iragarri zuen kargarik gabeko partikularen bat egongo zela, protoien antzeko masarekin. Hala, nukleoko aldarapena konpentsatu egingo luke.

Chadwick zientzialariak hipotesi hori berretsi zuen 1932an. Beriliozko xaflak bonbardatu zituen alfa partikulekin, eta partikulaz eginiko erradiazio neutroak izan ziren emaitza. **Neutroi** izena ipini zien partikulei.

2. Elektromagnetismoaren legeen arabera, karga duen partikula bat (elektroiak badu karga) higidura azeleratuan mugitzen denean, erradiazio elektromagnetikoa igortzen du etengabe. Elektroiek nukleoaren inguruan egiten duen higidura zirkularrak azelerazio zentripetua du. Erradiazio-igortpen hori dela eta, elektroiek energia galduko luke apurka; beraz, abiadura ere bai. Azkenean, nukleoaren gainean eroriko litzateke, eta eredu nuklearra ez litzateke egonkorra izango. Rutherfordek ez zuen arazo hori konpondu.

JARDUERA

5. Erantzun labur beheko galderei, eta eman arrazoiak erantzunak azaltzeko:
 - a) Nola ondorioztatu zuten atomo baten ia masa guztia atomoaren erdi-erdian dagoela?
 - b) Nola aurkitu zituzten neutroiak?
 - c) Thomsonen ereduaren arabera, nola antolatzen dira elektroiek?
 - d) Nukleo atomikoan, neutroiak egon behar dute ezinbestez. Zergatik?

3 Teoria kuantikoaren jatorria

XIX. mendearen amaieran, baziren fisika klasikoak azaldu ezin zituen hiru gertaera esperimental; horiek aro berria zabaldu zuten fisikan eta materiaren egitura atomikoa ulertzeko moduan. Izan ere, proposamen ausarta egin zen horiek azaltzeko: teoria kuantikoa. Hona hemen hiru gertaera esperimentalak: **gorputz beltz** batek igorritako **erradiazioa**, **efektu fotoelektrikoa** eta **espektro atomikoak**.

3.1. Gorputz beltzaren erradiazioa

XIX. mendearen amaieran, ikerlan esperimental bat egin zen barnealdea oso tenperatura altuan zuen gorputz batek igortzen zuen erradiazio elektromagnetikoari buruz. Erradiazio horri **gorputz beltzaren erradiazio** izena ipini zioten.

Gorputz beltzaren erradiazioaren ezaugarriarik garrantzitsuena da uhin-luzera desberdineko erradiazioz osatuta dagoela, eta horrenbestez, zenbait energia dituela lotuta. Fisika klasikoa ez zen gai energiaren erradiazio eten hori behar bezala azaltzeko, ziurtzat ematen baitzuen energia modu jarraituan xurgatzen edo igortzen zela.

Datu esperimentalak azaltzeko, **Max Planck** fisikariak proposatu zuen gorputz horiek igortzen duten energia atomoen energiarekin lotuta dagoela. Hartara, atomoak osziladore gisa aritzen dira; hau da, atomo bakoitzak maiztasun jakin batekin oszilatzen du, eta proportzionalak dira igorritako energia eta oszilazio-maiztasuna (► 1.7. irudia).

Plancken hipotesiaren arabera, f maiztasuna duen erradiazio baten energia maiztasun horren multiploa da:

$$E = h \cdot f$$

h Plancken konstantea da; $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Plancken hipotesiari jarraikiz, energiak hartzen dituen balio guztiak h -rekiko proportzionalak dira.

$$E = h \cdot f; \quad E = 2 h \cdot f; \quad E = 3 h \cdot f; \quad E = 4 h \cdot f \dots$$

Energia modu etenean aldatzen bada eta haren balioak h konstantearekiko proportzionalak badira, energia **kuantizatuta** dagoela esaten da. *Kuantuak* energia-paketeak dira, modu etenean transmititzen direnak.



1.7. irudia. Esperimentuetan ikusi denez, gorputz bat berotzen denean, zenbait koloretako argia igortzen du; besteak beste, infragorria tenperatura txikietan, eta zuria, tenperatura altu-altua denean. Argazkian, altzairua ikusten da, oso tenperatura altuan.

ADIBIDE EBATZIA

- 7** Sodio-lanparak igortzen duen argiaren uhin-luzera 589 nm da. Zer maiztasun du erradiazio horrek? Eta zenbateko energia du? Datuak: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Gogoratu erlazio hau: $f = \frac{c}{\lambda}$. Idatzi datuak ekuazioan:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \cancel{\text{m}} \cdot \text{s}^{-1}}{589 \cdot 10^{-9} \cancel{\text{m}}} = 5,09 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

Aintzat hartuta $E = h \cdot f$ dela, ordeztu datuak:

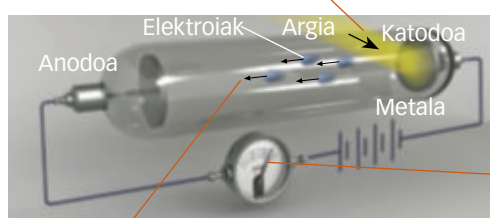
$$E = h \cdot f = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \cancel{\text{s}} \cdot 5,09 \cdot 10^{14} \cancel{\text{s}^{-1}} = 3,37 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

3.2. Efektu fotoelektrikoa

1888an, **Heinrich Hertz** jabetu zen gainazal metaliko jakin batzuek elektroiak igortzen dituztela argi batek eraso egiten dienean. Igorpen horrek ezaugarri hauek ditu (► 1.8. irudia):

- Elektroiak igortzen dira gutxieneko maiztasun jakin bat lortzen denean soilik; **atari-maiztasun**, f_0 , esaten zaio horri. Metal bakoitzak atari-maiztasun bereizgarria du, eta ez da elektroirik igortzen maiztasun horretatik behera.
- Igorritako elektroien abiadura erradiazio erasotzailearen maiztasunaren araberakoa da soilik, eta ez dago erradiazio horren intentsitatearen mende. Igorritako elektroikopurua bai, ordea, intentsitatearen araberakoa da.
- Ez dago atzerapenik erradiazio erasotzailearen eta elektroien igorpenaren artean.

Katodoa argizatzen duen argiaren energiaren maiztasuna handiagoa bada **atari-maiztasuna** baino, elektroiak askatu egiten dira, eta anodora heltzen dira.



Miliampere metroak berehala adierazten du korrontea igarotzen ari dela.

1.8. irudia. Zelula fotoelektriko baten eskema. Efektu fotoelektrikoa du oinarri. Potentzial-diferentzia txiki bat dago anodoaren eta katodoaren artean, askatzen diren elektroiek korrontearen bidea egin dezaten.

Korrontearen intentsitatea eta argiaren intentsitatea proportzionalak dira, eta horrek esan nahi du argiaren fotoi bakoitzak elektroikopurua askatzen duela. Elektroikopurua *jaurtitzen* den energia fotoi erasotzailearen energiaren mende dago.

Fisika klasikoa ez zen ezaugarri horiek azaltzeko gauza, batez ere gutxieneko maiztasun baten beharra. Hori guztia azaltzearen:

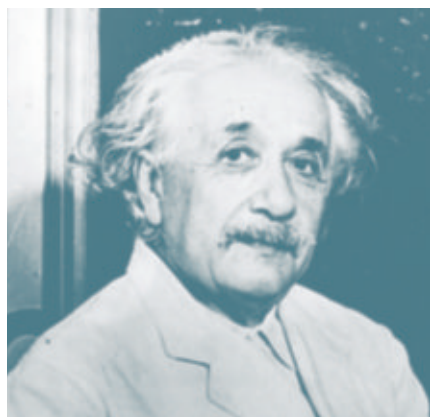
BA OTE DAKIZU?

Zelula fotoelektrikoak eguneroko objektu askotan daude; esate baterako, igogailuetako atek irekitzeko eta ixteko sistemak efektu hori du oinarrian.

Albert Einstein zientzialariak 1905ean proposatu zuen argia oinarritzko zenbait partikulaz osatuta dagoela, eta **fotoi** izena dute horiek. Plancken ekuazioaren bidez jakin daiteke fotoiek zenbateko energia duten:

$$E = h \cdot f$$

f argi erasotzailearen maiztasuna da (► 1.9. irudia).



1.9. irudia. Albert Einstein Fisikako Nobel saria eman zioten efektu fotoelektrikoa azaltzeagatik, ez erlatibitatearen teoria ezagunagatik.

ADIBIDE EBATZIA

- 8** Zenbateko energia du argi gorriko fotoi batek, uhin-luzera 700 nm bada? Eta fotoien mol batek? Datuak: $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$; $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Plancken hipotesiari jarraituz, adierazpen honen bidez kalkulatzen da kuantu baten energia: $E = h \cdot f$. Gogoratu $f = \frac{c}{\lambda}$ dela, eta idatzi hori kuantu baten energiaren adierazpenean, λ -ren mende egon dadin:

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

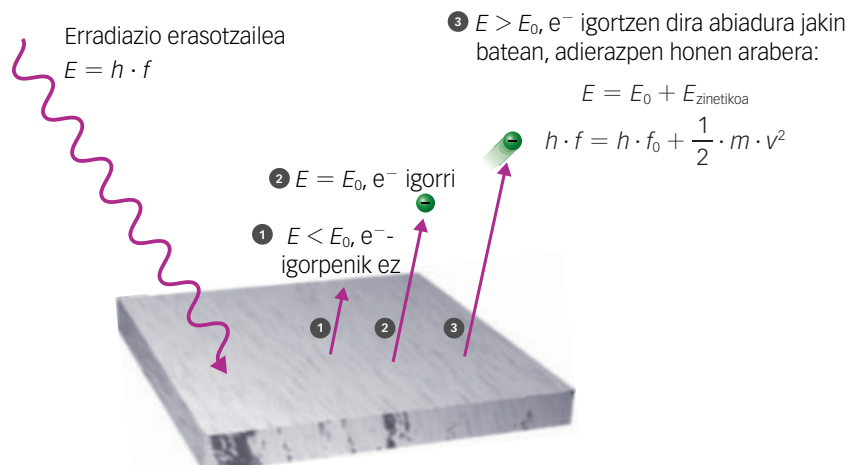
Idatzi datuak eta egin kalkuluak. Hau da argi gorriko fotoi baten energia, E_{gorria} :

$$E_{\text{gorria}} = h \cdot \frac{c}{\lambda_{\text{gorria}}} = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \cancel{\text{s}} \cdot \frac{2,998 \cdot 10^8 \cancel{\text{m}}}{700 \cdot 10^{-9} \cancel{\text{m}}} = 2,838 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Erabili Avogadroren zenbakia. Hona hemen fotoien mol baten energia:

$$E(1\text{mol}) = \frac{2,838 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1 \cancel{\text{ fotoi}}} \cdot \frac{6,022 \cdot 10^{23} \cancel{\text{ fotoi}}}{1 \text{ mol}} = 1,709 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Atomoaren gainerako egiturarekin duten interakzioa hausteko behar adina energia ematen zaienean, elektroiak askatu egiten dira. Hori da, hain zuzen, atari-maiztasunarekin erlazionatuta dagoen gutxieneko energia. Sor daitezkeen hiru egoerak eskema honetan irudikatu dira:



1.10. irudia. Efektu fotoelektrikoaren irudikapena. E_0 energia atari-maiztasunarekin (f_0) lotuta dagoen energia da, eta metalaren **erauzte-lan** esaten zaio.

Ondorioz, zenbat eta handiagoa izan erradiazio erasotzailearen intentsitatea, orduan eta fotoi gehiago helduko dira metalera. Fotoi horiek guztiek energia kantitate bera dute lotuta. Hortaz, intentsitatea handitzen denean, igorritako elektroikopurua ere areagotuko da, baina haien abiadura ez, ordea.

Bestalde, ez dago atzerapenik fotoien inpaktuaren eta elektroien igorpenaren artean, erradiazioaren energia pakete kontzentratutan dagoelako (fotoiak), hots, energia hori ez dagoelako espazioko eremu zabal batean banatuta.

ADIBIDE EBATZIA

- 9** Potasioaren zenbait atomoen lagin bat argi ultramorearekin irradiatzen denean, elektroiak igortzen dira, eta K^+ ioiak eratzen. Kalkulatu igorritako elektroien abiadura, erradiazioaren $\lambda = 200 \text{ nm}$ bada, eta jakinik potasioaren lehen ionizazio-potentziala $418,8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ dela. Datuak: $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Lehenik, kalkulatu atomoa argizatzen duen erradiazioaren energia:

$$E_{\text{erradiazioa}} = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{200 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 9,94 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Lehen ionizazio-potentzialaren definizioa aintzat hartuta, badakigu hura bat datorrela atari-maiztasunarekin (SI sistemako unitateetan adierazi behar da):

$$E_{\text{ionizazioa}} = E_0 = 418,8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \frac{10^3 \text{ J}}{1 \text{ kJ}} \cdot \frac{1 \text{ mol}}{6,022 \cdot 10^{23}} = 6,95 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Bi energia kantitate horien arteko kendura elektroia jaurtitzen den energia zinetikoa da. Horrenbestez:

$$E_{\text{zinetikoa}} = E_{\text{erradiazioa}} - E_0 = 9,94 \cdot 10^{-19} \text{ J} - 6,95 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,99 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$E_{\text{zinetikoa}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ izanik, bakandu, ordeztu eta egin kalkuluak:

$$v = \sqrt{\frac{2E_{\text{zinetikoa}}}{m_{\text{elektroia}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,99 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 8,1 \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Gogoratu

Elektronvolta, eV, energia-unitate bat da; zehazki, elektroik batek hartzen duen energia zinetikoa da, volt bateko potentzial-diferentziak elektroia hutsean azeleratzen duenean. Horra baliokidetasuna SI sistemako unitateekin:

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

JARDUERAK

- 6.** O_2 -aren fotodisoziazioak eragiten duen erradiaziorik handienak $242,4 \text{ nm}$ -ko uhin-luzera du. Zenbateko energia du fotoiak? Eta fotoien mol batek?

Datuak: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$.

Emaitza: $8,200 \cdot 10^{-19} \text{ J} \cdot \text{fotoi}^{-1}$; $4,94 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$

- 7.** Demagun kobre metalari $4,12 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ -eko argi batek eraso egin diola. Kalkulatu askatzen diren elektroien energia zinetikoa eta abiadura, jakinik metalaren atari-maiztasuna $1,12 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ dela.

Datuak: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $m_{\text{elektroia}} = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

Emaitza: $E_{\text{zinetikoa}} = 1,99 \cdot 10^{-18} \text{ J}$; $v = 2,09 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

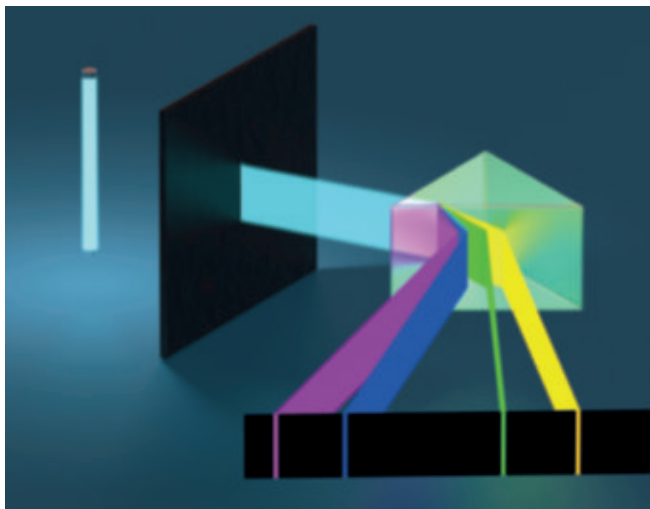
3.3. Espektro atomikoak

Ikusi baduzu argi zuria prisma batean zehar nola deskonposatzen den, edo euri tanten bidez ortzadarra sortzeko, jabetuko zinen kolore-banda jarraitua eratzen dela, eta koloreak banda osatzen duten uhin-luzera guztien adierazgarri dela, gorriarekin hasita eta bioletaraino. **Espektro jarraitu** esaten zaio horri.

