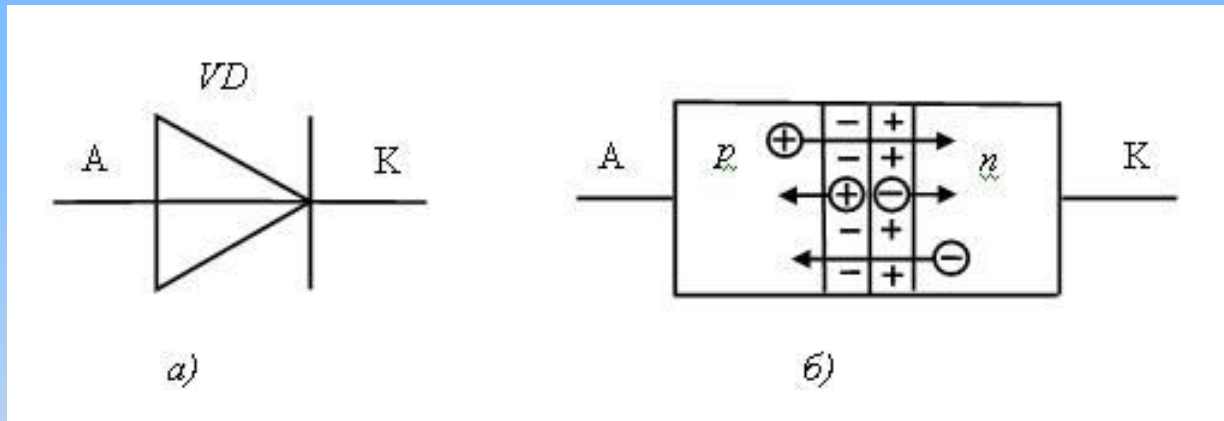


$p-n$ -переход

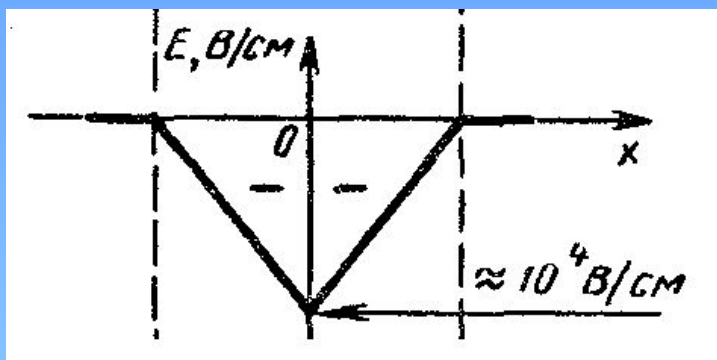
Контакт двух полупроводников одного вида с разным типом проводимости называется *электронно-дырочным* или $p-n$ -переходом



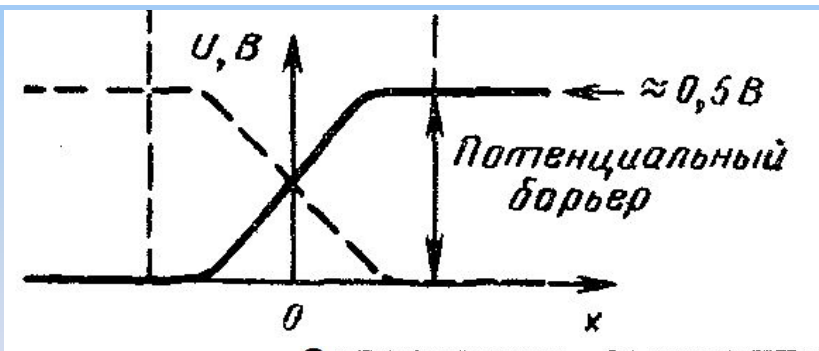
Условное обозначение (а) и структура (б)
полупроводникового диода



Электронно-дырочный переход плоскостной полупроводниковый диод

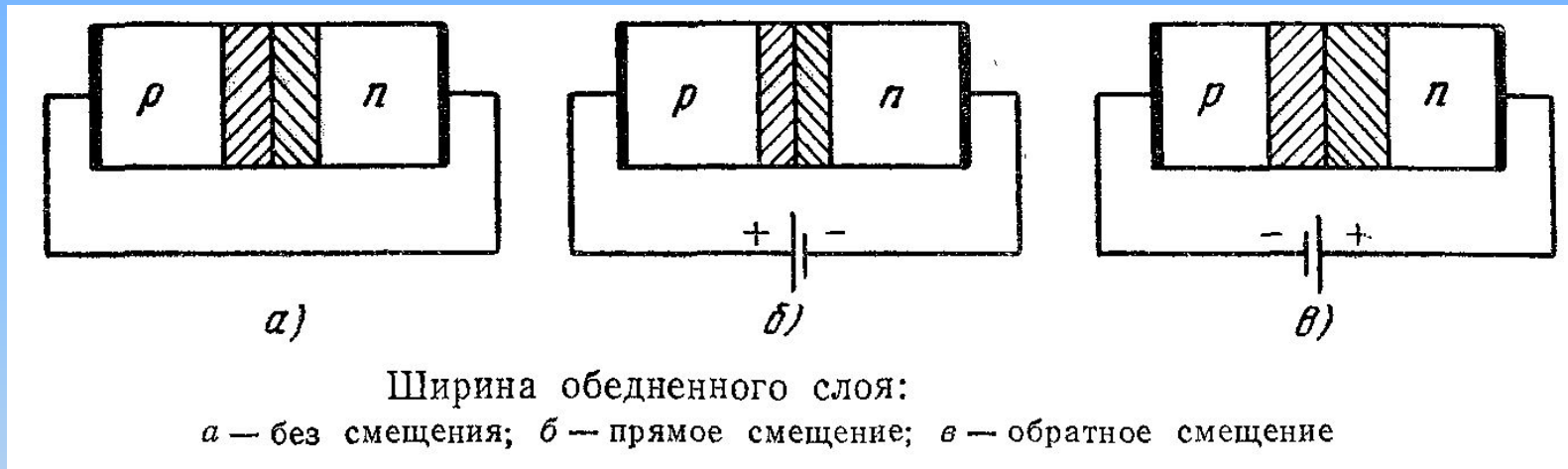


На рис. показана напряженность поля E . Она отрицательна, так как электрическое поле имеет направление, обратное (принятому за положительное) направлению отсчета расстояния x . При $x=0$ напряженность поля порядка 10^4 В/см.



Зависимость электрического потенциала вдоль оси x от расстояния до границы раздела. Свободные положительные заряды-дырки находятся слева, и разность потенциалов рис. является для них потенциальным барьером, который они должны преодолеть, чтобы перейти слева направо.

Вольт-амперная характеристика p-n перехода



Снабдив p - n переход омическими контактами, одинаково хорошо проводящими ток в любом направлении, получим плоскостной диод.

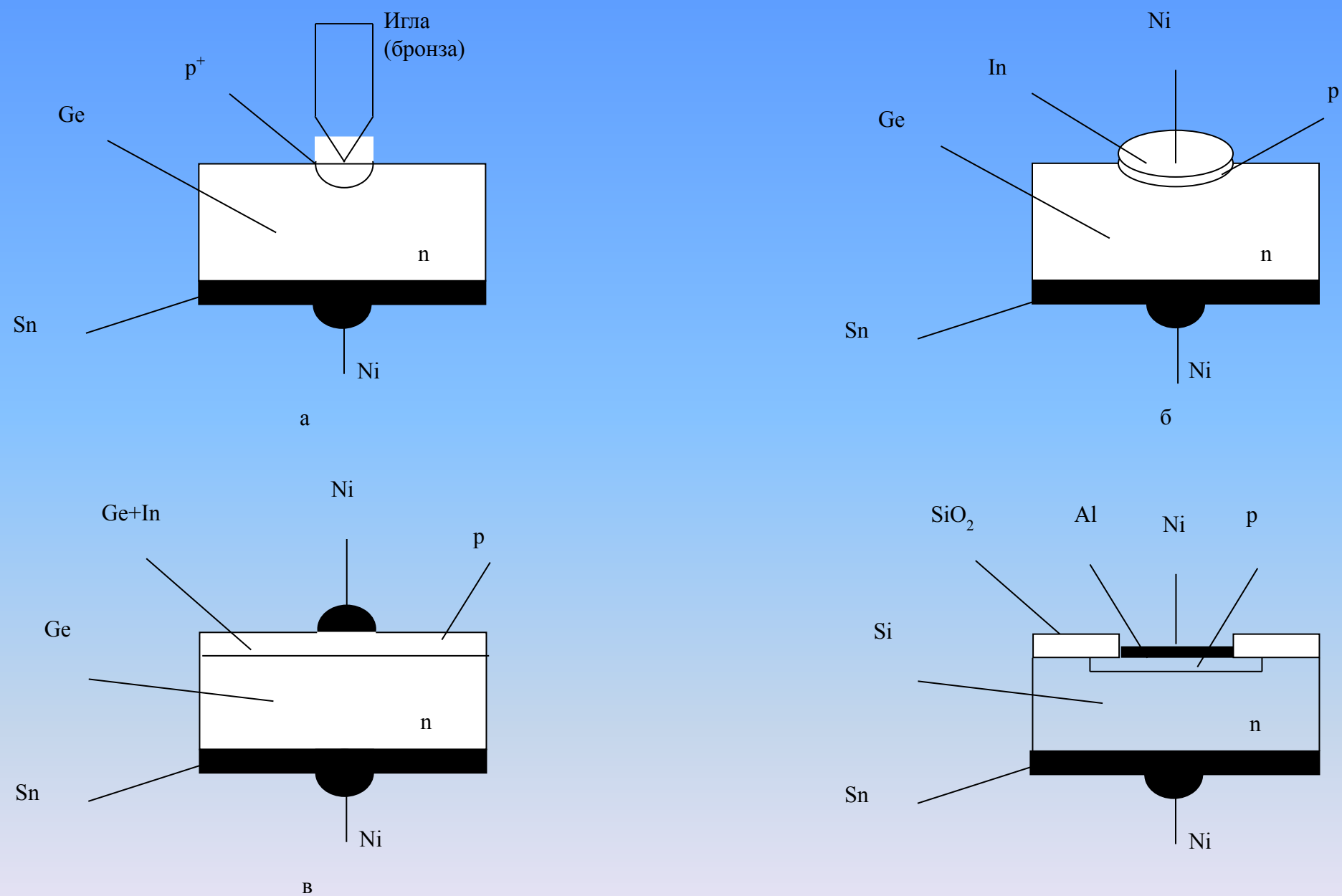


Рис. 1. Структуры полупроводниковых диодов: точечного (а); сплавного (б); диффузионного (в); планарного (г)

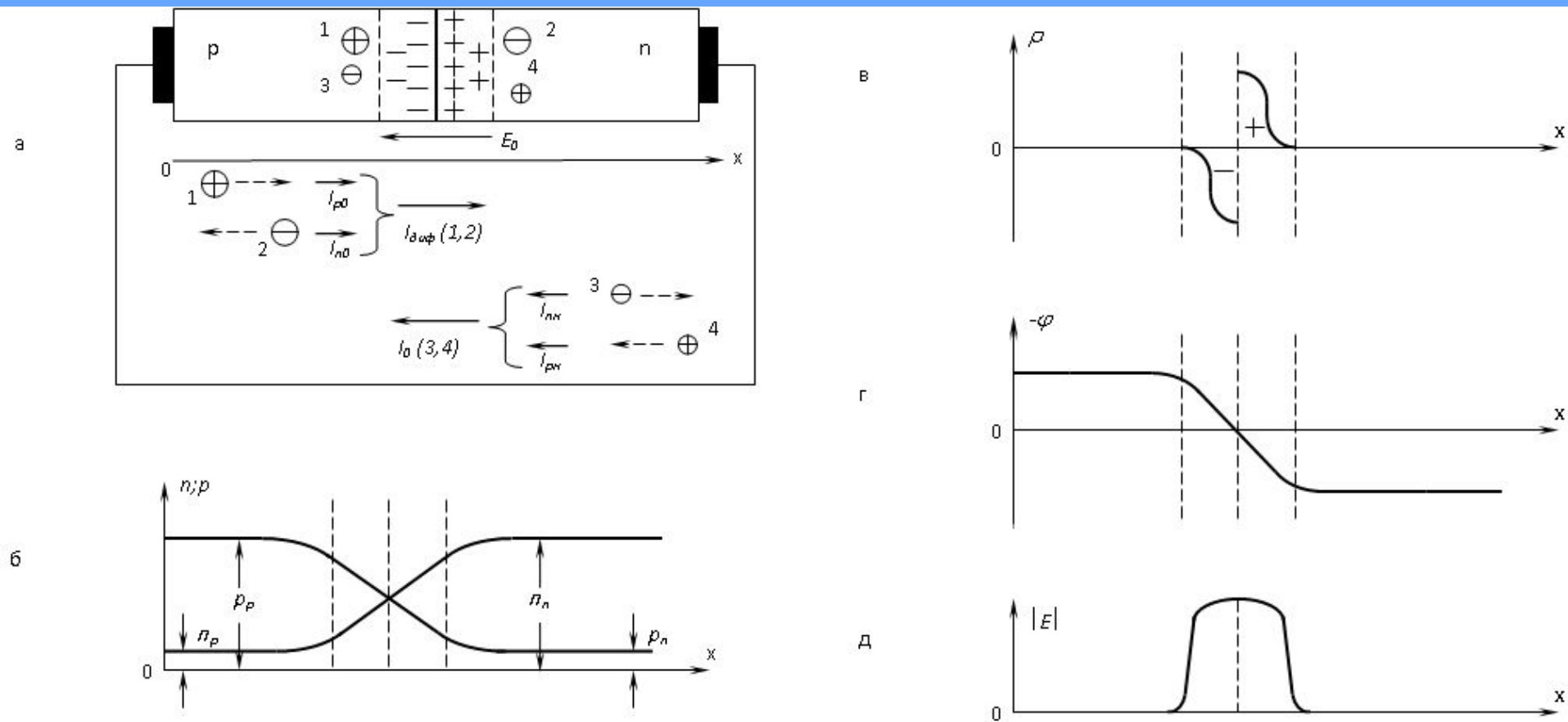


Рис. 2. Симметричный p-n – переход: а- схематичное изображение; б- концентрация подвижных носителей зарядов; в- объемная плотность подвижных зарядов; г-потенциал; д-напряженность поля

