

$$J_{\text{drift}} = q_f \mu_p p E + q \mu_n n E$$

A hand-drawn graph showing the relationship between the number of DNA molecules (N_{DNA}) on the x-axis and the number of nucleosomes (μ_n) and nucleosome pairs (μ_p) on the y-axis. The y-axis is labeled $\mu_n \mu_p$ at the top. The x-axis is labeled N_{DNA} at the right. Two curves are plotted: μ_n starts at 1100 on the y-axis and decreases as N_{DNA} increases; μ_p starts at 400 on the y-axis and also decreases as N_{DNA} increases. A vertical line is drawn at $N_{DNA} = 300$, with horizontal segments indicating values of 100 and 100 on the y-axis.

۴۲ صَدَقَ قَدْ رَأَى فِيهَا حَفَرَهَا
۴۳ " " " " " "

9f, 1, 1

رائش حاصل ہو گا

$$j_{\text{edrift}} = q n_p p \vec{E}$$

$$J_{\text{drift}} = q n n \vec{E}_0$$

$$j_{\text{drift}} = q (\mu_n n + \mu_p p) \vec{E}$$

$$a_j = a_j$$

طریق احمد

$$\Phi = q (\mu_n n + \mu_p p)$$

$$\rho = \frac{1}{q(\mu_{nn} + \mu_{pp})} \text{ مقاومت ویژه}$$

mobility
 قابلیت حرکت حاصل هار داخل بلور است که به عوامل ۳: جذب گرمی - دما - مقدار ناخالصی ضد تابش تغیر سیگما

Scattering [برغور - انحراف] است که هر چه عوامل یا شرایط اسکترینگ بیشتر باشد، شدت پخش بیشتر می‌شود.

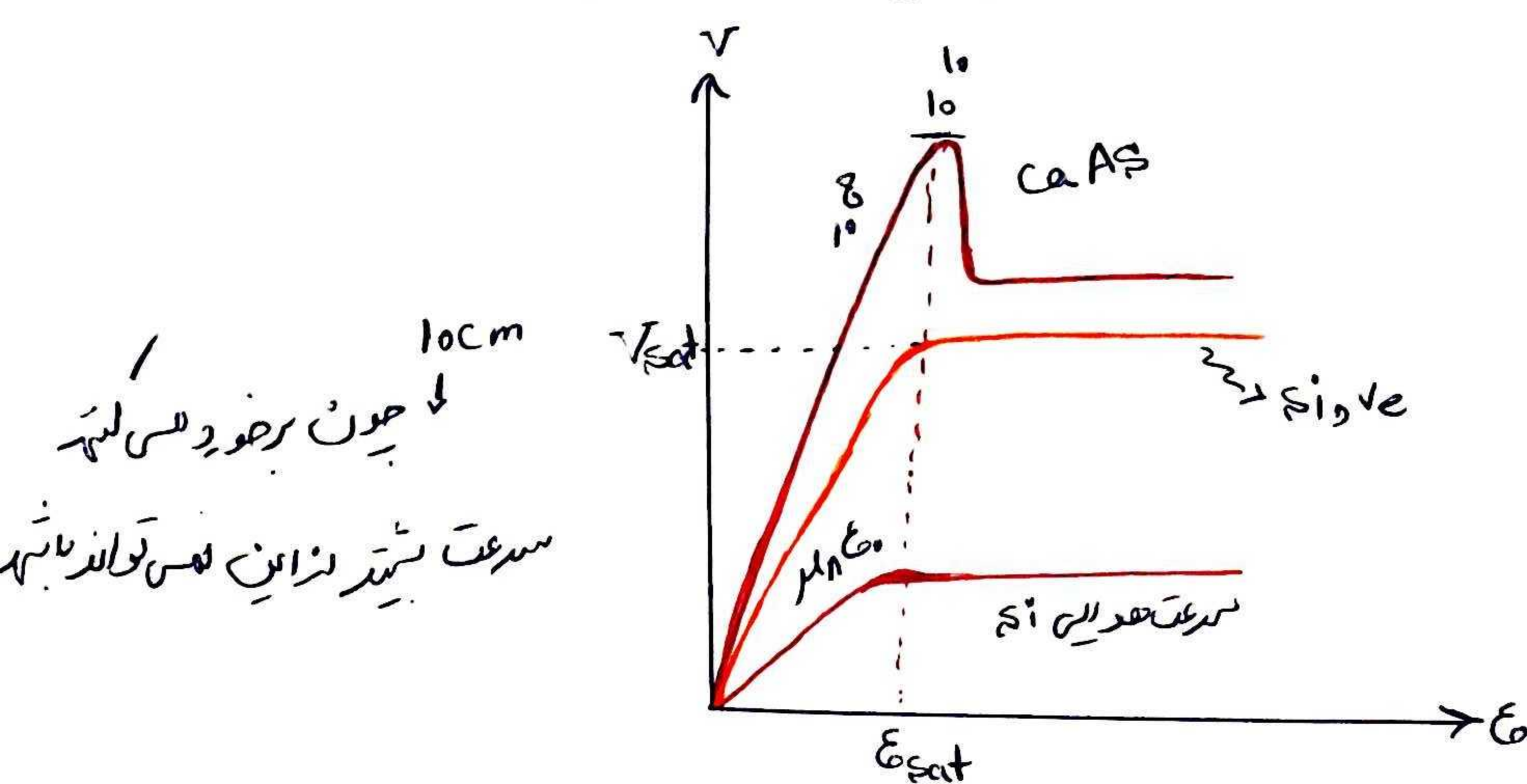
جنس : هر ماده ای که خاطر ساخته، انسانی خود استندین خالص دارد جهت بلوری در صورت الکترولیت و عنصر جهت برای در دروس

صنعت تکرر فیزیکی جهت های مطهر و البسته است.

$$\vec{v}_e = \mu_n \vec{E}$$

* این رابطه تا اندازه ای که بر خودها غالب شوند درست است و دلیل استیجاری زیاد به یک حدی که سرعت اشباع باشد می باشد.

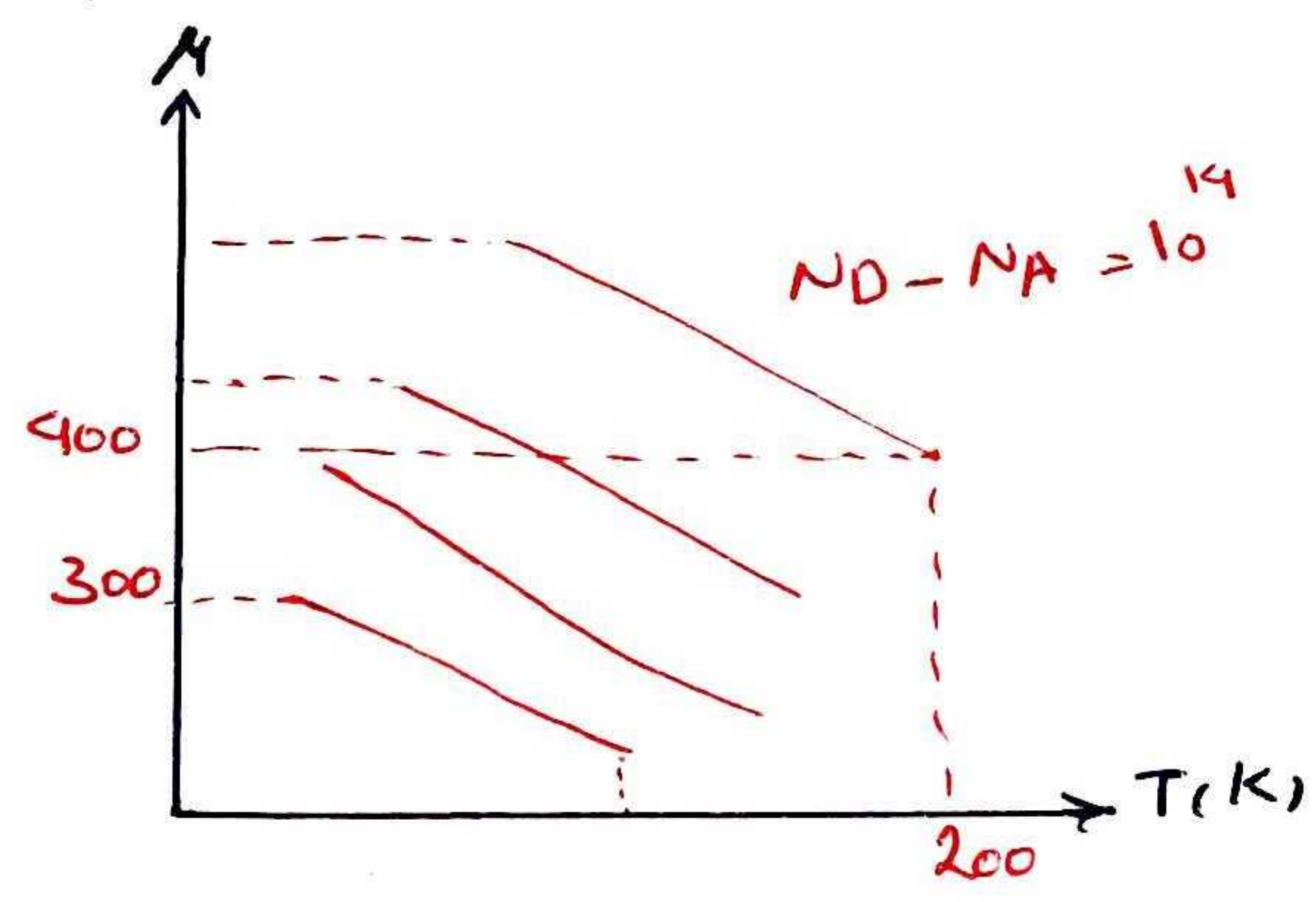
یون میدان ثابت است پس در واقع μ_n محدود دارد.



* معمولاً سرعت حفره ها کمتر از است در واقع μ_p از μ_n کوچکتر است.
 جنس اهمیت دارد چون روی رانش جریان اثر دارد.

> ما 8 افزایش دما باعث افزایش دززش شده می شود.

حرکت ذره میدان معکاسی ایجاد می کند. برخورد ها افزایش می یابد و در نتیجه ضربه تحریک پذیری کاهش می یابد.
 اثر دما شدیدا است به شرطی که ناخالصی ها کم باشد.



ناخالصی 8 افزایش ناخالصی باعث ایجاد یونهای ثابت باعث پراکندگی و برخورد حامل ها می شود در نتیجه ضربه تحریک پذیری کم می شود.

با توجه به این که افزایش ناخالصی باعث کاهش ضربه تحریک پذیری می شود و باعث افزایش n و p می شود حاصل ضرب های $n \mu_n$ و $p \mu_p$ در رابطه های جریان اهمیت دارند که با توجه به اعداد علمی مقدار حاصل ضرب افزایش خواهد داشت.

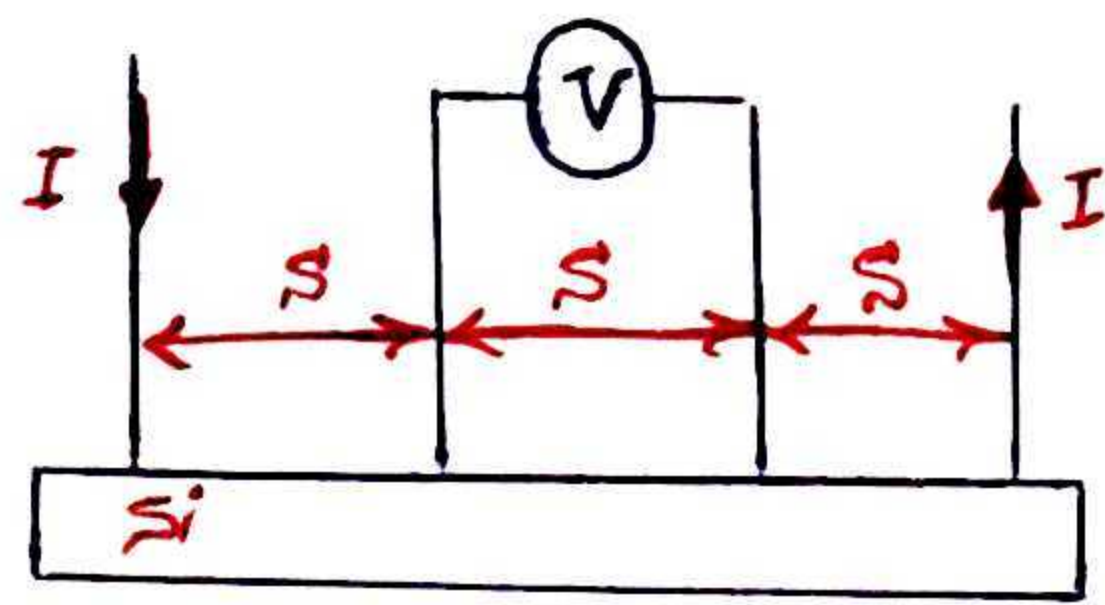
$$N_D: 10^{14} \rightarrow 10^{18} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \mu_n = 1000 \rightarrow 4000 \\ n = 10^{14} \rightarrow 10^{18} \end{array} \right.$$

با افزایش جریان رانش پراکندگی می شود و مقاومت و نثره کاهش می یابد.

$$10^{17} \sim 10^{20}$$

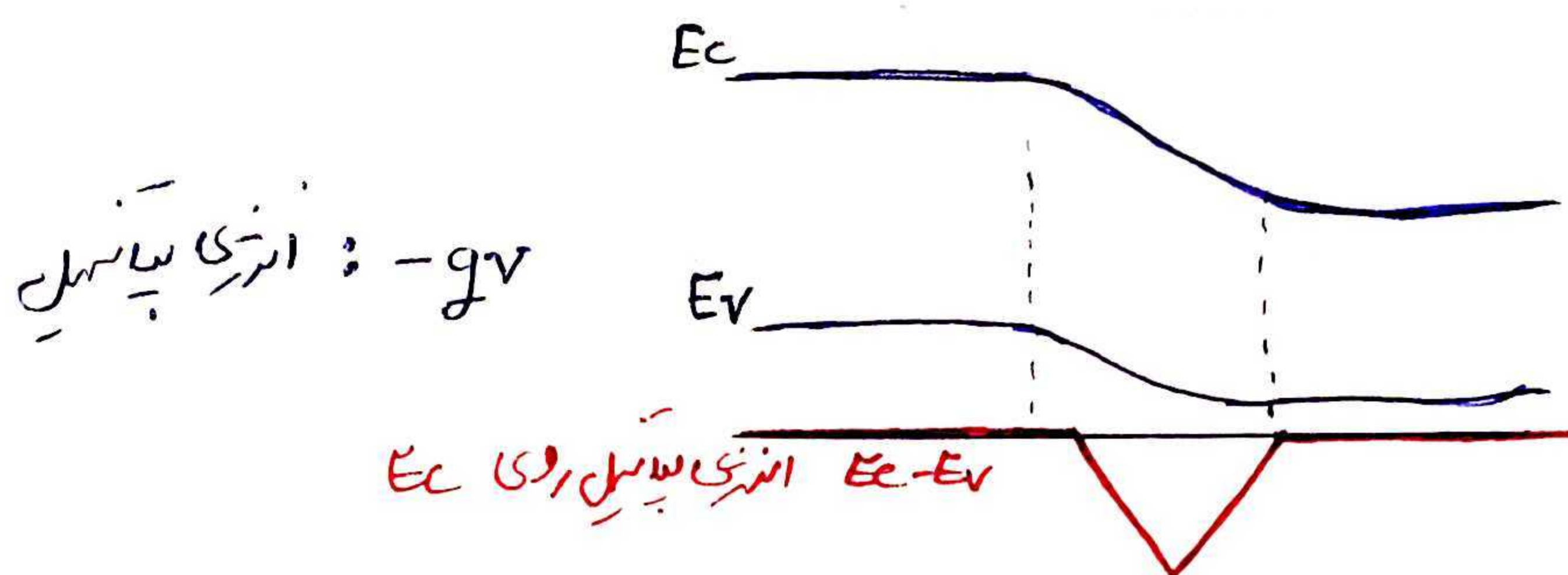
اگر $N_A = N_D$ باشد و این نیم رسانا شبه ذاتی گویند
 تفاوت این نیم رسانا با ذاتی آن است که در آن کاهش می یابد و مقاومت و نیزه آن بیشتر از نوع ذاتی است زیرا
 در ذاتی n و p هر بزرگتر است.