Kimikaren ikuspuntutik, substantziak identifikatzeko, espektro etenak interesgarriagoak dira espektro jarraituak baino.

Igorpen-espektroa

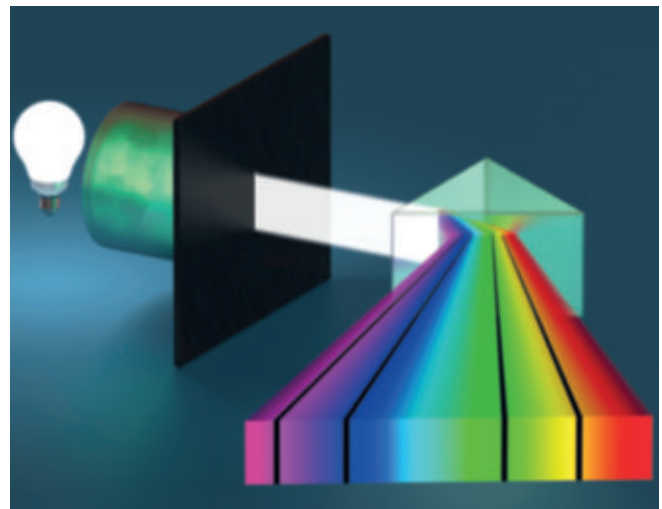
Deskarga elektrikoa eragiten zaio presio eta tenperatura baxuan dagoen gas-lagin bati. Igortzen duen argia prisma batera bideratzen da. Prismak koloreak deskonposatu egiten ditu, eta espektroan islatzen dira lerroen modura, atzealde beltzaren gainean. Lerroetako bakoitzak uhin-luzera bat adierazten du. **Igorpen-espektro eten** deritzo (► 1.11. irudia).



1.11. irudia. Igorpen-espektroa lortzeko, lagina kitzikatu egin behar da; adibidez, sugar batean jar daiteke, edo deskarga bat eragin. Lagina atsedene-egoerara itzultzen denean, haren igorpen-espektroan aztertzen ditugun erradiazioak igortzen ditu.

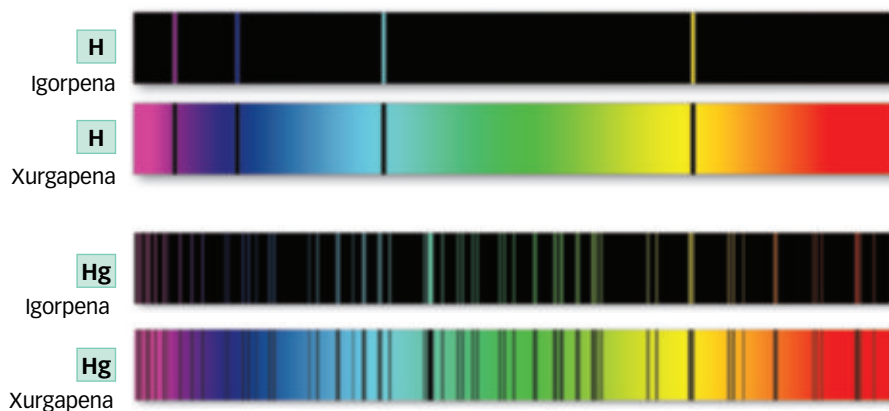
Xurgapen-espektroa

Gorputz gori batek igorritako erradiazioa lagin jakin bateko gasean zehar pasarazten dugu. Argiaren zati txiki bat xurgatu egingo da, eta beste zati batek gasa zeharkatuko du. Prisma zeharkatu ondoren, amaierako espektroan gasak xurgatu ez duen zatia islatuko da. Espektro mota horri **xurgapen-espektro eten** esaten zaio (► 1.12. irudia).



1.12. irudia. Xurgapen-espektroa egiteko, lagina argi zuriarekin argiztatu egin behar da, eta laginetik ateratzen den argia jaso. Hartan, argi zuriaren erradiazio guztiak egongo dira, laginak xurgatu dituenak izan ezik.

Elementu kimiko bakoitzak bere igorpen- eta xurgapen-espektroak ditu; elementu bakoitzaren bereizgarriak dira, eta hura identifikatzeko balio dute. Espektroko lerro bakoitzak uhin-luzera jakin bat adierazten du (► 1.13 irudia).



1.13. irudia. Elementu baten xurgapen-espektroko lerroak **bat datoza** elementu beraren igorpen-lerroekin. Elementu berean, xurgapen-espektroak osatu egiten du igorpen-espektroa.

Hidrogeno atomoaren espektroa

Espektorik sinpleena denez, sakonen aztertu dena hidrogeno atomoaren espektroa izan da. Zehazki, espektroaren eremuetan banatuta dauden zenbait bandak osatzen dute. Banda taldeetako bakoitzak bere aurkitzailearen izena du.

- Eremu ultramorea. Lymanen seriea.
- Eremu ikusgaia. Balmerren seriea.
- Eremu infragorria. Paschenen, Bracketten eta Pfunden serieak.

1885ean, **Johann Balmer** fisikariak (► 1.14. irudia) formula bat ondorioztatu zuen eremu ikusgaiko espektro-lerroen uhin-luzerak kalkulatzeko.

Beheko adierazpen hau da gainerako espektro-lerroetarako ekuazio orokorra:

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Hartu kontuan $n_1 < n_2$ dela.

R: Rydbergen konstantea, $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$.

Horra n_1 -ek eta n_2 -k zer balio hartzen dituzten serie bakoitzean (► 1.15. irudia):

- Lyman: $n_1 = 1$; $n_2 = 2, 3, 4, \dots$
- Brackett: $n_1 = 4$; $n_2 = 5, 6, 7, \dots$
- Balmer: $n_1 = 2$; $n_2 = 3, 4, 5, \dots$
- Pfund: $n_1 = 5$; $n_2 = 6, 7, 8, \dots$
- Paschen: $n_1 = 3$; $n_2 = 4, 5, 6, \dots$

Ekuazio horiek enpirikoak dira soilik, eta horiek erabiliz ezin zen azaldu espektro etenen fenomenoak.

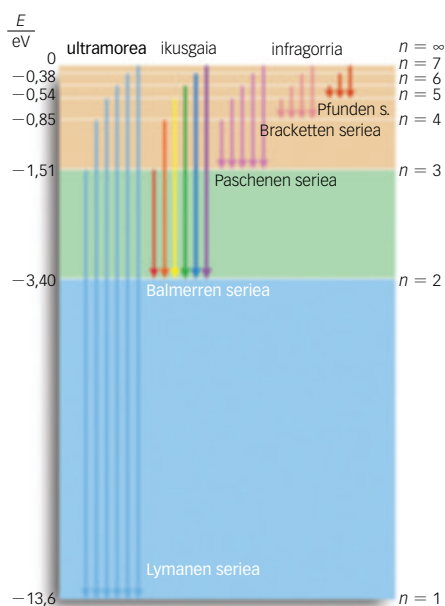
Orobat, Rydbergen ekuazioa mailen arteko energia-aldaketa kalkulatzeko ere erabil daiteke.

$$\Delta E = 2,179 \cdot 10^{-18} \text{ J} \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Konstantearen balioa aldatu egiten da energia-unitatetan adieraztean.



1.14. irudia. Johann Balmer (1825-1898). Balmerrek bete-betean asmatu zuen, ekuazioaren formula ondorioztatu baitzuen datu esperimentalekin soilik, teorikoki inork azaldu aurretik.



1.15. irudia. Hidrogeno atomoan gerta daitezkeen trantsizio elektronikoak.

ADIBIDE EBATZIA

- 10** Hidrogenoaren espektroan, kalkulatu Balmerren serieko leerroaren uhin-luzera, trantsizioa $n = 5$ mailatik $n = 2$ mailara gertatzen dela kontuan hartuta.

Rydbergen ekuazioa gogoan izanda: $\frac{1}{\lambda} = R \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$,

$n_1 = 2$ eta $n_2 = 5$, eta $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$.

Idatzi datuak ekuazioan, eta kalkulatu emaitzaren alderantzizkoa:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\lambda} &= R \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = \\ &= 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1} \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2} \right) = 2.303.700 \text{ m}^{-1} \\ \lambda &= \frac{1}{2.303.700 \text{ m}^{-1}} = \mathbf{4,341 \cdot 10^{-7} \text{ m}} \end{aligned}$$

JARDUERAK

- Hidrogenoaren espektroan, lerro bat detektatu da 1880 nm-an. Balmerren serieko lerro bat da? Justifikatu.
- Merkurio-lurrunezko lanparak igortzen duen argiaren kolorea urdin berdexka da. Kolore horien jatorria 4348 Å (urdina) eta 5461 Å (berdea) uhin-luzeretako erradiazioak

dira. Kalkulatu erradiazio horietako bakoitzaren fotoi baten energia. Datuak: $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Emaitza: $4,57 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ eta $3,64 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

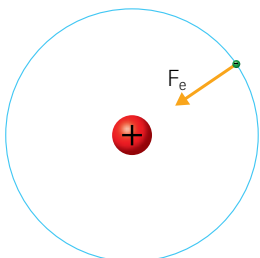
1.16. irudia.



Niels Bohr

bere garaiko zientzialari eta pentsalari sakonenetako bat izan zen.

Beldur zen naziek Danimarka inbadituko ote zuten, eta Nobel sariaren domina eta beste bi lankiderenak naziek har ez zituzten, tratatu egin zituen urte nitratozko disoluzio bihurtzeko; apal batean utzi zituen, eta militarrek ez zitoten erreparatu. Gero, Britainia Handira egin zuen ihes bonbaketari batean ezkutatuta, emaztearekin batera. Dominak 1945ean berreskuratu zituen, eta Nobel sariaren erakundeak berriz landu zituen.

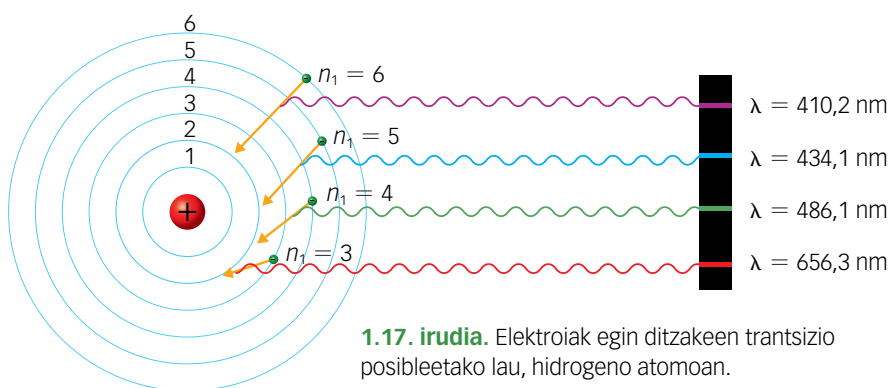


1.18. irudia. Bohrren orbitetan, erakarpen-indar elektrostatikoa dago nukleoaren eta elektroien artean.

4 Bohrren eredu atomikoa

Niels Bohr zientzialariak (► 1.16. irudia) 1913an azaldu ahal izan zuen hidrogeno atomoaren espektroa. Horretarako, Planckek 1900ean adierazitako teoria kuantikoa erabili zuen Rutherforden ereduarekin. Bohrrek proposatu zuen atomoa kuantizatuta zegoela; hau da, energia kantitate jakin batzuk soilik izan zitzaizkela. Hortaz, elektroia orbita jakin batzuetan baino ezin da biratu, Rutherforden ereduan ez bezala.

Elektroiak energia kantitate jakin bateko orbita batetik (nukleotik urrunago) energia kantitate txikiagoko beste orbita batera (nukleotik gertuago) salto egi-tean, energia igortzen du fotoi baten bidez. Fotoi horren maiztasuna kalkulatzeko, Plancken ekuazioa erabiltzen da: $E = h \cdot f$. Horrelaxe azaltzen da atomo baten espektroa etena izatea eta maiztasun gutxi batzuk agertzea (► 1.17. irudia).



1.17. irudia. Elektroiak egin ditzakeen trantsizio posibleetako lau, hidrogeno atomoan.

Bohrren eredu atomikoa hiru postulatu ditu oinarri:

1. postulatu. Elektroia orbita zirkularretan biratzen da nukleoaren inguruan, energia igorri gabe.

Orbita horietan, elektroiak nukleoaren erakarpen-indar elektrostatikoa jasaten du; indar horren norabidea eta noranzkoa bat datoz indar zentripetua-ren norabidearekin eta noranzkoarekin (► 1.18. irudia). Horra hor moduluak:

$$F_e = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad ; \quad F_z = m_e \cdot \frac{v^2}{r}$$

Bi adierazpenak berdinduta eta elektroien karga, e , idatzita q_1 eta q_2 gaien tokian, adierazpen hau lortuko dugu:

$$m_e \cdot v^2 = k \cdot \frac{e^2}{r} \quad [1]$$

2. postulatu. Orbita posibleetan, elektroien momentu angeluarrak $h/2\pi$ zatikiaren multiplo osoa izan behar du.

Hona hemen elektroien momentu angeluarra: $L = m_e \cdot v \cdot r$. Beraz:

$$m_e \cdot v \cdot r = n \frac{h}{2\pi} \quad (n = \text{zenbaki kuantiko nagusia} = 1, 2, 3, \dots) \quad [2]$$

[2] ekuazioan v bakandu eta [1] ekuazioan ordeztuko dugu. Gero, r bakanduta:

$$r = n^2 \cdot \left(\frac{h^2}{4 \pi^2 m_e \cdot k \cdot e^2} \right). \text{ Hala, } a = \frac{h^2}{4 \pi^2 m_e \cdot k \cdot e^2} \text{ faktorea konstante bat denez, honela laburbil daiteke: } r = n^2 \cdot a.$$

Hots, elektroien orbitaren erradioa kuantizatuta dago.

ADIBIDE EBATZIA

11 Kalkulatu hidrogeno atomoaren azaleko lehen hiru orbiten erradioa, Bohrren ereduari jarraituz.

Datuak $|e| = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;
 $m_{\text{elektroia}} = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$;
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$;
 $k = 8,99 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$.

Aurrena, kalkulatutako konstantea. Ondoren, idatzi datuak eta egin kalkuluak:

$$a = 5,30 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

Eredu horren arabera, hauek dira lehen hiru orbiten erradioak:

$$r_1 = 1^2 \cdot 5,30 \cdot 10^{-11} \text{ m} = \mathbf{0,53 \text{ \AA}}$$

$$r_2 = 2^2 \cdot 5,30 \cdot 10^{-11} \text{ m} = \mathbf{2,12 \text{ \AA}}$$

$$r_3 = 3^2 \cdot 5,30 \cdot 10^{-11} \text{ m} = \mathbf{4,77 \text{ \AA}}$$

3. postulatu. Elektroi bat orbita jakin batetik energia kantitate txikiagoko beste orbita batera igarotzen denean, energia askatzen da fotoi baten moduan, eta haren maiztasuna Plancken ekuazioaren bitartez kalkulatzen da. Igorpen-espektroak energia-saltoen ondoriozko fotoi horien eraginez sortzen dira.

Orobat, elektroi bat orbita jakin batetik energia kantitate handiagoko beste orbita batera igarotzen denean, fotoi baten energia xurgatzen du. Hain zuzen ere, energia-salto horietan xurgatzen diren fotoiek sortzen dituzte xurgapen-espektroetako lerro beltzak, maiztasun jakin batzuekin lotuta daudenak.