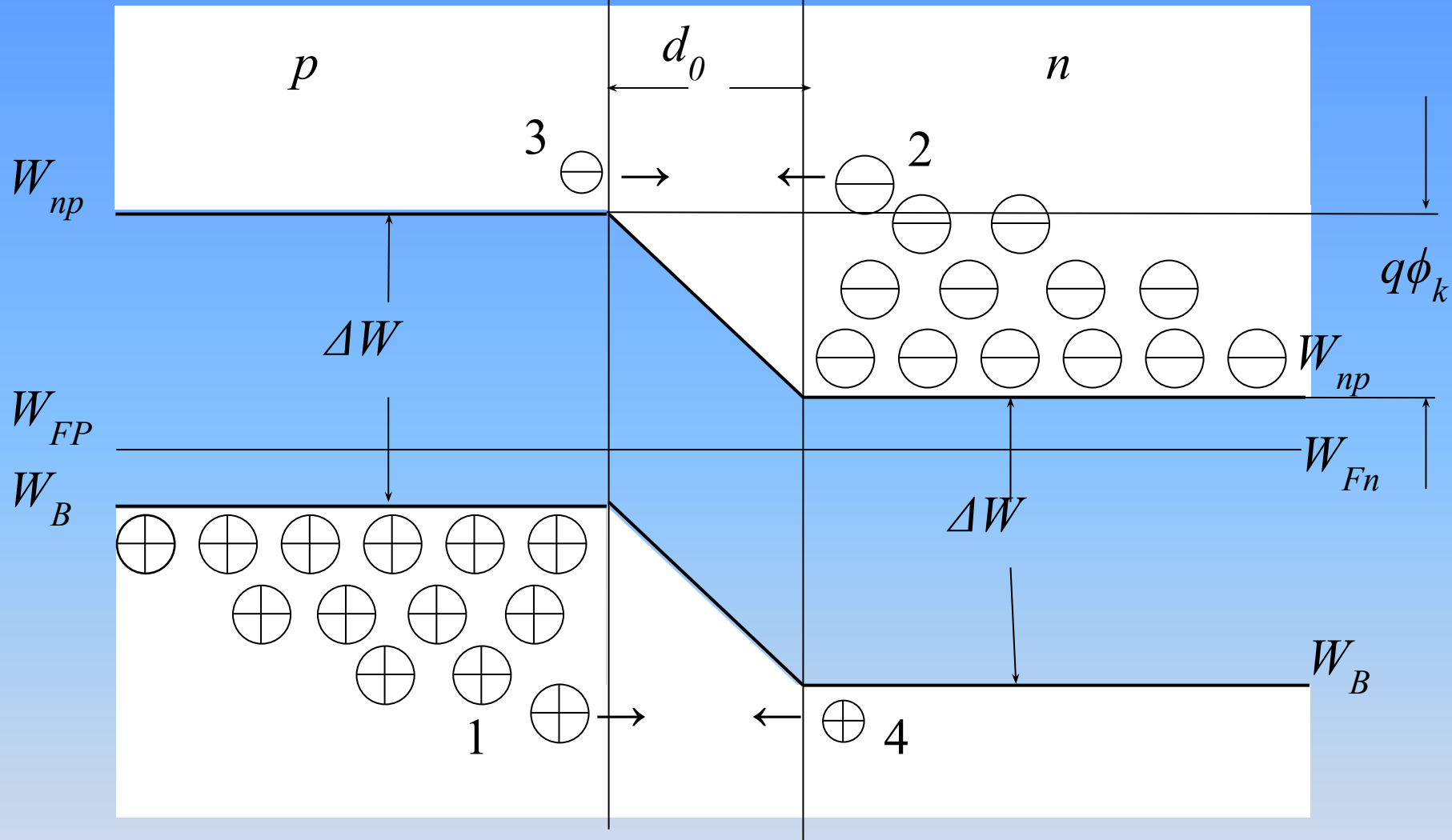


Рис.3. Энергетическая диаграмма p - n -перехода в равновесном состоянии

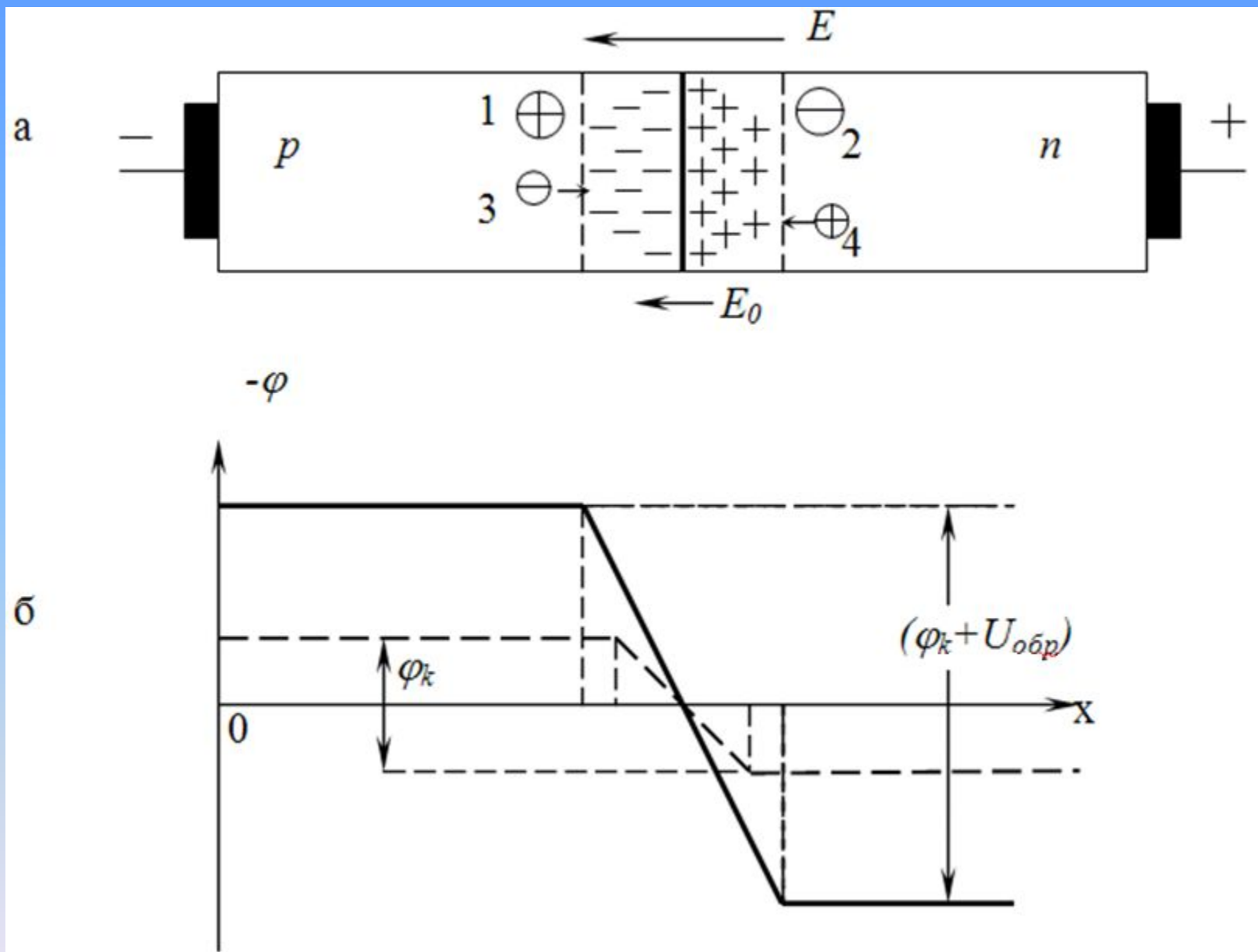


Рис.4. Обратносмещенный p - n -переход: схематическое изображение (а), распределение потенциала (б)

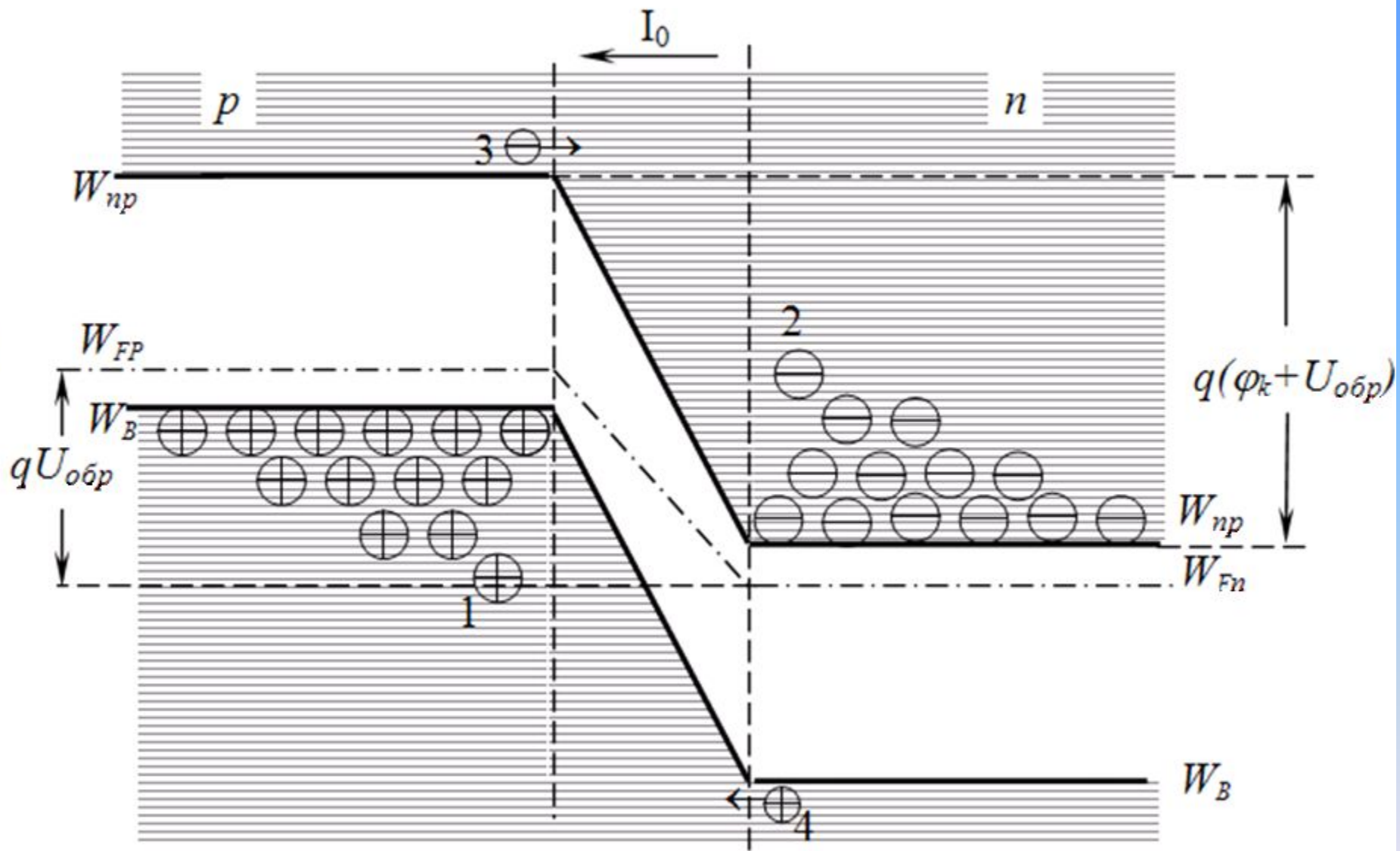


Рис.4. Обратносмещенный p - n -переход: зонная диаграмма (в)

