

ACTIVITAT 1 – EIGENGAME: Introducció a la Física Quàntica

Edat recomanda: +16 anys

OBJECTIU:

L'objectiu del joc consisteix en fer aparèixer un electró en l'objectiu de color blau que es veu a la pantalla. Per aconseguir que l'electró aparegui en la posició que volem haurem de dissenyar una funció d'ona adequada escollint un potencial i energia adequats. Un cop tinguem la funció d'ona haurem de mesurar la posició de l'electró, si l'electró apareix dins l'objectiu sumarem un punt i si no perdem una vida. Cada cop que sumem un punt l'objectiu s'anirà fent més petit fins que superem el nivell 1. A partir del nivell 2 haurem d'encertar més d'un electró en diferents objectius, per tant, mesurarem simultàniament la posició de diversos electrons. Quants punts ets capaç de sumar abans de quedar-te sense vides?

MATERIAL NECESSARI:

Un ordinador per cada dos estudiants. L'executable del joc.

Pas 1: Crear un potencial $V(x)$

Primer de tot cal tenir clar que és un potencial. Els potencials van estretament lligats a la forces per la següent relació (en una dimensió):

$$\vec{F} = - \frac{dV(x)}{dx}$$

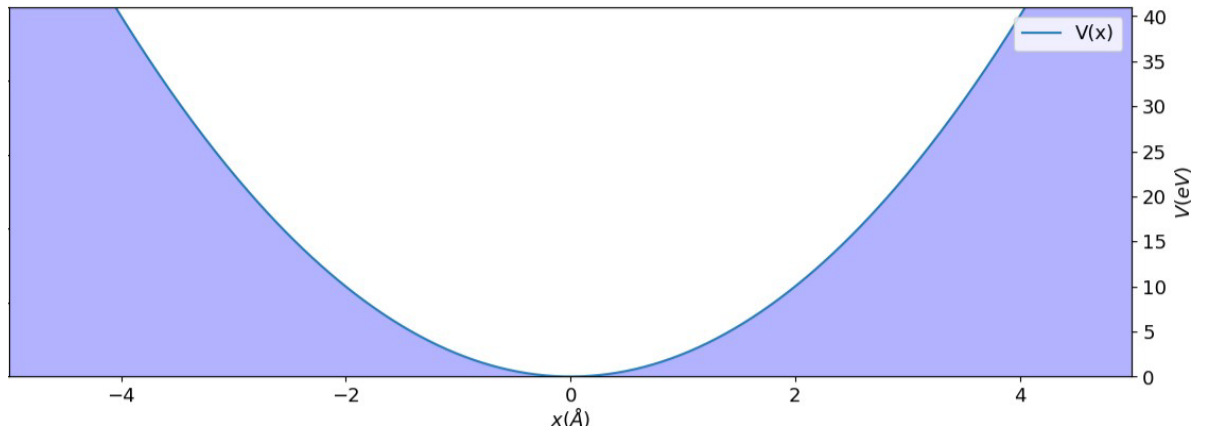
Aquesta relació el que ens diu és que la força apunta cap a potencials petits. És a dir, si tenim una pilota al punt més alt d'un potencial les forces que actuaran sobre aquesta faran que la pilota vagi cap a zones on el potencial siguin menor. Així doncs, la naturalesa mitjançant les seves forces sempre actuarà sobre els objectes per fer que aquests vagin cap a potencials menors, és per això que pujar una muntanya ens costa molt més (anem cap a potencials elevats) que no pas quan la baixem (anem cap a potencials menors).