Orbita batean elektroiak zenbateko energia duen jakiteko, elektroiaren energia zinetikoaren eta energia potentzialaren arteko batuketa egin behar da.

$$E_{\text{zinetikoa}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \text{ denez, [1] adierazpenagatik hau ere bada: } E_{\text{zinetikoa}} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \frac{e^2}{r}.$$

$$\text{Eta energia potentziala: } E_{\text{potentziala}} = -k \cdot \frac{e^2}{r}.$$

Horrenbestez, hau da elektroiaren guztizko energia:

$$E = E_{\text{zinetikoa}} + E_{\text{potentziala}} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \frac{e^2}{r} - k \cdot \frac{e^2}{r} = -k \cdot \frac{e^2}{2r}$$

Bigarren postulatuaren r -ren adierazpenean idatziz gero:

$$E = -\frac{1}{n^2} \cdot \left(\frac{2\pi^2 k^2 \cdot m_{\text{elektroia}} \cdot e^4}{h^2} \right), \text{ eta } A \text{ faktorea: } A = \frac{2\pi^2 k^2 \cdot m_{\text{elektroia}} \cdot e^4}{h^2} = \text{kte.}$$

Horrelaxe ondorioztatuko dugu elektroiaren energia kuantizatuta dagoela:

$$E = -\frac{A}{n^2}$$

Demagun elektroia n_2 orbitatik n_1 orbitara erortzen dela, eta $n_2 > n_1$ dela. Egoera horretan, hauek izango dira energiak orbita horietan:

$$E_{n_2} = -\frac{A}{n_2^2} \quad \text{eta} \quad E_{n_1} = -\frac{A}{n_1^2}$$

Hau da energia kantitate horien arteko kenketa: $E_{n_2} - E_{n_1} = h \cdot f$.

Ordeztauz gero:

$$-\frac{A}{n_2^2} - \left(-\frac{A}{n_1^2} \right) = h \cdot f$$

Hots, $f = \frac{A}{h} \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$. Badakigu $f = \frac{c}{\lambda}$ dela. Hori ere ordeztuz eta bakanduz gero, hau ondorioztatzen da:

Rydberg-en ekuazioa

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{A}{h \cdot c} \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = R \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Bohrrek azalpen teorikoa eman zuen hidrogenoaren espektro atomikoari eta Rydberg-en ekuazioari buruz.

JARDUERAK

10. Ba al dago $E_n = -2,69 \cdot 10^{-20} \text{ J}$ energia-maila hidrogeno atomorako?

Emaita: Bai: $n = 9$

11. Azaldu Bohrren eredu atomikoa eta haren gabezia nagusiak.

Gogoratu

Espazioko puntu jakin batean, q karga dago, eta haren energia potentzial elektrikoa eremu elektrikoak egiten duen lana da; zehazki, karga puntu horretatik infinitura lekualdatzeko lana. Lanaren definizioaren arabera:

$$E_{\text{potentziala}} = \int_A^\infty \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

Aintzat hartuta indarra Coulomben indar elektrostatikoa dela:

$$\vec{F} = k \frac{Q \cdot q}{r^2} \vec{u}$$

Ordeztauz, eta hidrogeno atomoko elektroiaren kasuan:

$$E_{\text{potentziala}} = \int_A^\infty k \cdot \frac{-e^2}{r^2} \vec{u} \cdot d\vec{r} = \int_A^\infty k \cdot \frac{e^2}{r^2} dr$$

Integrala ebatziz gero:

$$E_{\text{potentziala}} = -k \cdot \frac{e^2}{r}$$

ADIBIDE EBATZIAK

12 Ba al dago $E_n = -1,00 \cdot 10^{-20} \text{ J}$ energia-maila hidrogeno atomorako?

Erabili $E_n = -\frac{A}{n^2}$, kontuan hartuta $A = 2,179 \cdot 10^{-18} \text{ J}$ dela.

Bakandu n eta ordeztu:

$$n = \sqrt{\frac{-A}{E_n}} \\ n = \sqrt{\frac{-2,179 \cdot 10^{-18}}{-1,00 \cdot 10^{-20}}} = 14,76$$

Beraz, n -ren balioa zenbaki osoa ez denez, **ez da energia-maila baimendua hidrogeno atomorako.**

13 Gerta al daiteke Bohrren atomoko elektroiaren orbitetako batek 1,00 nm-eko erradioa izatea?

Erabili $r = n^2 \cdot a$ ekuazioa, aintzat hartuta $a = 0,53 \text{ \AA}$ dela.

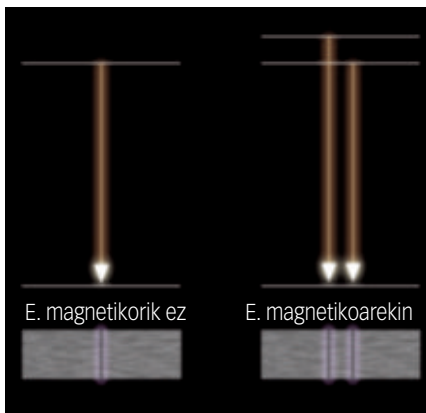
Bakandu n , eta ordeztu:

$$n = \sqrt{\frac{r}{a}} \\ n = \sqrt{\frac{1,00 \cdot 10^{-9}}{0,53 \cdot 10^{-10}}} = 4,34$$

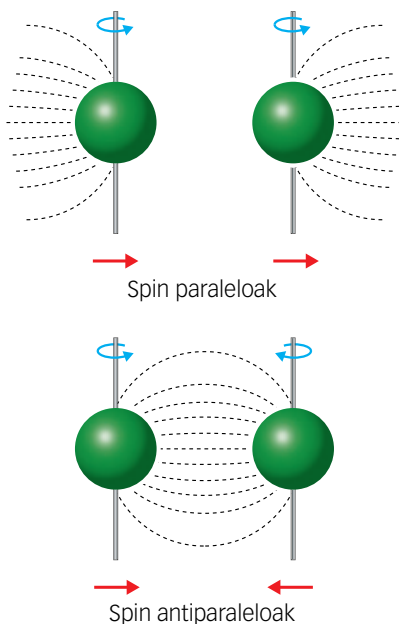
Hortaz, n -ren balioa ez da zenbaki osoa, eta orbitaren erradioa **ezin da balio hori izan.**



1.19. irudia. Arnold Sommerfeld (1868-1951). Alemaniarr fisikaria.



1.20. irudia. Espektoan bitan banatu diren lerroen eskema, eremu magnetiko bat dagoenean. **Zeeman efektua.**



1.21. irudia. Spinen irudikapena.

4.1. Aldaketak Bohrren ereduan. Bohr-Sommerfeld eredua

Bohrren ereduak Balmerren formula justifikatu zuen eta hidrogeno atomoaren azalaren egitura azaltzen du, baina ez da gauza elektroiei bat baino gehiagoko elementuen espektoak azaltzeko.

Bestalde, hidrogenoaren espektoako lerro jakin batzuei bereizmen handiko tresnekin behatzen diegunean, gertu-gertu dauden lerro multzoz osatuta daudela ikusten da, eta haietako batzuk bitan banatu egiten dira eremu magnetiko batek eragiten dienean. Hori ere ez du azaltzen Bohrren ereduak.

Espektoetan bitan banatutako lerroak egoteak energia-azpimailak daudela esan nahi du.

Sommerfeld fisikariak (► 1.19. irudia) 1916an hobetu zuen Bohrren ereduak, orbitak eliptikoak izan zitezkeela pentsatu zuelako. Sommerfelden kalkuluen ondorioz, zenbaki kuantiko orbitala sortu zen, elektroiek egiten duen orbitak zer forma duen deskribatzeko.

Zenbaki kuantiko orbitalak (l) balio hauek izan ditzake:

$$l = 0, 1, 2, 3, \dots (n - 1)$$

Esate baterako, $n = 3$ denean: $l = 0, 1, 2$.

Elektroi bakar bateko atomoak eremu magnetiko bizi baten pean daudenean, lerroak bitan banatzen direla ikusten da; gertaera horri **Zeeman efektu** esaten zaio (► 1.20. irudia).

Datu horiek direla eta, hirugarren zenbaki kuantikoa definitzeko beharra ikusi zen: zenbaki kuantiko magnetikoa. Horren bitartez, orbitek espazioan nolako orientazioa duten adierazten da.

Zenbaki magnetikoak (m_l) balio hauek izan ditzake:

$$m_l = -l, \dots, 0, \dots, +l$$

Aurreko adibidean, zenbaki kuantiko orbitalaren (l) hiru balio posibleetarako, m_l zenbaki magnetikoak balio hauek izan ditzake:

$$n = 3 \begin{cases} l = 0; m_l = 0 \\ l = 1; m_l = -1, 0, +1 \\ l = 2; m_l = -2, -1, 0, +1, +2 \end{cases}$$

Are zehaztasun handiagoko espektografoekin behatuz gero, espektoako lerro guztiak bi lerrotan banatuta daudela ikusten da. Hasiera batean pentsatu zen bikote horiek barneko Zeeman efektuaren eraginez sor zitezkeela. Hartara, bere buruaren inguruan biratzen den eta karga duen esferatzat hartu zuten elektroia, biratzeko bi noranzko posiblerekin. Spinaren zenbaki kuantikoak adierazten ditu bi noranzko horiek (► 1.21. irudia).

Spinaren zenbaki kuantikoak (m_s) balio hauek izan ditzake soilik:

$$-1/2 \quad \text{eta} \quad +1/2$$

Laburbilduz, lau zenbaki kuantiko hauek erabiltzen dira elektroia zehazteko: n (zenbaki kuantiko nagusia), l (zenbaki kuantiko orbitala), m_l (zenbaki kuantiko magnetikoa) eta m_s (spinaren zenbaki kuantikoa).

5 Mekanika kuantikoa

Bohrren lana argitaratu (atomo hidrogenoideak soilik azaldu zituen) eta hamar urte geroago, bi ideia nagusik zabaldu zioten bidea **eredu mekano-kuantiko** deritzonari: uhin-korpuskulu bitasunak eta ziurgabetasunaren printzipioak.

5.1. Uhin-korpuskulu bitasuna

Argia uhintzat jotzen zen, eta Einsteinek, efektu fotoelektrikoaren bidez, agerian ipini zuen egoera jakin batzuetan partikula multzo baten gisako portaera izan zezakeela; hots, **fotoien** gisako portaera.

Hau zen galdera, beraz: partikulek (adibidez, elektroiek) uhinen gisako portaera izan dezakete?

Louis de Broglie zientzialariak (► 1.22. irudia) 1923an iradoki zuen elektroiek uhinen gisara joka dezaketela, eta ondorioztatu zuen uhin-higidura horrekin lotutako uhin-luzera honela kalkula daitekeela:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

Hartan, m elektroien masa da, eta v , elektroien abiadura.

Davisson eta **Germer** zientzialariek frogatu zuten hori, eta **G. P. Thomson** fisikariak ere bere kabuz egiaztatu zuen 1927an. Izan ere, fenomeno optikoak behatu zizkieten elektroiei, eta hori elektroien uhin-izaeraren froga nabaria da. De Broglieren ekuazioaren baliozkotasuna ere frogatu zuten.

Orbita jakin bat posible da elektroiarekin lotutako uhina egonkorra denean, eta hori gertatzen da orbitaren luzera uhin-luzeraren multiplo osoa denean. Horrenbestez:

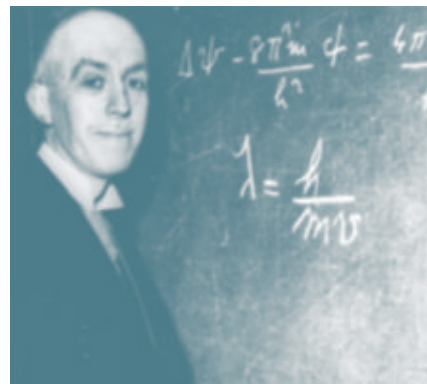
$$2\pi r = n \cdot \lambda \Rightarrow 2\pi r = n \frac{h}{m \cdot v}$$

$$m \cdot v \cdot r = n \frac{h}{2\pi}$$

Bohrren bigarren postulatuak ekuazio bera lortu dugu:

«Orbita posibleetan, elektroien momentu angeluarrak $h/2\pi$ zatikiaren multiplo osoa izan behar du». Ideia horretatik abiatuta azaldu daiteke.

Bitasun hori materia guztian gertatzen da; dena den, masa handiko objektuetan, lotuta dagoen uhin-luzera ezin da detektatu txiki-txikia delako, eta propietateak hobeto deskribatzen dira partikula materializat hartuta, uhintzat hartuta baino. Ostera, partikula txikiak —elektroia, esaterako— hobeto deskribatzen dira uhin-izaera kontuan hartuta.



1.22. irudia. **Louis de Broglie** printzea frantziar zientzialari bat izan zen, familia aristokratiko batekoa. Erdi Aroko historian lizentziatu ondoren, bere beste zaletasun handian aritu zen; fisikan, hain zuzen ere. Fisikako Nobel saria eman zioten 1929an.

ADIBIDE EBATZIA

14 Elektroiak argiaren abiaduraren hamarrenean higitzen badira, zenbatekoa da haiekin lotuta dagoen uhin-luzera? Datuak:
 $m_{\text{elektroia}} = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$,
 $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$ eta
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Hau da elektroien abiadura:

$$v = 0,100 \cdot c = 0,100 \cdot 3 \cdot 10^8$$

$$v = 3 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Idatzi datuak De Broglieren ekuazioan:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} =$$

$$= \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 3 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

$$\lambda = 2,42 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

JARDUERAK

12. Lasterketa-auto batek, gidaria barruan dagoela, 605 kg-ko masa du. Lasterketa batean 320 km/-ko abiadura hartu zuela jakinda, zenbateko uhin-luzera du lotuta?

Datuak: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Emaitza: $1,23 \cdot 10^{-38} \text{ m}$

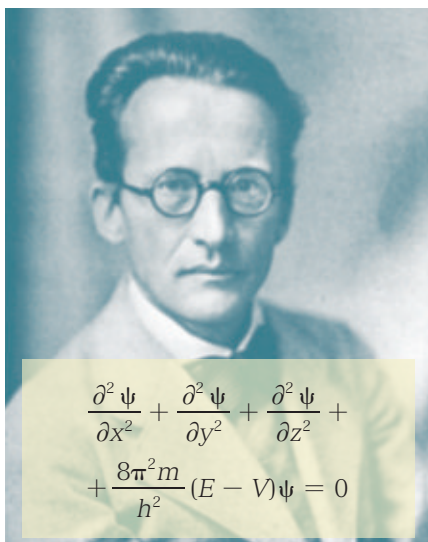
13. Protoi sorta batek 20,0 pm-ko De Broglieren uhin-luzera izan dezan, zenbateko abiaduran azeleratu beharko da?

Datuak: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $m_{\text{protoia}} = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

Emaitza: $v = 1,98 \cdot 10^4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$



1.23. irudia. Heisenberg zientzialariak Fisikako Nobel saria jaso zuen 1932an.



1.24. irudia. Edwin Schrödinger fisikariak 1933an jaso zuen Fisikako Nobel saria.

JARDUERA

- 14.** Zertan dira desberdinak Bohrren orbita eta orbital atomikoa? Bohrren eredu atomikoak Heisenbergen ziurgabetasunaren printzipioa urratzen du, baina nola urratzen du?

5.2. Ziurgabetasunaren printzipioa

Heisenberg fisikariak (► 1.23. irudia) 1927an adierazi zuen, eta hau dio:

Kontzeptuei erreparatuta, ezinezkoa da higitzen ari den partikula baten momentu lineala, $p = m \cdot v$, eta posizioa, x , aldi berean zehaztea. Honako hau da posizioaren eta momentuaren arteko biderketa:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

Printzipio hori ulertzeko, pentsa dezagun nola zehaztu litekeen elektroi baten posizioa. Elektroiari behatzeko, hura baino txikiagoa den uhin-luzerako argi bat erabili beharko litzateke. Argi hori proiektatzean, fotoiren batek talka egingo luke elektroiarekin, eta haren abiadura aldatuko litzateke. Hau da, elektroiaren posizioa zehazten saiatu garenean, haren abiadura aldatu dugu. Hortaz, ezin ditugu posizioa eta abiadura aldi berean zehaztu, eta ibilbidea jakiteko ezinbestekoa denez, ziurgabetasunaren printzipioak dio ezin dela elektroiaren ibilbidea jakin atomoaren barruan, eta horrexegatik ez da bideragarria Bohr-Sommerfeld eredua. Kontzeptu berri bat behar dugu elektroia aurkitzeko.