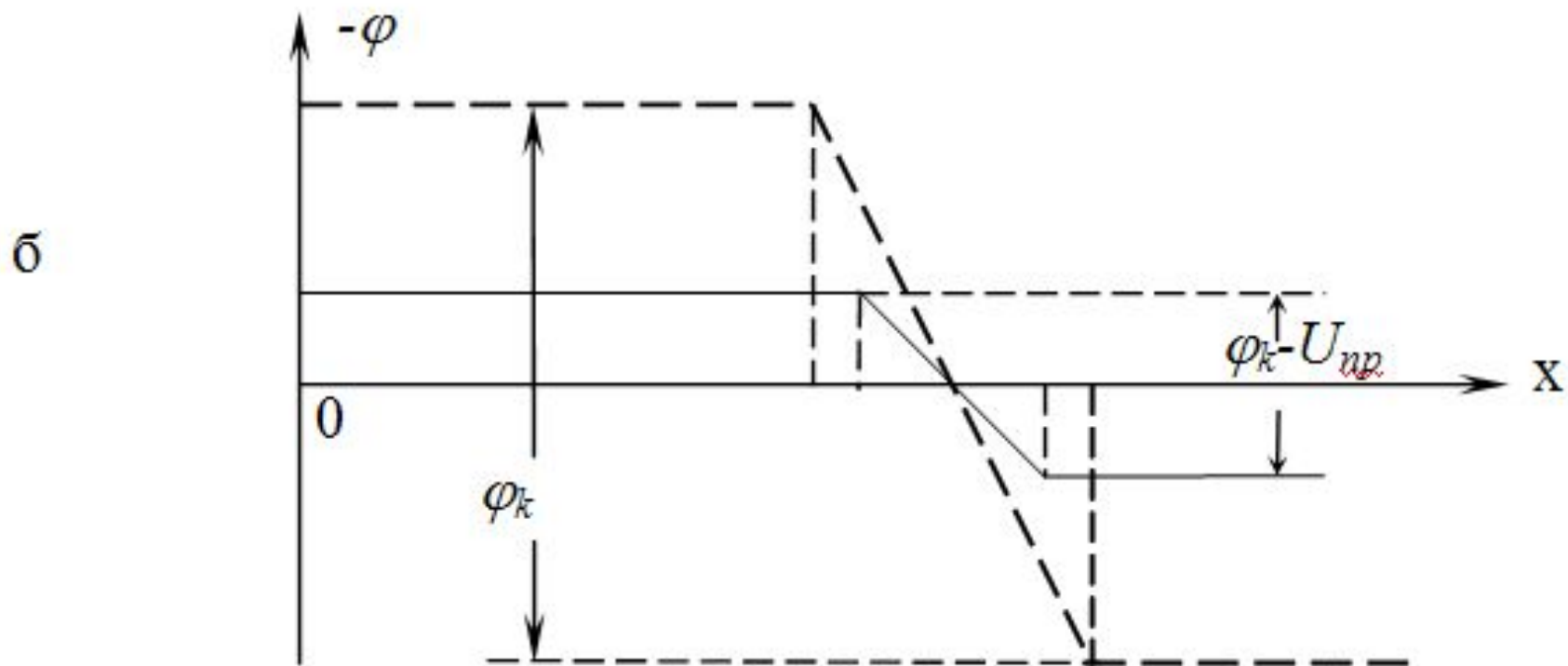
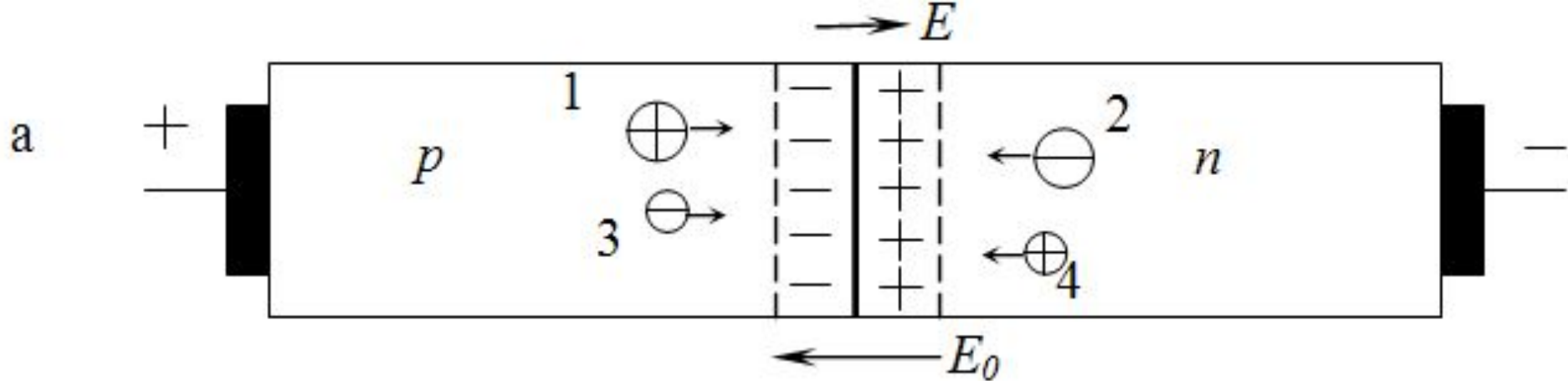


Рис.5. Прямо смещенный p - n -переход: схематическое изображение (а), распределение потенциала (б)

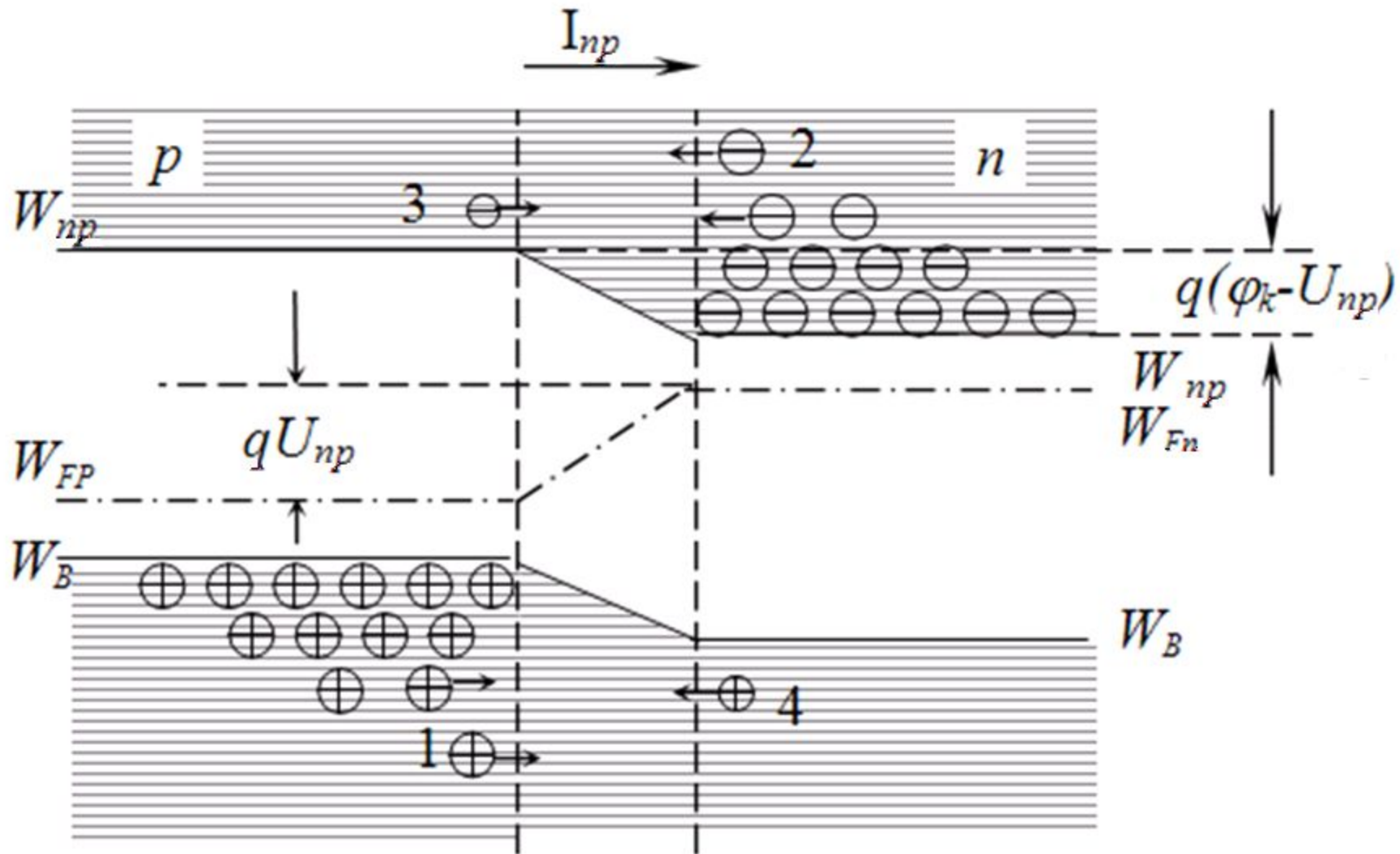


Рис. 5. Прямосмещенный p - n -переход: зонная диаграмма (в)