روش اندازه گیری چهار پروب 8



$$\rho = 2\pi s \frac{V}{I} \tau$$

ضرب القیبراسیون



خم شدن نوک Band Bending

انرژی پتانسیل الکترون روی E_C

$$= E_C - E_{ref}$$

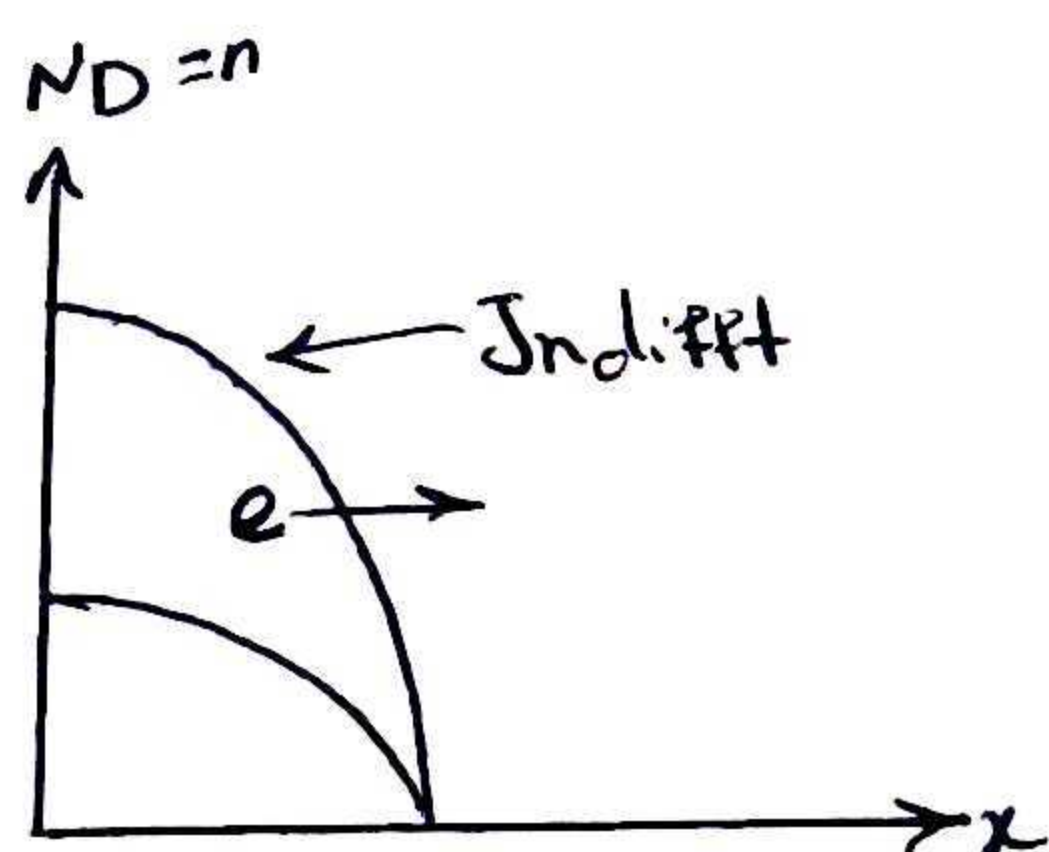
$$E_C - E_{ref} = -qV$$

$$\rightarrow V = \frac{E_C - E_{ref}}{-q}$$

$$\vec{E} = -\nabla V = \frac{1}{q} \nabla (E_C - E_{ref}) = \frac{1}{q} \nabla E_C$$

$$E_x = \frac{1}{q} \frac{dE_C}{dx} = \frac{1}{q} \frac{dE_V}{dx} = \frac{1}{q} \frac{dE_i}{dx}$$

$$\frac{dE_i}{dx} = q E_x$$



تغوز و Diffusion (صاف می بار)

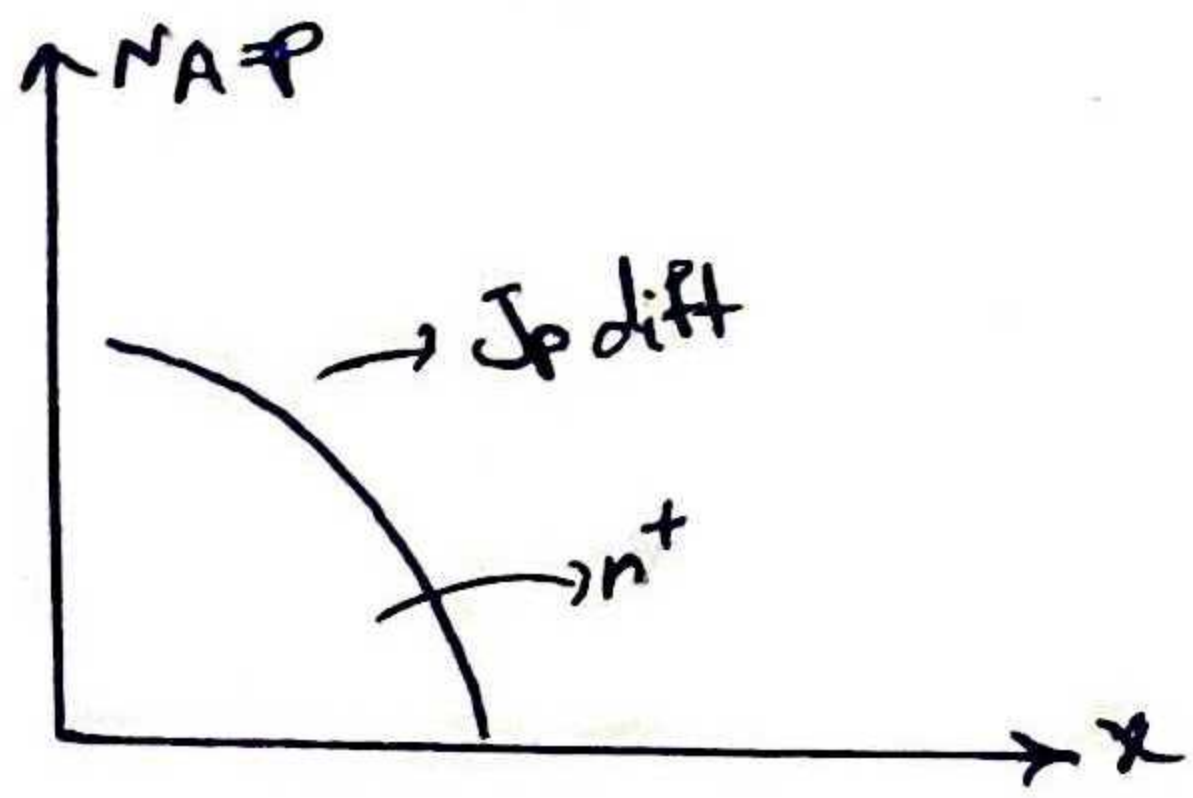
جریان تغوز الکترون

$$J_{ndiff} \propto \frac{dn}{dx}$$

$$J_{ndiff} = D_n \frac{dn}{dx}$$

D_n ← ضرب تغوز الکترون

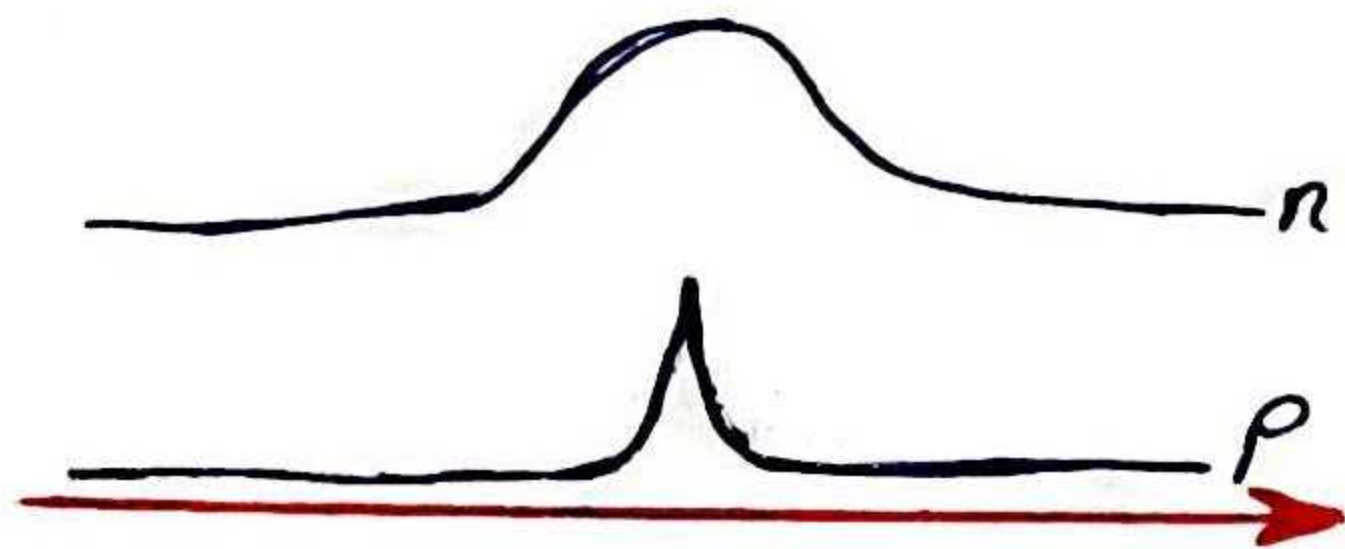
$$J_{ndiff} = q D_n \nabla n$$



$$J_{p \text{ diff}} = -q D_p \frac{dp}{dx}$$

D_p : ضریب نفوذ حفره

جریان نفوذ $J_{p \text{ drift}} = q D_n \nabla n - q D_p \nabla p$

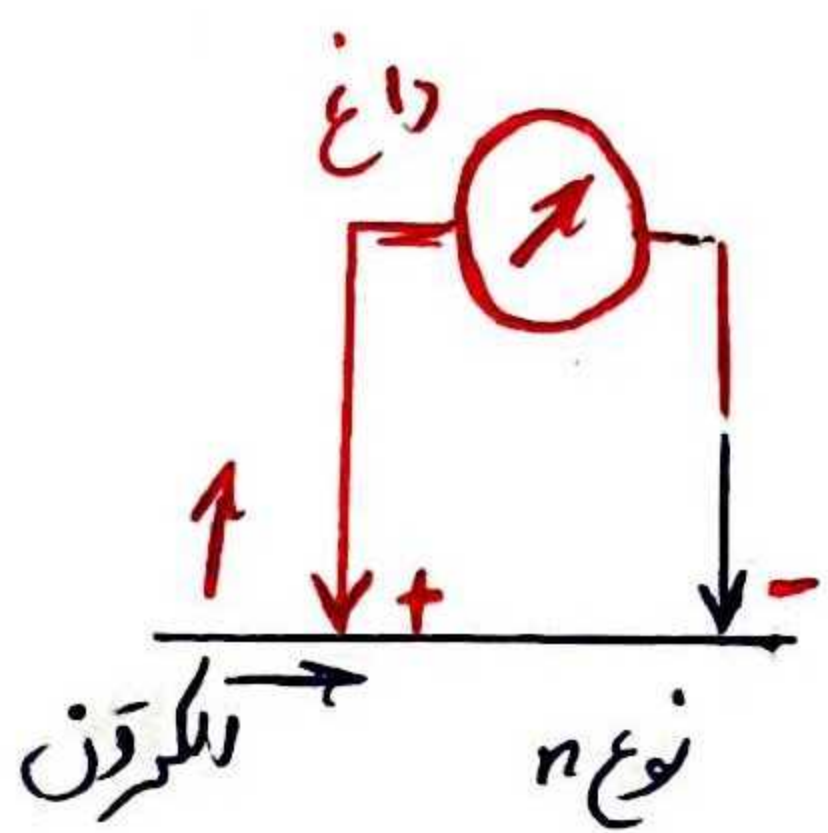


قبل حذف الکترون $D_{\text{diff}} = q \mu_n n E \gg q \mu_p p E$

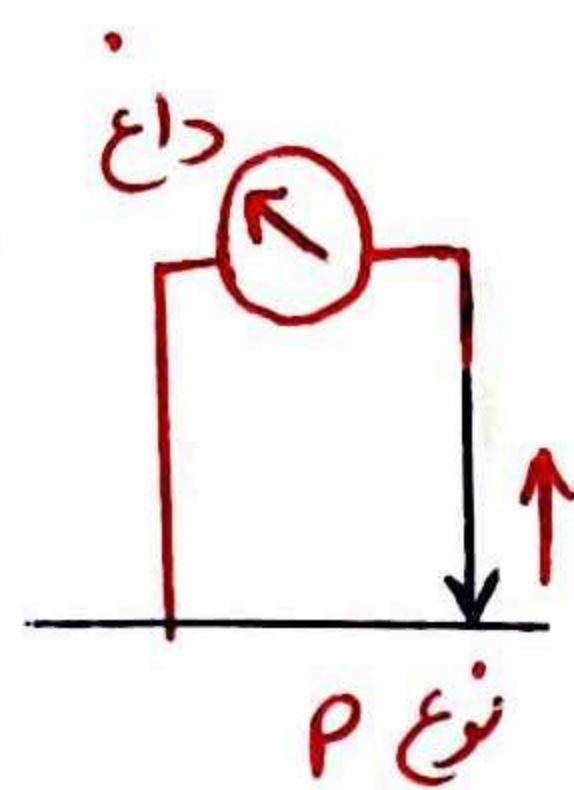
$$J_{\text{diff}} = q D_n \frac{dn}{dx} - q D_p \frac{dp}{dx}$$

$$\begin{cases} J_n = J_{n \text{ drift}} + J_{n \text{ diff}} \\ J_p = J_{p \text{ drift}} + J_{p \text{ diff}} \end{cases}$$

آزمایش:



وقتی به جریان وارد کردیم دفع
نوع n



وقتی جریان از بیرون
دفع وارد نمی‌شود
نوع p است.

$$\frac{D_n}{\mu_n} = \frac{D_p}{\mu_p} = \frac{kT}{q}$$

در حالت تعادل $J_n = 0$

$$J_n = q \mu_n n E + q D_n \frac{dn}{dx} = 0$$

$$n = n_i e^{\frac{E_F - E_i}{kT}}$$

$$\frac{dn}{dx} = n_i \frac{d \frac{E_F - E_i}{kT}}{dx} e^{\frac{E_F - E_i}{kT}}$$

$$\frac{dn}{dx} = n \cdot \frac{1}{kT} \cdot \left(\frac{dE_F}{dx} - \frac{dE_i}{dx} \right) = n \cdot \frac{-1}{kT} \frac{dE_i}{dx} = n \frac{-1}{kT} q E \rightarrow$$

در حالت تعادل برابر صفر است

$$q \mu_n n E - q D_n n \frac{1}{kT} q E = 0$$

$$\mu_n = D_n \frac{q}{kT} \quad \text{یا} \quad \frac{D_n}{\mu_n} = \frac{kT}{q}$$

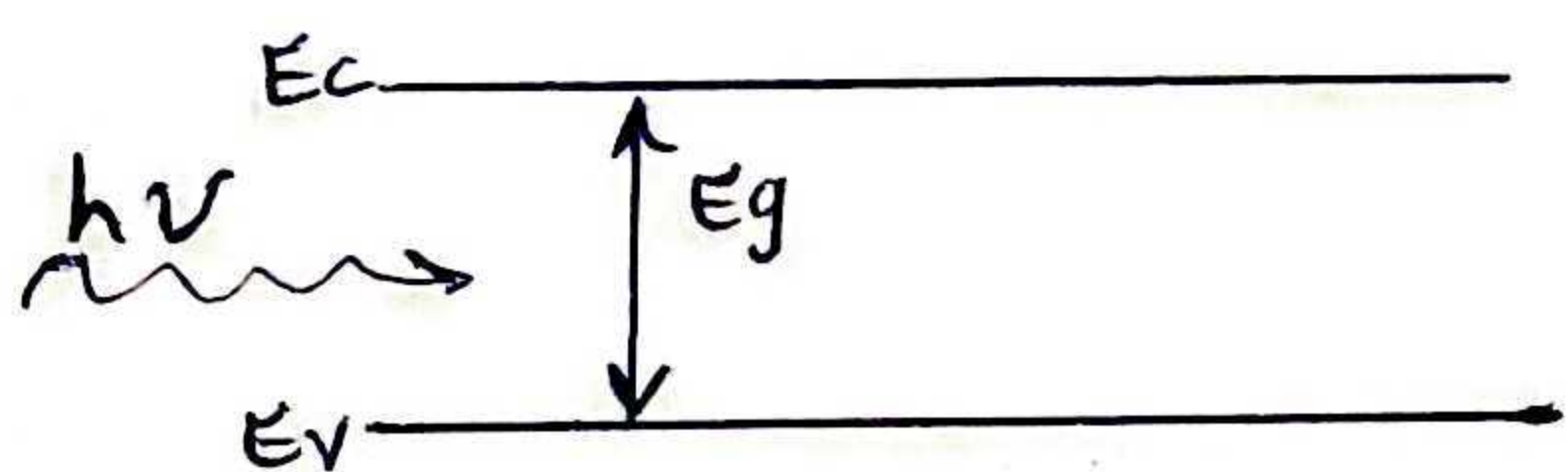
به همین ترتیب

$$\frac{D_p}{\mu_p} = \frac{kT}{q}$$

Recombination - Generation

۳- تولید و بازترکیب

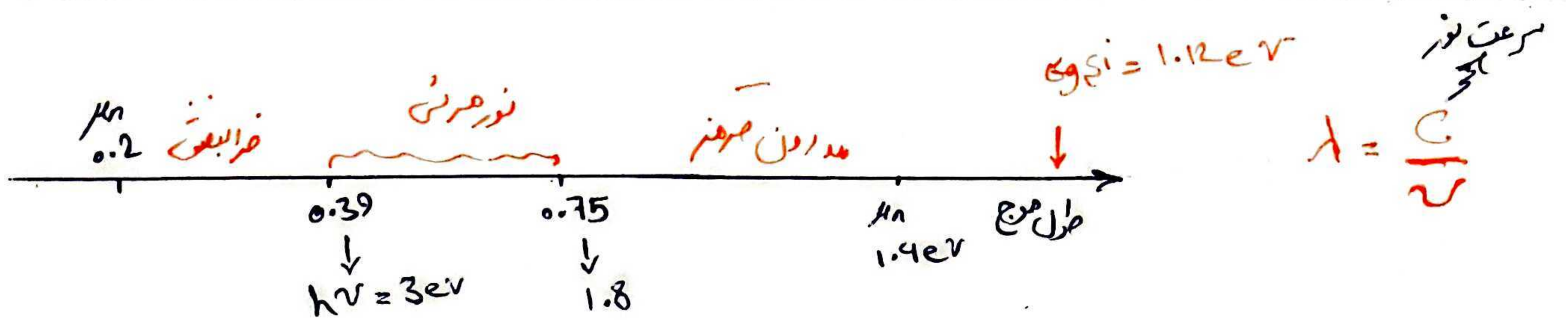
تولید:



انرژی تابیده شده $h\nu$

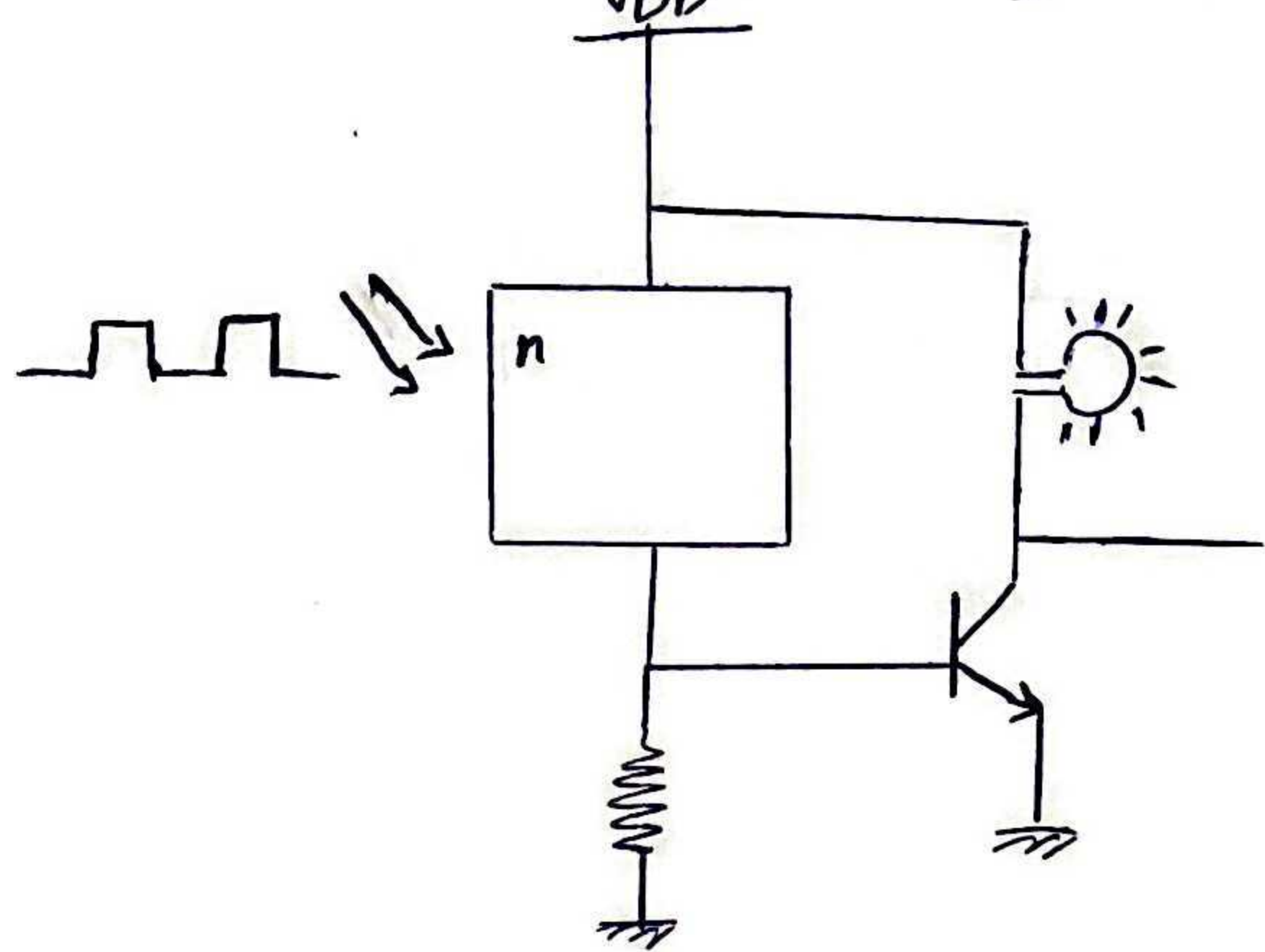
اگر $h\nu \geq E_g$ باشد الکترونهای نور و الکترون می تواند به نوار هدایت برود و هر دو ای انرژی $(h\nu)$ متغیر به یک انتقال الکترون می شود که در نهایت یک زوج حامل (الکترون و حفره) تولید می شود به این پدیده **تولید** گویند حاصل این کار را جذب گویند