Orbital esaten zaio nukleoaren inguruan dagoen eremu bati; bertan dago energia kantitate jakin bat duen elektroi bat aurkitzeko probabilitate handiena.

5.3. Mekanika ondulatorioa

Mekanika kuantiko edo ondulatorioa 1925etik 1927ra bitartean garatu zuten **Schrödinger**, **Heisenberg** eta **Dirac** zientzialariek. Haren oinarria Schrödingerrek (► 1.24. irudia) partikula txikien (elektroia, adibidez) portaera deskribatzeko proposatu zuen ekuazioa da.

Uhin-ekuazioak elektroiaren izaera duala hartzen du kontuan: masa eta uhinaren anplitudea, Ψ . Ekuazioa ebatztean, Ψ eta energia zenbaki oso jakin batzuen mende daude; zenbaki kuantikoen mende, hain zuzen ere. Hau da, kuantizatuta daude biak, eta balio jakin batzuk soilik izan ditzakete. Energia-egoera jakin batzuk baino ezin dira egon, eta egoera batetik beste batera aldatzean, energia igortzen edo xurgatzen da; horrenbestez, fotoi bat igortzen edo xurgatzen da.

Gainera, Schrödingerren ekuazioaren soluzioa uhinen funtzio bat da, Ψ , eta ez ditu elektroiaren posizio eta abiadura zehatzak ematen, Heisenbergen printzipioari jarraikiz.

Ψ^2 gaiak elektroia espazioko eremu jakin batean aurkitzeko **probabilitatea** adierazten du.

Hidrogeno atomoaren kasuan, Schrödingerren ekuazioaren soluzioa hiru zenbaki kuantikoren mende dago: n , l eta m_l . Ostera, m_s zenbakia ez da ekuaziotik abiatuta ondorioztatzen; espektro atomikoen ezaugarri jakin batzuk azaltzeko sortu zen.

Hala, n , l eta m_l zenbakien hiru balio baimenduren multzo bakoitzak **orbital** bat zehazten du; hots, elektroia aurkitzeko probabilitate handiena dagoen espazioko eremua zehazten du.

5.4. Orbitala eta zenbaki kuantikoak

Orain, elektroi bat identifikatzen duten zenbaki kuantikoak eta elektroi horrek espazioan duen posizioa erlaziozatuak ditugu. Ikusi dugu lehen hiru zenbakiak Schrödingerren ekuazioaren soluzio gisa sortu zirela, eta laugarrena, espektroen azalpen gisa.

- Zenbaki kuantiko nagusia, n .

$n = 1, 2, 3, 4, \dots$ Elektroia zer mailatan dagoen adierazten du nolabait, orbitalaren **neurriak** eta **energia**. Energia txikieneko maila $n = 1$ da.

- Zenbaki kuantiko orbitala, l .

$l = 0, 1, 2, \dots, (n - 1)$. Orbitalaren **energia** eta **forma** adierazten ditu.

$l = 0$, s orbitala, simetria esferikokoa.

$l = 1$, p orbitala, lobularra.

$l = 2$, d orbitala, lobularrak hauek ere; bost dira.

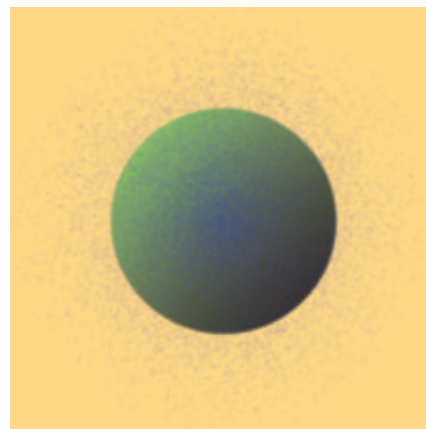
$l = 3$, f orbitala, anizkoiztasun handiagoko lobularrak; zazpi dira.

- Zenbaki kuantiko magnetikoa, m_l .

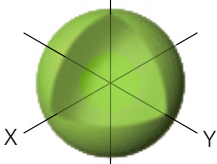
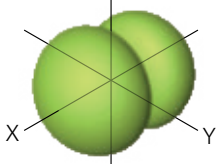
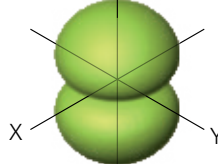
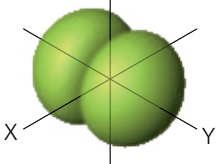
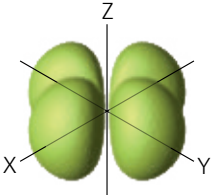
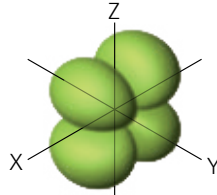
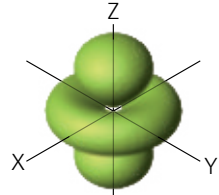
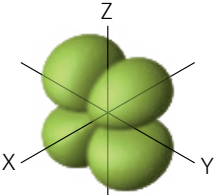
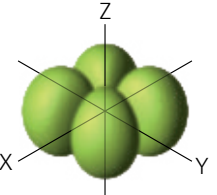
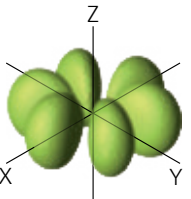
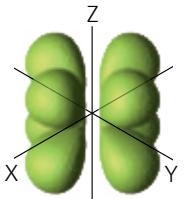
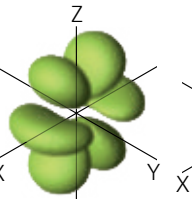
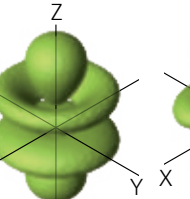
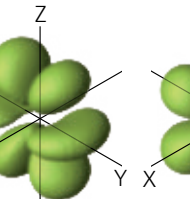
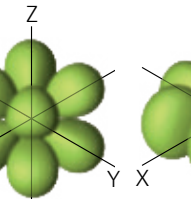
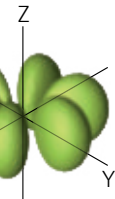
$m_l = -1, \dots, 0, \dots, +1$. Orbitalak espazioan zer **orientazio** duen adierazten du.

- Spinaren zenbaki kuantikoa, m_s .

$m_s = -1/2$ edo $+1/2$. Elektroia zer noranzkotan biratzen den adierazten du.



1.25. irudia. Hodeiko puntu urdin bakoitza elektroiaren posizio posible bat da. Probabilitate handieneko aukera elektroia esfera berdearen barruan topatzea da; orbitalean, alegia.

s motako orbitala. $l = 0$	p motako orbitalak. $l = 1$					
s  $m_l = 0$	p_x  $m_l = -1$	p_z  $m_l = 0$	p_y  $m_l = 1$			
d motako orbitalak. $l = 2$						
d_{x²-y²}  $m_l = -2$	d_{xz}  $m_l = -1$	d_{z²}  $m_l = 0$	d_{yz}  $m_l = +1$	d_{xy}  $m_l = +2$		
f motako orbitalak. $l = 3$						
f_{x(x² - 3y²)}  $m_l = -3$	f_{z(x² - y²)}  $m_l = -2$	f_{xz²}  $m_l = -1$	f_{x³}  $m_l = 0$	f_{y²}  $m_l = 1$	f_{xyz}  $m_l = 2$	f_{y(3x² - y²)}  $m_l = 3$

Zenbaki kuantikoen arteko erlazioen arauak balio baimenduen multzoen berri ematen dute. Beheko taulan jaso dira multzo horiek, orbital mota, orbital bakoitzaren zenbakia eta haietako bakoitzean gehienez egon daitezkeen elektroien kopurua.

n	l	Orbital mota	m	m_s	Orbital kopurua	Gehieneko elektroien kopurua ($2n^2$)
1	0	1s	0	$-1/2$ edo $+1/2$	1	2
2	0	2s	0	$-1/2$ edo $+1/2$	1	2
	1	2p	$-1, 0, 1$	$-1/2$ edo $+1/2$	3	6
3	0	3s	0	$-1/2$ edo $+1/2$	1	2
	1	3p	$-1, 0, 1$	$-1/2$ edo $+1/2$	3	6
	2	3d	$-2, -1, 0, 1, 2$	$-1/2$ edo $+1/2$	5	10
4	0	4s	0	$-1/2$ edo $+1/2$	1	2
	1	4p	$-1, 0, 1$	$-1/2$ edo $+1/2$	3	6
	2	4d	$-2, -1, 0, 1, 2$	$-1/2$ edo $+1/2$	5	10
	3	4f	$-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$	$-1/2$ edo $+1/2$	7	14

ADIBIDE EBATZIAK

15 Adierazi beheko zenbaki kuantikoak dituen atomo batean zenbat elektroien egon daitezkeen gehienez; gero, aipatu gainerako zenbakiak, eta zehaztu zer orbitaletan egon daitezkeen elektroien kopurua.

a) $n = 2$; $m_s = +1/2$.

b) $n = 3$; $l = 2$.

c) $n = 4$; $l = 3$; $m_l = -2$.

a) Lehenik, $n = 2$ mailan zortzi elektroien egon daitezke gehienez. Kasu honetan, $m_s = +1/2$ dutenekin bakarrik eratuko gara; hots, erdiarekin. Hortaz, emaitza **4 elektroien** da.

Hona hemen gainerako zenbaki kuantikoak eta haien orbitalak:

$n = 2, l = 0, m_l = 0, m_s = +1/2$; 2s orbitala

$n = 2, l = 1, m_l = -1, m_s = +1/2$; $2p_x$ orbitala

$n = 2, l = 1, m_l = 0, m_s = +1/2$; $2p_y$ orbitala

$n = 2, l = 1, m_l = 1, m_s = +1/2$; $2p_z$ orbitala

b) Bigarrenik, $n = 3$ mailan eta $l = 2$ izanik (d orbitalak), gehieneko elektroien kopurua **10** da.

Hauk dira gainerako zenbaki kuantikoak eta haien orbitalak:

$n = 3, l = 2, m_l = -2, m_s = -1/2$ edo $+1/2$; 3d orbitala

$n = 3, l = 2, m_l = -1, m_s = -1/2$ edo $+1/2$; 3d orbitala

$n = 3, l = 2, m_l = 0, m_s = -1/2$ edo $+1/2$; 3d orbitala

$n = 3, l = 2, m_l = 1, m_s = -1/2$ edo $+1/2$; 3d orbitala

$n = 3, l = 2, m_l = 2, m_s = -1/2$ edo $+1/2$; 3d orbitala

c) Azkenik, $n = 4$ mailan eta $l = 3$ eta $m_l = -2$ izanik (f orbitalak), gehieneko elektroien kopurua **2** da; elektroietako baten espina $+1/2$ da, eta beste elektroiaena, $-1/2$.

Horra hor gainerako zenbaki kuantikoak eta haien orbitalak:

$n = 4, l = 3, m_l = -2, m_s = -1/2$; 4f orbitala

$n = 4, l = 3, m_l = -2, m_s = +1/2$; 4f orbitala

16 Adierazi zenbaki kuantikoen beheko konbinazioetako zein diren ezinezkoak atomo batean dagoen elektroien baterako, eta justifikatu erantzuna.

a) (4, 3, 2, 1) b) (4, 2, -2, +1/2) c) (1, 0, 0, 0)

Balio hauek onartzen dira: $n = 1, 2, 3, \dots$; $l = 0, 1, \dots, (n - 1)$; $m_l = -l, \dots, 0, \dots, l$; $m_s = -1/2$ eta $+1/2$. Horrenbestez:

a) Ezinezkoa da, m_s ezin delako 1 izan.

b) Bai, konbinazio posible bat da.

c) Ezinezkoa da, m_s ezin delako 0 izan.

JARDUERAK

15. Oinarrizko egoeran dagoen atomo bat aintzat hartuta, arrazoitu ea beheko baieztapen hauek zuzenak ala okerrak diren:

a) $n = 3$ zenbaki kuantikoa duten gehieneko elektroien kopurua sei da.

b) 2p azpimailan, 2 elektroien egon daitezke soilik.

c) 3d orbitaletan 6 elektroien badaude, ez da elektroien desparekatuik egongo.

16. Zenbaki kuantikoen multzo hauek ikusita, esan zein diren posible eta zein ez:

a) (3, 2, -2, +1/2)

c) (2, 2, -1, -1/2)

b) (4, 0, 1, +1/2)

d) (2, -1, 0, 0)

17. Idatzi n , l eta m_l zenbaki kuantikoak 5d azpimailako orbitaletarako. Halaber, adierazi zenbat elektroien egon daitezkeen gehienez azpimaila horretan, eta arrazoitu erantzuna.

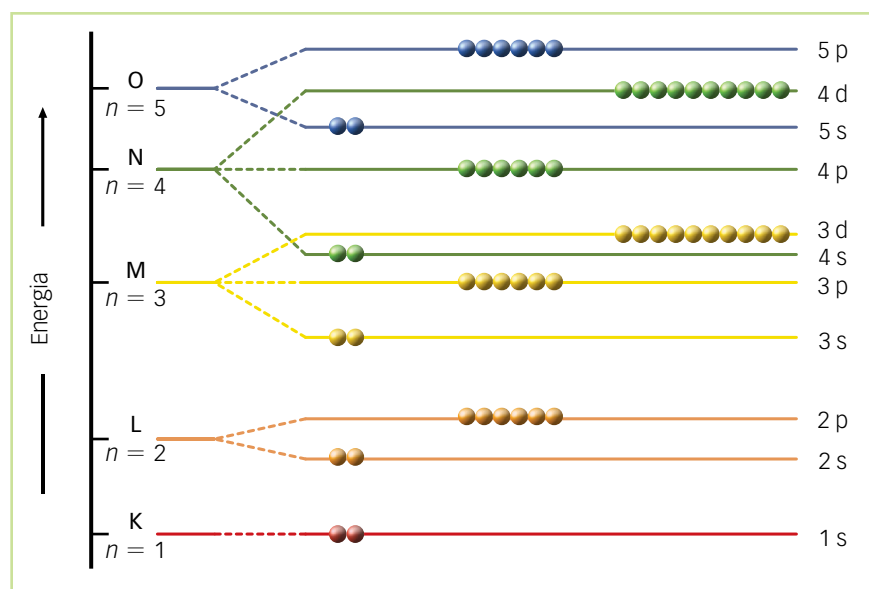
6 Konfigurazio elektronikoa

Zenbait aldiz ikusi izan dugu atomo baten konfigurazio elektronikoa elektroiak orbitaletan banatzeko modua dela. Konfigurazio elektronikoa garrantzitsua da hura erabiltzen delako elementuen propietate fisiko eta kimikoetako asko azaltzeko.

Elektroiak energia minimizatzeko moduan antolatzen dira orbitaletan. Hori dela eta, energia txikieneko konfigurazio horri **oinarrizko konfigurazio** esaten zaio.

6.1. Orbitalen energia erlatiboa

Orbitalen energia, funtsean, n zenbakiaren mende dago, baina baita l zenbakiaren mende ere. Horrek esan nahi du s , p eta gainerako orbitalek energia kantitate desberdinak dituztela maila berean; alegia, energia-azpimailak daudela. Azpimaila baten barruan, orbitalek energia kantitate bera dute. Horrelakoei **orbital endekatu** deritze. Endekatuak dira, besteak beste, p_x , p_y eta p_z orbitalak.



Energia-maila atomikoak.

Egitan, hirugarren mailan hiru azpimaila daude: 3s, 3p eta 3d. (Bolatxo bakoitza elektroibaterako *ostatua* da). Energiaren arabera orbital-ordena modu esperimentalean finkatu zen, azterketa espektroskopikoak eta magnetikoak eginez.

6.2. Aufbau prozesua

Izen hori dauka atomo bateko azpimailak elektroiz betetzeko prozesuak. Elektroiak azpimailetan antolatzen joaten dira, energia kantitate txikienetik energia kantitate handienara.

Prozesu horrek Pauliren esklusio-printzipioa eta anizkoiztasun handienaren Hunden printzipioa ditu oinarri:

Pauliren esklusio-printzipioa. Atomo bereko bi elektroik ezin dituzte lau zenbaki kuantiko berberak izan.