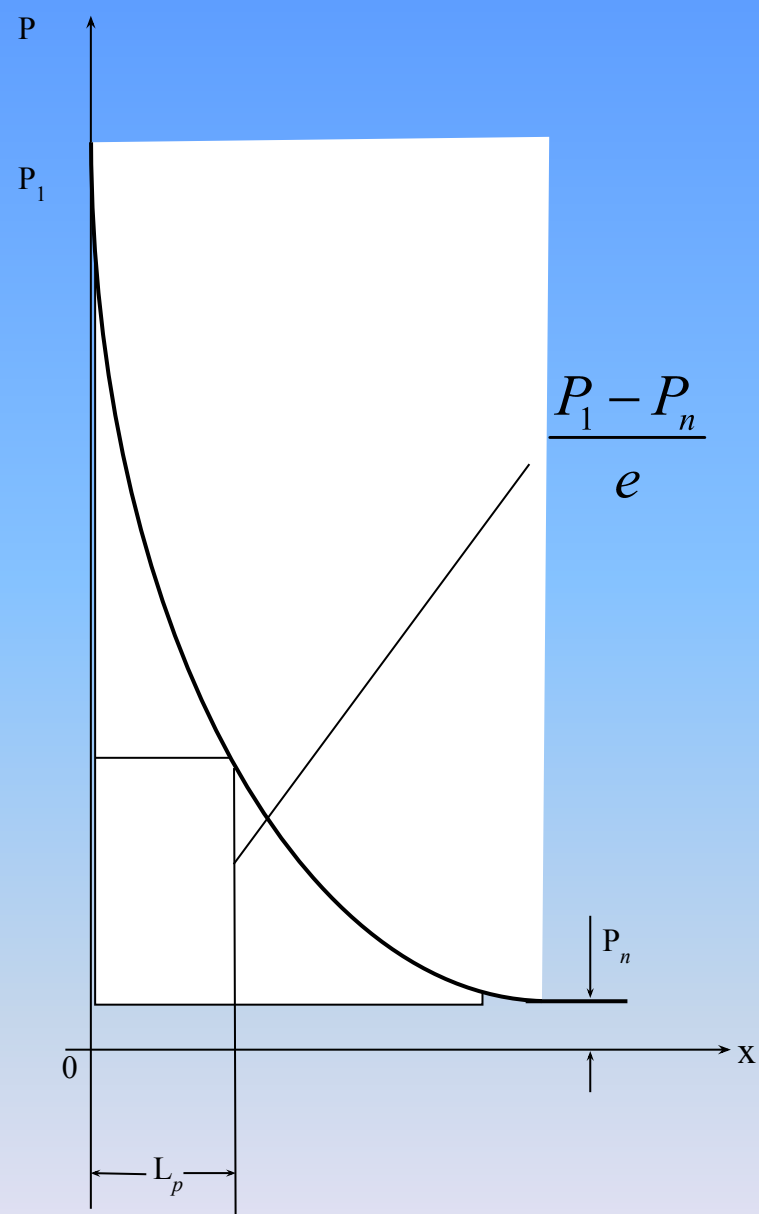


Рис.6. Распределение
Концентрации дырок по
толщине n – области

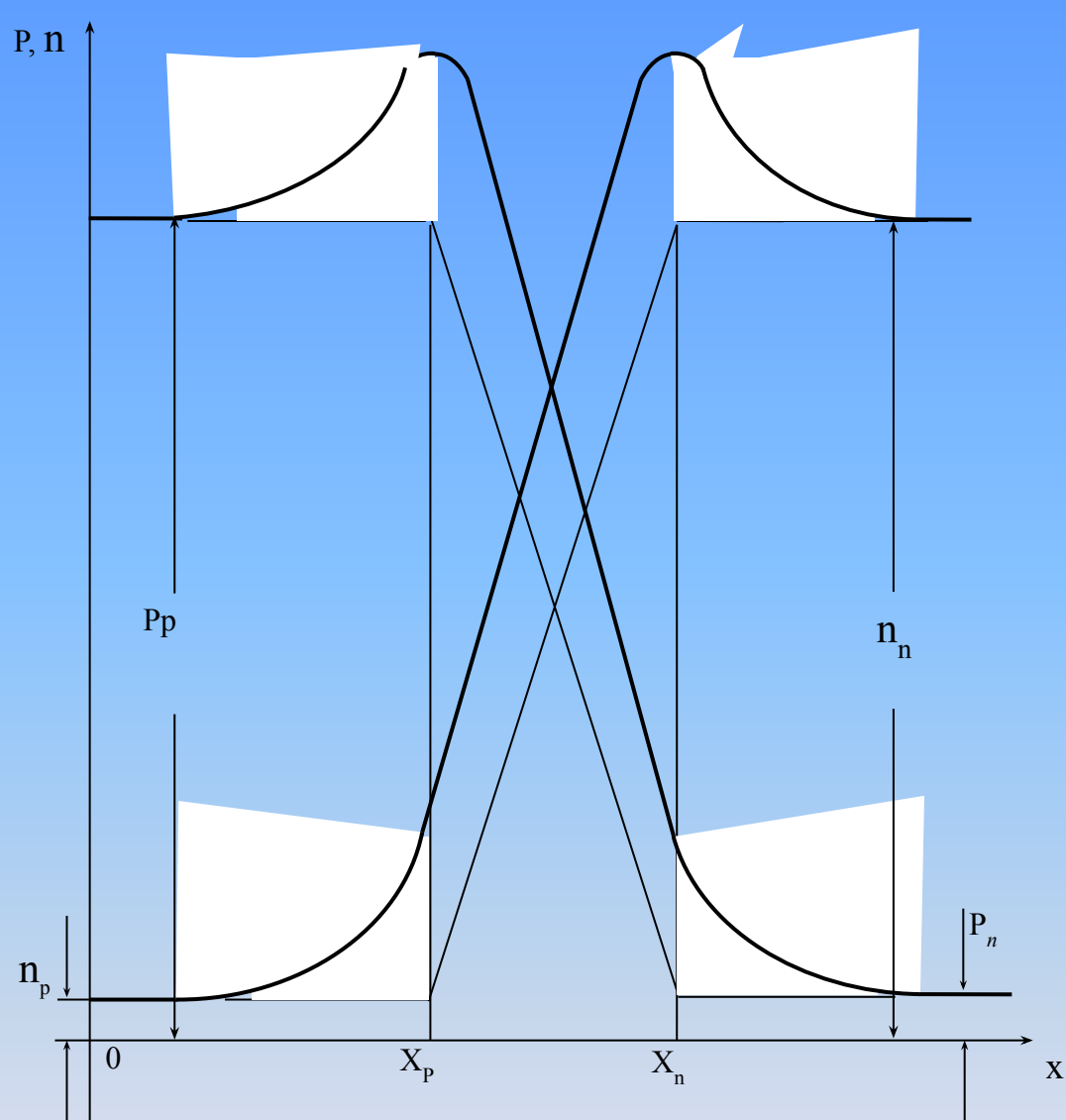


Рис.7. Распределение концентрации
подвижных носителей по толщине
полупроводникового диода

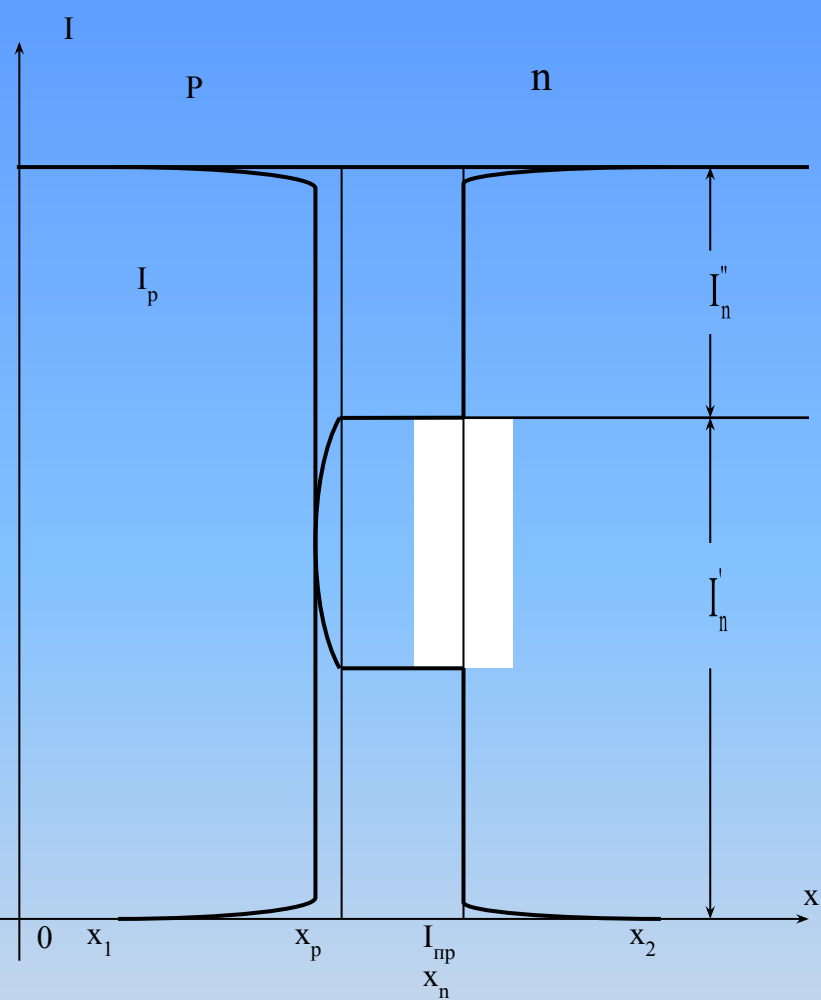


Рис.8. Распределение токов по длине симметричного p - n -перехода при прямом включении

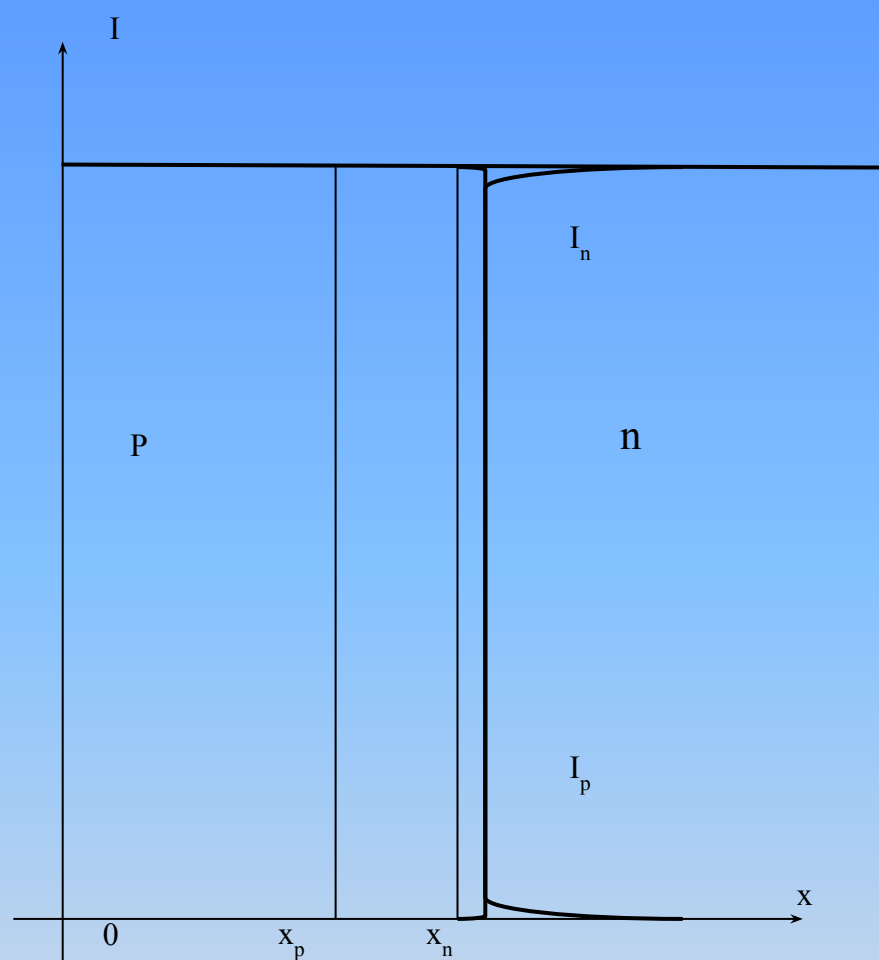


Рис.9. Распределение концентрации токов по длине резко несимметричного p^+ - n -перехода при прямом включении

