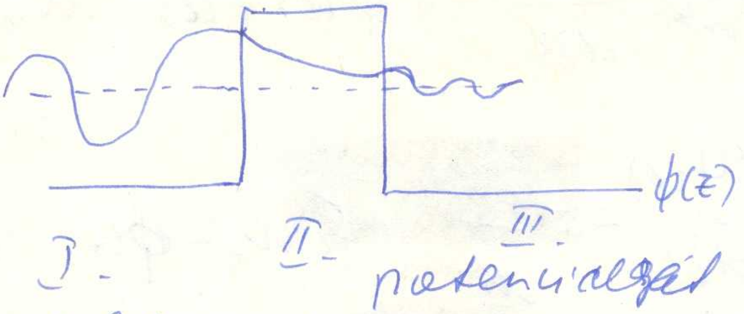
Rezonáns tunnel dióda (RTD) (RE1)

Tunnel (alagút) effektus



K_z az elektron teljes energiája
Kvantummechanikában az elektront hullámfüggvénnyel írjuk le, ami a Schrödinger egyenlet megoldása. A potenciálgáttól balra és jobbra a megoldás szinusz függvény, azonban a Sch.-egy. megoldása a gátban is létezik, ott egy exponenciális függvény a megoldás

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2}\frac{d}{dz}\frac{1}{m^*(z)}\frac{d}{dz}+\phi(z)\right]\Psi(z)=K_z\cdot\Psi(z)$$

Egydimenziós Sch.-egyenlet. $m^*(z)$ effektív tömeg közelítésben! $\Psi(z)$ az elektron hullámfüggvénye, $\phi(z)$ a potenciális energia és K_z az elektron összenergiája

Az egyes tartományokon belül $m^*(z)$ állandó,

így

$$-\frac{\hbar^2}{2m^*}\frac{d^2\Psi(z)}{dz^2}+\phi(z)\Psi(z)=\varepsilon_z\Psi(z)$$

$$\frac{d^2\Psi(z)}{dz^2}=-\frac{2m^*}{\hbar^2}\left(\varepsilon_z-\phi(z)\right)\cdot\Psi(z)$$

$\phi(z)$ egy tartományon belül minden konstans, így a fenti egyenlet megoldása, ha $\varepsilon_z-\phi(z)>0$ (I és III. tartomány)

A megoldás $\begin{cases}\sin az\\ \cos az\end{cases}$ $\quad\frac{d\sin az}{dz}=a\cos az$

$$\frac{d^2\sin az}{dz^2}=-a^2\sin az$$

innen $a^2=\frac{2m^*}{\hbar^2}(\varepsilon_z-\phi)\rightarrow a=\pm\frac{\sqrt{2m^*(\varepsilon_z-\phi)}}{\hbar}$

így a megoldás

$$\Psi(z)=A\sin\frac{\sqrt{2m^*(\varepsilon_z-\phi)}}{\hbar}+$$
$$B\cos\frac{\sqrt{2m^*(\varepsilon_z-\phi)}}{\hbar}$$

A és B két konstans értékei a határfeltételekből határozhatók meg.

rez

II. tartomány:

megoldást e^{ax} formában keressük, mert itt $\phi(z) > W_z$

$$\frac{d^2\psi(z)}{dz^2} = +\frac{2m^*}{\hbar^2}(\phi - W_z)\cdot\psi(z)$$

$$\frac{d^2 e^{ax}}{dx^2} = a^2 e^{ax} \qquad a^2 = \frac{2m^*}{\hbar^2}(\phi - W_z)$$

$$a = \pm\frac{\sqrt{2m(\phi - W_z)}}{\hbar}$$

Általános megoldás a két partikuláris megoldás lineáris kombinációja, mivel a fenti egyenlet egy lineáris diff. egyenlet