مثلاً اگر نور تابیده شده دارای $h\nu = 1.4 \text{ eV}$ باشد می توان توسط Si جذب شود زیرا $E_g = 1.12 \text{ eV} < h\nu = 1.4$

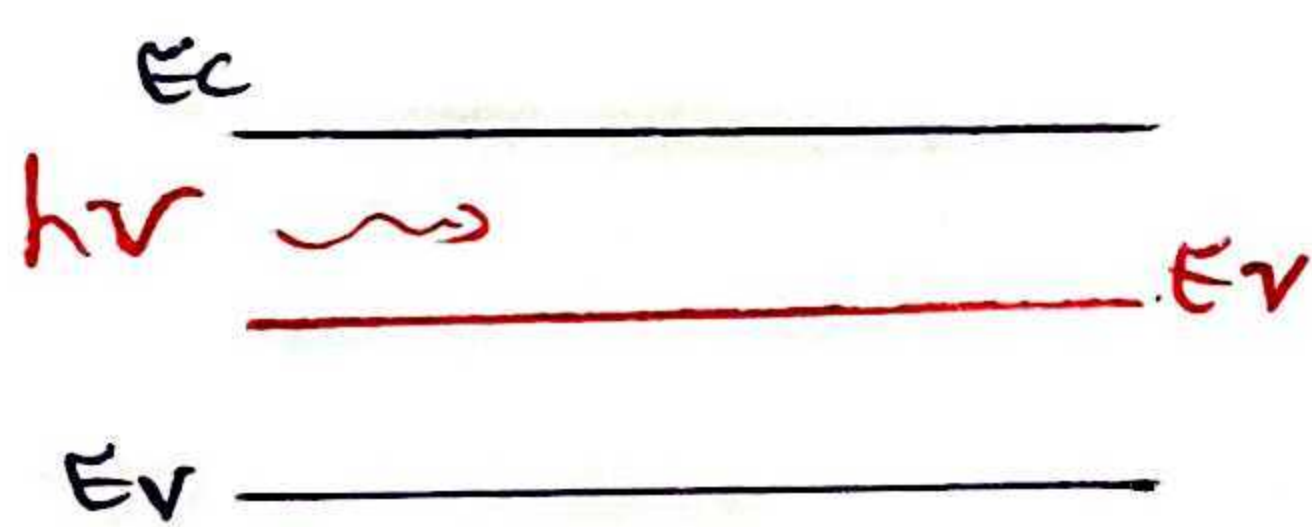


اساس کار آشکارسازها (detector) که درگیرنده‌های مخاطرات نوری استفاده می‌شود و حسگرهای نوری و سلول‌های خورشیدی همین بزرگه جذب است.

* در اثر تولید و جذب انرژی تعداد حامل‌ها افزایش می‌یابد و نیمه رسانا به حالت غیر تعادل می‌رود.



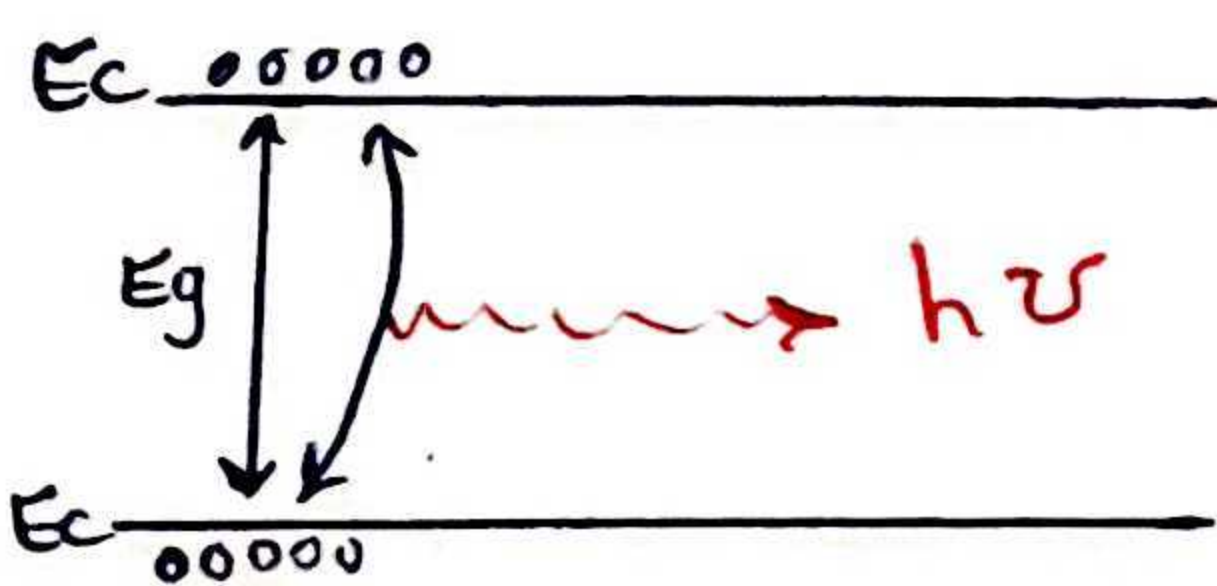
* در بعضی نیمه رساناها برای تولید بیشتر مدان ناخالصی اضافه می‌کنند که باعث می‌شود در واسطه باز و منبسط یک تراز انرژی ایجاد کنند و اثر آن انرژی تأخیر به صورت جذب می‌شوند.
✓ به این ترازها تراز تولید و بازترکیب گویند.



مثلاً AV به ZnO اضافه شود

برای تولید همواره جنس ماده باید طوری انتخاب شود که E_g آن مناسب برای $h\nu < E_g$ باشد.

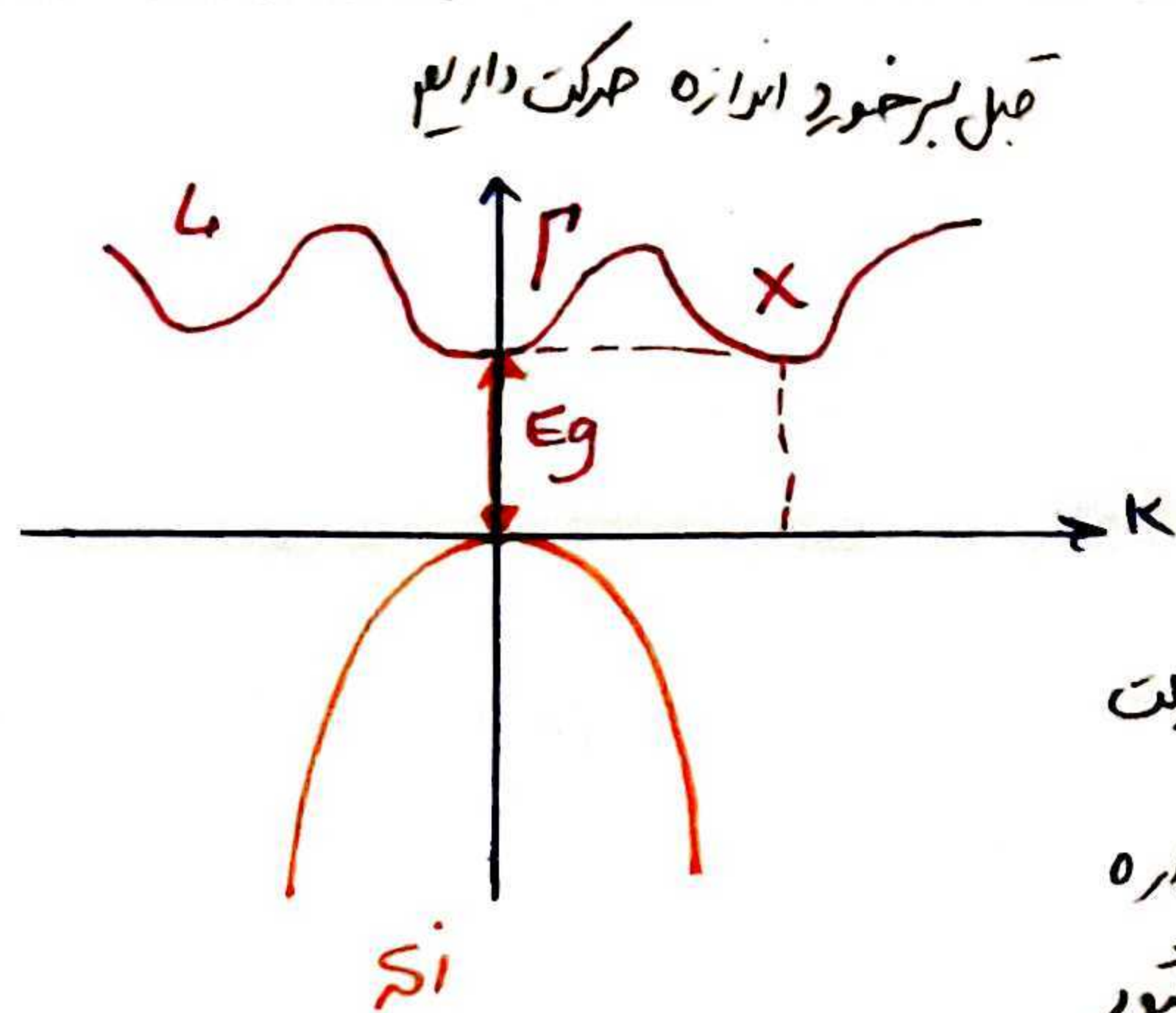
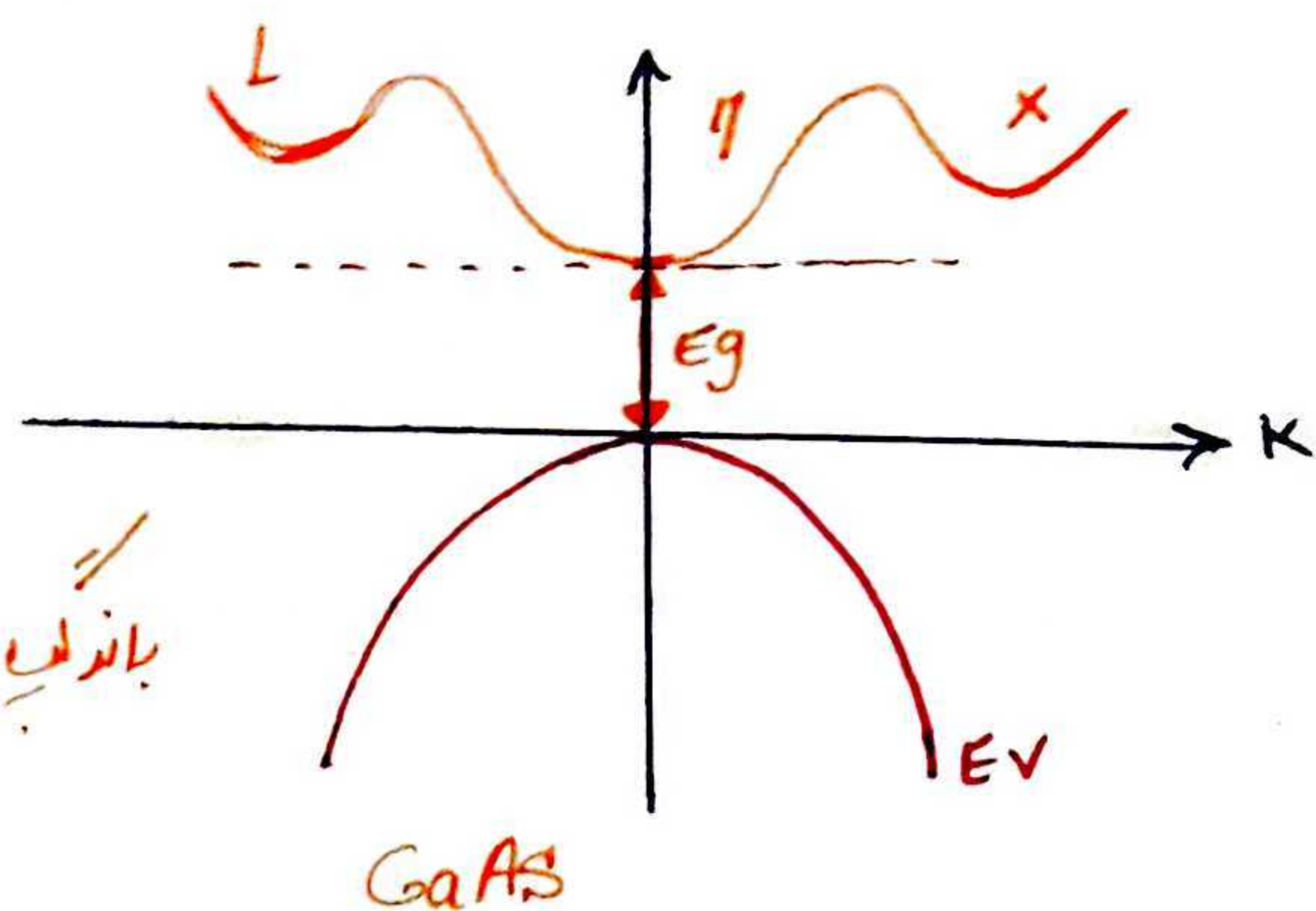
ولتگی تولید انجام گرفت حامل‌های اضافه حاصل دارند به حالت اول بازگردند برای این الکتردها و حفره‌های اضافه با هم ترکیب می‌شوند و اثر ترکیب انرژی آزاد می‌شود که دو نوع است: گرمایی یا نورانی



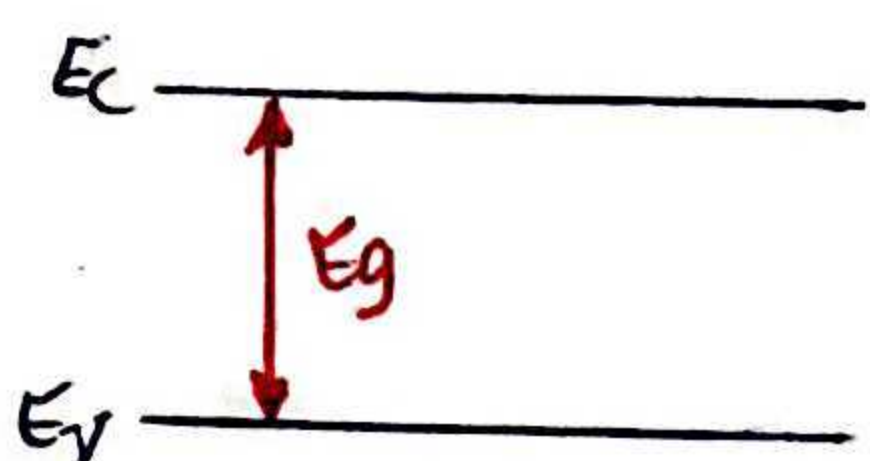
برخی از مواد هالیدی نیمه رساناها در اثر بازترکیب نور تولید می‌کنند که به آنها نیمه رساناهای مستقیم گویند (بازترکیب مستقیم) گویند مثل GaAs, InP, GaN, AlGaAs, ...

بعضی نیمه رساناها که در اثر بازترکیب گرما تولید می‌کنند به آنها نیمه رساناهای غیر مستقیم گویند مثل Si, Ge, ... البته در تولید تفاوتی دارند

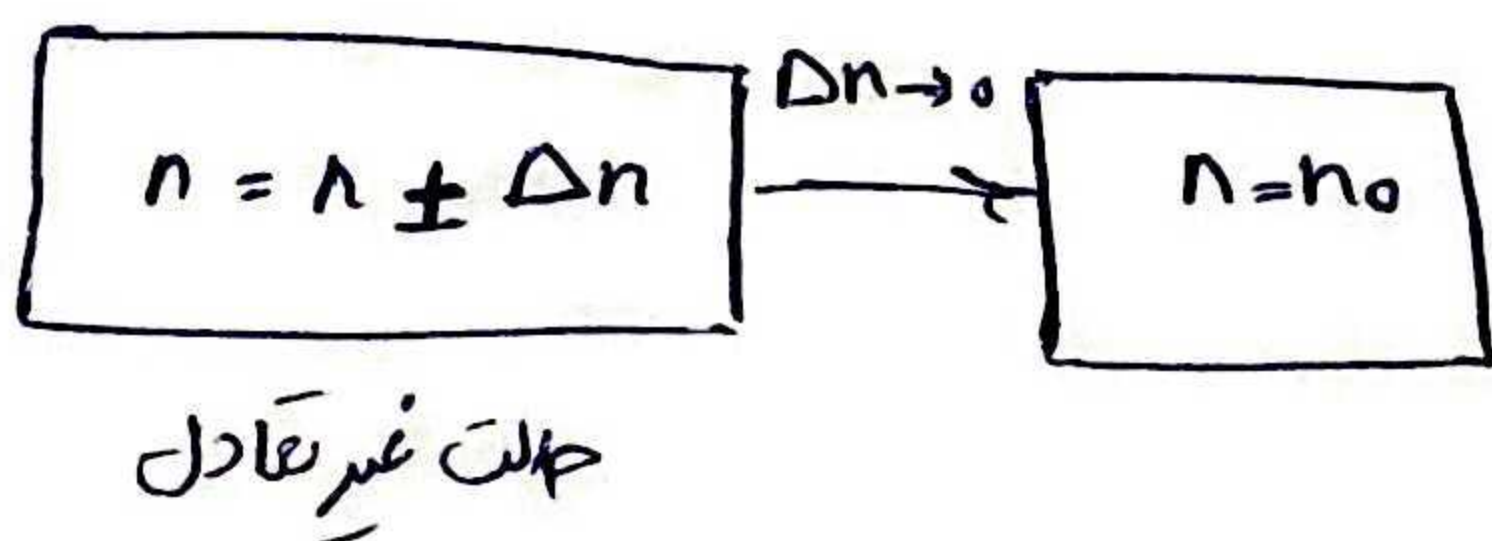
بازتاب مستقیم



قبل برخورد انرژی حرکت داریم
 k : مقدار انرژی حرکت
 x : فوتون پدید می آید
 پس k غیر صفر شود



در حالت تعادل
 $k=0$ ← انرژی حرکت



بازتاب: ←

n_0 : تعداد حامل های در حالت تعادل

تغییرات Δn $\left\{ \begin{array}{l} \Delta n > 0 \text{ تولید} \\ \Delta n < 0 \text{ ترکیب} \end{array} \right.$

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{\Delta n}{\tau_n} = -\frac{\Delta p}{\tau_p}$$

(-) علامت منفی به دلیل آن است که در حالت تعادل مقدار حامل های اضافه باید حذف شود.