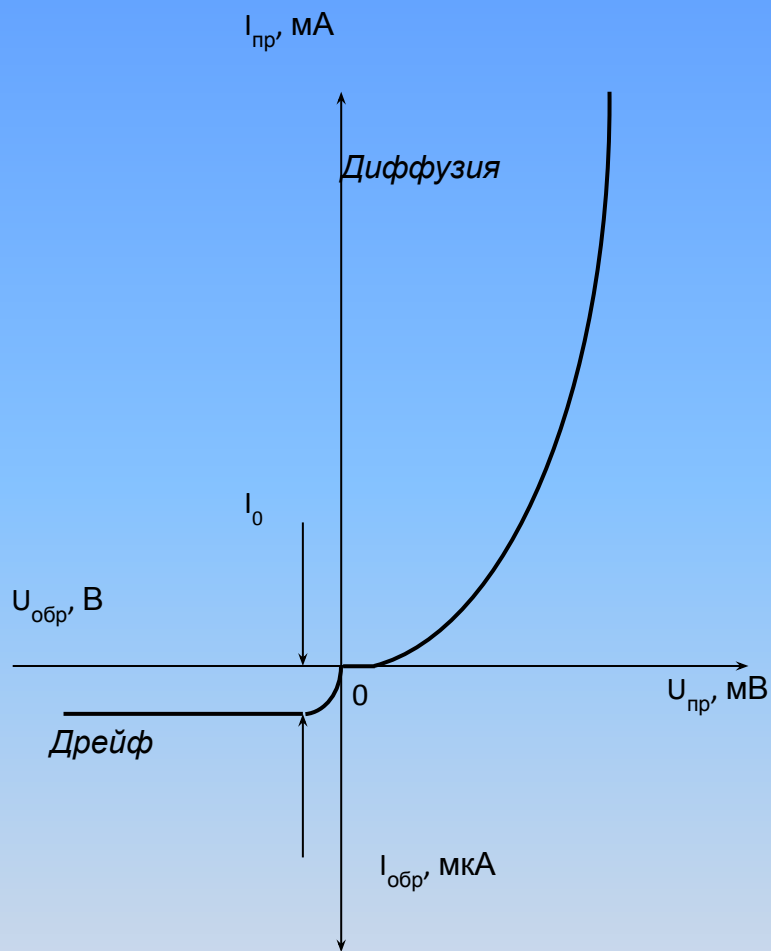


Рис.10. Вольт – амперная характеристика идеализированного $p-n$ -перехода

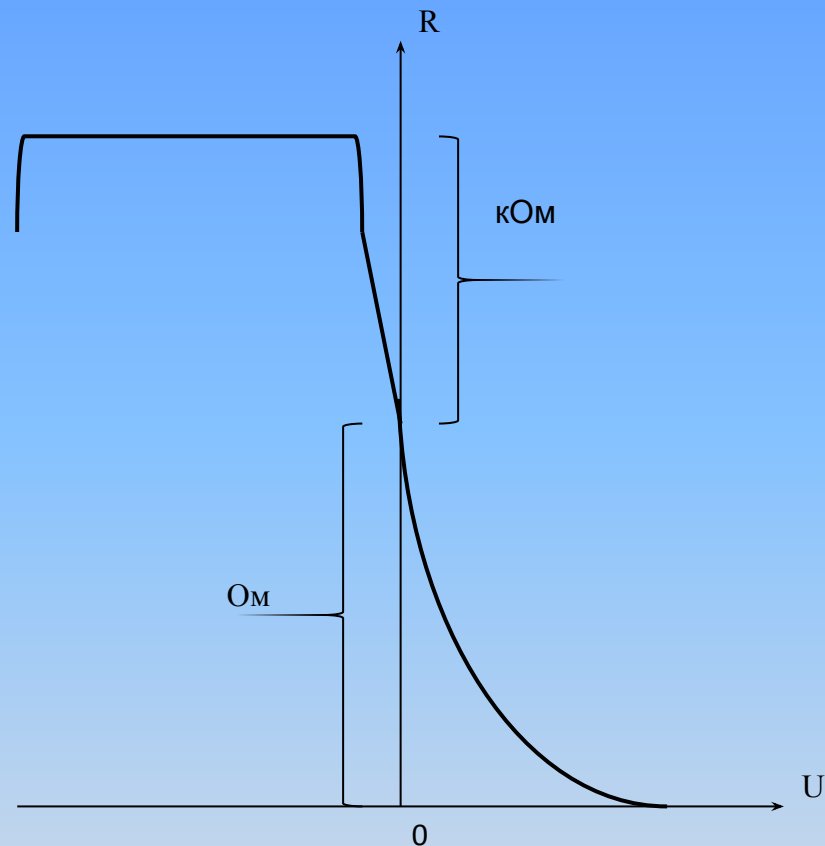
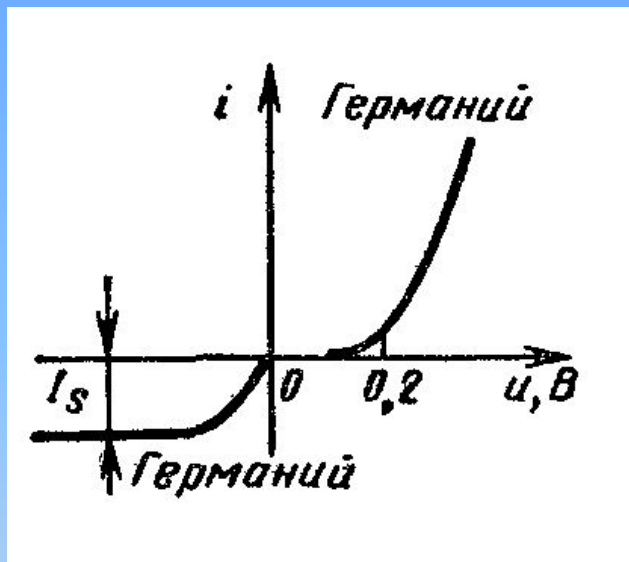


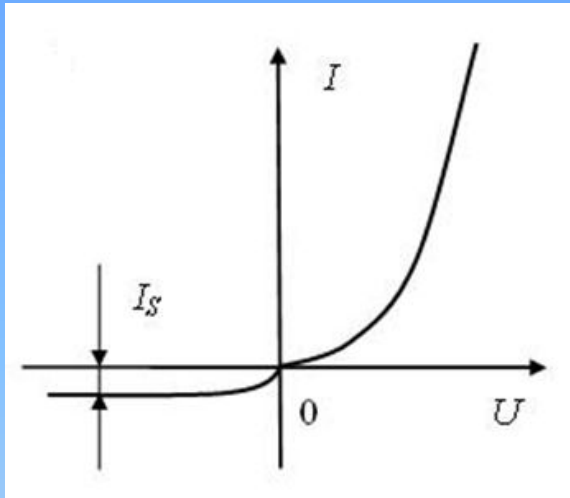
Рис.11. Вольт – омная характеристика $p-n$ -перехода

Вольт-амперная характеристика p-n перехода



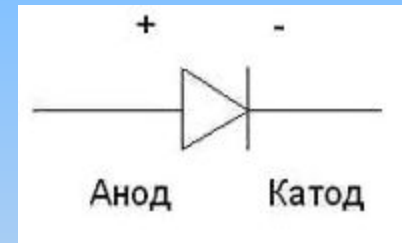
Уже при сравнительно небольших отрицательных напряжениях обратный ток равен току насыщения I_s . Этот ток создается неосновными носителями: электронами p -области и дырками n -области, переходу которых из одной области в другую способствует потенциальный барьер вблизи границы раздела. При увеличении обратного напряжения ток не увеличивается, так как на границе перехода число неосновных носителей в единицу времени определяется лишь температурой и не зависит от приложенного извне напряжения, если оно не очень велико.

Вольт-амперная (ВАХ) характеристика p-n перехода



Статическая вольт-амперная характеристика идеального диода

Диод – пассивный нелинейный полупроводниковый прибор, с двумя электродами – анодом и катодом. Он проводит ток в прямом направлении, когда к аноду приложен положительный потенциал "+", а к катоду отрицательный "-". Он не проводит ток в обратном направлении. Называется пассивным, потому, что не усиливает мощность. Диод является нелинейным элементом, поэтому его ВАХ (вольт-амперная характеристика) нелинейная.



Когда диод начинает проводить ток, на нем возникает падение напряжения. Постоянный прямой ток $I_{пр.}$ может быть 10-20 мА, постоянный обратный ток $I_{обр.}$ 1-2 мкА. - для диодов общего назначения, $I_{обр.}$ обычно не принимают во внимание до тех пор, пока постоянное обратное напряжение $U_{обр.}$ не достигнет напряжения пробоя, в этом случае $I_{обр.}$ возрастает до значений $I_{пр.}$ и диод выходит из строя, $I_{пр.}$ также не может превышать $I_{макс.}$ Германиевые диоды открываются при $U_{пр.} = 0,2-0,4$ В, кремниевые - 0,6-0,8 В. Германиевые диоды имеют меньшее сопротивление в прямом направлении, чем кремниевые, порядка 100 Ом, их обратное сопротивление больше 100 000 Ом, прямые и обратные сопротивления у кремниевых диодов выше. С повышением температуры $I_{пр.}$ и $I_{обр.}$ увеличиваются. Д226 – германиевый диод. КД102 – кремниевый диод.

Выпрямительные полупроводниковые диоды. Характеристики и параметры. Влияние внешних условий на характеристики и параметры

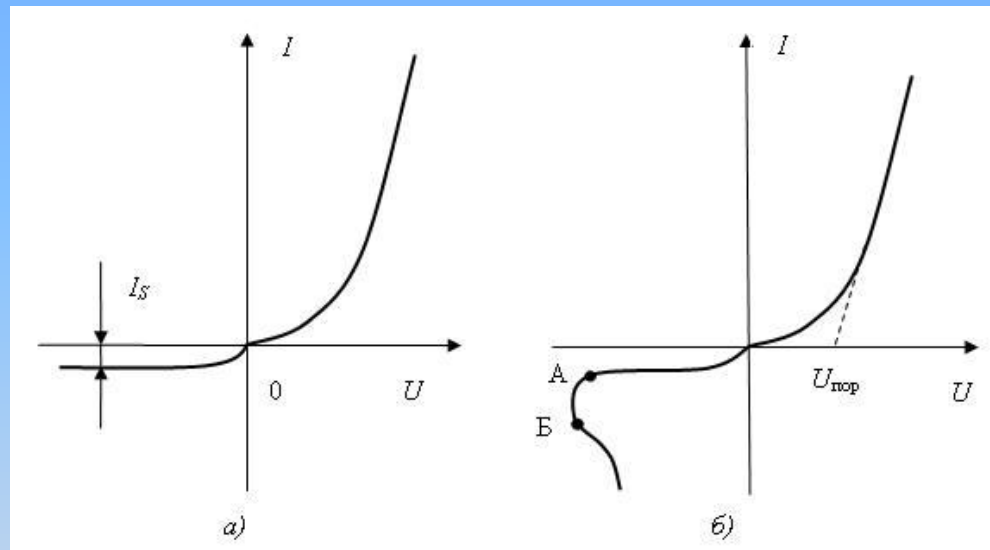
Зависимость тока через диод от напряжения на диоде называется вольт-амперной характеристикой диода. Теоретическое описание ВАХ идеального диода с $p-n$ -переходом, полученное У. Шокли:

$$I = I_S \left(e^{U/\phi_T} - 1 \right),$$

где U – напряжение на $p-n$ -переходе диода;

I_S – ток насыщения;

$\phi_T = kT/q$ – тепловой потенциал при $T = 300$ К, $\phi_T = 25$ мВ.



Статические вольт-амперные характеристики идеального $p-n$ -перехода (а) и реального диода (б)



Выпрямительные полупроводниковые диоды. Характеристики и параметры.

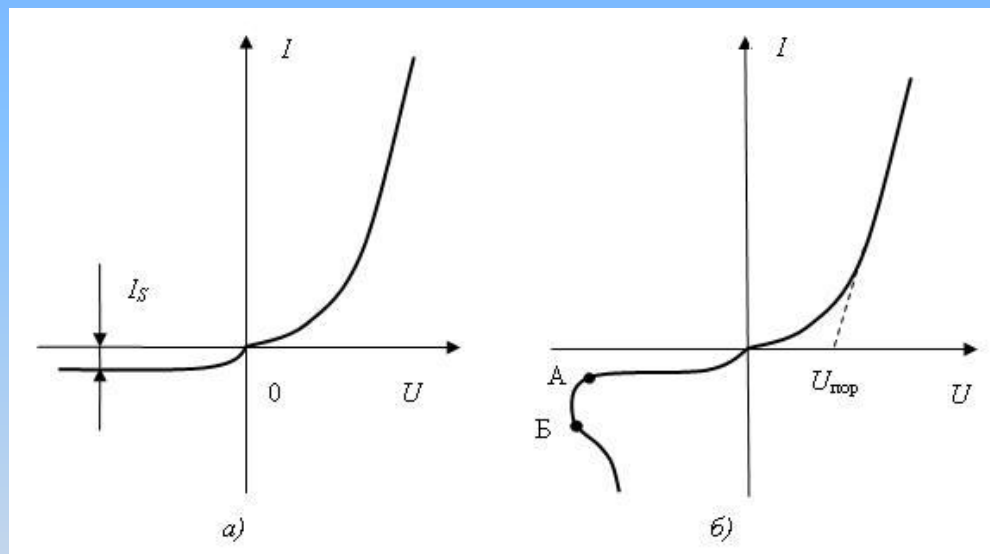
Влияние внешних условий на характеристики и параметры

При положительных и отрицательных напряжениях U , больших по модулю $0,1$ В, ВАХ описывается упрощенным выражением:

$$I = I_S e^{U/\varphi_T}.$$

При протекании большого прямого тока через диод падение напряжения возникает не только на $p-n$ -переходе, но и на объемном сопротивлении полупроводника R . Реальная ВАХ описывается выражением

$$I = I_S e^{(U-IR)/\varphi_T}.$$



Статические вольт-амперные характеристики идеального $p-n$ -перехода (а) и реального диода (б)



Выпрямительные полупроводниковые диоды. Характеристики и параметры. Влияние внешних условий на характеристики и параметры

Параметры полупроводникового диода

- Коэффициент выпрямления K_B , который определяется как отношение прямого тока к обратному при одинаковой (по модулю) величине прямого и обратного напряжений (например: $\pm 0,01$; $\pm 0,1$; ± 1 В).

Для идеального диода $K_B = 1$ при $U = \pm 0,01$ В. При $U = \pm 1$ В $K_B = 2,8 \cdot 10^{20}$

- Максимально допустимый прямой ток $I_{пр\ max}$, превышение которого приводит к недопустимому разогреву и тепловому пробую. $I_{пр\ max}$ справочное значение.
- Свойства полупроводниковых диодов сильно зависят от температуры.



Выпрямительные полупроводниковые диоды. Характеристики и параметры. Влияние внешних условий на характеристики и параметры

Параметры полупроводникового диода (продолжение)

- Максимально допустимое обратное напряжение $U_{\text{обр max}}$ – важный предельный параметр выпрямительных диодов и составляет для диодов малой мощности десятки-сотни вольт.