En la creació del nostre potencial podrem triar entre quatre tipus de potencials:

- **Partícula lliure:** En aquest cas el potencial és zero a tot arreu dins la zona on pot aparèixer l'electró. No hi ha forces que actuïn sobre l'electró a part de les que fan que aquest no s'escapi de la "caixa" on juguem. Aquest potencial no es pot combinar amb d'altres i el podem aplicar prement el botó FREE o prement a la goma d'esborrar que esborra tot potencial i el fa zero:



- **Potencial harmònic:** És el potencial que s'aplica per explicar les forces en una molla o en un pèndol. És de gran utilitat en física. Té la següent forma:

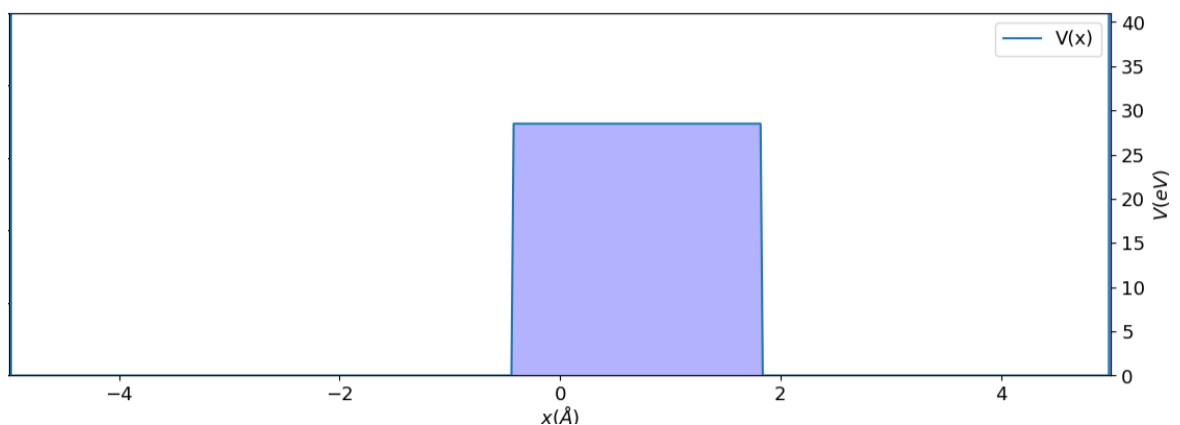


Seguint la lògica que la força va cap a potencials menors en aquest cas les forces aniran dirigides cap a la part més baixa del potencial, és a dir, cap al centre d'aquesta mena de U a la que li diem potencial harmònic. Per tant, qualsevol partícula que s'allunyi del centre del potencial sentirà un força que la farà retornar cap al centre.

Aquest potencial el podem dibuixar prement el botó amb la icona corresponent a la forma del potencial. Podrem modificar l'amplada de la U fent més grossa o més petita la K (constant de Hooke) lliscant a través de la barra i de la mateixa manera també podem desplaçar-ne el centre:



- **Barrera de potencial:** Aquest potencial serveix per representar forces repulsives i és com una paret:

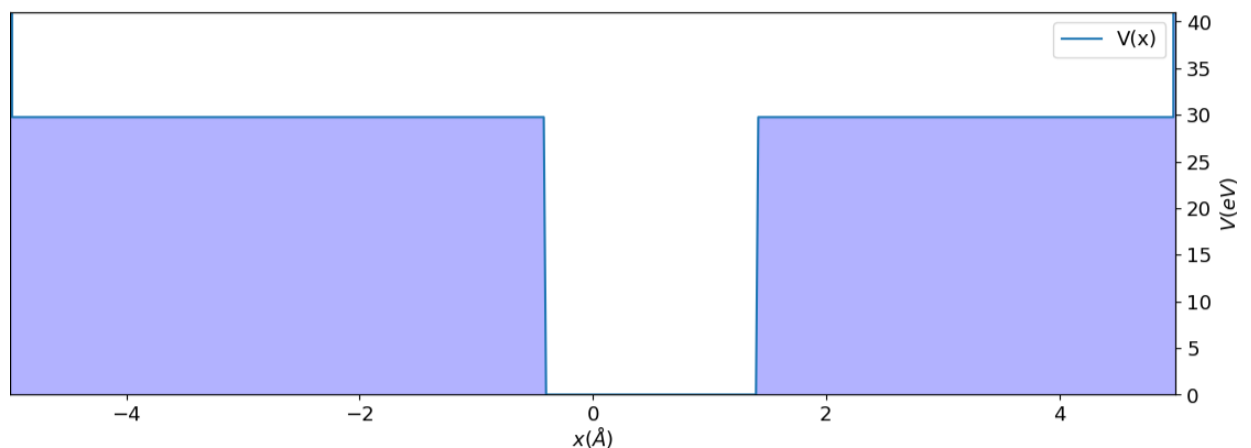


Quan vas contra una paret i xoques et fas mal ja que existeix una força en direcció contrària a la de la paret (zona on no hi ha barrera i per tant el potencial és menor). Per superar una d'aquestes parets en física clàssica cal que la partícula tingui més energia que l'alçada de la paret, en quàntica però, pot ser que travessem la paret sense tenir l'energia necessària, és el que s'anomena efecte túnel. D'energies en parlarem al següent pas.

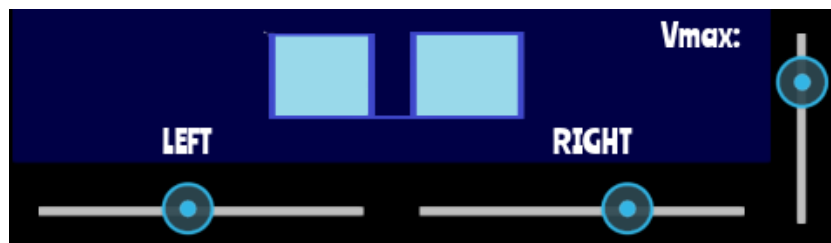
Aquest potencial el podem dibuixar prement el botó amb la icona corresponent a la forma de paret. Podrem modificar l'amplada de la paret, l'alçada i la seva posició.



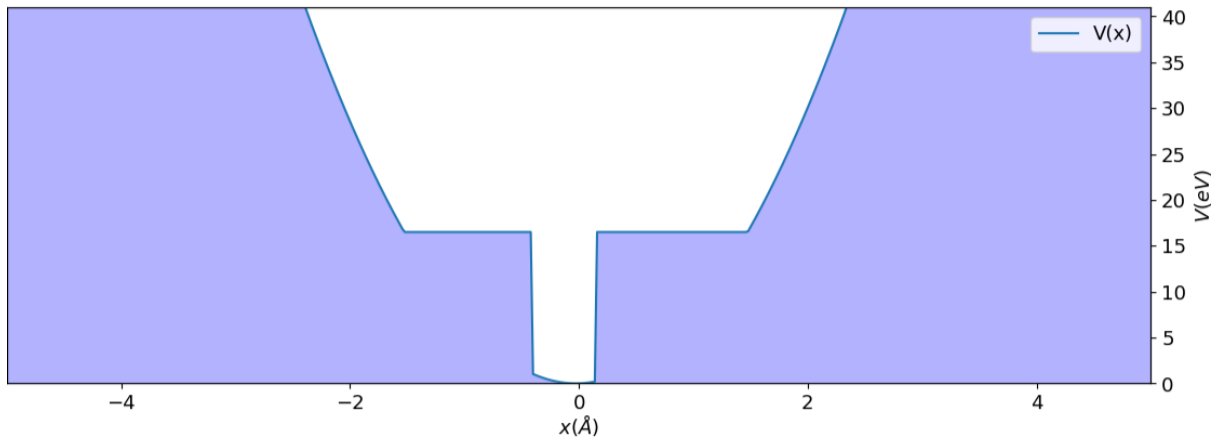
- **Pou de potencial:** Aquest potencial serveix per representar forces repulsives i consisteix en dues parets de les mencionades anteriorment posades d'avant de l'altre:



Aquest potencial el podem dibuixar prement el botó amb la icona corresponent a la forma de pou. Podrem modificar l'amplada de la paret, l'alçada i la seva posició:



Podrem combinar més d'un d'aquests potencials dibuixant un potencial sobre un que ja està dibuixat. Per exemple, combinant un pou i un potencial harmònic podem obtenir:



Pas 2: Escollir una energia

En aquest pas triarem quina energia volem que tingui el nostre electró. És aquí on trobarem la primera gran diferència entre la física clàssica i la quàntica: les energies estan quantificades, és a dir, l'electró no pot tenir qualsevol energia sinó que hi ha una sèrie de nivells energètics disponibles en els quals l'electró es pot trobar. Aquests nivells energètics venen donats per l'equació d'Schrödinger (sí, el del gat):

$$\frac{-\hbar^2}{2m_e} \partial_x^2 \phi(x) + V(x)\phi(x) = E\phi(x)$$

On $\phi(x)$ és la funció d'ona de la qual en parlarem més endavant. Els valors de E que compleixen aquesta equació són els anomenats autovalors i són les energies disponibles. D'aquests nivells n'hi poden haver uns quants o n'hi poden haver infinits però sempre n'hi haurà un, l' E_0 , que serà el mínim i al que anomenarem estat fonamental. Per tant, i per posar un exemple, l'electró no podrà tenir una energia que es trobi entre l'estat fonamental i el primer estat excitat (així és com en diem de la resta de nivells energètics) sinó que haurà de tenir o bé l'energia fonamental o bé la primera energia.

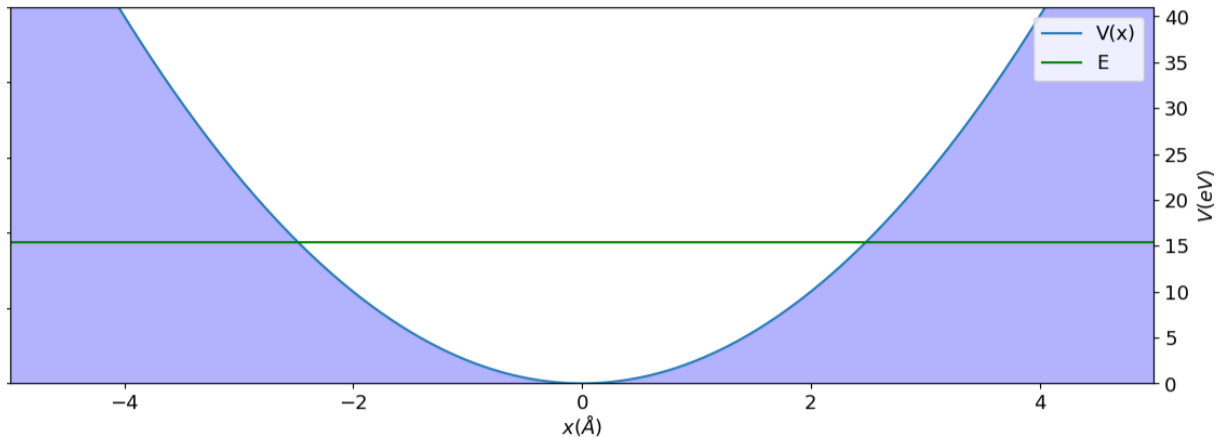
Aquests nivells energètics dependran del potencial que hàgim triat en el pas anterior. Podrem triar entre 5 nivells energètics ordenats de menys energia a més energia mitjançant els següents botons:



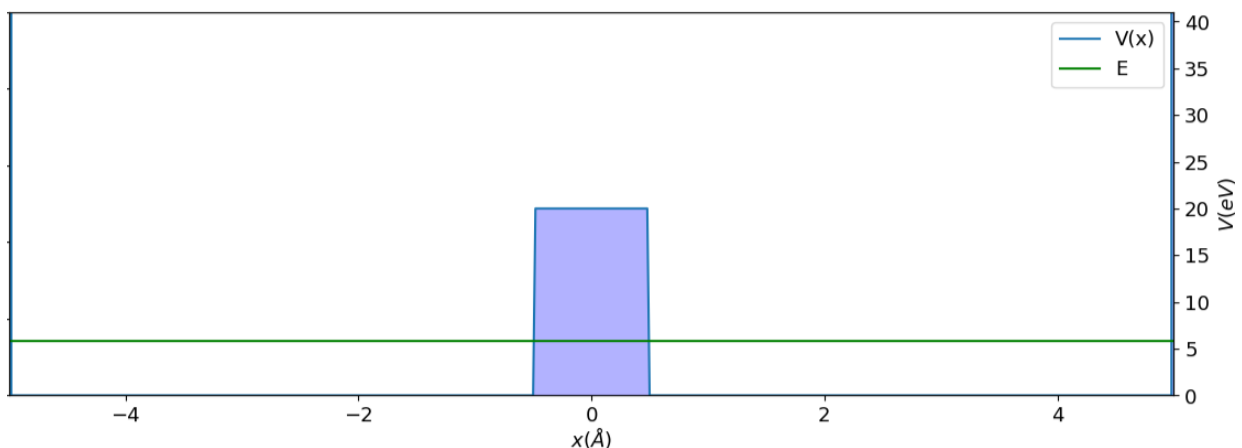
Per defecte, si no premem cap d'aquests botons, l'energia seleccionada serà la de l'estat fonamental.

Vegem ara per exemple alguns nivells energètics per els diferents potencials que hem pogut crear en el pas 1.

Potencial harmònic amb el segon nivell d'energia excitat:



Barrera de potencial amb el segon nivell d'energia excitat:



S'observa que per a diferents potencials el segon nivell d'energia es correspon a diferents valors.

Pas 3: Dibuixar la funció d'ona

La funció d'ona és potser l'element més important de la física quàntica. Tota la informació sobre una partícula quàntica ve donada per la funció d'ona. Aquesta funció d'ona resulta de resoldre l'equació d'Schrödinger mostrada abans i és el terme $\phi\phi(x)$.

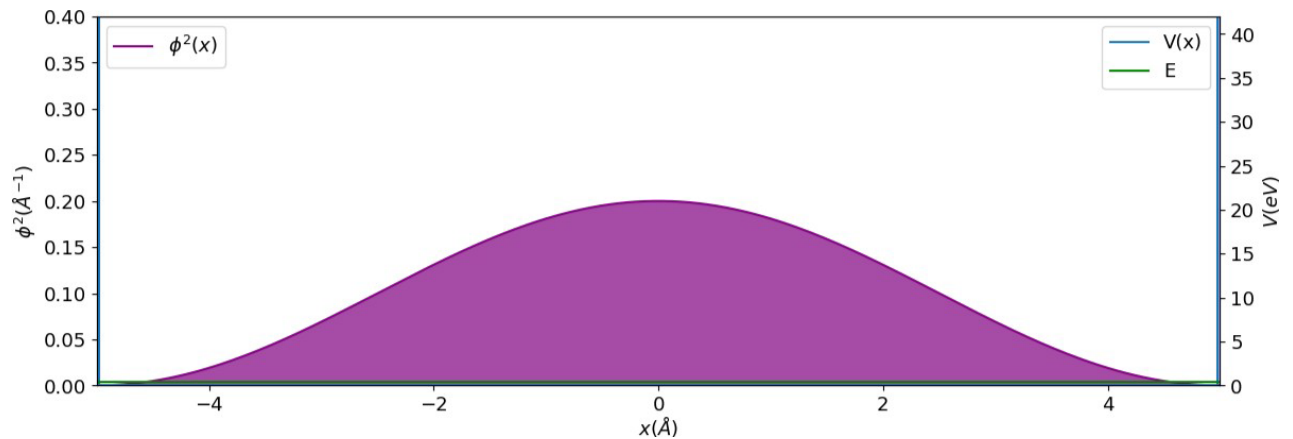
Una de les propietats més rellevants de la funció d'ona, i la que més ens interessa en aquest joc, és que quan l'elevem al quadrat obtenim la densitat de probabilitat de trobar la partícula en un cert punt. Això el que vol dir és que la funció d'ona al quadrat ens diu on és més probable que aparegui l'electró o la partícula que vulguem mesurar.