τ_n ← طول عمر حامل الکترون
 τ_p ← " " " " حفره

طول عمر حامل: به صورت مدت زمانی که طول می کشد تا حامل اقلیت در درجی اکثریت زنده باشند و ترکیب شوند

N_T : ← چگالی مرکز تولید و بازترکیب

$$\tau_p = \frac{1}{C_p N_T}$$

$$\tau_n = \frac{1}{C_n N_T}$$

C_p و C_n ضرایب ثابت هستند (ضرایب تناسب)

N_T چگالی مرکز بازترکیب در واقع چگالی ترازهای انرژی است که در ترازهای هدایت و ظرفیت قرار دارند و دارای حامل های هستند

$$\left. \frac{\partial n}{\partial t} \right|_{R-G} = -\frac{\Delta n}{\tau_n} \quad , \quad \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{-\Delta p}{\tau_p}$$

معمولاً Δn و Δp با هم برابرند بنابراین در رابطه فوق هم در اکثر موارد مساوی هستند زیرا به ازای تولید زوج در ... نور و در باز ترکیب هم یک زوج نابود می شود پس

$$\left. \frac{\partial n}{\partial t} \right|_{K-G} = \left. \frac{\partial p}{\partial t} \right|_{R-G}$$

تولید و بازترکیب :

$$\frac{\partial n}{\partial t} = - \frac{\Delta n}{\tau_n}$$

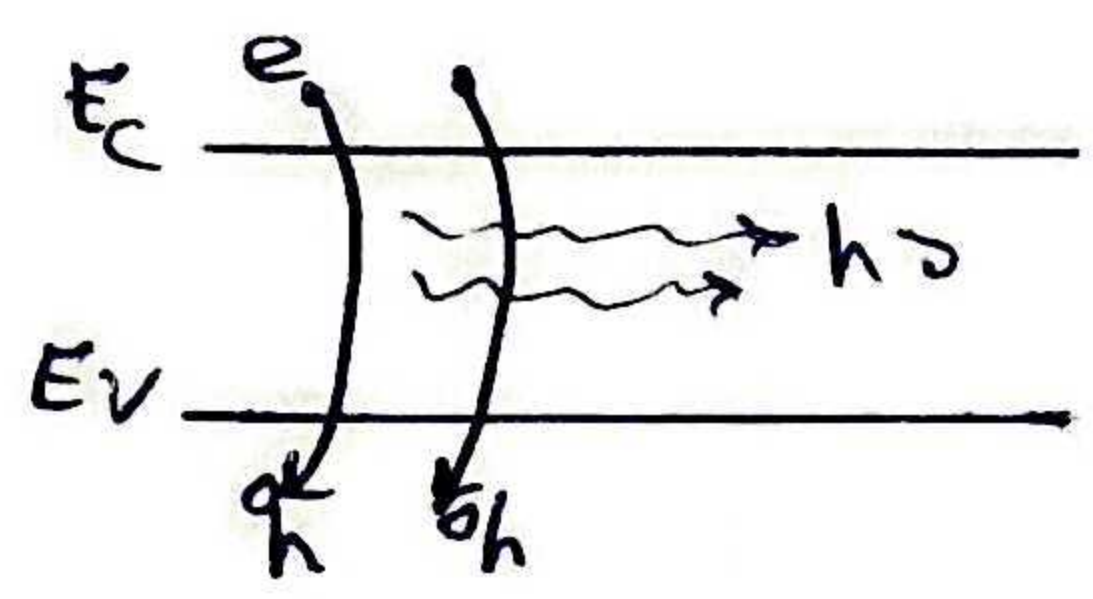
$$\frac{\partial p}{\partial t} = - \frac{\Delta p}{\tau_p}$$

$\tau_p \leftarrow$ طول عمر حامل اقلیت حفره

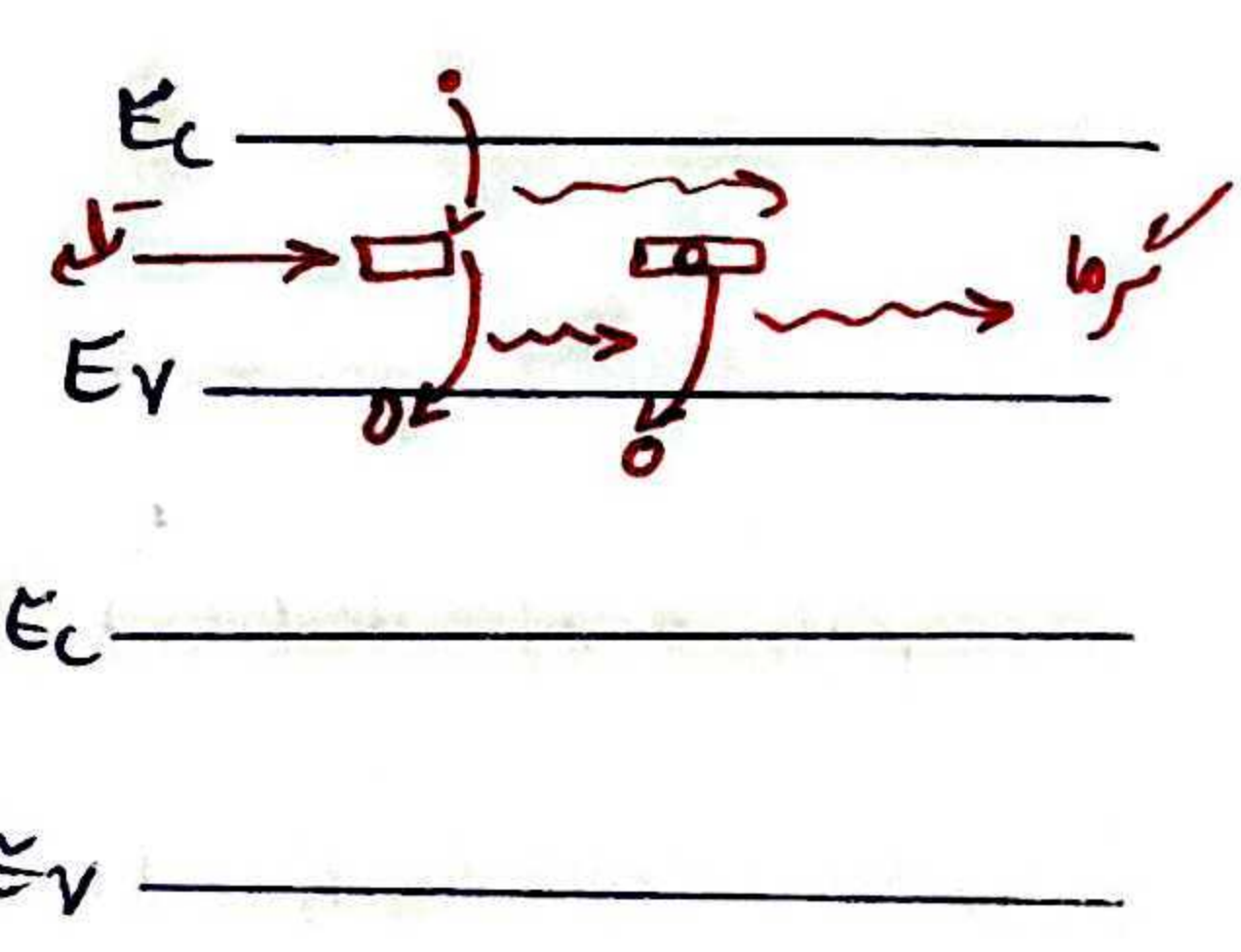
$\tau_n \leftarrow$ طول عمر حامل اقلیت الکترون

سه معادله برای بازترکیب وجود دارد :

۱. باند به باند
۲. SRH ناشی از ریزه - حال
۳. اوزر



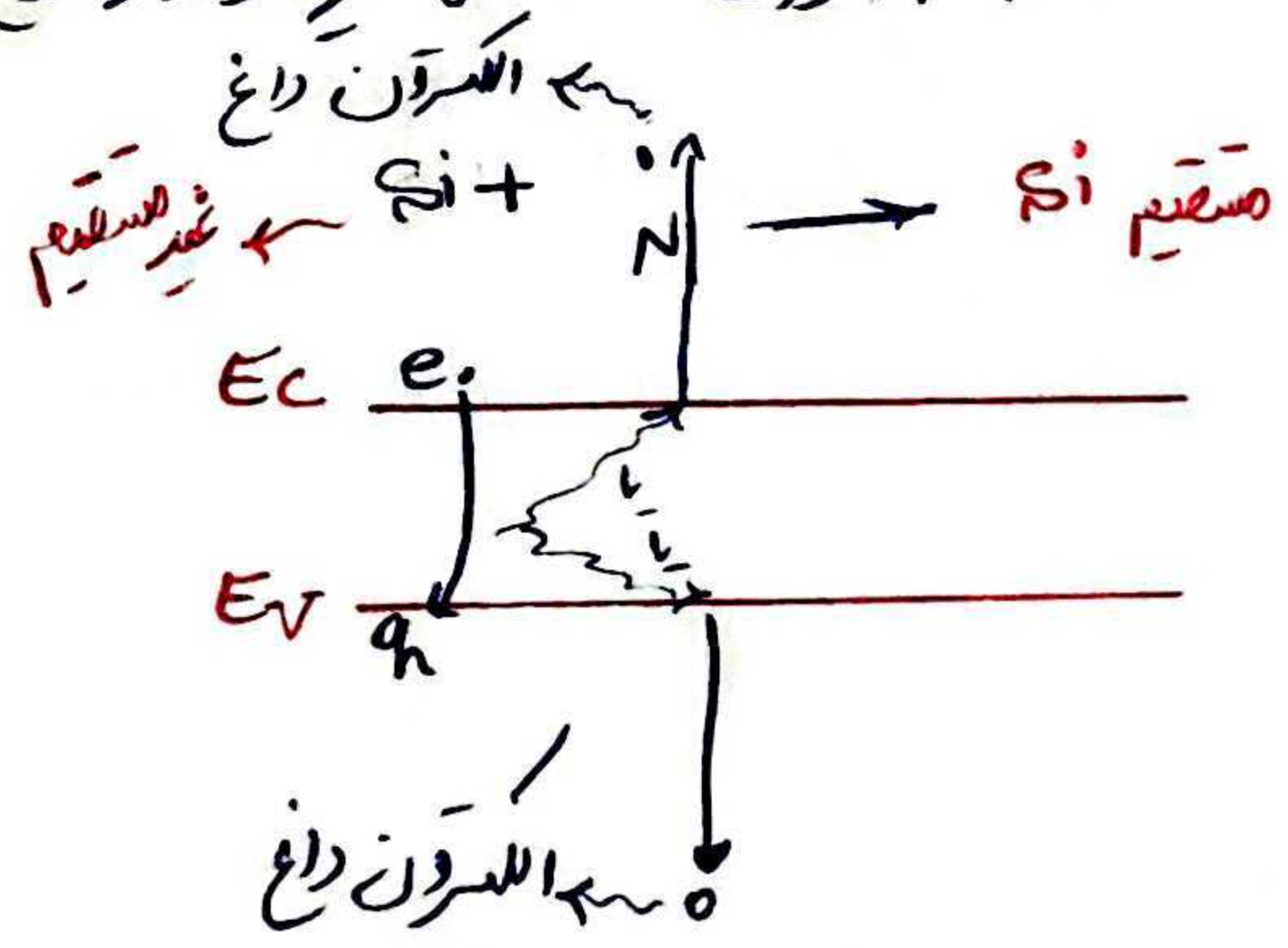
[فوتون] - (نور) تابشی
باند به باند
[فونون] - (گرما) غیر تابشی



$\Delta n = \Delta p = \beta n p = \beta (n_0 + \Delta n) (p_0 + \Delta n)$ و $\Delta n = \Delta p$
لکه های تولیدی به صورت لیزر تابش می کنند و اگر تابشی آن فونون است (و اعداد اندازی) $\Delta n = \Delta p$

تولید e^- است . بیشتر آن ها باز ترکیب ها می شوند به این نوع است .
در معادله SRH حامل ها به درون تله های می افتند و آن جا به باند دیگر می روند
حامل ها در مرکز تله طول عمر متفاوتی دارند اگر طول عمر آنها در حد منفرد باشد انرژی تولید شده

معدل روشن باند به باند است . در این نوع مرکز باز ترکیب مدار غیر مستقیم و مدار مستقیم تبدیل می شود . مرکز تله ممکن است خواص
یا خاصیت باشد . مرکز نا خواص تابشی از نقطه های بلور است و در مرکز خواص یک مدار نا خواص و صورت نا خواص غیر مستقیم (نوع n
و p نیمه سازد) است مثل ZnO, AlN, GaN



در این معادله انرژی حامل از باز ترکیب یک حامل دیگر دارد و می شود
تابشی آن اضافه شود

LED (زرد - قرمز) $AlGaAsP$ خواص نیمه

۰.۵ - ۰.۶۵

IV $\lambda = \frac{1240}{E_g(eV)}$ طول موج

معادله نفوذ حامل اقلیت

معادله پیوستگی

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial n}{\partial t} = \frac{\partial n}{\partial t} \Big|_{\text{نفوذ}} + \frac{\partial n}{\partial t} \Big|_{\text{رانش}} + \frac{\partial n}{\partial t} \Big|_{R.C} + \frac{\partial n}{\partial t} \Big|_{\text{نویز}} \\ \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial p}{\partial t} \Big|_{\text{نفوذ}} + \frac{\partial p}{\partial t} \Big|_{\text{رانش}} + \frac{\partial p}{\partial t} \Big|_{R.C} + \frac{\partial p}{\partial t} \Big|_{\text{نویز}} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial n}{\partial t} \Big|_{\text{نفوذ}} + \frac{\partial n}{\partial t} \Big|_{\text{رانش}} = \frac{1}{q} \nabla \cdot J_n = \frac{1}{q} \frac{\partial J_n}{\partial x} \\ \frac{\partial p}{\partial t} \Big|_{\text{نفوذ}} + \frac{\partial p}{\partial t} \Big|_{\text{رانش}} = -\frac{1}{q} \nabla \cdot J_p = -\frac{1}{q} \frac{\partial J_p}{\partial x} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{q} \nabla \cdot J_n - \frac{\Delta n}{\tau_n} + \frac{\partial n}{\partial t} \Big|_{\text{نویز}} \rightarrow \text{بقیه عوامل صرف نظر شده} \\ \frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{1}{q} \nabla \cdot J_p + \frac{\Delta p}{\tau_p} + \frac{\partial p}{\partial t} \Big|_{\text{نویز}} \end{array} \right.$$

چگاله مربوط به نور معمولاً ثابت است (ح) (توسط مسئله درجه می شود)

تحت شرایط زیر معادله فوق ساده می شود و

۱- درک بعد از حل می کنیم

۲- n_0 و p_0 و چگالی حامل های حالت تبدیل وابسته به x ثابت است.

$$n = n_0 + \Delta n \rightarrow \frac{\partial n}{\partial x} = \frac{\partial \Delta n}{\partial x}$$

$$p = p_0 + \Delta p \quad (\text{تغییراتی نیست زیرا ثابت است})$$

۳- میدان الکتریکی را منفرجه می کنیم

۴- تیز رفتی به رفع می بینیم است.

$$\Delta p, \Delta n \ll n_0$$

$$\Delta p, \Delta n \ll p_0$$

۵- حامل های اکثریت در صورت نفوذ شرکت ندارند

۶- از بقیه عوامل صرف نظر می شود.

$$\nabla \cdot J_n \rightarrow \frac{\partial J_n}{\partial x}$$

$$J_n = q \mu_n n E_0 + q D_n \frac{\partial n}{\partial x} = q D_n \frac{\partial n}{\partial x}$$

$$\frac{\partial J_n}{\partial x} = q D_n \frac{d^2 n}{dx^2} = q D_n \frac{d^2 \Delta n}{dx^2}$$

$$\frac{1}{q} \nabla \cdot J_n \rightarrow D_n \frac{d^2 \Delta n}{dx^2}$$

$$\frac{1}{q} \nabla \cdot J_p \rightarrow -D_p \frac{d^2 \Delta p}{dx^2}$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} \rightarrow \frac{\partial \Delta n}{\partial t}$$

$$\frac{\partial \Delta n}{\partial t} = D_n \frac{\partial^2 \Delta n}{\partial x^2} - \frac{\Delta n}{\tau_n} + G$$

$$\frac{\partial \Delta p}{\partial t} = D_p \frac{\partial^2 \Delta p}{\partial x^2} - \frac{\Delta p}{\tau_p} + G$$

معادله نفوذ حاصل است

$$\begin{array}{|c|} \hline n_0 = 10^{16} \\ p_0 = 10^4 \\ \hline \end{array} \xrightarrow{\Delta n = \Delta p = 10^{10}} \begin{array}{|c|} \hline n = 10^{16} + 10^{10} \approx 10^{16} \approx n_0 \\ p = 10^4 + 10^{10} \approx 10^{10} = \Delta p = \Delta n \\ \hline \end{array}$$

حالت‌های ساده معادله فوق و شرایط باندی مدار را بنویسید.

$$\frac{\partial}{\partial t} = 0 \rightarrow \begin{cases} \frac{\partial \Delta n}{\partial t} = 0 \\ \frac{\partial \Delta p}{\partial t} = 0 \end{cases}$$