- Дифференциальное сопротивление диода: $r_d = dU / dI$.

- Статическое сопротивление диода (сопротивление постоянному току):

$$R_{\text{д.ст}} = U / I.$$



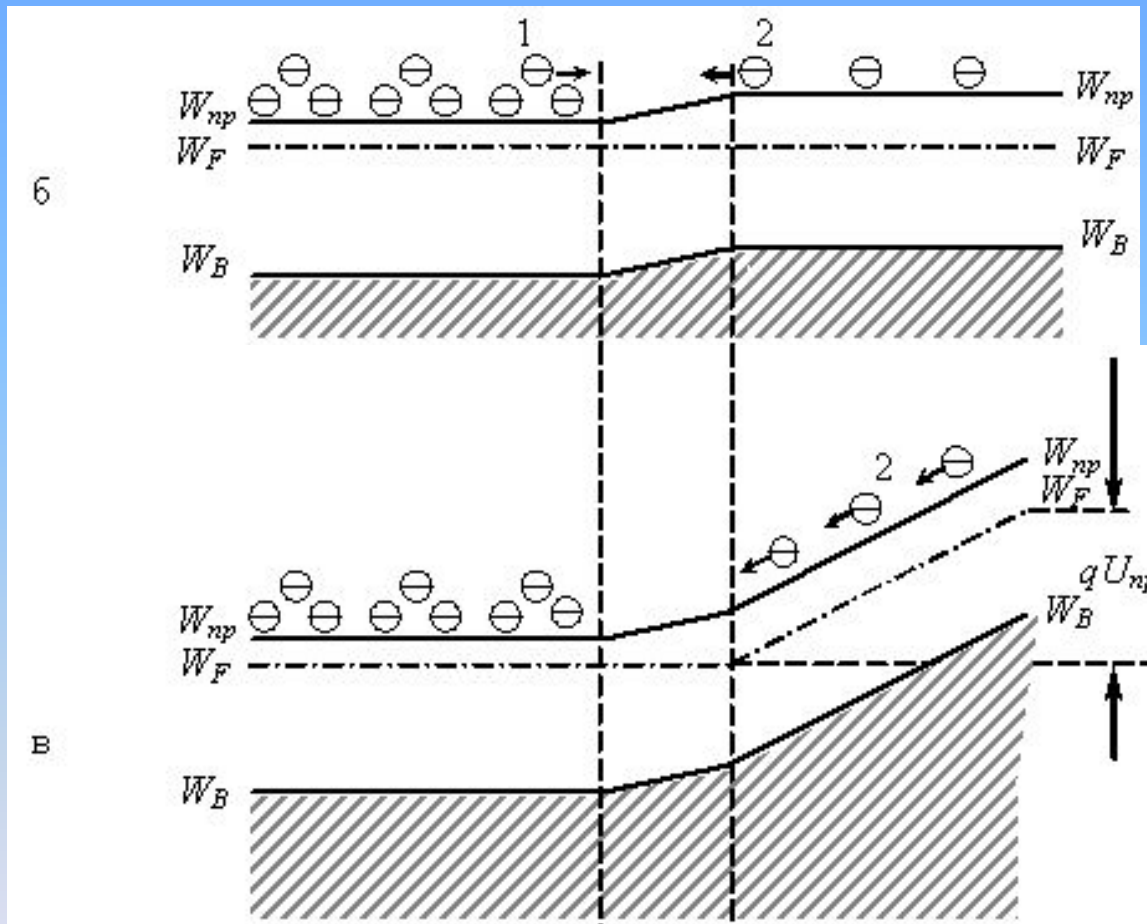
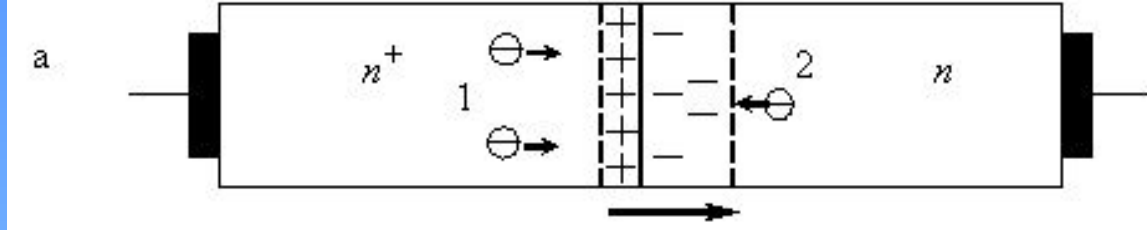


Рис. 12. Электрический переход типа $n^+ - n$: схематическое изображение (а), зонные диаграммы для равновесного состояния (б), при прямом включении (в)

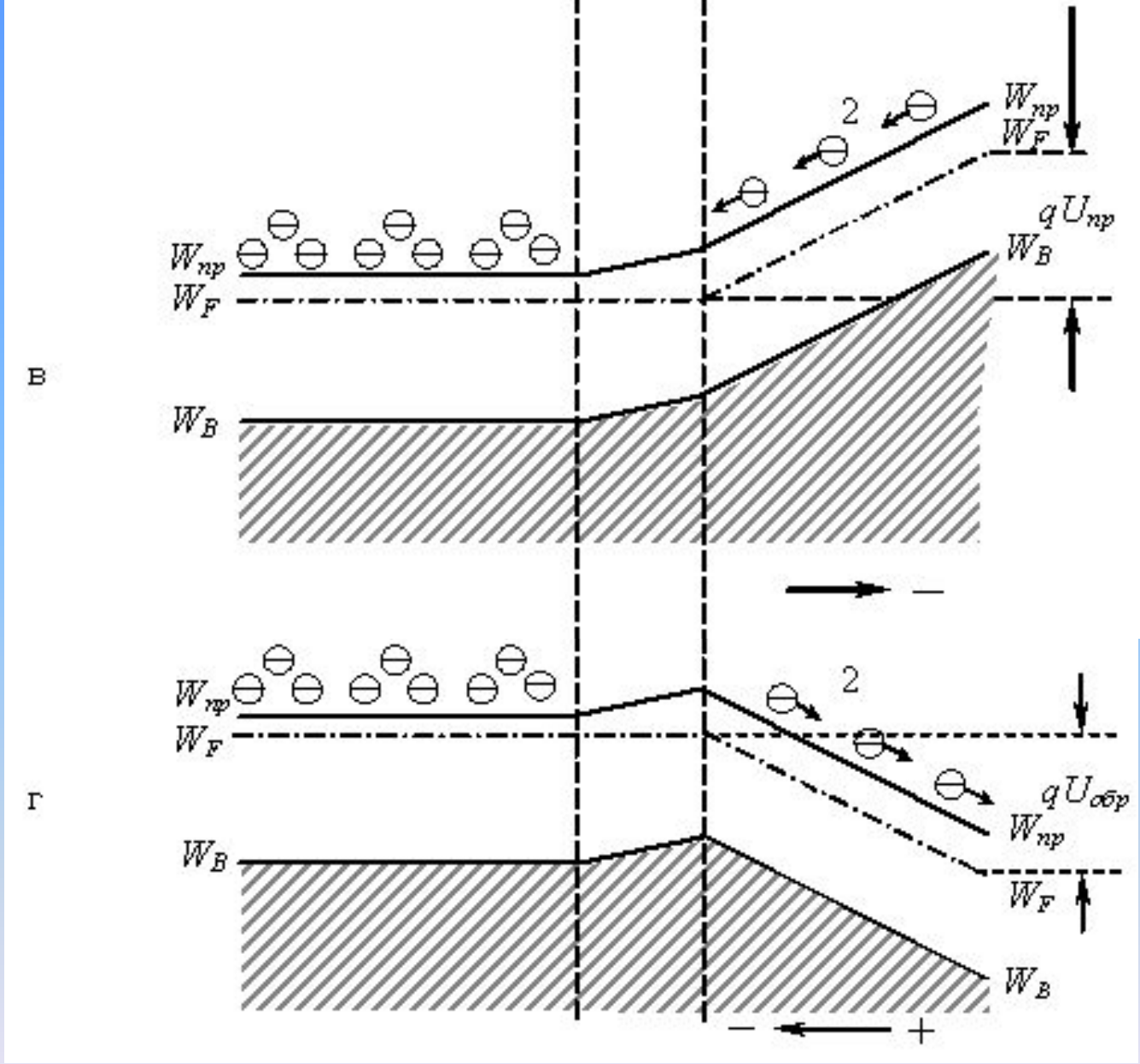


Рис. 12. Электрический переход типа $n^+ - n$: при прямом включении (в), при обратном включении (г)

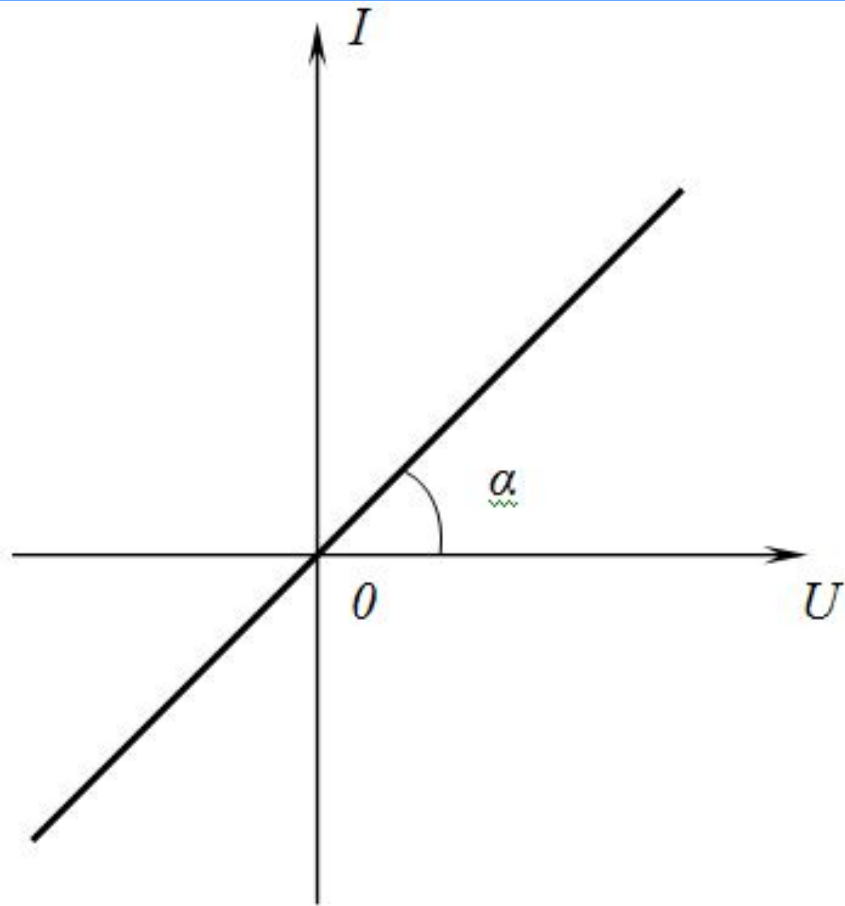


Рис.13. Вольт – амперная характеристика идеализированного $n^+ - n$ -перехода

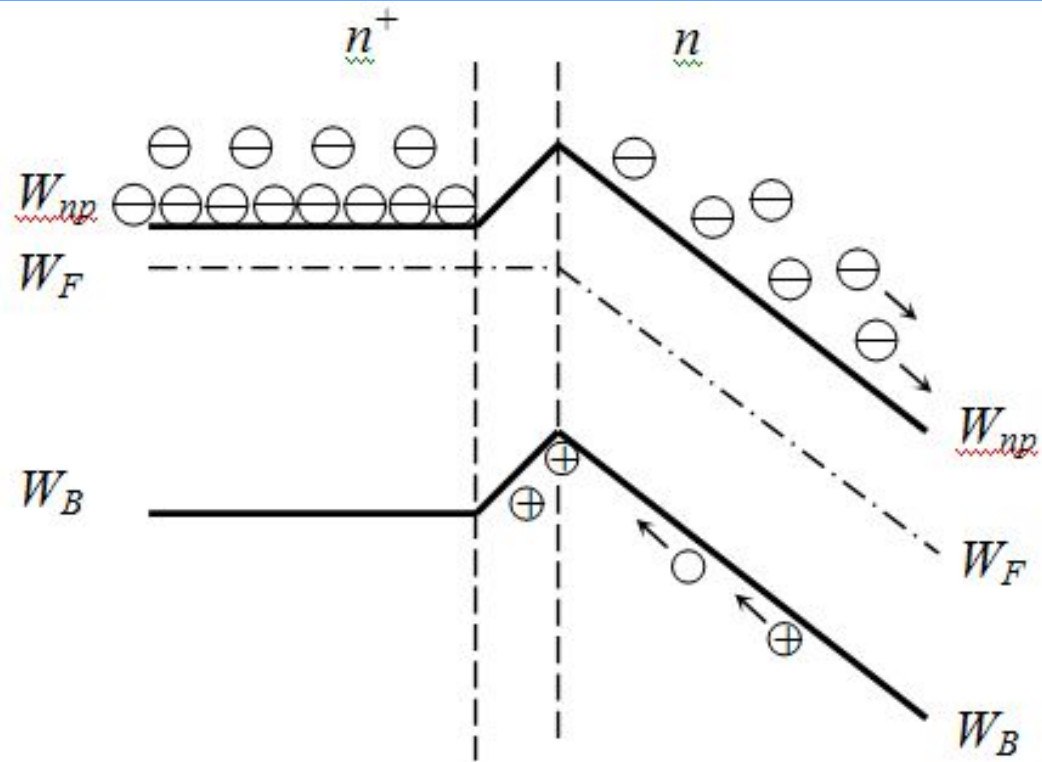


Рис.14. Накопление неосновных носителей заряда (дырок) $n^+ - n$ -перехода при наличии внешнего поля