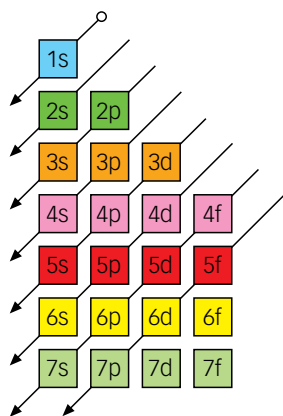
Ezin dira bi elektroik baino gehiago egon azpimaila berean m_l -ren balio bereekin. Elektroik horien lau zenbaki kuantikoak ezin dira berberak izan, eta guztienaz, m_s zenbakiak desberdina izan behar du. Printzipio horri jarraituz, maila berean, gehienaz, elektroik kopuru hau egon daiteke: $2n^2$.

Gogoratu

Honako hau da egitura elektronikoen notazio laburra: nx^y . Hartan:

- n zenbaki kuantiko nagusia da.
- x orbital mota da, letra hauen arabera: s , p , d eta f .
- y azpimaila horretan dagoen elektroik kopurua da.

nx^y



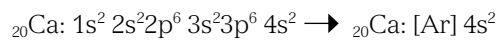
1.26. irudia. Moellerren diagrama.

Diagrama hau konfigurazio elektronikoak erraz idazteko arau mnemotekniko bat da, besterik ez.

Anizkoitzasun handienaren **Hunden** araua. Orbital endekatuetan (energia kantitate bera dutenak; p, d eta f) sartzen diren elektroiak ahalik eta orbital gehien okupatzen joaten dira, elektroiak ahal den desparekatuen antolatze moduan.

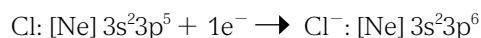
Konfigurazio elektroniko osoa idatzi behar ez izateko, notazio laburra erabiltzen da eskuarki; hartan, aurreko gas noblearen ikurra kako zuzenen artean idazten da, eta ondoren, falta diren orbitalak, konfigurazioa osatu arte (► 1.26. irudia).

Esate baterako, hau da kaltzioaren ($Z = 20$) konfigurazio elektronikoa:

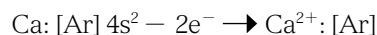


Ioi baten konfigurazio elektronikoa

Anioi baten konfigurazio elektronikoa idazteko, ioiak zenbat karga negatibo dituen begiratu behar da, eta karga negatibo bezainbeste elektroio gehitu behar dira energia txikienerako orbital hutsetan. Adibidez:



Ioia positiboa bada (katioia), elektroiak kendu egin behar dira, energia handieneko orbitaletan hasita. Esaterako:



Ioi bat eratzen denean, orbitalen energia aldatu egin daiteke. Adibidez, trantsizio-elementu batek elektroiak galtzen dituenean, **s** orbitalean galtzen ditu, ez **d** orbitalean, nahiz eta azken elektroiak hartan sartu diren.

ADIBIDE EBATZIAK

- 17** Idatzi elementu eta ioi hauetako bakoitzaren konfigurazio elektronikoa, eta adierazi zenbat elektroio desparekatu dituen bakoitzak: Ge ($Z = 32$); Cl ($Z = 17$); Mn^{2+} ($Z = 25$); Br^- ($Z = 35$).

Hartu kontuan Aufbau prozesua eta betetzeko sekuentzia:

${}_{32}\text{Ge}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p_x^1 4p_y^1$; 2 elektroio desparekatu.

${}_{17}\text{Cl}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p_x^2 3p_y^2 3p_z^1$; 1 elektroio desparekatu.

${}_{25}\text{Mn}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^5$. 2 elektroio galdu ondoren,

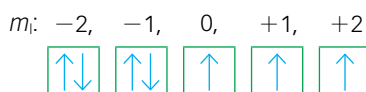
${}_{25}\text{Mn}^{2+}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d_{xy}^1 3d_{xz}^1 3d_{yz}^1 3d_{x^2-y^2}^1 3d_{z^2}^1$; 5 elektroio desparekatu.

${}_{35}\text{Br}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^5$. Elektroio bat irabazi ondoren,

${}_{35}\text{Br}^-: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6$; ez dago elektroio desparekatu.

- 18** Kalkulatu sartu den azken elektroioaren zenbaki kuantikoak, notazioa $3d^7$ dela jakinda.

$n = 3$ mailan, $l = 2$ da, d orbitala delako.



$l = 2$ denez, m_l izan daiteke: $m_l = -2, -1, 0, 1, 2$. Hala, m_l -ren balio bakoitzerako, Pauliren eskusio-printzipioaren

arabera, bi elektroio egon daitezke, eta anizkoitzasun handienaren Hunden printzipioari jarraituz antolatuko dira.

Lehenik, lehen bost elektroioak antolatuko dira, bakoitza d orbital batean. Seigarrenak, ordea, $m_l = -2$ izango du, eta zazpigarrenak, $m_l = -1$.

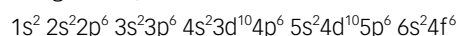
Bestalde, m_s -ren balioa zehazteko, esleitu lehen elektroioari $-1/2$ balioa, eta bigarrenari, $+1/2$ balioa.

Kasu honetan, bigarrenean $m_s = +1/2$ denez, hauek dira lau zenbaki kuantikoak: **(3, 2, -1, +1/2)**.

- 19** Esan zer elementuren elektroio bereizleak dituen zenbaki kuantiko hauek: $n = 4$, $l = 3$, $m_l = 2$ eta $m_s = -1/2$.

$l = 3$ denean, f orbitala da; beraz, elektroio bereizlea 4f orbitalean dago. Hortaz, balio hauek izan ditzake: $m_l = -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$.

Betetzen joango dira $m_l = +2$ izan arte, eta beraz, zazpi f orbital daudenez, iristen seigarrena izango da $m_l = +2$ denean. Anizkoitzasun handienaren Hunden printzipioaren arabera, $m_s = -1/2$ denez, elektroio bakarra egongo da orbital horretan. Horrenbestez, sei elektroio egongo dira 4f orbitaletan, eta bereizlea 4f⁶ orbitalean egongo da. Idatzi konfigurazioa, 4f⁶ orbitalera arte.



Elektroio kopurua zenbatuta, $Z = 62$ dela ikusiko dugu, eta horrek esan nahi du elementua **samariora** dela, **Sm**.

6.3. Egoera kitzikatua

Egoera kitzikatua esaten diogu elektroiek antolatzen direnean energia txiki-
kieneko sekuentziari jarraitzen ez dion edozein elektro-antolaketa. Horren
harira, egoera kitzikatuen konfigurazioetan ikusten da elektroiek trantsi-
zioak egin dituztela; nolana ere, horrelakoetan kontuan hartu behar da
elektroiek orbitalen artean egiten dituzten trantsizio horiek maila beraren
barnean gertatzen direla maiz.

ADIBIDE EBATZIA

20 Beheko konfigurazio elektronikoetako zein dira egoera kitzikatuak
dauden atomoenak?

A: $1s^2 2s^1 2p^3$

B: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 3p^3 3d^1$

C: $1s^2 2s^2 3s^2$

A eta B aukerak karbono atomoaren eta fosforo atomoaren egoera
kitzikatuak dira, hurrenez hurren.

C ez da oso gertagarria, bi elektroik maila batetik bestera egin dutelako salto 2p
mailatik pasatu gabe. Hori baino gertagarriagoa da $1s^2 2s^1 2p^3$, A aukeran bezala.

6.4. Anomaliak konfigurazio elektronikoan

Anomalia nagusien oinarria da erdi beteta edo beteta dauden orbital ende-
katuak egonkorragoak direla besteak baino.

Adibidez:

Kromoaren (Cr) konfigurazio elektronikoa hau da: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 3d^5$.
Eta ez beste hau:

Cr: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^4$.

Salto egiten da 4s orbitaletik 3d orbitalera, d orbitalak erdi beteta egon daite-
zen (d^5), konfigurazio hori egonkorragoa baita bestea baino (oinarrizko egoera).

Kobrearen konfigurazioa (Cu): $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 3d^{10}$. Elektroik bat 4s-tik
3d-ra igaro da d orbitala betetzeko (d^{10}), egonkorragoa baita horrela.

BA OTE DAKIZU?

Elementu kimiko gutxiren kasuan
gertatzen dira salbuespenak
elektroiak antolatzeko mailari
begiratuta:

d orbital beteak (d^{10}) edo erdi beteak (d^5)	→	Cr: [Ar] $4s^1 3d^5$
		Cu: [Ar] $4s^1 3d^{10}$
		Mo: [Kr] $5s^1 4d^5$
		Ag: [Kr] $5s^1 4d^{10}$
f orbital beteak (f^{14}) edo erdi beteak (f^7)	→	Gd: [Xe] $6s^2 5d^1 4f^7$
		Lu: [Xe] $6s^2 5d^1 4f^{14}$
		Pt: [Xe] $6s^1 5d^9 4f^{14}$
		Au: [Xe] $6s^1 5d^{10} 4f^{14}$
		Cm: [Rn] $7s^2 6d^1 5f^7$

JARDUERAK

- 18.** a) Elementu edo ioi hauen artean, justifikatu zein diren
isoelektronikoak: F^- , Ar eta Na^+ .
b) Adierazi Pauliren printzipioa eta aipatu adibide bat.
c) Adierazi Hunden araua eta aipatu adibide bat, nola
erabiltzen den azaltzeko.

Emaita: a) F^- eta Na^+

- 19.** Idatzi espezie kimiko hauetako bakoitzak oinarritzko
egoeran duen konfigurazio elektronikoa: nitrogenoa,
argona, magnesioa, burdina, burdina(II) ioia eta
burdina(III) ioia.
Adierazi eta identifikatu goiko atomo eta ioi horietan
dauden elektroik desparekatuak.

- 20.** a) Adierazi orbital atomikoen beheko izendapenetik
zein ez diren posible. Gero, justifikatu erantzuna
labur-labur.

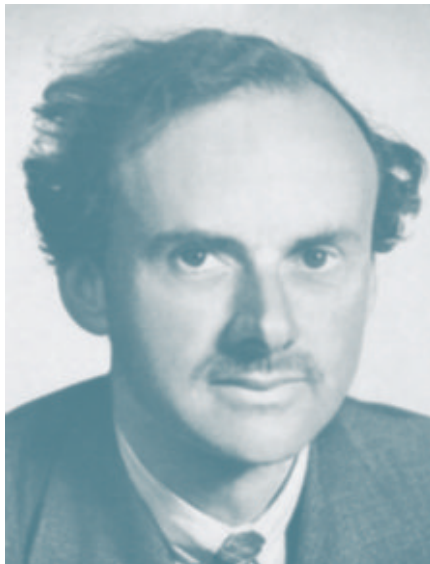
9s 1p 4d 0s 1/2s

- b) Adierazi beheko konfigurazio elektronikoetako zein
diren oinarritzko egoeran dauden elementuenak.
Zein diren aipatu ondoren, justifikatu erantzuna
labur-labur.

$1s^2 2s^1$ $2s^1$ $1s^2 2s^2 3s^2$
 $1s^2 2s^2 2p^5 3s^1$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3 4s^2$

- 21.** Gehienez, zenbat elektroik egon daitezke 3d orbitaletan?
Eta zenbat egon daitezke 5p orbitaletan? Arrazoitu
erantzuna.

Emaita: 10; 6



1.27. irudia. Paul Dirac. Haren hipotesiak 1932an berretsi ziren, positroiak —hots, elektroien antipartikulak— izpi kosmikoetan detektatu zituztenean.

Gizakiok beti jakin nahi izan dugu inguratzen gaituen mundua zerez dagoen eginda. Antzina, unibertsoa hiru osagai hauek soilik osatzen zutela uste zuten: lurra, ura, airea eta sua. Gero, XX. mendean inoizko aurrerapenik handiena egin zuten, inguratzen gaituen materia zerez dagoen eginda jakiteko.

Ikusi dugunez, XX. mendean zientzialariek ondorioztatu zuten atomoa oinarritzko hiru partikulaz osatuta dagoela; hauek dira, zehatz-mehatz: **protoiak**, **neutroiak** eta **elektroiak**.

Hartara, Paul Diracek fenomeno kuantikoak deskribatzen dituen ekuazioa ondorioztatu zuen 1930ean, erlatibitatearen printzipioarekin bateragarria dena. Ekuazio horren soluzio gisa, antimateria badagoela aurreikusi zuen (► 1.27. irudia).

Aurrerago, XX. mendearen bigarren erdian, CERNen eta antzeko beste laborategi batzuetan azeleragailuekin eginiko esperimientuen bidez frogatu zuten protoiak eta neutroiak ez direla oinarritzko partikulak, quarkez osatuta daudelako. Orduantxe hasi zen materia ezagutzeko lasterketa. Gaurdaino, partikulen arloko fisikariek ia **200 partikula** aurkitu dituzte, oinarritzkoak ez direnak eta oinarritzkoak direnak aintzat hartuta.

7.1. Eredu estandarra

Eredu honen helburua unibertsoko materia eta indar guztiak deskribatzea da, grabitatea izan ezik. Bi oinarritzko partikula mota daude:

Partikula materialak. Fermioiak

Materia kantitatea duten partikulak dira; **masa** ere esaten zaio. Partikula material bakoitzerako, antimateriako antipartikula bat dago, 1.27. irudiaren oinean adierazi den bezala.

Partikula horiei **fermioi** deritze. Bi fermioi mota daude:

- **Quarkak.** Sei quark mota daude; denek dute elektroien karga elektriko frakzionarioa, eta gainera, kolore-karga duten partikulak dira. Quark mota bakoitzak bere antiquark du. Quarkak ez daude inoiz isolatuta; aldiz, interakzioak izaten dituzte indar nuklear biziaren bitartez, eta **hadroi** deritzen partikulak eratzen dira. Bi hadroi mota daude: **barioiak**, hiru quarkez osatuta (esaterako, protoia, bi u quarkez eta d quark batez osatuta); eta **mesoiak**, quark batez eta anti-quark batez osatuta.
- **Leptoiak.** Sei lepto mota daude; hiruk karga elektrikoa dute, eta gainerako hirurek, ez. Lepto mota bakoitzak bere antileptoia du. Quarkak ez bezala, leptoiak isolatuta egon daitezke.

Hala quarkak nola leptoiak hiru multzotan sailkatzen dira, eta multzo horiei **belaunaldi** esaten zaie: 1., 2. eta 3. belaunaldiak.

Unibertsoaren zati handiena lehen belaunaldiko partikulaz egina dago; materia arrunta da. Bigarren eta hirugarren belaunaldietako partikulak ezegonkorak dira, eta lehen belaunaldiko partikula bihurtzeko joera dute; materia exotikoa da.

Indarra daramaten partikulak. Gauge bosoiak

Partikula materialen arteko **interakzioen eragile** dira. Indar mota bakoitza indarra daraman partikula batek *garraiatzen* du. Quarken eta leptoen arteko interakzioetan, horrelako partikulak trukutzen dituzte.

FERMIOIAK

1. belaunaldia 2. belaunaldia 3. belaunaldia

QUARKAK

2,3 MeV/c² 2/3 u 1/2 u quarka	1,275 GeV/c² 2/3 c 1/2 c quarka	173,07 GeV/c² 2/3 t 1/2 t quarka
4,8 MeV/c² -1/3 d 1/2 d quarka	95 MeV/c² -1/3 s 1/2 s quarka	4,18 GeV/c² -1/3 b 1/2 b quarka

LEPTOIAK

0,511 MeV/c² -1 e 1/2 Elektroia	106,7 MeV/c² -1 μ 1/2 Muoia	1777 MeV/c² -1 τ 1/2 Taua
<2,2 eV/c² 0 ν_e 1/2 Neutrino elektronikoa	<0,17 MeV/c² 0 ν_μ 1/2 Neutrino muoikoa	<15,5 MeV/c² 0 ν_τ 1/2 Neutrino tauoikoa

Materia
arrunta

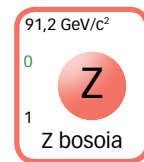
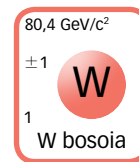
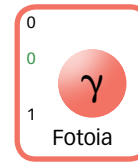
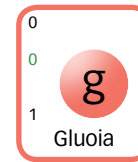
Materia
exotikoa

Partikulen artean, lau oinarritzko interakzio mota daude. Indarra daramaten partikulen trukeak eragiten ditu interakzio horiek guztiak.