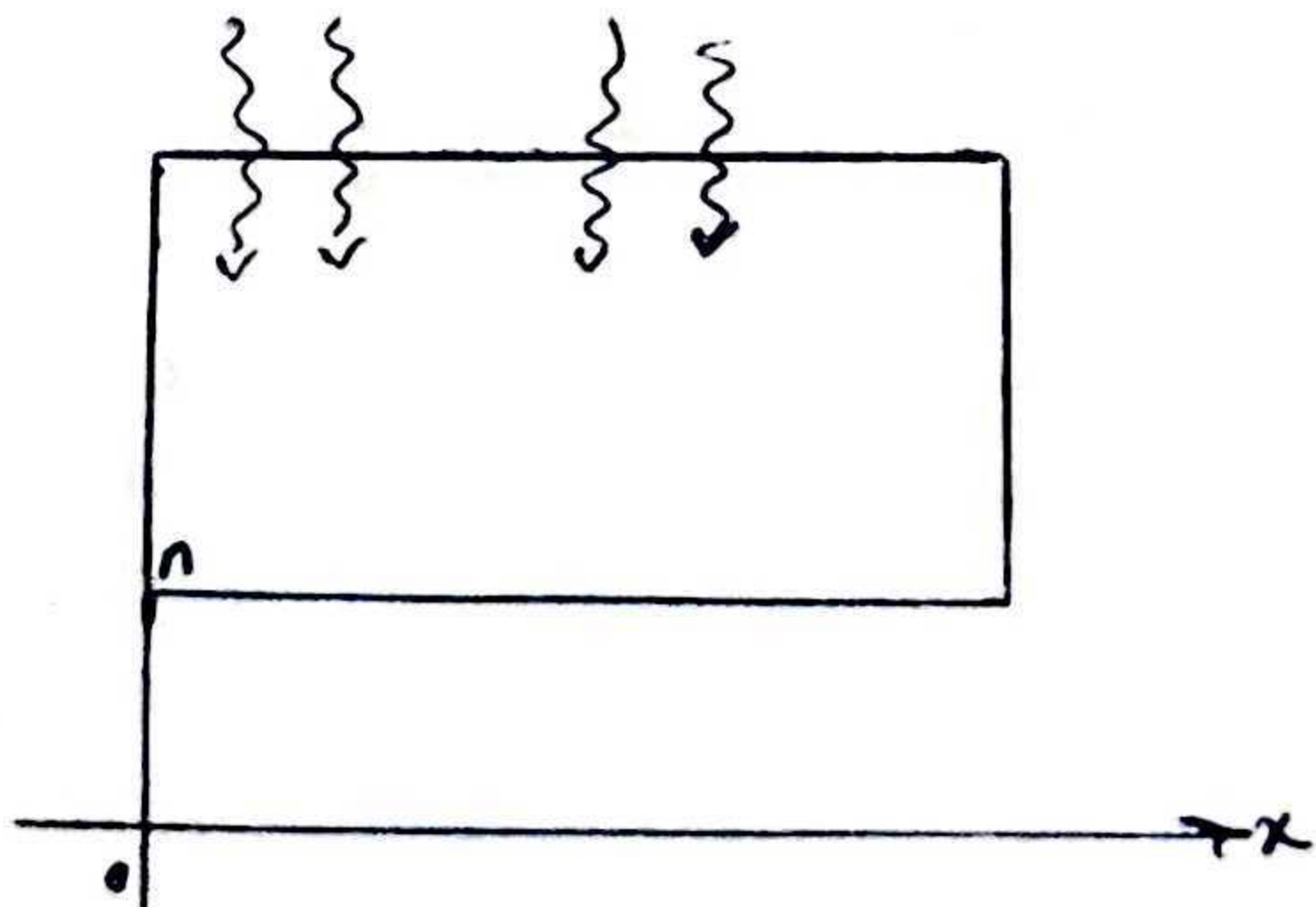
نویشت $G=0$

$$\frac{\partial^2 \Delta n}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \Delta p}{\partial x^2} = 0$$

تولید حامل در جهت x متفاوت است

Exp: یک نیم رسانای نوع n که ناخالصی در آن متفاوت توزیع شده در دمای اتاق تا $t=0$ تحت تابش نور قرار گیرد. فرض کنید $N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ و $\tau_p = 10^{-6} \text{ s}$ است و نور با شدت تولید $10^{17} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ زوج در هر ثانیه در cm^3 می‌شود. $\Delta p_n = ?$

$$G = 10^{17}$$



تولید n و p در طول x یکسان است پس $\frac{\partial^2}{\partial x^2} = 0$ می‌شود. **جواب:**

$$\Delta p_n = 0, n = n_0, p = p_0$$

برای $t < 0$ سیستم متعادل بوده و

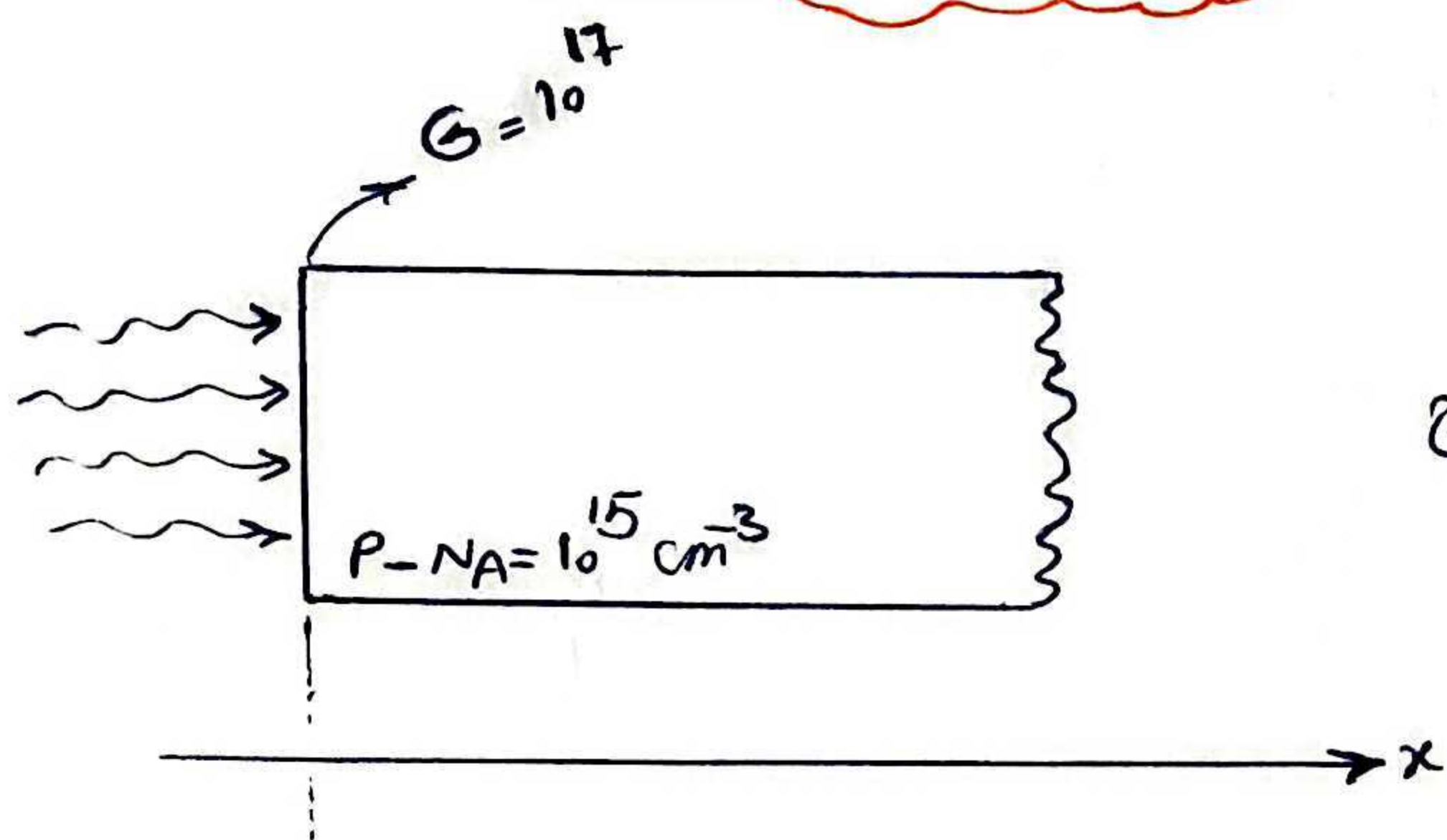
$$t < 0$$

$$\Delta p_n(t) = A + B e^{-\frac{t}{\tau_p}} \rightarrow \frac{\partial \Delta p_n}{\partial t} = 0 - \frac{B}{\tau_p} e^{-\frac{t}{\tau_p}}$$

$$\Delta P_n(0) = 0 \rightarrow A = -B$$

$$-\frac{B}{\tau_p} e^{-\frac{t}{\tau_p}} + \frac{A}{\tau_p} + \frac{B}{\tau_p} e^{-\frac{t}{\tau_p}} = G \rightarrow A = G \tau_p$$

$$\Delta P_n(t) = G \tau_p (1 + e^{-\frac{t}{\tau_p}})$$



Exp: نور به انتهای یک میلر از نوع P می‌تابد و این تابش آن محل اتصال ورودی نور به داخل را کمی دزدولی باعث تولید 10^{17} زوج در هر ثانیه در یک cm^3 می‌شود. طول میلر بلند است مقدار Δn_p را به دست آورید.

$$D_n = \frac{kT}{q} \mu_n$$

جواب: $\frac{\partial \Delta n_p}{\partial t} = D_n \frac{\partial^2 \Delta n_p}{\partial x^2} - \frac{\Delta n_p}{\tau_n} + G$

$$\frac{d^2 \Delta n_p}{dx^2} - \frac{\Delta n_p}{\tau_n D_n} = 0$$

L_n : طول نفوذ: متوسط مسافتی که حامل اقلیت در اکثریت حرکت می‌کند و ترکیب نمی‌شود

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n}, \quad L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$$

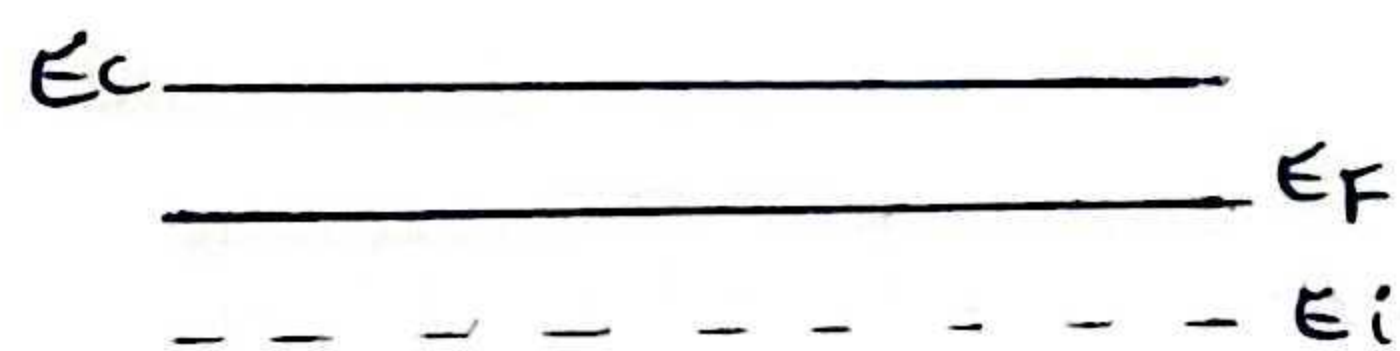
$$\Delta n_p(x) = A e^{-\frac{x}{L_n}} + B e^{+\frac{x}{L_n}}$$

$B=0$ است زیرا مقدار $\Delta n_p(x)$ محدود است و پس طول میلر بلند است که منجر به همگانی شده Δn_p می‌شود پس باید $B=0$ شود

$$\Delta n_p(0) = G \tau_n = 10^{17} \times 10^{-6} = 10^{11} \text{ cm}^{-3}$$

$$A = G \tau_n \rightarrow \Delta n_p(x) = G \tau_n e^{-\frac{x}{L_n}}$$

سطح شبه فرس:



نوع n

$$\left\{ \begin{array}{l} n_o = n_i e^{\frac{E_f - E_i}{kT}} \\ p_o = n_i e^{\frac{E_i - E_f}{kT}} \end{array} \right.$$

$$n_o p_o = n_i^2$$

حالت تعادل

$$n = n_o + \Delta n$$

$$p = p_o + \Delta p$$

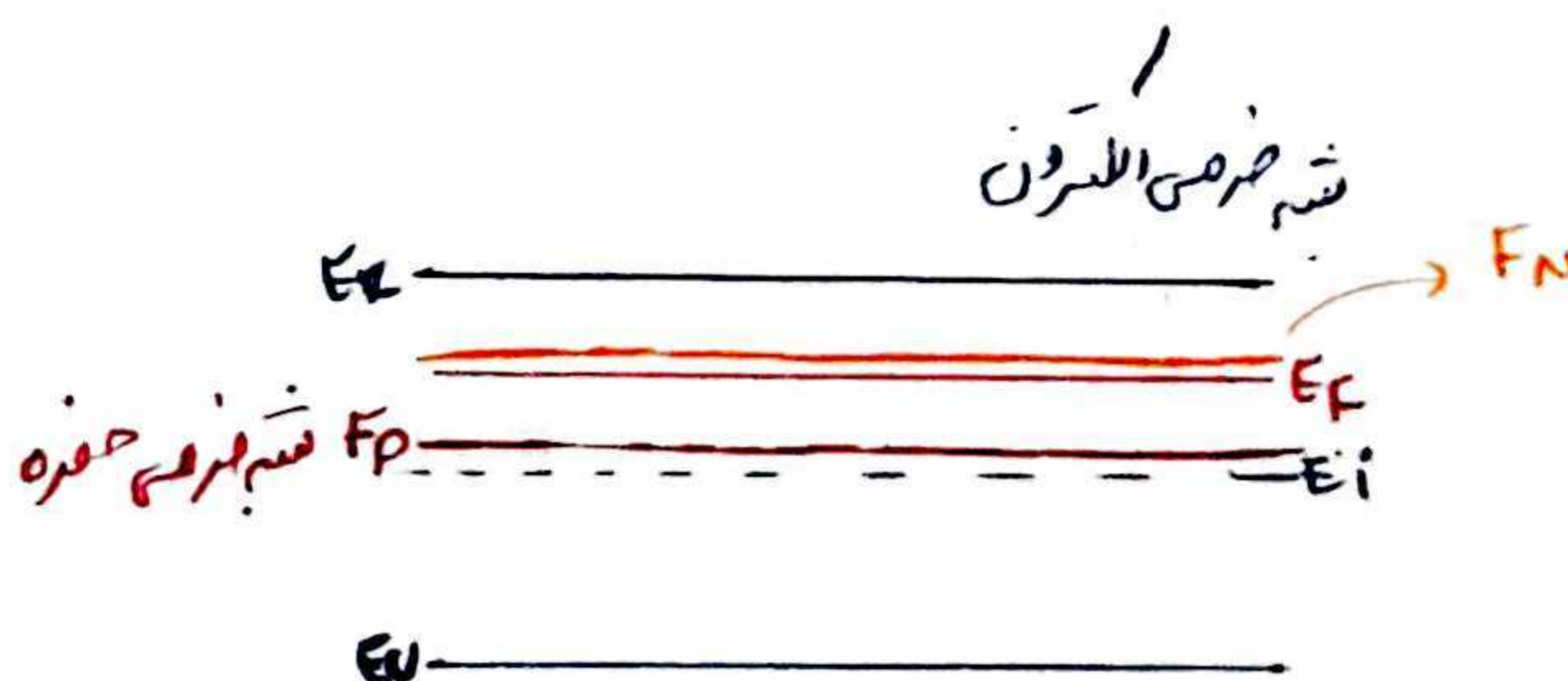
$$\Delta n, \Delta p \ll n_o$$

$$n \approx n_o$$

$$p \approx \Delta p$$

$$\rightarrow p_n \neq n_i^2$$

نوع n:



F_n و F_p تراز شیب فرمی هستند

$$n = n_i e^{\frac{F_n - E_i}{kT}}$$

$$p = n_i e^{\frac{E_i - F_p}{kT}}$$

$$np = n_i^2 e^{\frac{F_n - F_p}{kT}}$$

ترازهای شیب فرمی نشان دهنده موقعیت فرمی تراز فرمی هنگام برود شدن احتمال
با عامل عدم تعادل هستند که با استفاده از آن‌ها مقدار n و p با رابطه‌های قبلی در حالت
تعادل به دست می‌آیند.

$$J_p = q \mu_p p \vec{E} - q D_p \nabla p$$

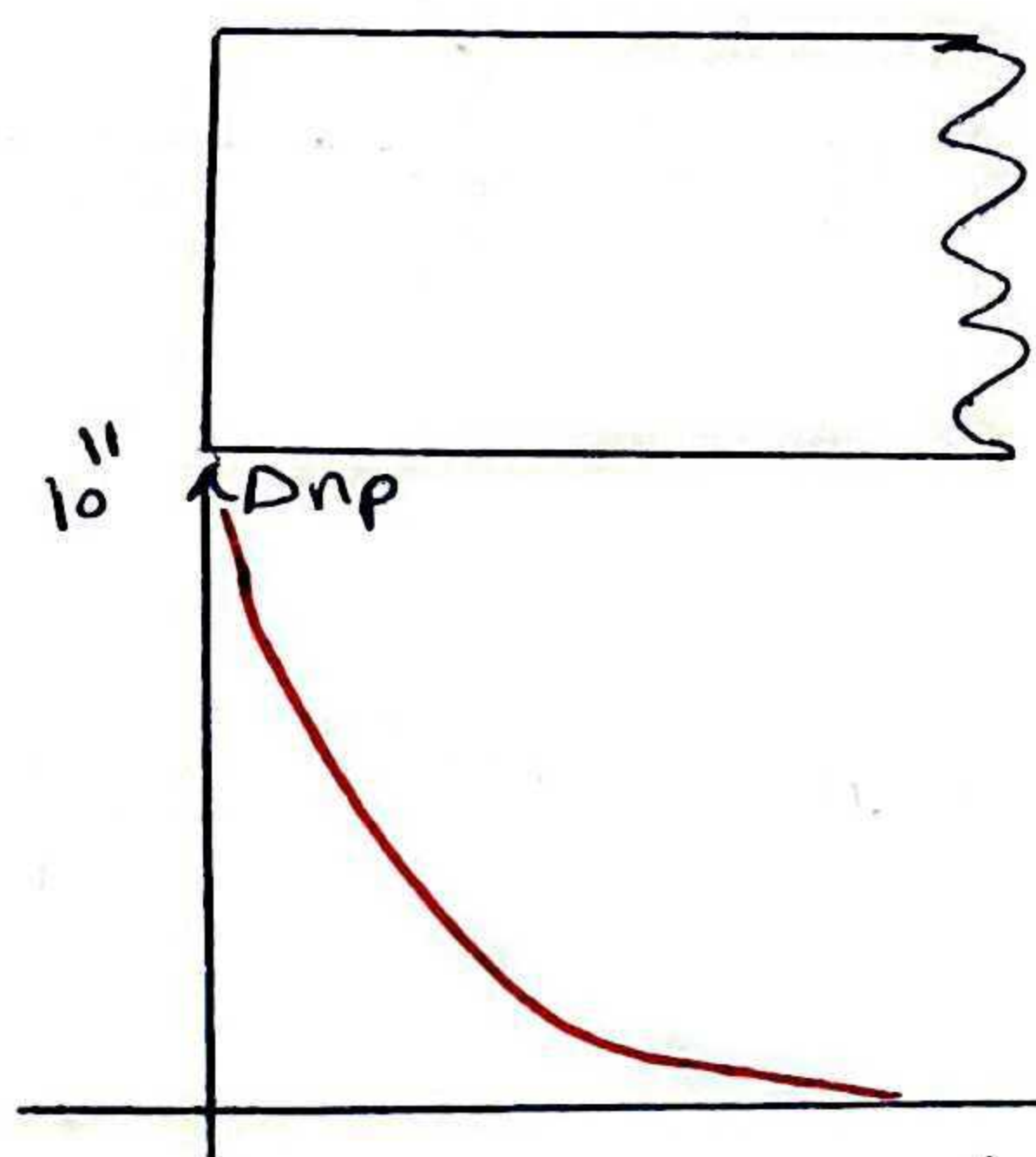
$$\nabla p = \nabla \left(n_i e^{\frac{E_i - F_p}{kT}} \right) = n_i e^{\frac{E_i - F_p}{kT}} \cdot \frac{1}{kT} \nabla (E_i - F_p)$$

$$\begin{aligned} \nabla p &= \frac{p}{kT} (\nabla E_i - \nabla F_p) \\ &= \frac{p}{kT} (q \vec{E} - \nabla F_p) \end{aligned}$$

$$J_p = q \mu_p p \vec{E} - q D_p \frac{p}{kT} (q \vec{E} - \nabla F_p)$$

$$J_p = p \mu_p \nabla F_p$$

$$J_n = n \mu_n \nabla F_n$$



$$J = 0$$

$$\Delta n_p = z_n G e^{-\frac{x}{L_n}}$$

$$J = J_n + J_p$$

$$0 = J_n = q \mu_n n \vec{E} + q D_n \frac{\partial n}{\partial x}$$

$$J_{diff} = q D_n \frac{\partial n}{\partial x} = - \frac{q D_n}{L_n} z_n G e^{-\frac{x}{L_n}}$$