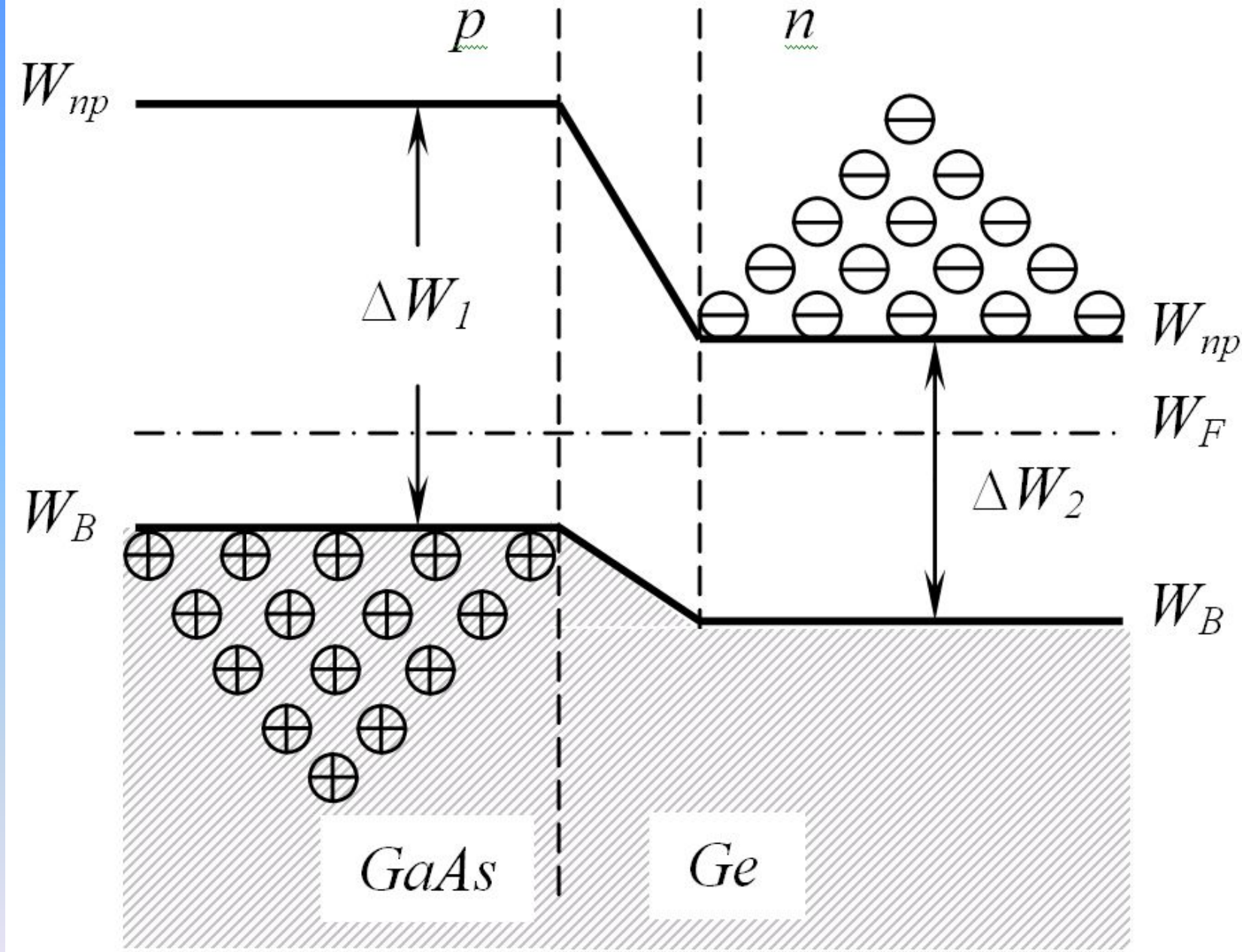


Рис. 15. Диаграмма энергетических уровней $p-n$ -гетероперехода в равновесном состоянии

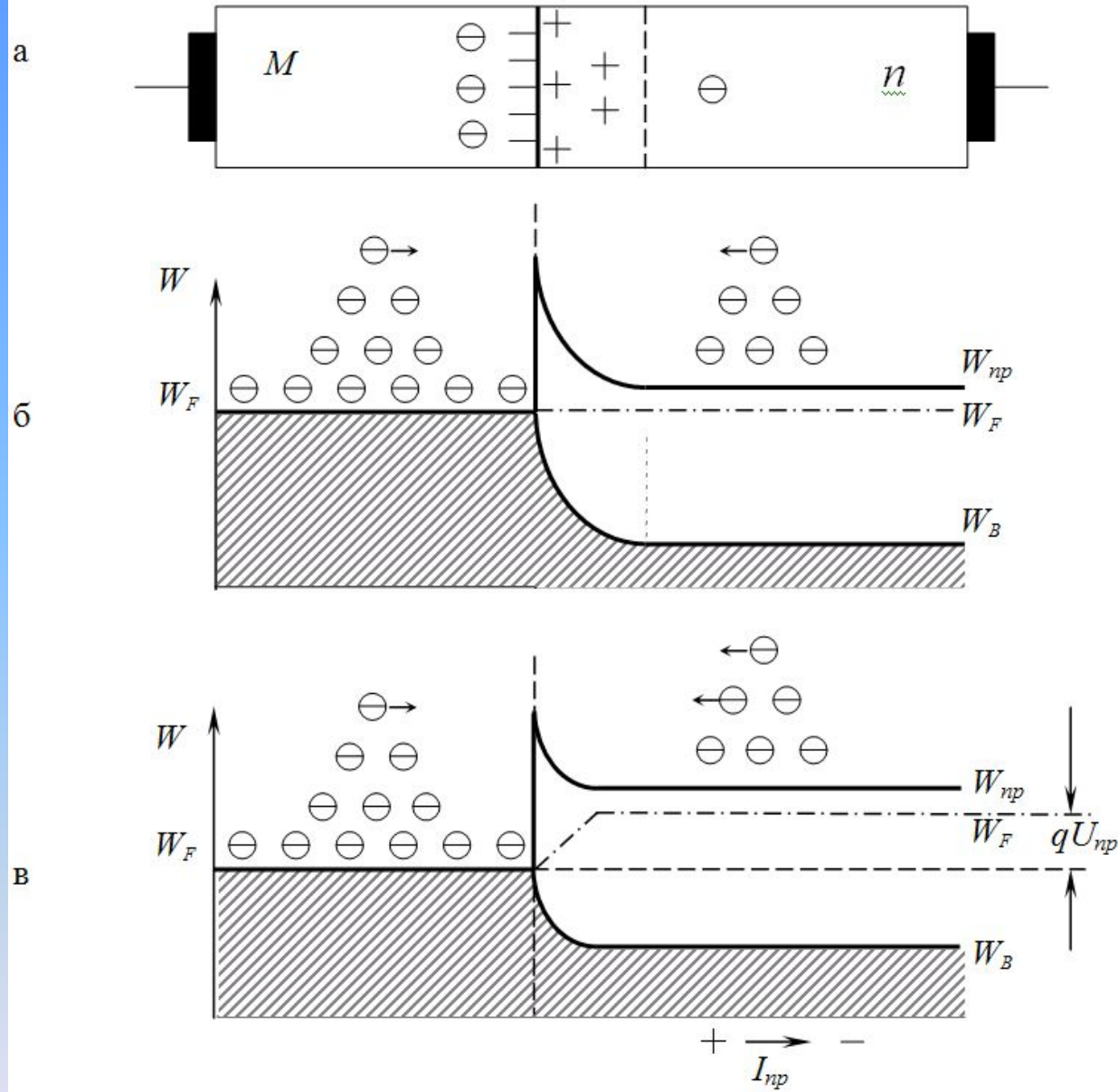


Рис. 16. Контакт металла и n -полупроводника ($W_{OM} > W_{ON}$):
схематическое изображение перехода (а); зонные диаграммы для
равновесного состояния (б); при прямом включении (в).

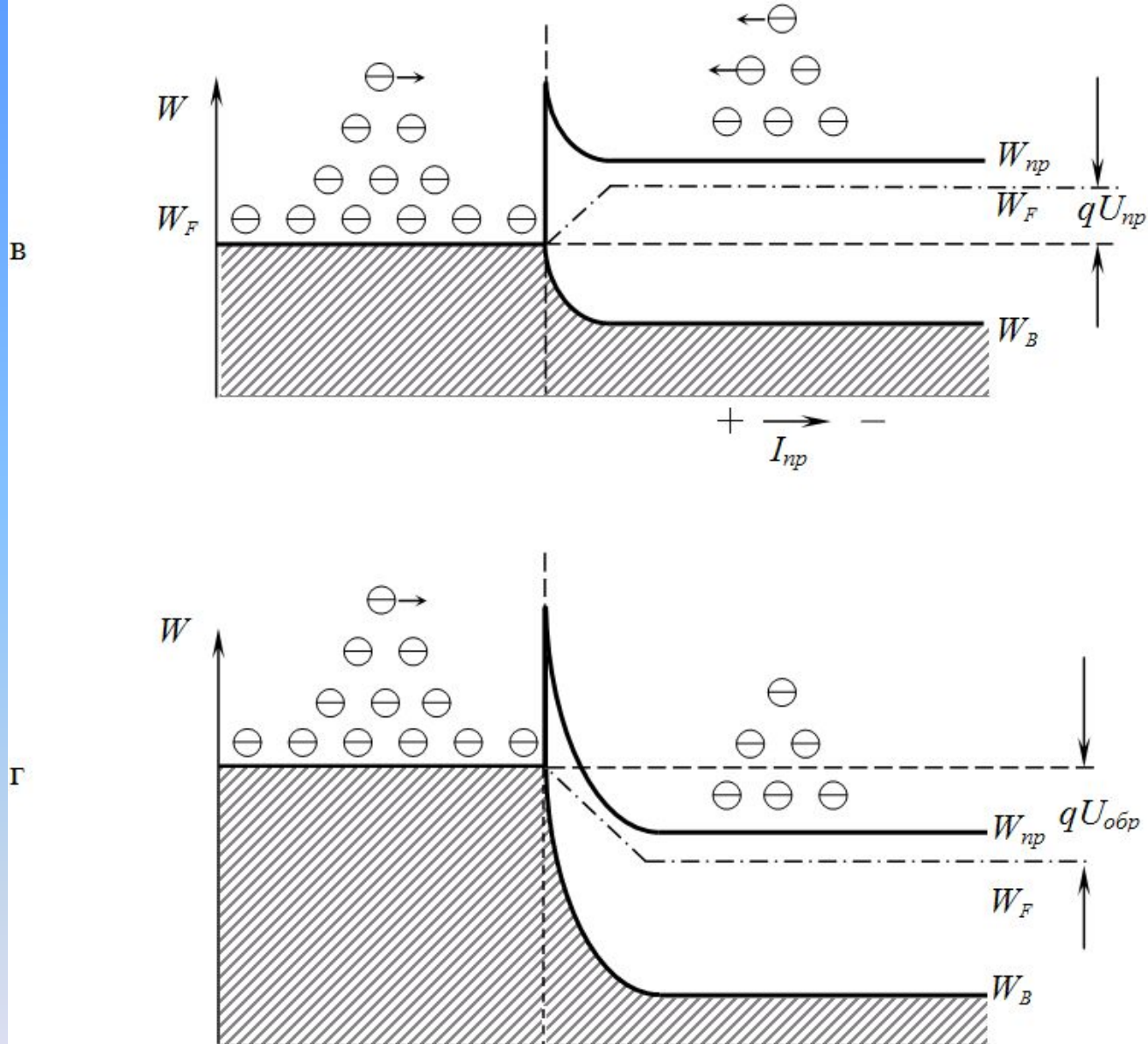


Рис. 16. Контакт металла и n -полупроводника ($W_{ом} > W_{оп}$): зонные диаграммы для равновесного состояния (б); при прямом включении (в); при обратном включении (г)