- **Grabitatorioa.** Interakzio honek pisu indarra eragiten du, eta unibertsoaren egiturari eusten dio eskala handian. Interakzio mota hau ez dago eredu estandarrean jasota.
- **Elektromagnetikoa.** Interakzio mota honek oreka-posizioan eusten die atomoei, material baten barruan daudela. Kasu honetan, partikula eramailea **fotoia** da.
- **Nuklear bizia.** Kolore-karga duten partikulen artean (quarken artean, alegia) sortzen den interakzio mota da. Partikulei atomoaren nukleoaren barruan eusten die. Partikula eramaileak **gluoiak** dira.
- **Nuklear ahula.** Interakzio mota honek quark guztiak eta lepton astunak ahultzea eragiten du, quark eta lepton arinagoak eratzeko. Partikula eramaileak **bosoiak** dira. Hiru bosoi mota daude: W^+ , W^- , Z^0 . Lehen biek karga dute, eta azkena neutroa da.

Interakzioa	Partikula eramailea	Oinarritzko zer partikulari eragiten dion
Grabitazioa	Grabitoia (ez da detektatu)	Leptoniak eta quarkak
Elektromagnetikoa	Fotoia	Lepton kargadunak eta quarkak
Nuklear bizia	Gluoia	Quarkak
Nuklear ahula	W^+ , W^- edo Z^0	Leptoniak eta quarkak

GAUGE BOSOIAK



7.2. Unibertsoaren bilakaera

Big Bang deritzon teoriaren arabera, unibertsoaren bilakaera, gaur egun ezagutzen dugun moduan, duela 13800 milioi urte hasi zen. Ordutik aurrera, hiru fase handi izan ditu:

1. **Hasierako unibertsoa.** Hasierako unean ($<10^{-43}$ s), 10^{32} K-eko tenperatura zegoela uste da, bolumen txiki-txiki baten barruan ($<10^{-33}$ cm-ko diametroa).
2. **Jatorrizko unibertsoa.** Zertxobait aurrerago, oinarritzko partikulek masa hartu zuten Higgsen eremuarekin izandako interakzioan, Higgs bosoiari esker. Unibertsoa partikulaz eta antipartikulaz osaturiko plasma bat zen. Tenperatura hain zen altua ($>10^{13}$ K), non quarkak ez baitzeuden elkarri lotuta. Unibertsoak hedatzen eta hozten jarraitu zuen.

Geroago, 10^{-6} s-tik 10^{-2} s-ra bitarteko aldi, unibertsoa 10^{13} K-etik behera hoztu zen, eta hadroiak eratu ziren quarketatik eta gluoietatik abiatuta, baita protoiak eta neutroiak ere. Quarkak ezin ziren isolatuta egon.

Ondoren, 10^{-6} s eta 300 minutu bitartean, unibertsoa behar beste hoztu zen ($<10^{10}$ K) atomoen nukleoak eratzeko, protoiak eta neutroiak konbinatuz; prozesu hori **nukleosintesia** da. Aldi hori amaitutakoan, hidrogeno ioien kopurua helio-nukleoena halako hiru zen. Beste nukleo batzuen (litioa edo berilioa) kantitateak txikiak ziren.

Big Banga gertatu eta 300.000 urte geroago, unibertsoa behar bezain hotza zen ($<10^5$ K) nukleoek elektroiak atxikitzeko. Atomoak eratzen hasi ziren: **birkonbinazio** esaten zaio horri. Unibertsoaren dentsitateak behera egin zuen, eta fotoiak materiak aske geratu ziren.

3. **Egiturazko formazioak** (100-200 milioi urte). Galaxiak eta izarrak erakarren grabitatorioz eratu ziren; haietan, hidrogeno eta helio atomoak fusionatu egin ziren beste atomo astunago batzuk sortzeko. Galaxiek galaxia multzoak, kumuluak eta superkumuluak osatu zituzten.

BA OTE DAKIZU?

Neutroi-izarrak dentsitate handi-handikoak dira, eta bertako nukleoan presioa hain da handia, non neutroien quarkak konfinamendua galdu egiten baitute haien barruan. Quarkak banakako partikulen gisako portaera izaten dute han, eta horrelaxe eratzen da quark-materia deritzona.

CERNeko LHC azeleragailuan, egoera desberdina da: tenperatura altua da, eta presioa, baxua. Hartan, quarkak aske higitzen dira, quarken plasma eratzeko.



Higitzen ari diren objektuekin lotuta dagoen uhin-luzera kalkulatzeari

21 Kalkulatu partikula hauekin lotuta dagoen uhin-luzera:

- Protoi bat, $5 \cdot 10^{-14}$ J-ko energia zinetikoarekin.
- 57 g-ko tenis-pilota bat, 210 km/h-ko abiadura higitzen ari dena tenislari batek sarea egin ondoren.
- Sodioak igorritako elektroien bat, sodioa 4 eV-eko erradiazioarekin argizatzen denean.

Datuak: $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J · s;
 $m_{\text{protoia}} = 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg;
 $m_{\text{elektroia}} = 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg;
 sodio elementuaren
 erauzte-lana = 2,6 eV;
 $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ J;
 $c = 3 \cdot 10^8$ m · s⁻¹.

ERANTZUNA

1. Ulertu enuntziatua.

Datu ezagunak	Lortu beharreko emaitzak
- Protoiaren energia. - Tenis-pilotaren masa eta abiadura. - Sodioari eraso egiten dion erradiazioaren energia.	Kasuan kasu lotuta dagoen uhin-luzera.

2. Erabili kontzeptu giltzarriak.

De Broglieren adierazpena erabiliz, partikula batekin lotuta dagoen uhin-luzera kalkulatu dezakegu:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

Hortaz, partikula bakoitzaren abiadura jakin behar dugu.

A atala

3. Kalkulatu protoiaren abiadura.

Energia zinetikoaren adierazpenean, bakandu abiadura:

$$E_{\text{zinetikoa}} = \frac{1}{2} \cdot m_{\text{protoia}} \cdot v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{zinetikoa}}}{m_{\text{protoia}}}}$$

Idatzi datu ezagunak:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-14} \text{ J}}{1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}} = 7,76 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4. Kalkulatu lotuta dagoen uhin-luzera.

$$\lambda = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 7,76 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 5,14 \cdot 10^{-14} \text{ m}$$

B atala

5. Adierazi kopuruak SI sistemako unitateetan.

Pilotaren masa:

$$m = 57 \text{ g} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1.000 \text{ g}} = 0,057 \text{ kg}$$

Pilotaren abiadura:

$$v = 210 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1.000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3.600 \text{ s}} = 58,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

6. Kalkulatu lotuta dagoen uhin-luzera.

$$\lambda = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{0,057 \text{ kg} \cdot 58,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1,99 \cdot 10^{-34} \text{ m}$$

C atala

7. Kalkulatu energia zinetikoa.

Kasu honetan, elektroien ateratzean duen energia zinetikoa kalkulatu behar dugu aurrea, eta gero, a) ataleko adierazpen bera erabiliko dugu abiadura kalkulatzeko.

Efektu fotoelektrikoaren adibide bat da. Sodioa 4 eV-eko erradiazioarekin argizatzen da, eta elektroien bat erauzteko behar den energia 2,6 eV-ekoa da. Hortaz, energia kantitate horien kendura sobera geratuko den energia da; energia zinetiko bihurtuko da, eta elektroien abiadura handitzeko erabiliko da.

$$E_{\text{zinetikoa}} = E_{\text{erradiazioa}} - E_{\text{erauztea}} = 4 \text{ eV} - 2,6 \text{ eV} = 1,4 \text{ eV}$$

8. Adierazi kopuruak SI sistemako unitateetan.

Elektroien energia zinetikoa:

$$E_{\text{zinetikoa}} = 1,4 \text{ eV} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} = 2,24 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

9. Kalkulatu elektroien abiadura.

Idatzi datu ezagunak:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{zinetikoa}}}{m_{\text{elektroia}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,24 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 7,01 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

10. Ordeztu eta egin kalkuluak.

$$\lambda = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 7,01 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1,04 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

11. Ebaluatu emaitza.

Higitzen ari diren objektuen masak eragin handia du lotutako uhin-luzeran. Elektroien kasuan soilik alderatu daiteke lotutako uhin-luzeraren balioa fotoien uhin-luzeraren balioekin. Horrexegatik, hain zuzen, elektroia gai da fotoiekin interakzioak izateko efektu fotoelektrikoan.



Elektroien iragateak eta igorritako fotoien energia erlazionatzea

- 22 Hidrogeno atomoaren espektroan, lerro baten uhin-luzera hau da: $\lambda = 434,05 \text{ nm}$. Kalkulatu lerro horrekin lotutako trantsizioaren ΔE , eta adierazi $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ -etan. Elektroia beheragoko $n = 2$ mailara heltzen bada, zehaztu zer mailatik datorren. Datuak: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$; $R_H = 2,179 \cdot 10^{-18} \text{ J}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

ERANTZUNA

1. Ulertu enuntziatua.

Datu ezagunak	Lortu beharreko emaitzak
- Espektroko lerro baten uhin-luzera. - Elektroiaren norakoaren maila kuantiko nagusia.	- Espektroko lerroarekin lotuta dagoen energia. - Iragaten ari den elektroien jatorrizko maila kuantiko nagusia.

2. Erabili kontzeptu giltzarriak.

Plancken adierazpena erabiliko dugu: $\Delta E = h \cdot f$. Halaber, $c = \lambda \cdot f$ denez gero:

$$\Delta E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

3. Idatzi balioak.

$$\Delta E = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \cancel{\text{s}} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \cancel{\text{ m}}}{434,05 \cdot 10^{-9} \cancel{\text{ m}}} = 4,58 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

4. Adierazi eskatutako unitateetan.

Energia $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ -etan adierazteko eskatu dizute. Horretarako, erabili bihurketa-faktore egokiak, besterik ez:

$$\Delta E = 4,58 \cdot 10^{-19} \frac{\cancel{\text{J}}}{\cancel{\text{fotoi}}} \cdot \frac{1 \text{ kJ}}{10^3 \cancel{\text{ J}}} \cdot \frac{6,022 \cdot 10^{23} \cancel{\text{ fotoi}}}{1 \text{ mol}}$$

$$\Delta E = 275,8 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

5. Erabili kontzeptu giltzarriak.

Erabili Rydbergen ekuazioa, energiaren forman:

$$\Delta E = R_H \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \Rightarrow n_2 = n_1 \cdot \sqrt{\frac{1}{1 - n_1^2 \cdot \frac{\Delta E}{R_H}}}$$

6. Idatzi balioak eta egin kalkuluak.

$$n_2 = 2 \cdot \sqrt{\frac{1}{1 - 2^2 \cdot \frac{4,58 \cdot 10^{-19} \cancel{\text{ J}}}{2,179 \cdot 10^{-18} \cancel{\text{ J}}}}} = 5$$

7. Ebaluatu emaitza.

Bosgarren maila kuantiko nagusitik bigarren maila kuantikora salto egiten duen elektro bakoitzak fotoi bat igorriko du. Egoera horretan, fotoi bakoitzak $4,58 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ igortzen ditu. Bestalde, fotoien mol batek 275,8 kJ igortzen ditu.



Azalaren egitura eta ionizazio-energia erlazionatzea

- 23 Elementu beraren konfigurazio elektroniko hauek kontuan hartuta:



Adierazi beheko baieztapenak zuzenak ala okerrak diren, eta eman arrazoiak.

- a) B konfigurazioa ezinezkoa da.
b) Bi konfigurazioak elementu berarenak dira, haren bi isotoporenak.

ERANTZUNA

1. Ulertu enuntziatua.

Datu ezagunak	Lortu beharreko emaitzak
Konfigurazio elektronikoak.	Baieztapenak zuzenak ala okerrak diren.

2. Erabili kontzeptu giltzarriak.

Aufbau prozesua aintzat hartu behar da. Isotopoaren kontzeptua.

3. Aztertu baieztapen bakoitza zuzena ala okerra den.

A atala

Okerra. Boroa da. Konfigurazioa egoera kitzikatu batena da, baina gerta daiteke.

B atala

Okerra. Isotopoen arteko aldea nukleoko partikula kopurua da. Edonola ere, horrek ez du loturarik konfigurazio elektronikoarekin.



Kutxa-diagrama bat interpretatzea

24 Eskuineko diagrametan, zenbait elementu neutroren konfigurazio elektronikoak irudikatu dira.

- Zein da edo zein dira zuzenak? Zein da edo zein dira okerrak?
- Zuzenak diren irudikapenen artean, zeinek adierazten du edo zeinek adierazten dute oinarritzko egoera? Eta egoera kitzikatua? Arrazoitu erantzuna.

	1s	2s	2p
A:	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow\uparrow\uparrow$
B:	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow\uparrow\uparrow$
C:	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$	$\uparrow\uparrow\uparrow\uparrow$

ERANTZUNA

1. Ulertu enuntziatua.

Datu ezagunak	Lortu beharreko emaitzak
Konfigurazio elektronikoen kutxa-diagramak.	- Diagramak zuzenak ala okerrak diren. - Elementuaren egoera identifikatzea.

A atala

2. Erabili kontzeptu giltzarriak.

Pauliren eskusio-printzipioa eta anizkoiztasun handienaren Hunden printzipioa gogoan izan behar dituzu.

3. Jarri jokoan kontzeptu giltzarriak.

- Konfigurazioa zuzena da; bi printzipioak betetzen ditu.
- Ez da zuzena, ez baitu Pauliren eskusio-printzipioa betetzen. $2p_x$ mailako bi elektroien spinaren zenbakia $1/2$ da.
- Konfigurazioa zuzena da; bi printzipioak betetzen ditu.

B atala

4. Erabili kontzeptu giltzarriak.

Elementua oinarritzko egoeran edo egoera kitzikatuan dagoen bereizteko, orbitalak zer ordenatan betetzen diren aintzat hartu behar duzu.

5. Jarri jokoan orbitalak betetzeko ordena.

Lehen atalean ikusi denari jarraikiz, A konfigurazioa oinarritzko egoera batena da, energia txikienaren arabera betetzen direlako orbitalak. C konfigurazioa, ostera, egoera kitzikatu batena da. Hauxe izango litzateke oinarritzko konfigurazioa, hain zuzen ere: $1s^2 2s^2 2p^2$.

6. Ebaluatu emaitza.

Kutxa-diagramek modu eskematikoan adierazten dute atomoaren azalean dauden elektroien energia-egoera. Hala, garrantzitsua da diagramak arretaz egitea, eta ez soilik zuzenak izan daitezen; aitzitik, elektroia oinarritzko egoeran edo egoera kitzikatuan dagoen adierazteko ere inportantea da.



Zenbaki atomikoa eta masa-zenbakia bereiztea

25 Estrontzioak naturan duen isotoporik ugariena $^{88}_{38}\text{Sr}$ espeziea da. Idatzi elementu neutro horren konfigurazio elektronikoa, oinarritzko egoeran dagoela. Arrazoitu zenbat protoi eta zenbat neutroi dauden isotopo horren nukleoan.

ERANTZUNA

1. Ulertu enuntziatua.

Datu ezagunak	Lortu beharreko emaitzak
- Zenbaki atomikoa. - Masa-zenbakia.	- Konfigurazio elektronikoa. - Partikula kopurua atomoan.

2. Idatzi konfigurazio elektronikoa.

Eskuarki, zenbaki atomikoa azpiindizea izaten da. Sr-an, $Z = 38$ da. Atomo neutroetan, elektroien kopurua eta zenbaki atomikoa bat datoz. Aufbau prozesuari jarraituz, hauxe izango da konfigurazio elektronikoa oinarritzko egoeran:



3. Identifikatu zenbakiak, eta arrazoitu.

Zenbaki atomikoa nukleoko protoi kopurua da. Horrenbestez, nukleoan **38 protoi** daude.