Un tret important i diferenciant respecte a la física clàssica és que en la física clàssica podem calcular la trajectòria d'una partícula i per tant conèixer amb certesa on i quan estarà aquesta

partícula, en canvi, en física quàntica tot el que podem predir és la funció d'ona, que no ens dona res més que probabilitats, així doncs, és impossible saber on és una partícula abans de mesurar-la. És per això, que en la paradoxa del gat d'Schrödinger, no sabem si el gat és mort o viu fins que no obrim la caixa (fem una mesura).

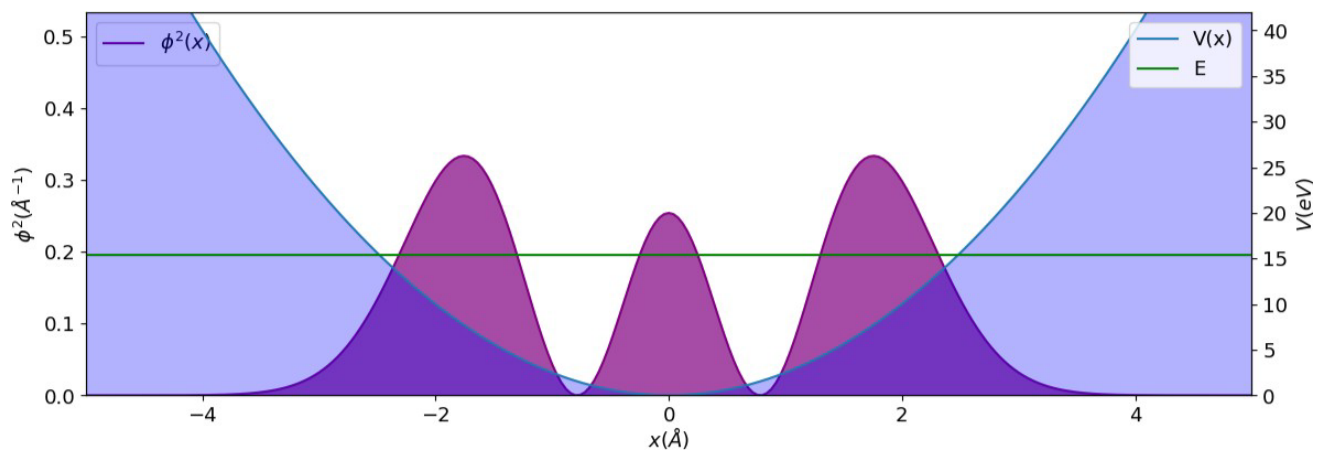
Vegem alguns exemples de funcions d'ona:

Per a una partícula lliure en l'estat fonamental:



L'electró tindrà més possibilitats d'aparèixer en el centre de la caixa.

Per a un potencial harmònic en el segon nivell excitat:



L'electró tindrà més possibilitats d'aparèixer al voltant de $x=0$ Å, $x=2$ Å i $x=-2$ Å que es corresponen als punts amb màxims de probabilitat.

Abans de mesurar la posició de l'electró podem dibuixar fins a 3 funcions d'ones amb diferents potencials i energies. Quan tinguem la funció d'ona desitjada o bé hàgim gastat els 3 intents haurem de mesurar la posició de l'electró (pas 4).