۹۴, ۸, ۲۳

p	n
-----	-----

یونید $p-n$:

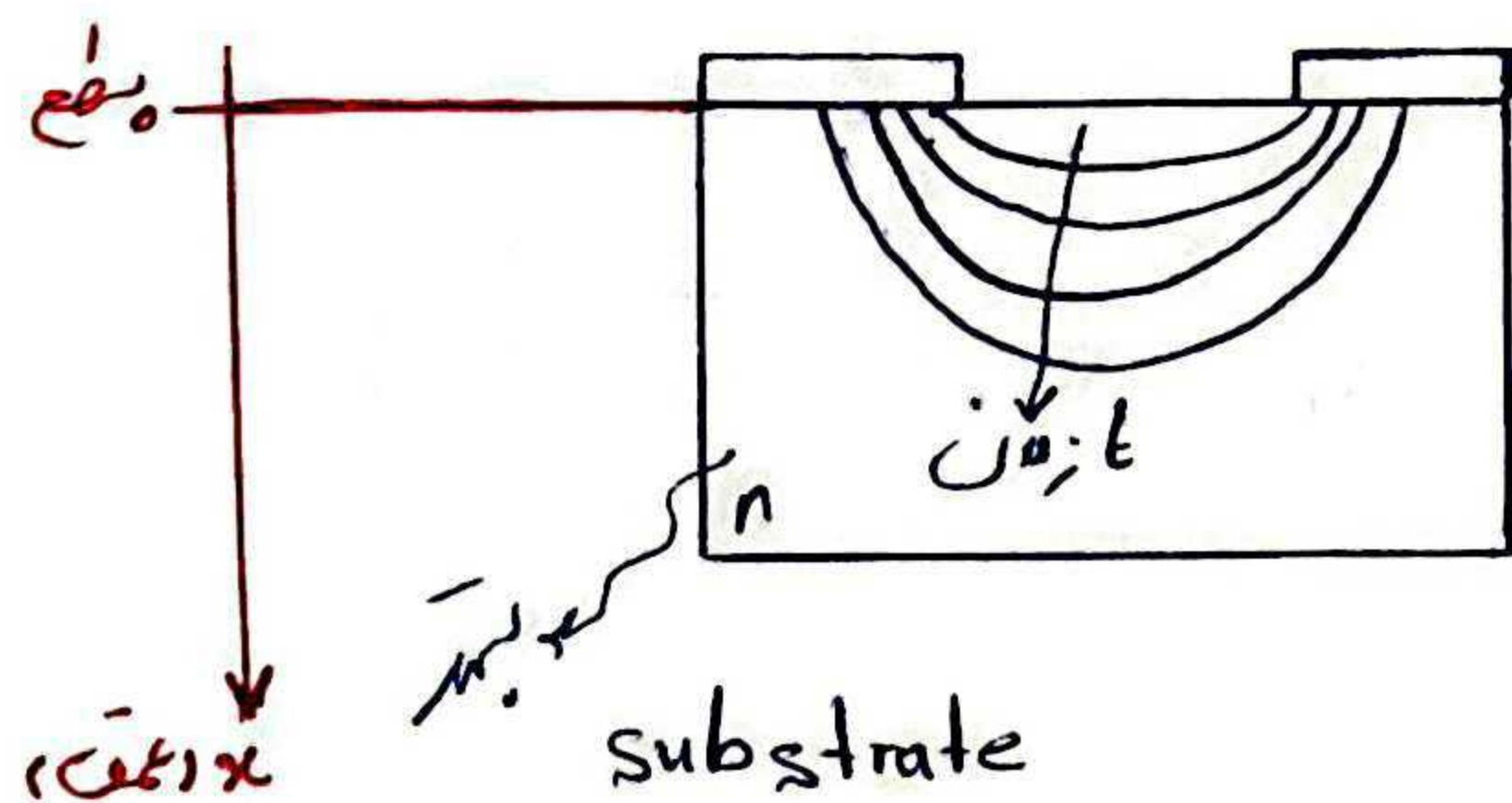
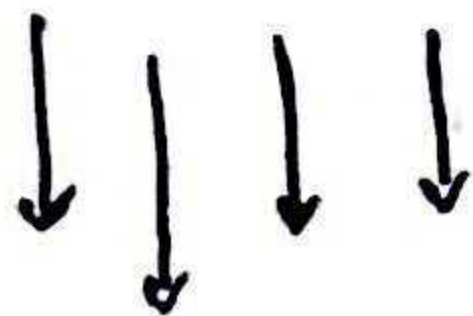
روش ساخت :

هرگز نمی‌شود در ماده نیم رسانای نوع n ، p را به هم جوش داد در ساخت اوقات با یونیل قطع می‌کنیم باشد

دورنش عمده برای ساخت یونید $p-n$ وجود دارد

Ca, Al, B گروه 3

ناخالصی از نوع مطلق بستر (P)

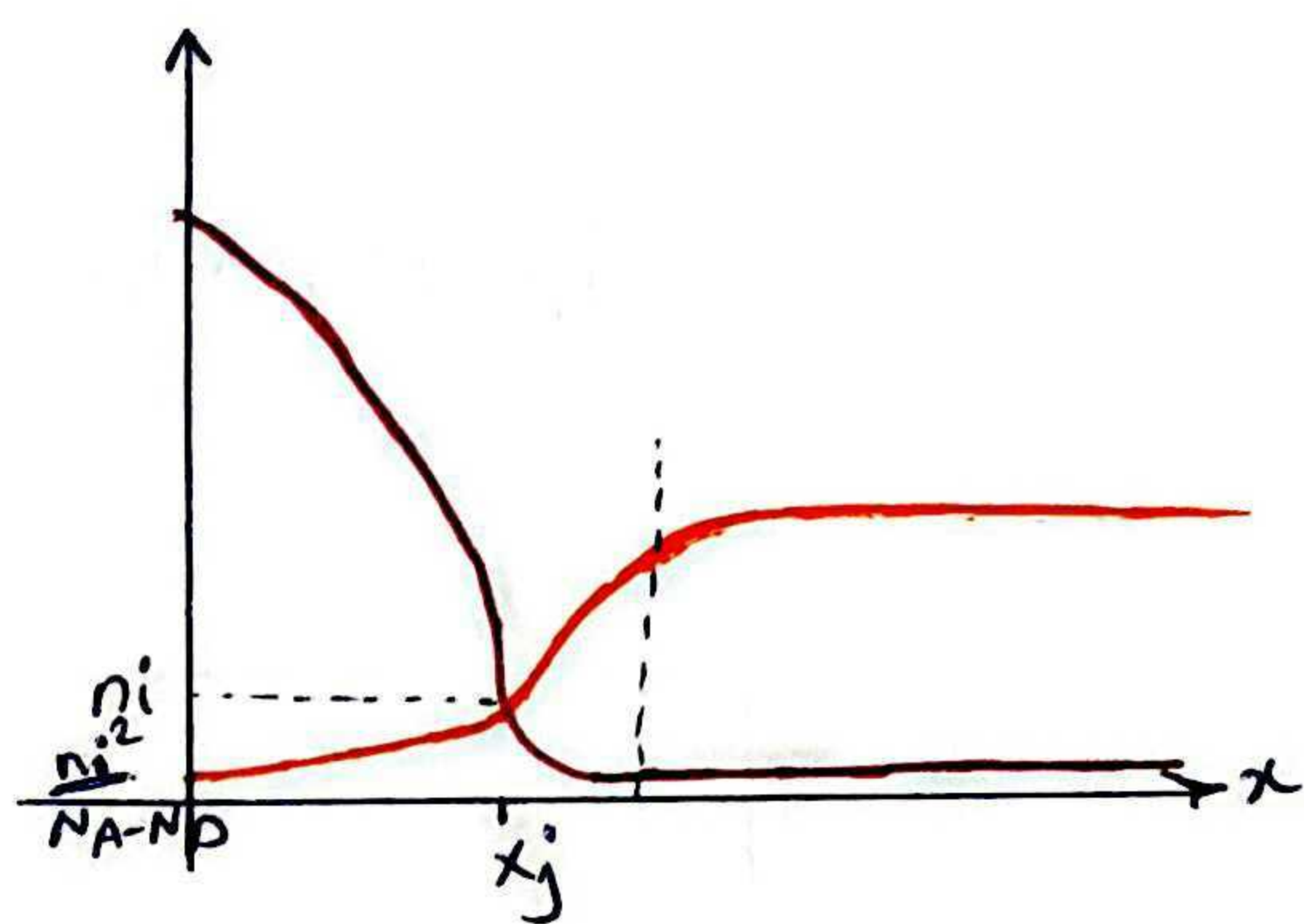
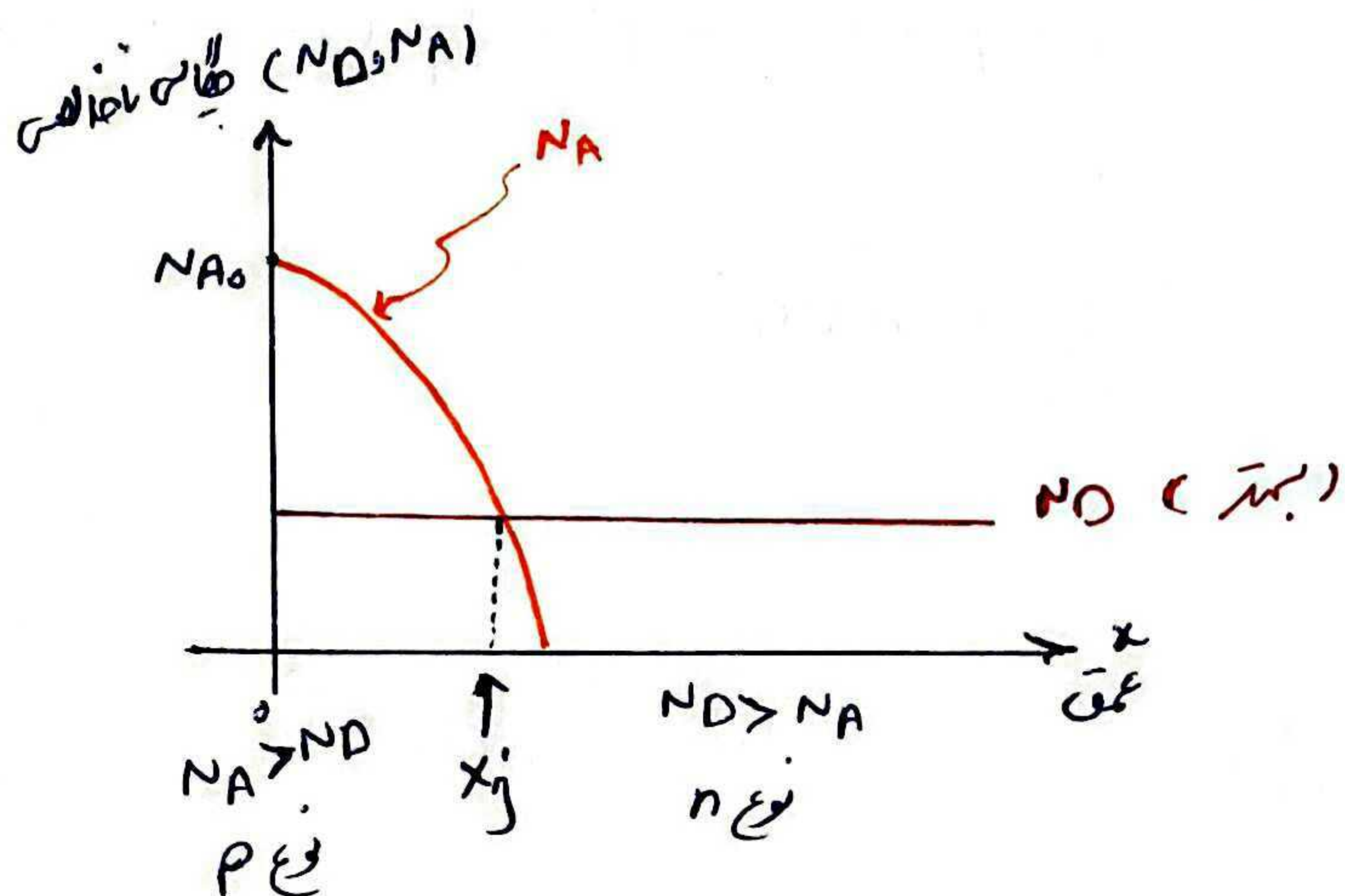


۱- نفوذ ناخالصی

* مقدار ناخالصی وارد شده و چگالی آن بیشتر از

چگالی بستر است در نتیجه حامل های ناخالصی

وارد شده غالب می شود و نوع نیم رسانا نوع P خواهد شد.



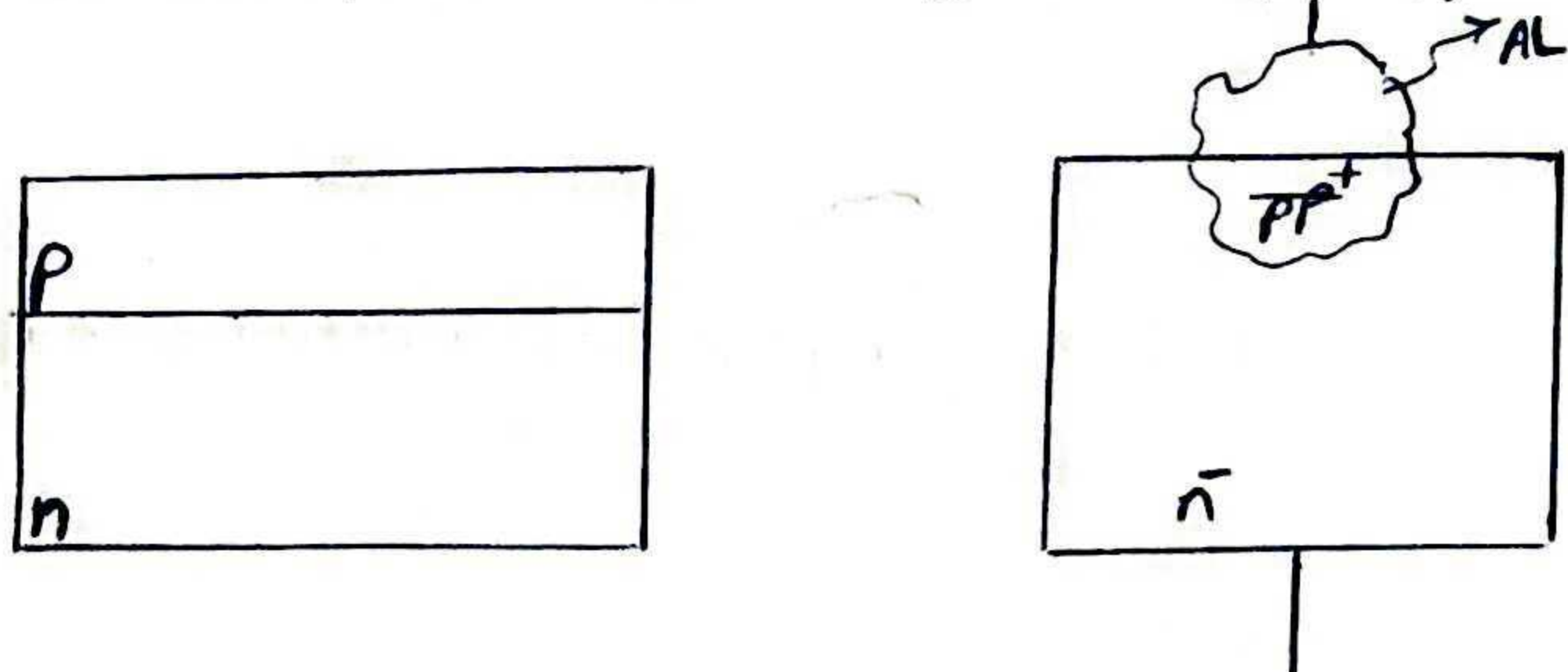
$$n = \frac{N_D - N_A + \sqrt{(N_D - N_A)^2 + 4n_i^2}}{2}$$

* روش های مختلفی در وارد کردن ناخالصی وجود دارد می توان با آنها پرو فایل ناخالصی وارد شده را مدیریت کرد و به همان شکل می خواهیم تبدیل کنیم

* مهم در روش نفوذ ناخالصی شکل توزیع گوسی یا نمایی دارد در این روش می توان آن را به صورت خط تقریب کرد. در این صورت پیوند را پیوند اشتباه (خطی گویند زیرا ناخالصی تابعی از توان اول x و عمق) می باشد

۲- روش لایه نشانی (Epitaxial)

* در این روش ناخالصی وارد نمی شود بلکه روی بستر و در ادامه شکلی میگیرد آن نیم رسانای مختلف رشد داده می شود