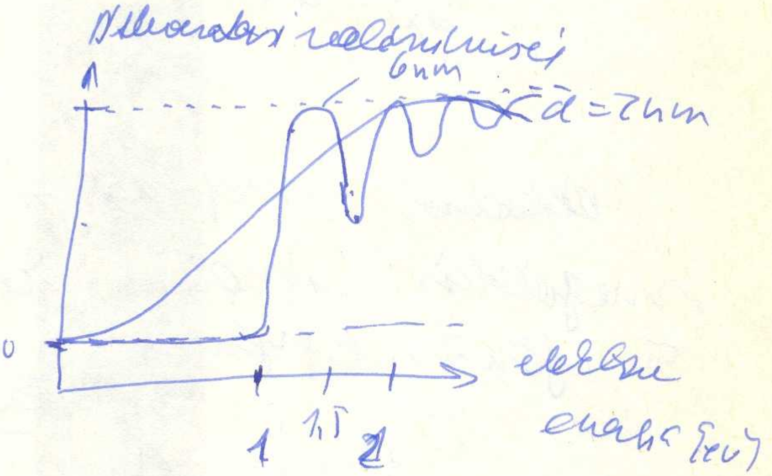
$$\psi(z) = Ae^{\frac{\sqrt{2m(\phi - W_z)}}{\hbar}\cdot z} + Be^{-\frac{\sqrt{2m(\phi - W_z)}}{\hbar}\cdot z}$$

Balról jobbra haladó hullám esetén $A=0$.

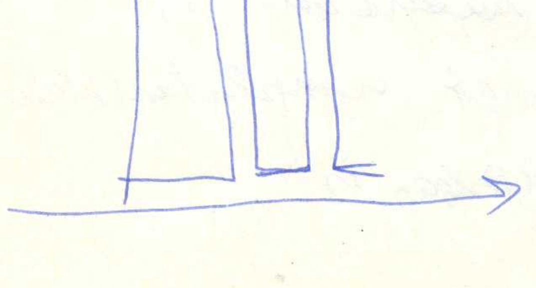
Így a potenciálgátban egy exponenciálisan csökkenő függvényt kapunk.

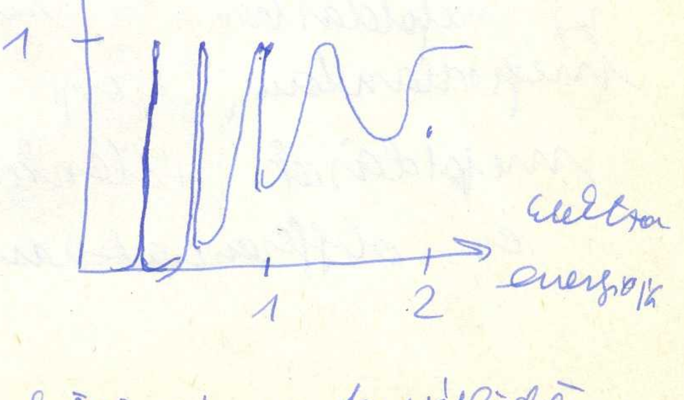
A megoldásban a konstansokat úgy kell megválasztani, hogy a határokon a megoldások illeszkedjenek amplitúdóban és differenciálhányadosban is!

Ezért a jobboldali hullám amplitudója jóval kisebb, mint a baloldali hullámé, azaz ott jóval kisebb lesz az elektronok száma.
Minél szélesebb a potenciálfal, annál kevesebb elektron jut át rajta, határesetben zérus.
Szóval, kérem: az elektron hullámcsomagok részint!



Kettős potenciálfal esetén a vastag részen egészen más helyzet áll elő!
U. n. rezonancia tunnelezés áll elő!





A kettős potenciálfal közötti potenciálvölgyben alakul ki. Ebben csak hullámok lehetségesek,

$$\frac{d^2\Psi(z)}{dz^2} = -\frac{2m^*}{\hbar^2}\left(\varepsilon_z - \phi(z)\right)\Psi(z)$$

a, ha $\varepsilon_z > \phi(z)$

a megoldás $\sin az$ helyettesítve
$\cos az$ is

$$-a^2 \sin az = -\frac{2m^*}{\hbar^2}\left(\varepsilon_z - \phi(z)\right) \sin az$$

A megoldás tehát helyes a értékre

$$a = \frac{\sqrt{2m(\varepsilon_z - \phi)}}{\hbar}$$

ϕ = konstans
e^{ikz} is
megoldás

A megoldás általános alakja így

$$\Psi(z) = A \sin\left(\frac{\sqrt{2m(\varepsilon_z - \phi)}}{\hbar} \cdot z\right) + B \cos\left(\frac{\sqrt{2m(\varepsilon_z - \phi)}}{\hbar} z\right)$$

vagy e^{ikz} megoldást feltételezve

$$i^2k^2 e^{ikz} = -\frac{2m^*}{\hbar^2}(\varepsilon_z - \phi) e^{ikz}$$

$$k = \pm \frac{\sqrt{2m^*(\varepsilon_z - \phi)}}{\hbar}$$

$$\Psi_z = A' e^{i\frac{\sqrt{2m^*(\varepsilon_z - \phi)}}{\hbar} z} + B' e^{-i\frac{\sqrt{2m^*(\varepsilon_z - \phi)}}{\hbar} z}$$