Per dibuixar una funció d'ona caldrà prémer:



On el nombre blanc indica el nombre de funcions d'ona que podem dibuixar abans de mesurar la posició de l'electró.

Pas 4: Efectuar una mesura

En aquest pas mesurarem la posició de l'electró, en cas que estiguem en el nivell 1, o de $2n-1$ electrons en cas que estiguem al nivell n .

Quan efectuem una mesura en física quàntica fem col·lapsar la funció d'ona, és a dir, si tenim una funció d'ona i mesurem la posició de l'electró i aquest apareix a $x=0$ la funció d'ona valdrà zero a tot arreu excepte en $x=0$.

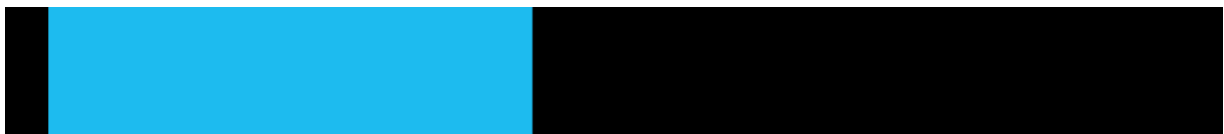
Cal recordar que la posició de l'electró vindrà determinada per la densitat de probabilitats (funció d'ona al quadrat) que s'haurà dissenyat en el pas anterior. Els llocs amb valor més gran de funció d'ona al quadrat serà on més possibilitats hi haurà de què l'electró hi aparegui.

Per mesurar la posició de l'electró caldrà prémer:



Aquest botó només apareixerà activat quan tinguem una funció d'ona dibuixada: sense funció d'ona no podem mesurar la posició de l'electró.

L'objectiu del joc, recordem, és que l'electró aparegui dins l'objectiu, que té aquesta forma:



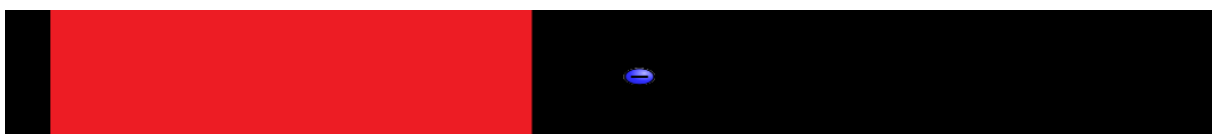
En nivells superiors a l'1 en què mesurem més d'un electró a la vegada haurem d'encertar més d'un objectiu. Per exemple, en el nivell dos haurem d'encertar dos objectius:



Si aconseguim que l'electró aparegui dins de l'objectiu aquest canviarà de color a verd, sumarem tants punts com objectius encertats i un nou o varis objectius nous (depenent del nivell en el que ens trobem) apareixeran en noves posicions. En el cas del nivell 1 el nou objectiu que aparegui serà cada cop més petit.



Si fallem, l'objectiu apareixerà vermell i perdrem una nova vida. No es generaran nous objectius fins que no encertem l'objectiu en qüestió.



En el cas de nivells amb més d'un objectiu caldrà encertat tots els objectius amb, com a mínim un electró per passar de nivell.



En aquest cas corresponent al nivell 2 observem que dels dos objectius només n'hem encertat un. En aquest cas perdríem una vida i no passaríem de nivell ni sumariem punts.

Durant el joc podem recuperar vides en cas que n'haguem perdut alguna anteriorment. Aleatòriament i de tant en tant ens trobarem amb objectius d'aquest tipus:



En aquest cas, si encertem l'objectiu, a part de sumar un punt i seguir avançant recuperariem una vida.

El recompte de punts i vides, conjuntament amb un marcador que registra la màxima puntuació efectuada apareixen en pantalla de la següent manera:


LEVEL = 1
SCORE = 0
MAX = 4

A l'inici del joc comencem amb 5 vides.

El joc està disponible en català, castellà i anglès.