$^{88}_{38}\text{Sr}$ ikurrari erreparatuta, badakigu masa-zenbakia goi-indizea dela; alegia, $A = 88$.

Halaber, badakigu masa-zenbakia honela kalkulatzeko dela: $A = Z + N$. Hortaz, neutroi kopuru hau dago nukleoan:

$$N = A - Z = 88 - 38 = 50.$$

50 neutroi daude.

4. Aztertu emaitza.

Kimikan erabiltzen diren ikurrek ez dakarte anbiguotasunik. Nola interpretatu jakin behar duzu.



Baieztapenak zuzenak ala okerrak diren arrazoitzea

- 26 Aztertu beheko baieztapenak zuzenak ala okerrak diren, eta justifikatu erantzuna.
- Elementu baten masa atomikoa haren ioien masen batezbesteko haztatua da.
 - Kloroaren ($Z = 17$) 35 eta 37 isotopoen arteko aldea elektroi kopurua da.
 - Oxigenoaren ($Z = 8$) -2 kargako ioia eta oxigenoaren -1 kargako ioia isotopoak dira.

ERANTZUNA

1. Ulertu enuntziatua.

Datu ezagunak	Lortu beharreko emaitzak
Baieztapenen zerrenda.	Baieztapenak zuzenak ala okerrak diren aztertzea.

2. Erabili kontzeptu giltzarriak.

Elementu beraren isotopoen bereizgarria da masa-zenbaki desberdinak dituztela, nukleoko neutroi kopuruak desberdinak direlako.

Elementu beraren ioien arteko aldea da elektroi kopuru desberdinak dituztela atomoaren azalean.

A atala

3. Arrazoitu logika erabiliz.

Baieztapenean, ioien masen batezbesteko haztatua aipatzen da, baina isotopoen masak dira, ez ioienak. Baieztapena **okerra** da.

B atala

4. Arrazoitu logika erabiliz.

Baieztapenean adierazten da isotopoen ezaugarria dela elektroi kopuru desberdinak dituztela. Egiatan, isotopoen arteko aldea neutroi kopurua da. Hortaz, baieztapena **okerra** da.

C atala

5. Kasu honetan, -2 karga duen ioiak hamar elektroi ditu azalean, eta -1 karga duenak, aldiz, bederatzi elektroi. Ez dugu informazioa ioi bakoitzaren nukleoko partikula kopuruari buruz; hortaz, ezin dugu esan baieztapena zuzena ala okerra denik.

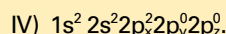
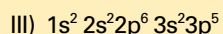
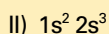
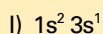
6. Ebaluatu emaitza.

Garrantzitsua da kontzeptuak ez nahastea, baieztapenak zuzenak ala okerrak diren jakiteko.



Konfigurazio elektronikoak interpretatzea

- 27 Konfigurazio elektroniko hauek kontuan hartuta:



Zeinek ez du Pauliren eskusio-printzipioa betetzen? Zeinek ez du anizkoiztasun handienaren Hunden printzipioa betetzen? Esan zein konfiguraziok dituen elektroi desparekatuak, nahiz eta berez gertagarria den.

ERANTZUNA

1. Ulertu enuntziatua.

Datu ezagunak	Lortu beharreko emaitzak
Konfigurazio elektronikoak.	Dagokion aukera hautatzea.

2. Erabili kontzeptu giltzarriak.

Pauliren eskusio-printzipioak honako haxe dio: «Atomo bereko bi elektroik ezin dituzte lau zenbaki kuantiko berberak izan».

Hunden printzipioa: «Orbital endekatuetan sartzen diren elektroiak ahalik eta orbital gehien okupatzen joaten dira».

3. Aukeratu erantzun zuzena.

Ez du Pauliren eskusio-printzipioa betetzen. **II**: orbital bakoitzean, bi elektroi daude gehienez. Hirugarren elektroi bat sartuz gero, 2s orbitaleko elektroien baten tetrada errepikatu beharko litzateke.

Ez du anizkoiztasun handienaren Hunden printzipioa betetzen. **IV**: hau izango litzateke konfigurazio zuzenetako bat: $1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^0 2p_z^0$.

Elektroi desparekatuak daude. **I**: elektroi desparekatu bat dago 3s orbital batean (aukera badago, nahiz eta egoera kitzikatua den). Eta **III**: elektroi desparekatu bat dago $3p_z$ orbital batean.

Magnitude atomikoak

ADIBIDE EBATZIA

- 28** Adierazi zenbat protoi, zenbat neutroi eta zenbat elektroi dauden $^{31}_{15}\text{P}$ espezie kimikoan.

Interpretatu behar da $Z = 15$ eta $A = 31$ direla. Karga adierazten ez denez, atomo neutrotzat joko dugu.

- Zenbaki atomikoa protoi kopurua da; zehatz-mehatz, **15** protoi daude.
- Zenbaki atomikoa elektroi kopurua ere bada; hots, **15** elektroi.
- $A = Z + N$ $N = A - Z = 31 - 15 = 16$
Azkenik, **16** neutroi daude.

- 22.** Zehaztu zenbat protoi, zenbat neutroi eta zenbat elektroi dauden $^{228}_{88}\text{Ra}^{2+}$ ioian.

- 23.** Espezie hauek izanik: $^{24}_{12}\text{Mg}^{2+}$, $^{47}_{24}\text{Cr}$, $^{60}_{27}\text{Co}^{3+}$, $^{35}_{17}\text{Cl}^{-}$, $^{120}_{50}\text{Sn}^{2+}$, $^{225}_{90}\text{Th}$ eta $^{90}_{38}\text{Sr}$, zeinek du...

- ... protoi kopuru eta neutroi kopuru bera?
- ... neutroi kopuru eta elektroi kopuru bera?
- ... neutroi kopurua berdin protoi kopurua gehi elektroi kopuruaren erdia?

- 24.** Kromoren lau isotopo daude naturan. Hauek dira haien masak eta ugartasun-ehunekoa: 49,9461 u, %4,35; 51,9405 u, %83,79; 52,9407 u, %9,50; eta 53,9389 u, %2,36. Kalkulatu kromoaren batez besteko masa atomiko haztatua.

Eraitza: 51,9959 u

- 25.** Datu hauek aintzat hartuta:

Atomoa	Protoi kop.	Neutroi kop.	Elektroi kop.
I	40	40	40
II	42	38	42

Arrazoitu ea zuzena ala okerra den I eta II atomoak:

- Isotopoak direla.
- Elementu berarenak direla.
- Zenbaki atomiko bera dutela.

- 26.** $^{56}_{26}\text{Fe}$ espeziea burdinaren isotopoetako bat da. Konposatu batzuetan (adibidez, odolotako hemoglobinan), burdina +2 oxidazio-egoeran dago. Kalkulatu isotopo horrek zenbat protoi, zenbat elektroi eta zenbat neutroi dituen hemoglobinan.

- 27.** Silizioaren isotopo nagusia $^{28}_{14}\text{Si}$ espeziea da (27,976 93 u), %92,21eko ugartasuna duena; beste bi isotopo ere baditu: $^{29}_{14}\text{Si}$ (28,976 49 u) eta $^{30}_{14}\text{Si}$ (29,973 76 u) espezieak. Beste bi isotopo horiek zenbateko ugartasun-ehunekoa dute naturan? Datua: $M(\text{Si}) = 28,085 50$ u.

Eraitza: %4,71 eta %3,08, hurrenez hurren

- 28.** Adierazi zer erlazio dagoen beheko pareetako espezie kimikoen artean, eta justifikatu erantzuna.

a) $^{108}_{45}\text{Rh}$ eta $^{108}_{46}\text{Ag}$ b) $^{76}_{36}\text{Kr}$ eta $^{75}_{36}\text{Kr}$ c) $^{54}_{27}\text{Co}^{2+}$ eta $^{54}_{27}\text{Co}^{3+}$

- 29.** Esan beheko baieztapenak zuzenak ala okerrak diren, eta azaldu zergatik.

- Sodioaren ($Z = 11$) 23 eta 24 isotopoen bi ioik, +1 karga dutenek, portaera kimiko bera dute.
- Kloroaren gutxi gorabeherako masa atomika 35,5 da; 35 eta 37 isotopoen masen batezbesteko haztatua da, eta isotopo horien ugartasun-ehunekoa %75 eta %25 dira, hurrenez hurren.
- Oxigenoaren 16 eta 18 isotopoen arteko aldea elektroi kopurua da.

Teoria kuantikoaren jatorria

- 30.** Telefonía mugikorrek operadore batek (4G sistema) 1.800 MHz-eko maiztasuna darabil. Argi ikusgaiaren maiztasunak $4,3 \cdot 10^8$ MHz-etik (gorria) $7,5 \cdot 10^8$ MHz-era (bioleta) artekoak dira. 4G sistemako zenbat fotoik dute argi bioletaren fotoi bakar baten energia kantitate bera?

Eraitza: $4,17 \cdot 10^5$ 4G fotoik

- 31.** Espektró ikusgaiaren uhin-luzerak 400 nm-tik 700 nm-ra artekoak dira. Lizioaren lehen ionizazio-energia 5,40 eV da.

- Kalkulatu erradiazio ikusgaiaren energia handiena.
- Arrazoitu erradiazio horrek litioa ionizatzen duen edo ez.

Datuak: $1 \text{ J} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ eV}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Eraitza: a) $4,97 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Bohrren eredu atomikoa

ADIBIDE EBATZIA

- 29** Kalkulatu hidrogeno atomoaren ionizazio-energia. Datua: $R_H = 2,179 \cdot 10^{-18} \text{ J}$.

Demagun hidrogeno atomoa oinarritzko egoeran dagoela, eta elektroia energia txikieneko maila kuantikoan dagoela; $n_1 = 1$ mailan, alegia. Atomoa ionizatu bada, elektroia atomotik urrundu egin da, hartatik bereizteko bezainbeste. Hau da, energia handieneko maila kuantikoan dago: $n_2 = \infty$.

$$E = R_H \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = 2,179 \cdot 10^{-18} \text{ J} \cdot \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2} \right)$$

$$E = 2,179 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

- 32.** Ekarri gogora Bohrrek hidrogeno atomoa deskribatzeko erabili zituen postulatuak, eta kalkula:

- Bohrren seigarren orbitaren erradioa, hidrogenorako.
- Elektroia energia orbita horretan dagoenean.

Datuak: $a = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$; $A = 2,17 \cdot 10^{-18} \text{ J}$.

Eraitza: a) $1,9 \cdot 10^{-9} \text{ m}$; b) $-6,0 \cdot 10^{-20} \text{ J}$

33. Rydbergen ekuazioan, n_2 -ren zer balio dagokio Balmerren serieko leerroari, uhin-luzera 389 nm izanik?

Eraitza: 8

34. Hidrogenoaren espektroko Lymanen seriea ekuazio honen bidez adieraz daiteke:

$$f = \phi \cdot \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (\text{ekuazioan, } n = 2, 3, \dots)$$

- a) Kalkulatu uhin-luzera handieneko eta txikienerako leerroak serie horretan, nanometrotan.
b) 95,0 nm-ko uhin luzera duen espektroko leerroak n -ren zer balio du?
c) Ba al dago lerrorik 108,5 nm-ko uhin-luzeran?

Datua: $\phi = 3,288 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$.

Eraitza: a) 121,6 nm, 91,24 nm; b) 5

35. Kalkulu zehatzik egin gabe, esan beheko trantsizio elektronikoetako zeinek behar duen hidrogeno atomo batek energia kantitate handiena xurgatzea.

- a) $n = 1$ -etik $n = 2$ -ra c) $n = 3$ -tik $n = 6$ -ra
b) $n = 2$ -tik $n = 5$ -era d) $n = 9$ -tik $n = 2$ -ra

36. Bohrren hidrogeno atomorako, zehaztu:

- a) $n = 3$ orbitaren erradioa.
b) Ba ote dagoen 4,00 Å-eko erradioko orbitarik.
c) $n = 5$ mailako energia.
d) Ba ote dagoen $-25,00 \cdot 10^{-17} \text{ J}$ -ko energia-mailarik.

Datua: $a = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$; $A = 2,17 \cdot 10^{-18} \text{ J}$.

Eraitza: a) 4,77 Å; c) $-8,716 \cdot 10^{-20} \text{ J}$

37. Hidrogeno atomo batek, oinarritzko egoeran dagoenean, $-13,625 \text{ eV}$ -eko energia du. Energia kantitate hori duela jakinik, kalkulatu:

- a) Hidrogeno atomoa ionizatzeko behar den erradiazioaren maiztasuna.
b) Uhin-luzera, nm-tan, eta igorritako erradiazioaren maiztasuna, elektroia $n = 4$ mailatik $n = 2$ mailara igarotzen denean.

Datua: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;
 $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Eraitza: a) $3,29 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$; b) 486 nm, $6,17 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

Mekanika kuantikoa

38. Metal baten gainazalean, honako haxe da erazte-lana: $E_0 = 2,07 \text{ eV}$. Egoera horretan:

- a) Zelula fotoelektrikoetan, material hori espektro ikusgaiko uhin-luzeren zer tartetan erabil daiteke? Argi ikusgaiaren uhin-luzerak 380 nm-tik 775 nm-ra bitartekoak dira.
b) Kalkulatu igorritako elektroien erazte-abiadura, uhin-luzera 400 nm bada.

Datua: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$;
 $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $m_{\text{elektroia}} = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

Eraitza: a) $380 \text{ nm} < \lambda < 600 \text{ nm}$; b) $6,03 \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

ADIBIDE EBATZIA

30. Sodio elementuaren erazte lana —edo lan-funtzioa— 2,5 eV-ekoa da. Argi erasotzailearen uhin-luzera $3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ bada, sodioaren elektroiak erazuko al dira?

Datua: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Ekuazio honen bidez kalkulatzen da fotoiaren energia:

$$E_{\text{fotoia}} = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Balioak idatzi eta kalkuluak egin ondoren:

$$E_{\text{fotoia}} = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{3 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 6,626 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Elektroi bat sodioaren gainazaletik erazteko, gutxienerako energia kantitate jakin bat behar da: erazte-lana, W_{eraztea} . Enuntziatuaren arabera, sodioaren erazte-lana 2,5 eV-ekoa da. Si sistemako unitateetan adierazita:

$$W_{\text{eraztea}} = 2,5 \text{ eV} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} = 4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Bi energia kantitateen arteko kendura elektroia askatzen deneko energia zinetikoa da. Hortaz:

$$E_{\text{zinetikoia}} = E_{\text{fotoia}} - W_{\text{eraztea}}$$

$$E_{\text{zinetikoia}} = 6,626 \cdot 10^{-19} \text{ J} - 4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_{\text{zinetikoia}} = 2,179 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Elektroiak erazti egingo dira sodioaren gainazalean $3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ -ko argi batekin argizatzean.

39. Argi monokromatikoaren sorta batek, 450 nm-ko uhin-luzera duenak, metal bati egin dio eraso. Halaber, efektu fotoelektrikoak, metal horrek 612 nm-ko atariko uhin-luzera du. Kalkulatu:

- a) Metaletik elektroiak erazteko behar den energia.
b) Metaletik askatzen diren elektroien energia zinetiko handiena.

Datua: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Eraitza: a) $3,25 \cdot 10^{-19} \text{ J}$; b) $1,17 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

40. Argiak, metal jakin batetik elektroiak erazti ahal izateko, $8,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ -eko maiztasuna behar du, gutxienez.

- a) Kalkulatu metalak igorritako elektroien energia zinetiko handiena, metala $1,3 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ -eko argi monokromatikoko batekin argizatzen denean. Adierazi eV-etan.
b) Zenbatekoa da elektroio horiekin lotuta dagoen De Broglie uhin-luzera?