$e^{i\omega t}$-vel szorozva kapjuk az időfüggő megoldást, ami egy hullámegyenlet.

$$e^{i(\omega t \pm kz)} \qquad k \text{ a hullámszám}$$

Hullámhossz: $k(z+\lambda) = kz + 2\pi$

$$k\lambda = 2\pi$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2m^*(W-\Phi)}} = \frac{h}{\sqrt{2m^*(W-\Phi)}}$$

Ha $W<\Phi$, az egyenlet akkor is megoldható, eredménye egy exponenciális fv.

$$\frac{d^2\psi(z)}{dz^2} = \frac{2m^*}{\hbar^2}(\Phi-W)\psi(z) \qquad e^{ax}$$

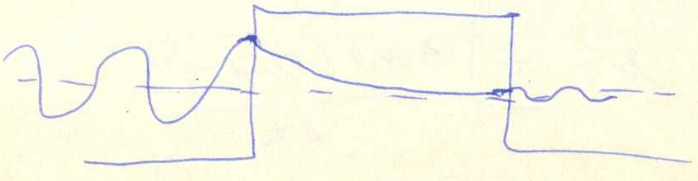
$$a^2 e^{ax} = \frac{2m^*}{\hbar^2}(\Phi-W)e^{ax}$$

$$a = \pm\frac{\sqrt{2m^*(\Phi-W)}}{\hbar}$$

Az általános így

$$\psi(z) = Ae^{\frac{\sqrt{2m^*(\Phi-W)}}{\hbar}z} + Be^{-\frac{\sqrt{2m^*(\Phi-W)}}{\hbar}z}$$

Ha a hullám balról jobbra halad, $A=0$



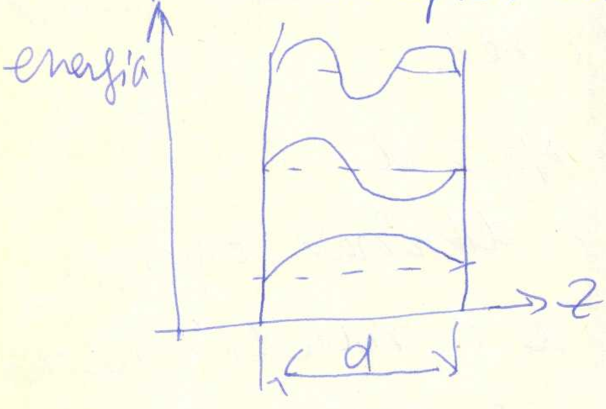
Határfeltételek a megoldásokat amplitúdóban

-és gradiensben illeszteni kell.
(A gradiensnek hűp az áram!)

Kettős potenciálgát.

Végtelen magas potenciálgátak esetén

$\alpha = \infty$ mivel $\phi - W = \infty$; az elektron egyáltalán nem tud behatolni a potenciálgátba. Az illesztés miatt tehát a potenciálgátnál Ψ értéke zérus.



Igen a lehetséges hullámhosszak

$i \cdot \frac{\lambda}{2} = d$

ahol $i = 1, 2, 3 \ldots$

d a potenciálgödör szélessége.

λ értéket felhasználva

$$\frac{h}{\sqrt{2m^*(W-\phi)}} = \frac{2d}{i}$$

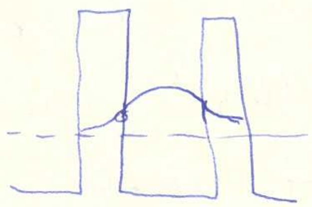
$$W - \phi = \frac{h^2 i^2}{8d^2 m^*}$$

$$\boxed{W = \phi + \frac{h^2 i^2}{8d^2 m^*}}$$

Most az elektron csak bizonyos diszkrét energiaszintekben létezhet.

Minél keskenyebb a potenciálfal, annál nagyobb a nívók közti távolság

Véges magasságú potenciálgödrös esetén az elektron ki tud tunnelezni a potenciálfalba is, a potenciálfalnál ψ értéke nem zérus!