در این روش می توان هر شکل توزیع ناخالصی را در بخش

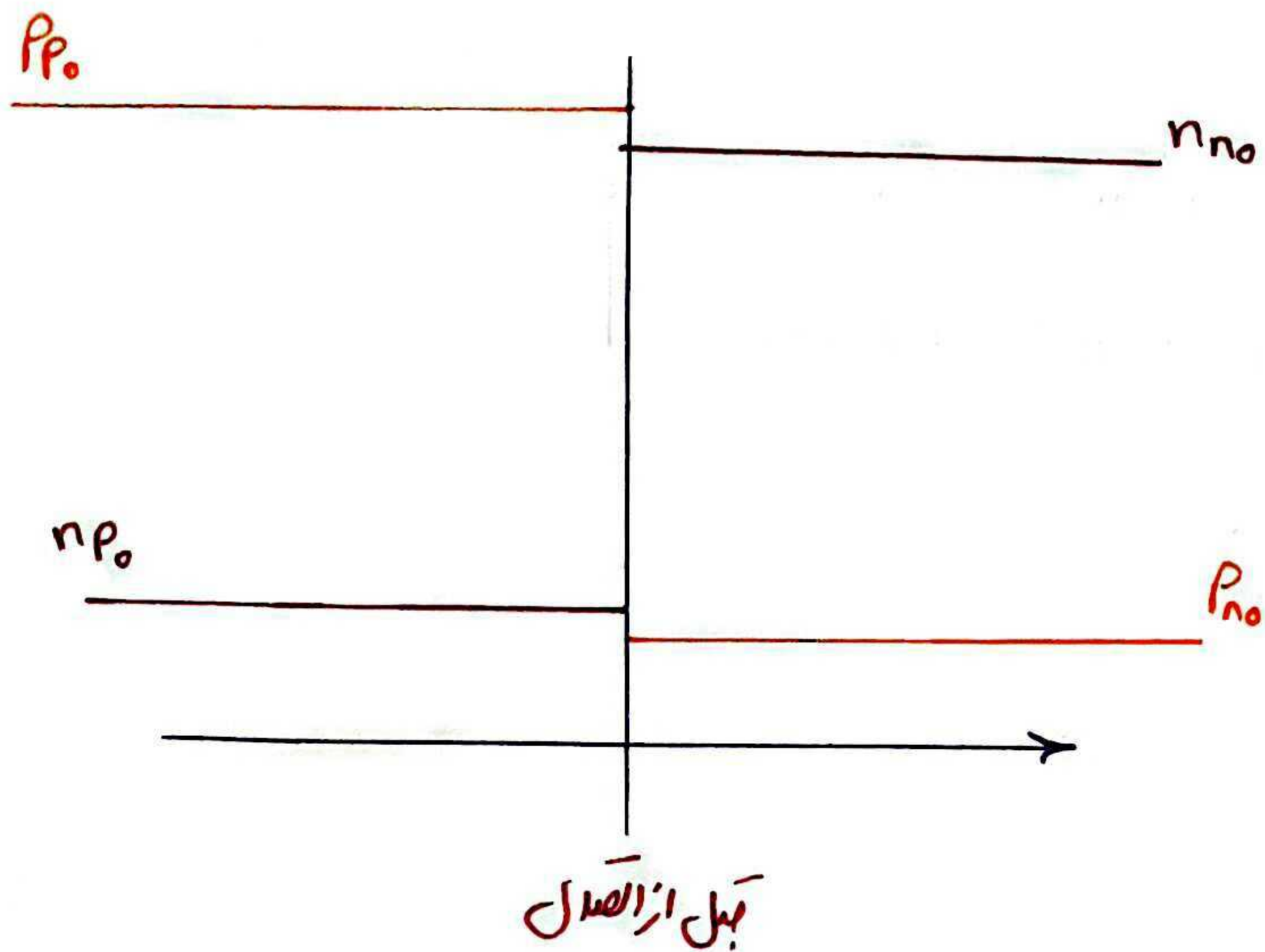
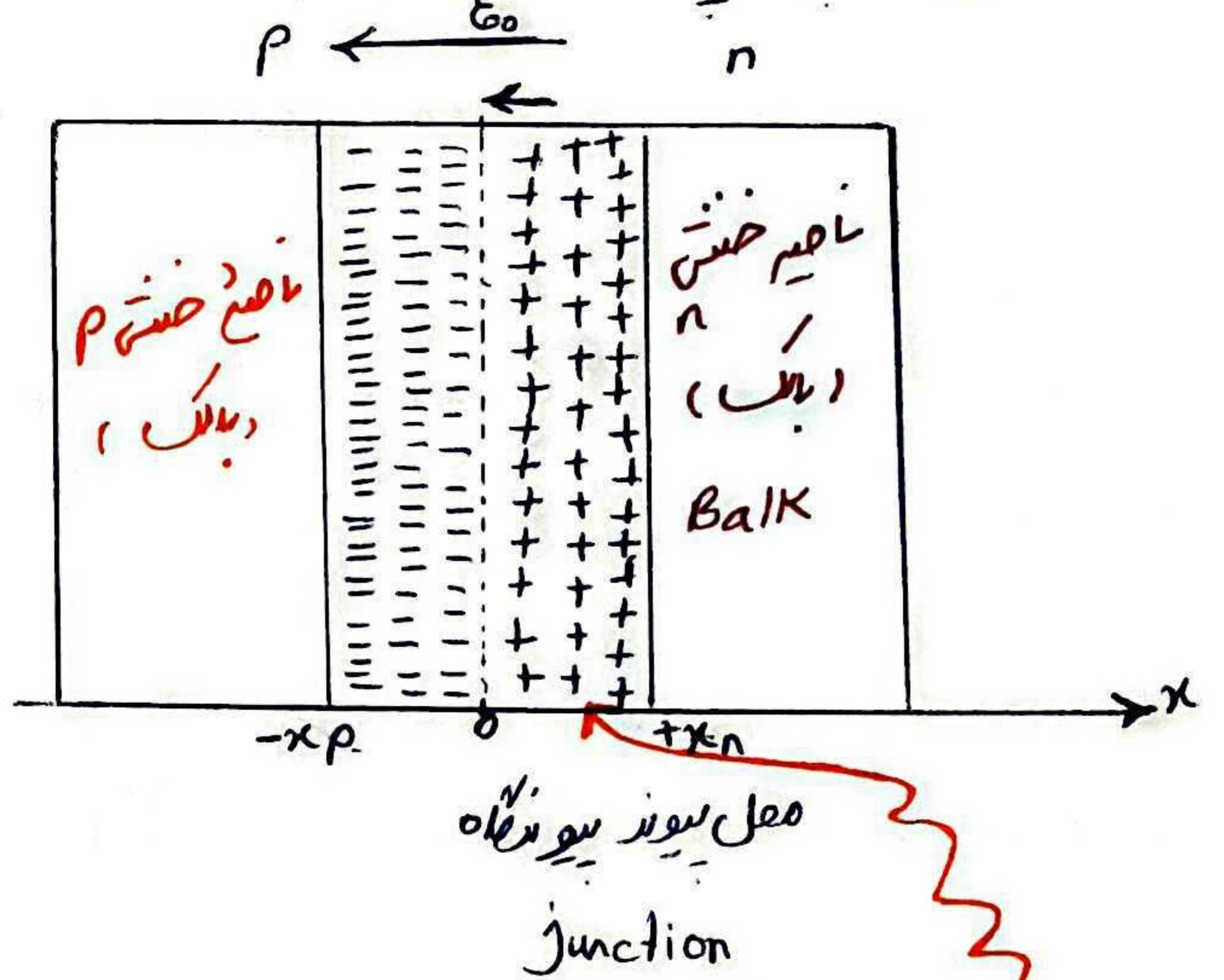
حدود اعمال کرد

* تابعی دلخواه * تغییر * درجه دوم

اساتیک پیوند p-n

مشخصات الکترواستاتیکی پیوند در حالت تعادل

با فرض آن که پیوند نیمه ای است:



منطقه تخلیه - ناحیه بار خنثی بار مقدار بلوک سمت چپ و راست با هم از نظر اندازه مساوی است.

$$\nabla \cdot \vec{E}_0 = \rho$$

رابطه جگالی بار

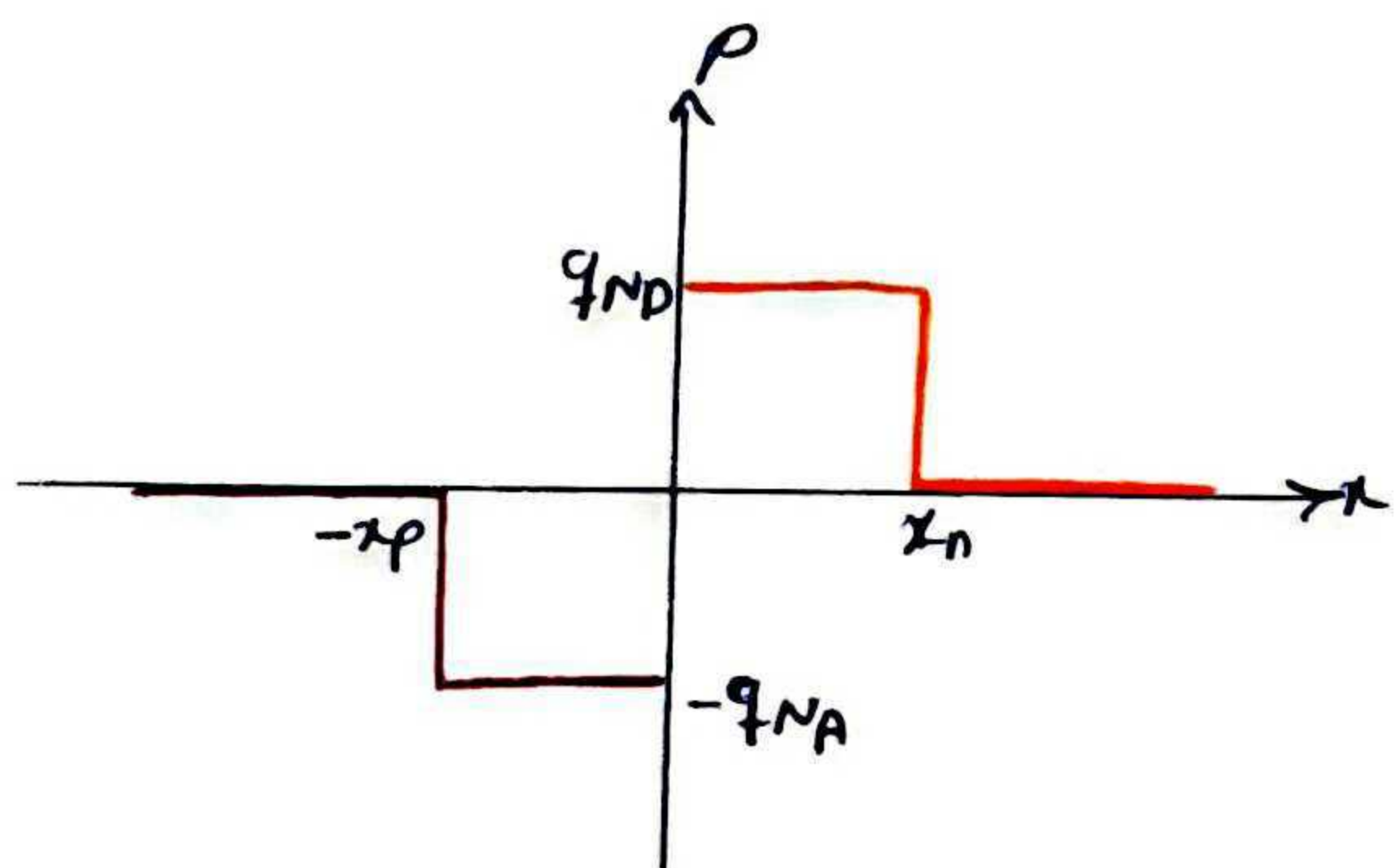
$$\nabla V = -\vec{E}$$

$$qV = -E$$

انرژی پتانسیل

مناطق بلوک خنثی هستند و مقدار بار (p=0) است

ولی در نواحی تخلیه مقدار دارد و برابر جگالی ناخالصی در آن مناطق است:



$$\rho = \begin{cases} 0 & x < -x_p \\ -q_N A & -x_p < x < 0 \\ q_N D & 0 < x < x_n \\ 0 & x > x_n \end{cases}$$

تقریب ناحیه تخلیه: فرض می‌کنیم که بعد از مندرج تخلیه در ناحیه‌های بلوک هیچ حامل خنثی شده باشد و تابع rho کاملاً صاف باشد.

$$E = \frac{1}{\epsilon} \int \rho(x) dx$$

میدان الکتریکی

$$x > x_n : \rho = 0 \rightarrow \epsilon(x) = 0$$

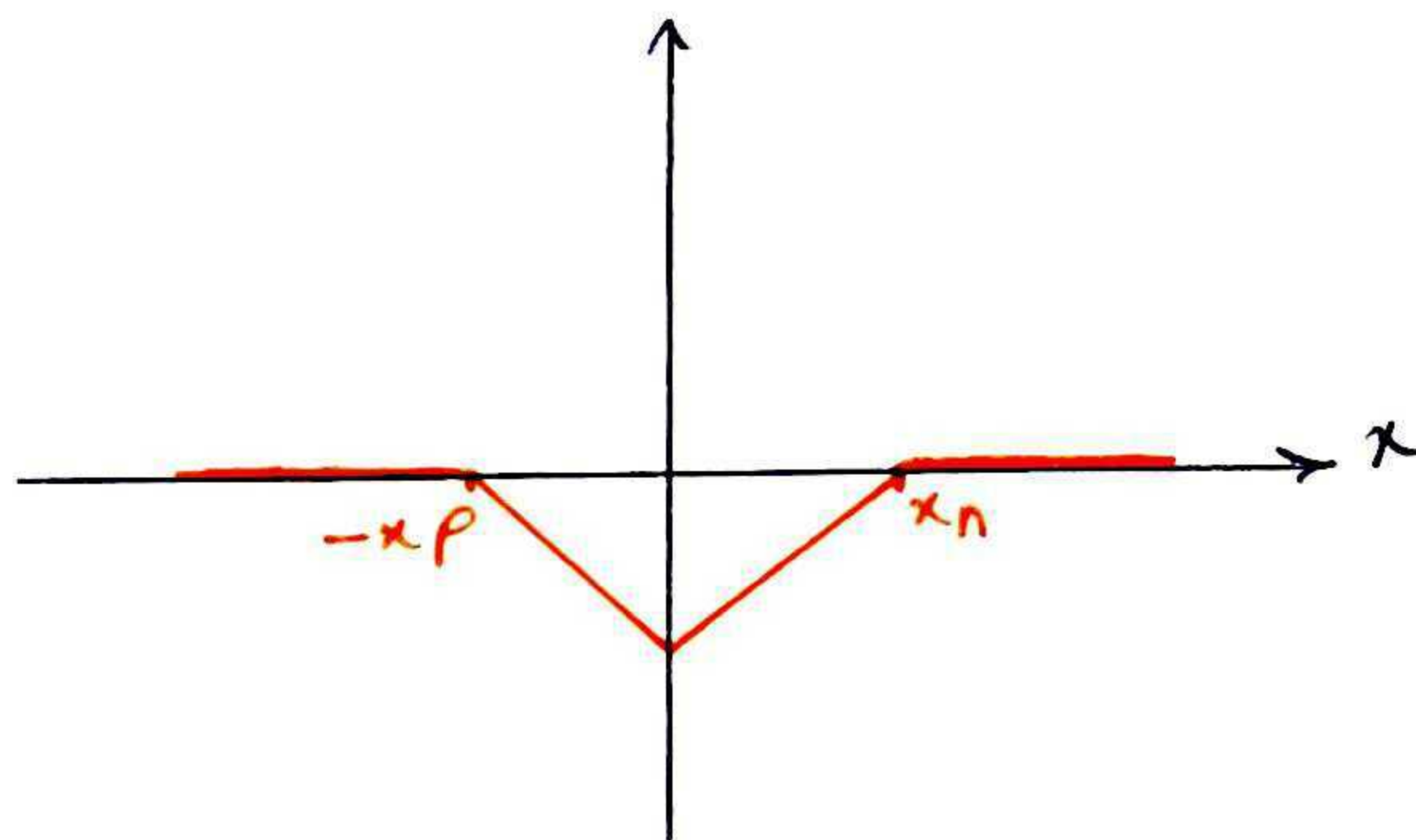
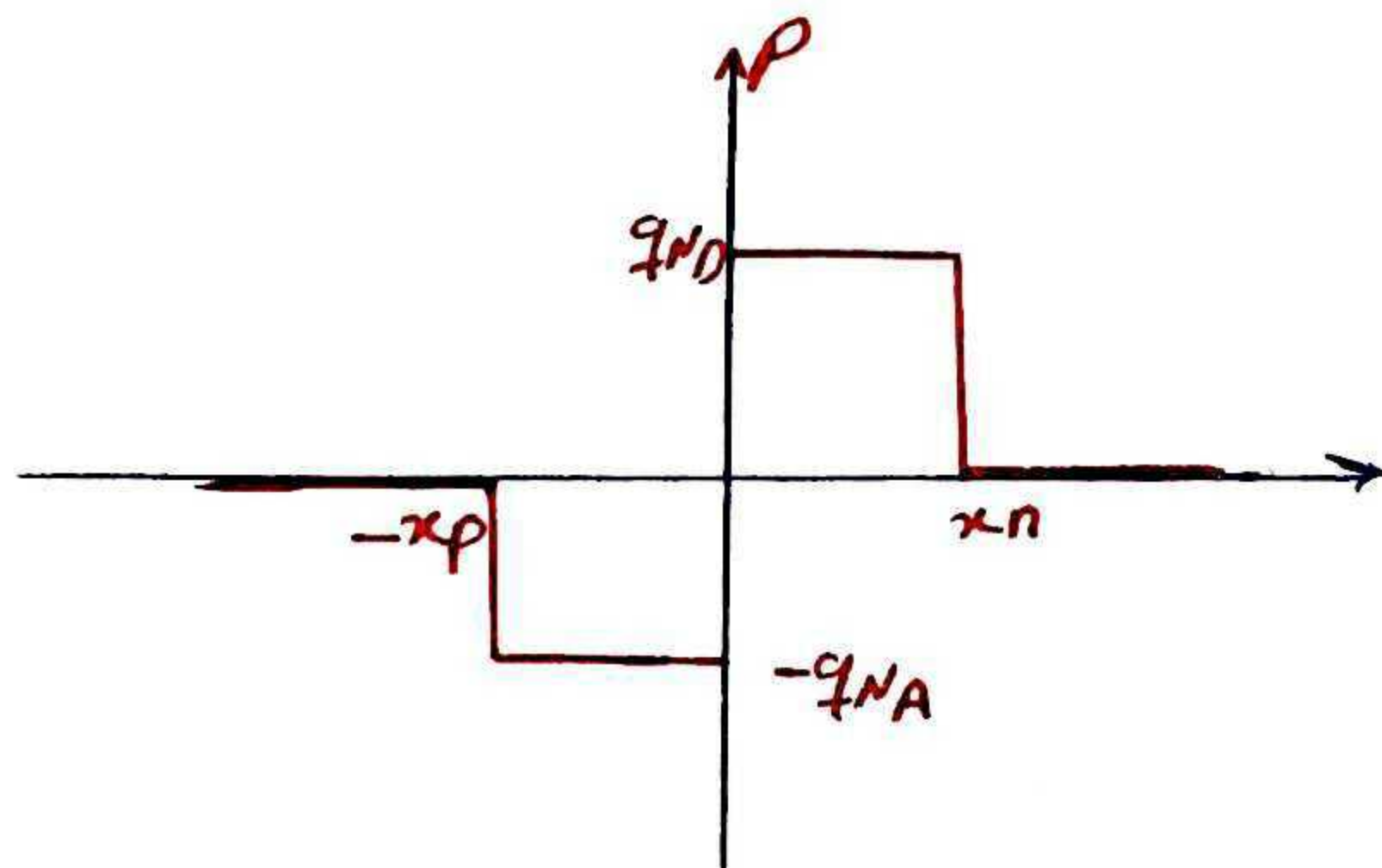
$$x < -x_p : \rho = 0 \rightarrow \epsilon(x) = 0$$

$$\left. \begin{aligned} -x_p < x < 0 : \quad \epsilon(x) &= \frac{1}{\epsilon} \int -q_{NA} dx = -\frac{1}{\epsilon} q_{NA} x + C \\ \epsilon(x = -x_p) &= 0 \Rightarrow -\frac{1}{\epsilon} q_{NA} (-x_p) + C = 0 \end{aligned} \right\}$$

$$\epsilon(x) = \frac{q_{NA}}{\epsilon} (x + x_p)$$

$$0 < x < x_n : \quad \epsilon(x) = \frac{1}{\epsilon} \int q_{ND} dx = \frac{q_{ND}}{\epsilon} x + D$$

$$, \quad \epsilon(x_n) = 0 \rightarrow \epsilon(x) = \frac{q_{ND}}{\epsilon} (x - x_n)$$



$$D_1 \quad | \quad D_2$$

$$D_1 = D_2$$

$$\left. \begin{aligned} \Rightarrow \epsilon_1 \epsilon_1 &= \epsilon_2 \epsilon_2 \\ \text{چون } \epsilon_1 &= \epsilon_2 \end{aligned} \right\} \rightarrow \epsilon_1(x) = \epsilon_2(x)$$

$$V = - \int \epsilon(x) dx$$

* با وجود بارها متفاوت در فرضین اتصال می توانیم بین دو ناحیه بخشی (بلاک) اختلاف پتانسیل باید وجود داشته باشد ولی مقدار پتانسیل در داخل هر یک از بلاک ها مقدار ثابت دارد (طبق رابطه فوق) پس مقدار پتانسیل در هر دو بلاک منفرد یا همسانی نخواهد شد ولی برای سادگی می توانیم فقط یکی از پتانسیل ها را مثلاً بلاک P را منفرد نظر بگیریم.