Datua: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$;
 $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m_{\text{elektroia}} = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

Eraitza: a) 1,86 eV; b) $9,0 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

41. Golf-pilota bat, 50 g-ko masa duena, 500 km/h-ko abiaduran higitzen ari da. Kalkulatu golf-pilotarekin lotuta dagoen uhin-luzera. Datua: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Eraitza: $9,5 \cdot 10^{-35} \text{ m}$



42. Zenbateko abiadura higitu behar du elektroi batek haren De Broglie uhin-luzera 200 bider handiagoa izan dadin 6 eV-eko energia zinetikoa duen neutroi baten uhin-luzera baino?

Datuak: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$;
 $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;
 $m_{\text{elektroia}} = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $m_{\text{neutroia}} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

Eraitza: $3,11 \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Mekanika ondulatorioa. Zenbaki kuantikoak

43. Zenbaki kuantikoen beheko konbinazioak ikusita, arrazoiu zein diren zuzenak, eta halakoetan, adierazi zein orbital mota adierazten duten n eta l zenbakiak, baita azpimailetako orbitaletan gehienek zenbat elektroi egon daitezkeen ere.

- $n = 2, l = 0, m_l = -1, m_s = -1/2$
- $n = 3, l = 2, m_l = 1, m_s = -1/2$
- $n = 2, l = 1, m_l = -1, m_s = -1/2$
- $n = 1, l = -1, m_l = 0, m_s = 1/2$
- $n = 4, l = 3, m_l = -2, m_s = -1/2$

44. Idatzi 3p azpimailako 6 elektroiaren zenbaki kuantikoen konbinazioak.

Eraitza: (3, 1, -1, +1/2); (3, 1, -1, -1/2); (3, 1, 0, +1/2); (3, 1, 0, -1/2); (3, 1, 1, +1/2); (3, 1, 1, -1/2)

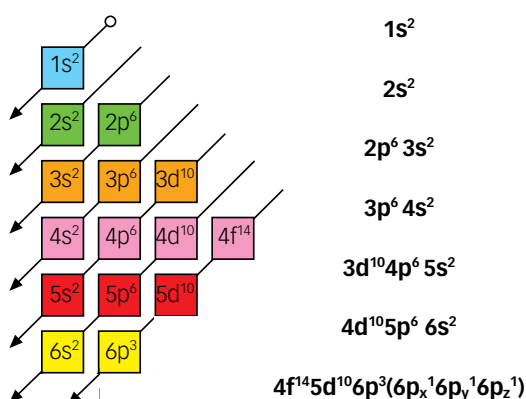
Konfigurazio elektronikoa

ADIBIDE EBATZIA

- 31 Idatzi bismutoaren (neutroa) konfigurazio elektronikoa, oinarritzko egoeran dagoela ($Z = 83$).

Elementu kimiko neutro baten zenbaki atomikoak azalean zenbat elektroi dauden adierazten du.

Mollerren diagrama lagungarri da elektroiak energia txikienetik handienara antolatzeko.



Espin bera dute 6p orbitaletan dauden hiru elektroiak. Anizkoiztasunaren printzipioari jarraituz, desparekatuta daude, bakoitza hiru orbitaletako batean.

45. Erabili Pauliren eskusio-printzipioa eta Hunden araua nitrogenoaren ($Z = 7$) eta kobreaken ($Z = 29$) konfigurazio elektronikoa deskribatzeko, oinarritzko egoeran daudela kontuan hartuta.

Eraitza: N = $1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$;
 Cu = $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 3d^{10}$

46. A eta B atomoen konfigurazio elektronikoa hauek dituzte: A ($1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$) eta B ($1s^2 2s^2 2p^6 6p^1$). Arrazoiu baieztape hauek zuzenak ala okerrak diren:

- A-k elementu bat adierazten du, eta B-k, beste bat.
- Energia behar da A-tik B-ra pasatzeko.
- Energia kantitate txikiagoa behar da B-ren elektroi bat erauzteko A-ren elektroi bat baino.

47. $Z = 19$ zenbaki atomikoa duen elementua izanik:

- Idatzi elementuaren konfigurazio elektronikoa, oinarritzko egoeran dagoela.
- Elementua oinarritzko egoeran dagoenean, kanpoan duen elektroiak zer zenbaki kuantiko izango ditu?
- Idatzi elementuaren konfigurazio elektronikoa, egoera kitzikatuan dagoela.

Eraitza: a) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$; b) (4, 0, 0, -1/2) eta (4, 0, 0, +1/2); c) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1$

Partikula subatomikoak. Jatorrizko unibertsoa

48. Esan beheko baieztapeak zuzenak ala okerrak diren, eta eman arrazoiak.

- Fotoiak quarken arteko interakzio ahuletan parte hartzen du.
- Glukoiek aukera ematen dute nukleoiek eta elektroiak bat egiteko.
- Fermioiek masa dute.
- Neutroiak u quark batez eta bi d quarkez eginda daude.

49. Bilatu informazioa Ikerketa Nuklearrerako Europako Erakundeari (CERN) buruz, bai eta partikula subatomikoak direla-eta gaur egun egiten diren esperimenduei buruz ere.

50. Marraztu denbora-lerro bat, eta bertan, jaso gertaerarik garrantzitsuenak, *Big Bangaren* hasierako unetik eguzki-sistema eratu zen arte (duela 4.800 milioi urte).

LABURPENA

1 MAGNITUDE ATOMIKOAK

Atomoak hiru partikula motaz eginda daude: protoiz, neutroiz eta elektroiz.

Partikula	Karga elektrikoa (C)	Masa (g)	Aurkitzailea/urtea
Protoia	$+1,602 \cdot 10^{-19}$	$1,673 \cdot 10^{-24}$	Eugene Goldstein 1886
Elektroia	$-1,602 \cdot 10^{-19}$	$9,109 \cdot 10^{-28}$	Joseph J. Thomson 1897
Neutroia	0	$1,675 \cdot 10^{-24}$	James Chadwick 1932

Zenbaki atomikoa, Z, nukleoko protoi kopurua da.

Masa-zenbakia, A, nukleoko partikula kopurua da.

Ioiaik; atomo batek elektroiak irabaz edo gal ditzake. Karga elektrikoarekin geratzen da, eta **ioi** bihurtzen.

Isotopoak; elementu berean, atomoek masa-zenbaki desberdinak izan ditzakete. Haien artean, **isotopoak** dira.

2 EREDU ATOMIKOEN HISTORIA

Atomoak nolakoak diren ulertzeko modua aldatu egin da historian zehar. Aldaketa horiek guztiak metodo zientifikoaren ondorio dira.

Rutherforden eredu atomikoa

1. Atomoan, masaren zati handiena eta karga positibo osoa oso eremu txiki batean kontzentratuta daude; eremu horri **nukleo** deritzen.
2. Karga positiboaren magnitudeak atomo bakoitza identifikatzen du.
3. **Elektroiak** nukleoaren inguruan higitzen dira. Nukleoko unitate positibo adina elektroia daude; beraz, atomoa elektrikoki neutroa da.

3 TEORIA KUANTIKOAREN JATORRIA

Plancken hipotesiaren arabera, f maiztasuneko erradiazio batek energia kantitate jakin bat du lotuta:

$$E = h \cdot f$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

Efektu fotoelektrikoa: elektroiak igortzen dira gutxieneko maiztasuna lortzen denean: **atari-maiztasuna**, f_0 . Maiztasun horretatik behera, ez da elektroirik igortzen.

Albert Einsteinek 1905ean proposatu zuen argia **fotoi** deritzen partikulaz osatuta dagoela, eta haien energia Plancken ekuazioaren bidez kalkulatzeko da.

Espektro atomikoa

Hidrogeno atomoan, honako hau da espektroko lerroetarako ekuazio orokorra:

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Ekuazioan, $n_1 < n_2$ da.

R : Rydbergen konstantea, $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$.

4 BOHRREN EREDU ATOMIKOA

1. postulatu. Elektroia nukleoaren inguruan biratzen da orbita zirkularretan, energia igorri gabe.

2. postulatu. Orbita posibleetan, elektroien momentu angeluarrak $h/2\pi$ zatikiaren multiplo osoa izan behar du. n **zenbaki kuantiko nagusia** da.

$$L = n \cdot \frac{h}{2\pi}$$

3. postulatu. Elektroia bat orbita jakin batetik energia kantitate txikiagoko beste orbita batera igarotzen denean, soberazko energia fotoi baten moduan askatzen da. Igorpen-espektroak fotoi horien eraginez sortzen dira.

Bohr-Sommerfeld eredua

Zenbaki kuantiko orbitalak (l) balio hauek izan ditzake: $l = 0, 1, 2, 3, \dots (n - 1)$.

Zenbaki kuantiko magnetikoak (m_l) zenbaki kuantiko orbitalaren arabera balioak ditu: $m_l = -l, \dots, 0, \dots, +l$.

Spinaren zenbaki kuantikoak (m_s) balio hauek soilik izan ditzake: $-1/2$ eta $+1/2$.

5 MEKANIKA KUANTIKOA

Uhin-korpuskulu bitasuna: partikulek uhinen gisako portaera izan dezakete, eta uhin-luzera hau dute lotuta:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

Ziurgabetasunaren printzipioa: ezinezkoa da momentu lineala eta posizioa aldi berean zehaztea:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

Orbitala: elektroia aurkitzeko probabilitate handiena dagoen espazioko eremua.

6 KONFIGURAZIO ELEKTRONIKOA

Pauliren eskusio-printzipioa: atomo bereko bi elektroik ezin dituzte zenbaki kuantiko berberak izan.

Anizkoiztasun handienaren **Hunden** araua: orbital endekatuetan (energia kantitate bera; p, d eta f) sartzen diren elektroiak ahalik eta orbital gehien okupatzen joaten dira, elektroiak ahal den desparekatuen antolatze moduan.

7 PARTIKULA SUBATOMIKOAK. JATORRIZKO UNIBERTSOA

Materia arrunta partikula egonkorrez egin dago: **protoiz**, **neutroiz** eta **elektroiz**. Partikula horien artean, elektroia baino ez da oinarritzkoa. Konbinatzen direnean protoiak eta neutroiak eratzen dituzten oinarritzko partikulei **quark** deritze. Materia osatzen duten oinarritzko partikulak **fermioiak** dira.

Interakzioak edo indarrak beste oinarritzko partikula batzuen ondorioz sortzen dira, eta partikula horiei **bosoi** esaten zaie. Partikula bakoitzak indar bat *garraiatzen* du.

Unibertsoaren bilakaera **Big Bangean** hasi zen. Hedatuz eta hoztuz, oinarritzko partikulak eta beren konbinazioak sortu ziren: **nukleosintesia**, nukleoak eratzea protoietatik eta neutroietatik abiatuta; eta **birkonbinazioa**, atomoak eratzea nukleoetatik eta elektroietatik abiatuta.

Hidrogeno atomoaren orbitalak

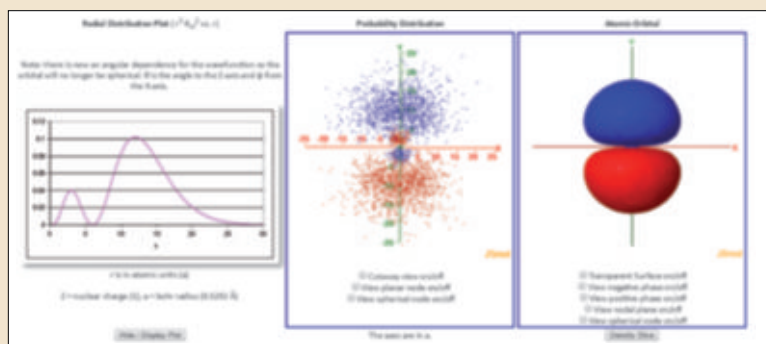
Beheko animazioaren bitartez (ingelesez dago), hidrogeno atomoaren orbitalei buruzko zenbati gauza jakin daitezke.

Helbide honetan dago animazioa:

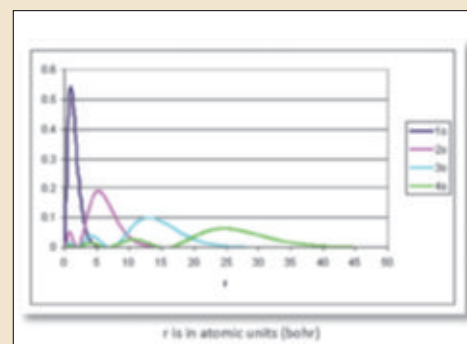
<https://undergrad-ed.chemistry.ohio-state.edu/H-AOs/orbital-intro.html>

Prozedura eta jarduerak

1. Egin klik aztertu nahi duzun orbitalean. Erreparatu ikusten den informazioari, eta begiratu elektroia topatzeko zenbateko probabilitatea dagoen nukleoarekiko distantziaren eta plano nodalaren arabera. Aztertu irudiak. Hautatu irudiak ikusteko eskaintzen diren aukerak. Adibidez, erreparatu $3p_y$ orbitala ikusten den irudiari (1. irudia).
2. Itzuli orri nagusira, eta sakatu forma bereko eta zenbaki kuantiko nagusi desberdineko orbitalak alderatzeko aukera: **The 1s 2s 3s 4s**. Aztertu neurri erlatiboak. Banaketa-funtzioaren adierazpen grafikoan (2. irudian), aztertu haietako bakoitzean ageri diren nodoak (probabilitatea zero den puntuak).



1. irudia.

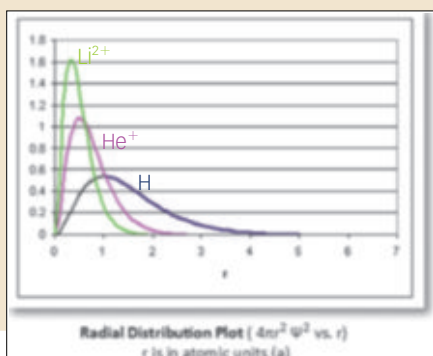


2. irudia.

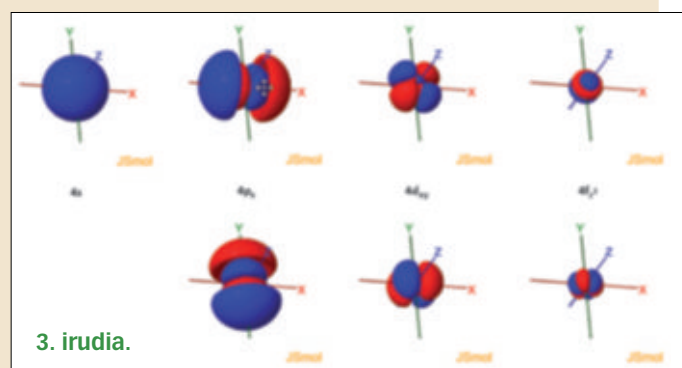
3. Ondoren, egin klik zenbaki kuantiko nagusi bereko eta forma desberdineko orbitalak aztertzeo aukeran: **The 4s 4p 4d 4f**.

Aztertu neurri erlatiboak eta orbital bakoitzak dituen nodoak, eta justifikatu zergatik den desberdina kasuan-kasuan. Kokatu saguaren erakuslea orbitalen irudiaren gainean, eta gezi laukoitz baten forma duenean, eraman erakuslea orbitalak dauden gunera, haiek birarazteko eta formak beste ikuspegi batetik aztertzeo.

4. Orain, aukeratu espezie hauen 1s orbitala ikustea: **H, He⁺, Li²⁺**. Aztertu elektroia bat topatzeko probabilitatearen adierazpen grafikoa, nukleora dagoen distantziaren arabera. Justifikatu, nukleoaren karga aintzat hartuta.



4. irudia.



3. irudia.

Kimikari analitikoaren profila

Zer egiten du?

- Material baten laginaren konposizio kimikoa aztertzen du laborategiko metodoak erabiliz.

Nola egiten du?

- Teknika analitiko aurreratu egokiena aukeratzen du problema analitiko zehatz bat ebazteko.
- Baldintza teknikoak bete direla frogatzen du, prozesu analitikoaren kalitatea ziurtatzeko.
- Esperimentuetarako lan-planak aldatzen ditu ustekabeko emaitzak lortzen direnean.

Iturria: www.ub.edu