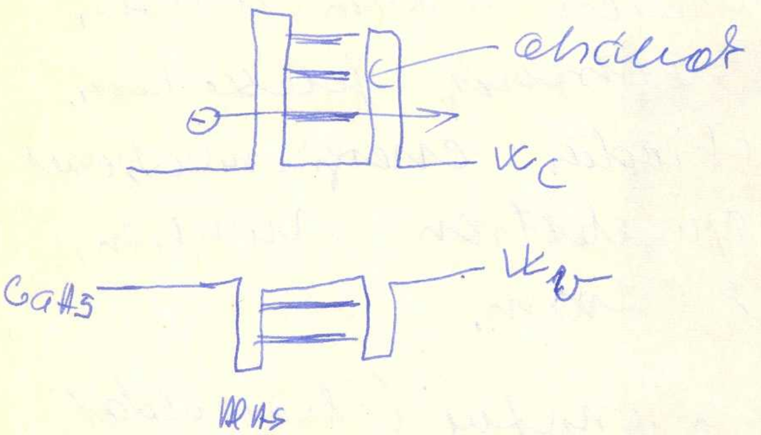
A potenciálgödör szélessége így valamivel kisebb λ/2-nél.

i.e. $\lambda/2 > d$

De továbbra is csak diszkrét energiaszintek létezhetnek, de a nívók száma véges, mert egyesek elérik a potenciálfal tetejét! Minthogy minél keskenyebb a potenciálfal, annál távolabb vannak a nívók egymástól, de ezért annál kevesebb megengedett nívó lesz a potenciálgödörben adott gátmagasság esetén.

Potenciálgödör [illegible] ~~test~~ belsejében

Vezetési sávban, de a vegyértéksávban is lehet. Ekkor a sávokban lévő megengedett energianívók a potenciálgödörben alsávokká tömörülnek.

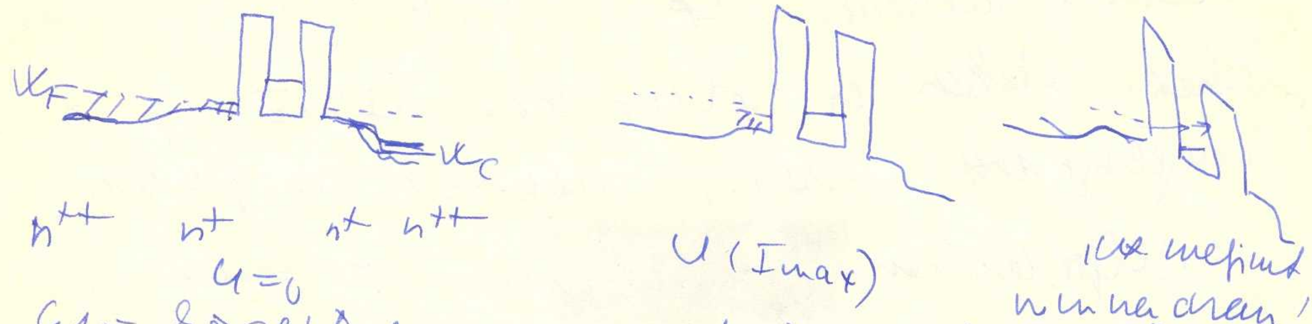


Rezonáns tunnelezés akkor ~~tör~~ történik, ha az elektron energiája azonos valamely alsáv energiájával! Ekkor az átbocsátási tényező akár 1 is lehet!

RTD (Resonant tunnel diode)

A rezonáns tunnelezés másik feltétele, hogy az elektron a potenciálgödörben ne szóródjon! Ezért széles potenciálgödrök esetén nem lép fel a rezonáns tunnelezés!

Az RTD felépítése



Ebben az esetben a vezetési sávban a Fermi-nívó alatt vannak elektronok, felette nem. Ezért a potenciálgödör energiaminimumával megegyező energiájú elektron nincsen, ezért nem folyik áram.

A struktúrát előfeszítve (bal oldal negatív, jobb felett pozitív) a Fermi-nívó eléri a potenciálgödör energiaminimumát, megindul az áram. Tovább növelve a feszültséget nő az áram, majd csökken, mert az elektronokat tartalmazó energiaintervallum egyre kevésbé esik egy magasságba a potenciálgödör minimumával.