$$x < -x_p : \quad \varepsilon(x) = 0 \rightarrow V(x) = 0$$

$$-x_p < x < 0 : \quad V(x) = - \int \frac{-q_{NA}}{\epsilon} (x + x_p) dx$$

$$(\text{موسکلی پتانسیل}) = \frac{q_{NA}}{\epsilon} \left(\frac{1}{2} x^2 + x x_p \right) + A$$

$$\text{شرط صفری} \rightarrow V(x = -x_p) = 0 \rightarrow A = \frac{q_{NA}}{\epsilon} \times \frac{1}{2} x_p^2$$

$$V(x) = \frac{q_{NA}}{2\epsilon} (x + x_p)^2$$

$$0 < x < x_n : \quad V(x) = - \int \frac{q_{ND}}{\epsilon} (x - x_n) dx$$

$$V(x) = \frac{-q_{ND}}{\epsilon} \left(\frac{x^2}{2} - x x_n \right) + A_2$$

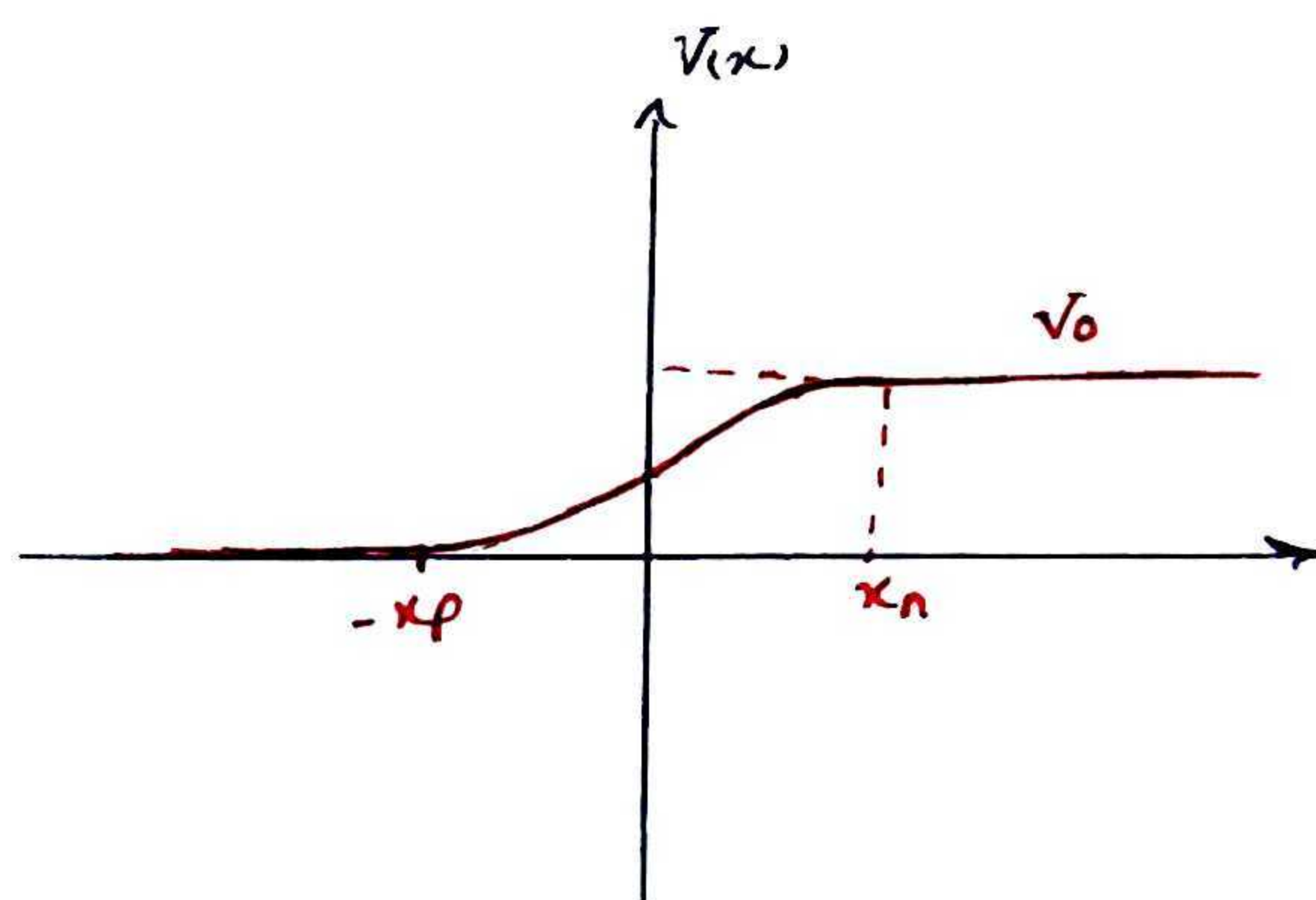
* در ناحیه یال n پتانسیل به دلیل وجود بار اضافی مانده با پتانسیل یال p دارد و فرض می‌کنیم مقدار این پتانسیل برای $x > x_n$ مقدار ثابت V_0 باشد

$$x > x_n \rightarrow V(x) = V_0$$

$$V(x = +x_n) = V_0 \rightarrow \frac{-q_{ND}}{\epsilon} \left(\frac{x_n^2}{2} - x_n^2 \right) + A_2 = V_0$$

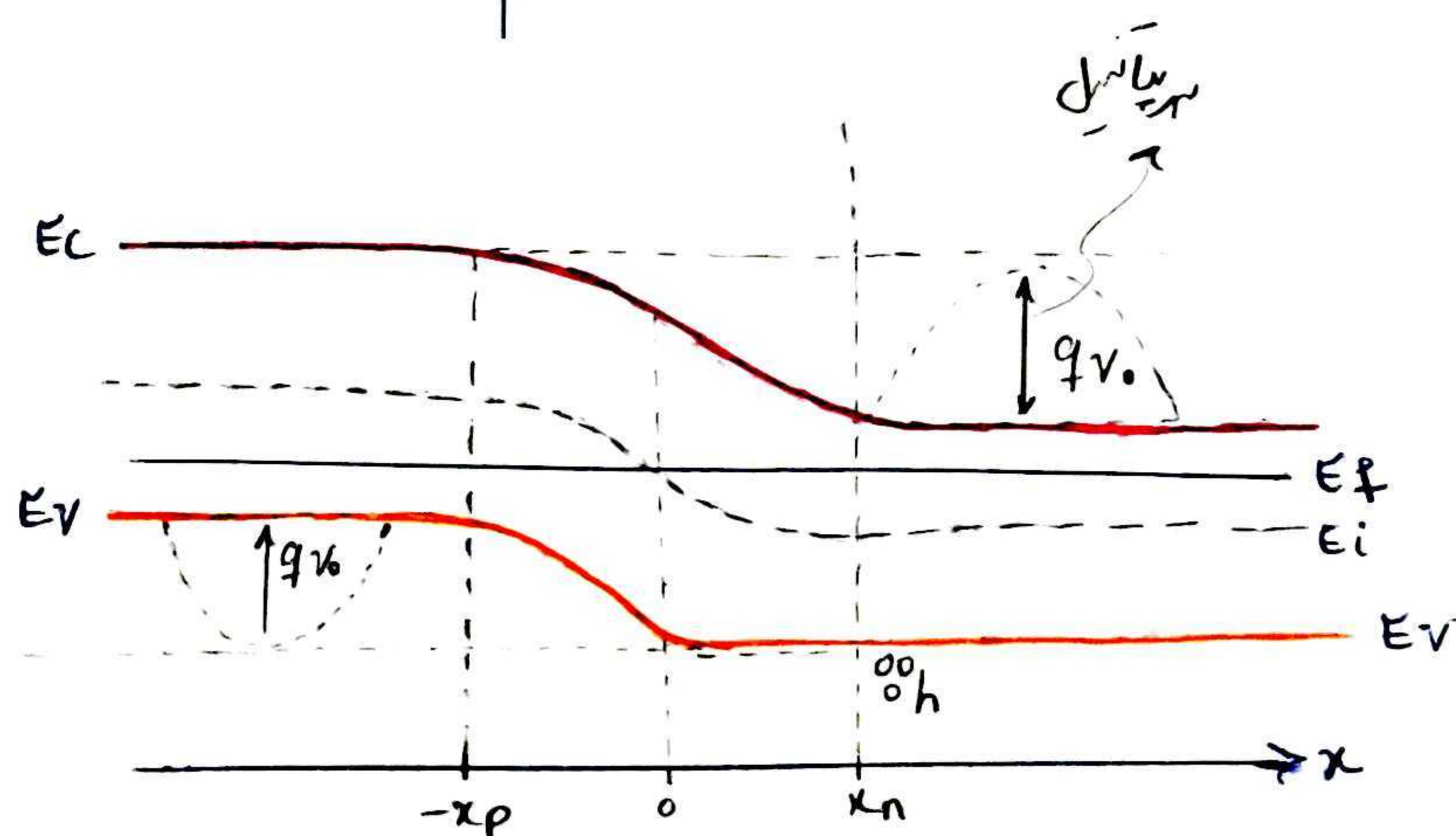
$$A_2 = \frac{-q_{ND}}{2\epsilon} (x_n^2) + V_0$$

$$V(x) = \frac{-q_{ND}}{2\epsilon} (x - x_n)^2 + V_0$$



$$\epsilon = -qV$$

$$E_C = -qV(x) + E_{ref}$$



از یونشلی میدان در $x=0$

$$\frac{-qN_A}{\epsilon} x_p = \frac{-qN_D}{\epsilon} x_n \rightarrow \boxed{N_A x_p = N_D x_n}$$

الفه خلیه هم دارد

فرضه نه داخله بشتری دارد خاصه تخیله لو جلی دارد

$$\boxed{W = x_p + x_n}$$

عرض کل ناحیه تخیله

$$N_A = 10^{16}$$

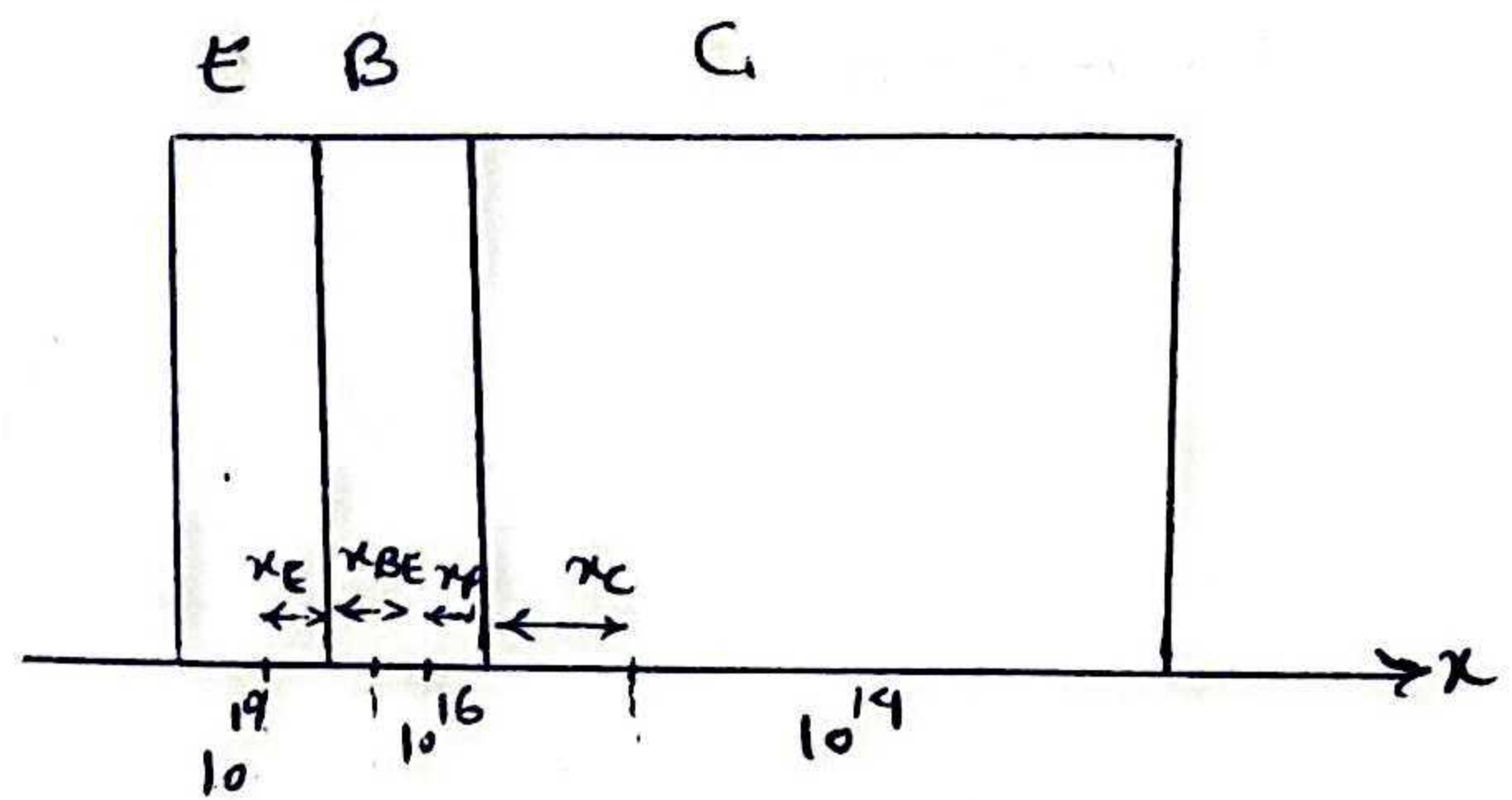
$$N_D = 10^{17}$$

$$x_n = \frac{N_A}{N_D} x_p$$

$$x_n = \frac{10^{16}}{10^{17}} x_p = \frac{1}{10} x_p$$

$$x_{BC} = \frac{1}{100} x_C$$

$$x_{BE} = 1000 x_E$$



بالساده از یونشلی ولتاژ (بیشتر) $x=0$

$$\frac{qN_A}{2\epsilon} (0 + x_p)^2 = \frac{-qN_D}{2\epsilon} (-x_n)^2 + V_0$$

$$\frac{qN_A}{2\epsilon} x_p^2 + \frac{qN_D}{2\epsilon} x_n^2 = V_0$$

$$x_p N_A = x_n N_D \rightarrow x_n = \frac{N_A}{N_D} x_p$$

$$\frac{qN_A}{2\epsilon} x_p^2 + \frac{qN_D}{2\epsilon} \left(\frac{N_A}{N_D}\right)^2 x_p^2 = V_0$$

$$x_p^2 = \frac{2\epsilon V_0}{q \left[N_A + \frac{N_A^2}{N_D} \right]}$$

$$x_n^2 = \frac{2\epsilon V_0}{q \left[\frac{N_A N_D^2}{N_A^2} + \frac{N_D^2 N_A^2}{N_D N_A^2} \right]} = \frac{2\epsilon V_0}{q \left[\frac{N_D^2}{N_A} + N_D \right]}$$

$$\Rightarrow W = \sqrt{\frac{2\epsilon V_0}{q}} \left(\frac{1}{\sqrt{N_A + \frac{N_A^2}{N_D}}} + \frac{1}{\sqrt{N_D + \frac{N_D^2}{N_A}}} \right)$$

$$N_A \sqrt{\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}} \quad N_D \sqrt{\frac{1}{N_D} + \frac{1}{N_A}} = \sqrt{\frac{2\epsilon V_0}{q}} \frac{N_A + N_D}{N_D N_A \sqrt{\frac{N_D + N_A}{N_D N_A}}} = \sqrt{\frac{2\epsilon V_0}{q} \frac{N_D}{N_D N_A}}$$

$$W = \sqrt{\frac{q E V_0}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right)}$$

$$E_{cp} - E_F \equiv q V_0 + (E_{cn} - E_F)$$

$$n = n_i e^{\frac{E_F - E_i}{kT}}$$

$$p = n_i e^{\frac{E_i - E_F}{kT}}$$

$$E_{g/2} + E_{ip} - E_F = q V_0 + E_{cn} - E_F$$

$$E_{g/2} + kT \ln \frac{p}{n_i} = q V_0 + E_{g/2} - (E_F - E_{in})$$

$$q V_0 = kT \ln \frac{N_A}{n_i} + kT \ln \frac{N_D}{n_i}$$

$$\Rightarrow V_0 = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2}$$