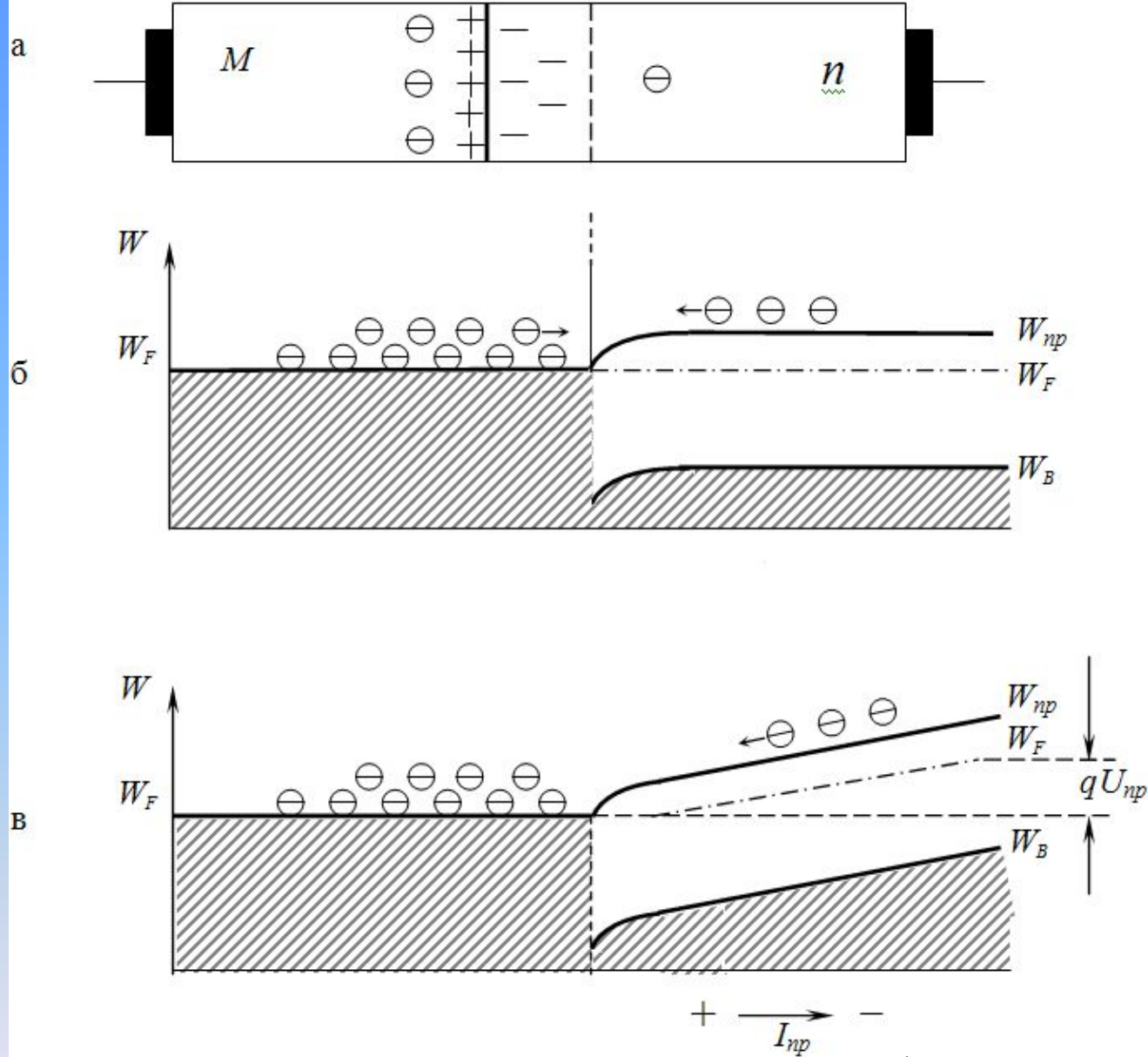


Рис. 17. Контакт металла и n -полупроводника ($W_{ом} < W_{оп}$):
схематическое изображение перехода (а); зонные диаграммы для
равновесного состояния (б); при прямом включении (в)

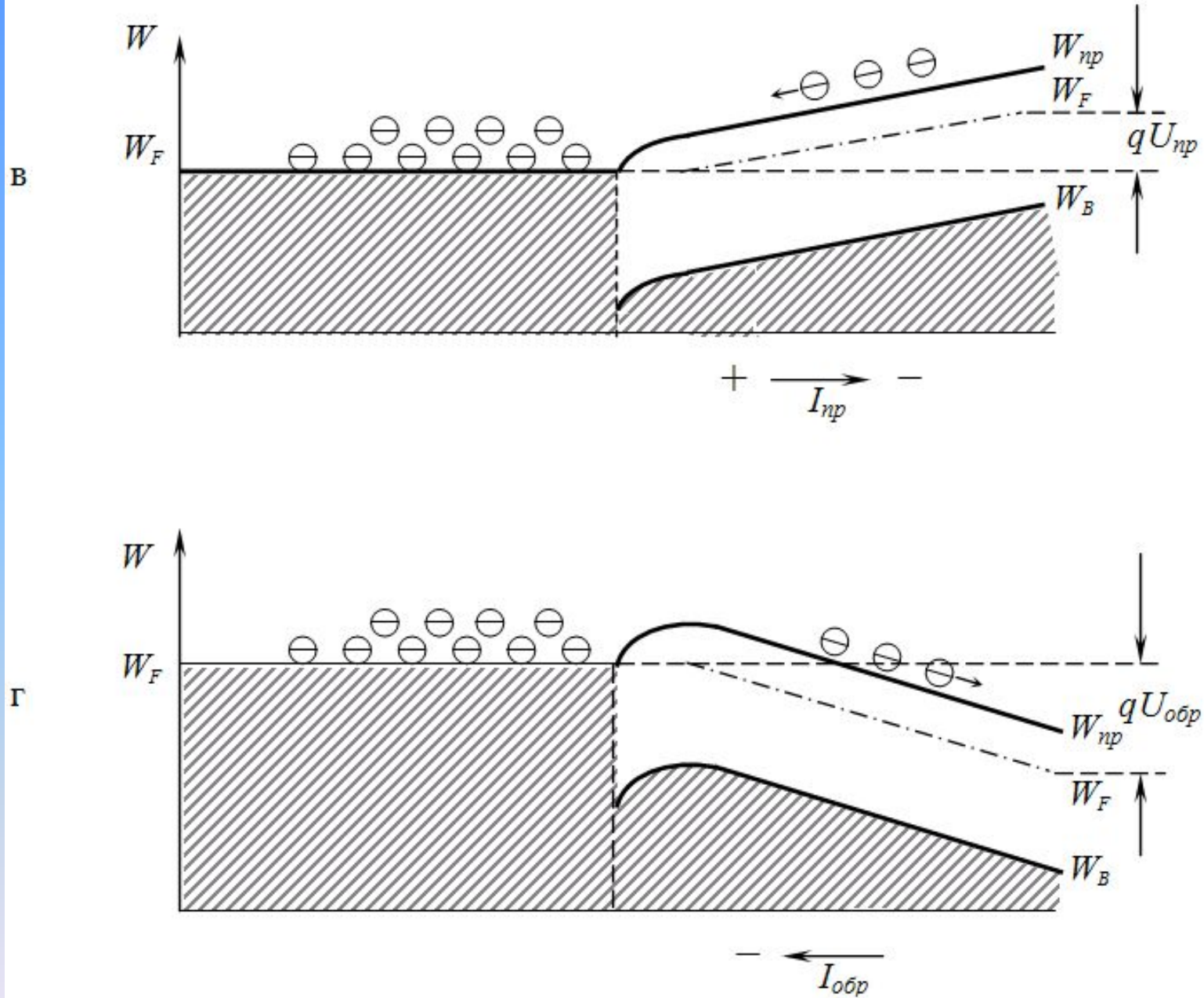


Рис. 17. Контакт металла и n -полупроводника ($W_{ом} < W_{оп}$): при прямом включении (в); при обратном включении (г)

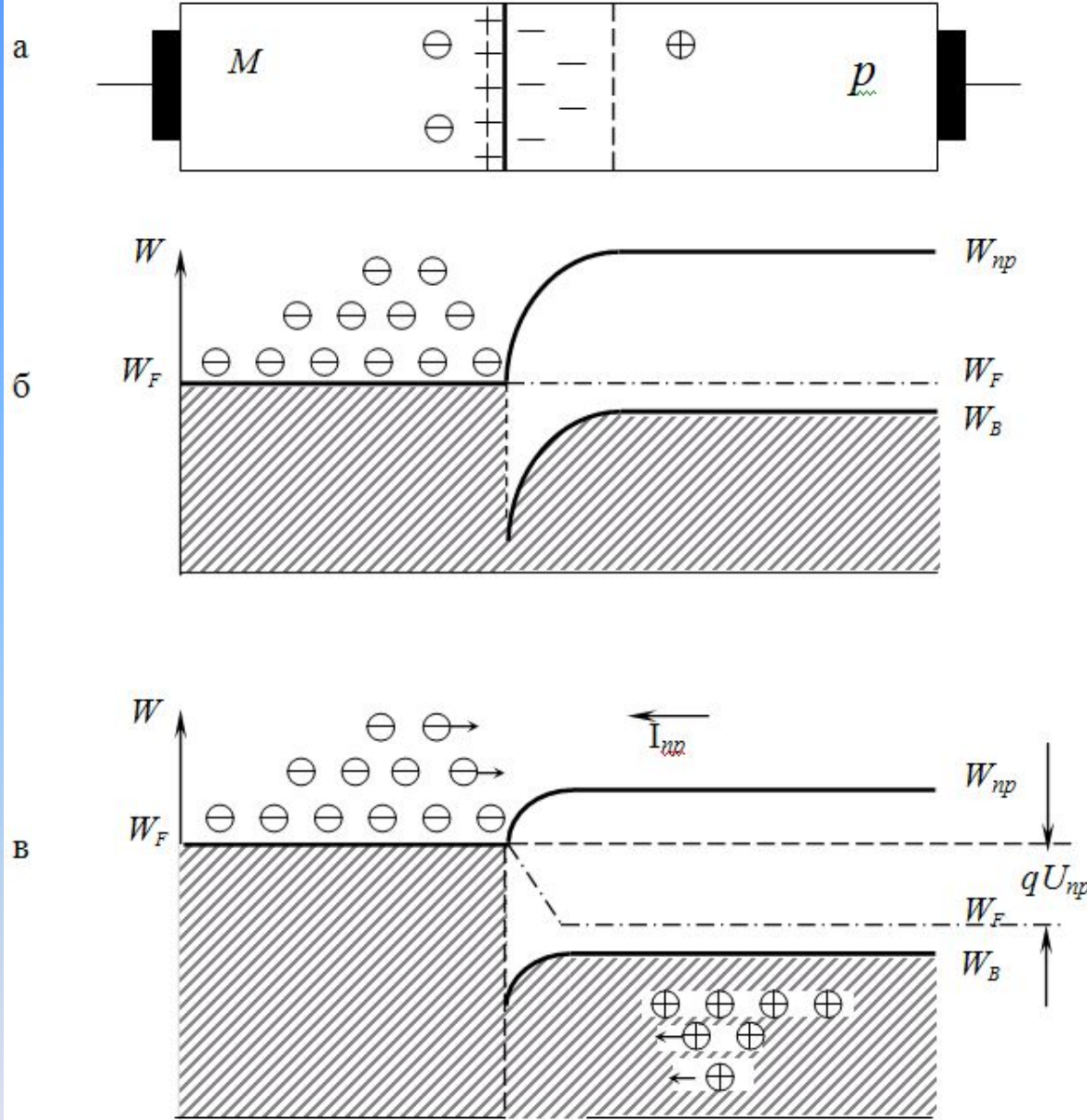


Рис. 18. Контакт металла и p -полупроводника ($W_{ом} < W_{ор}$):
схематическое изображение перехода (а); зонные диаграммы для
равновесного состояния (б); при прямом включении (в)

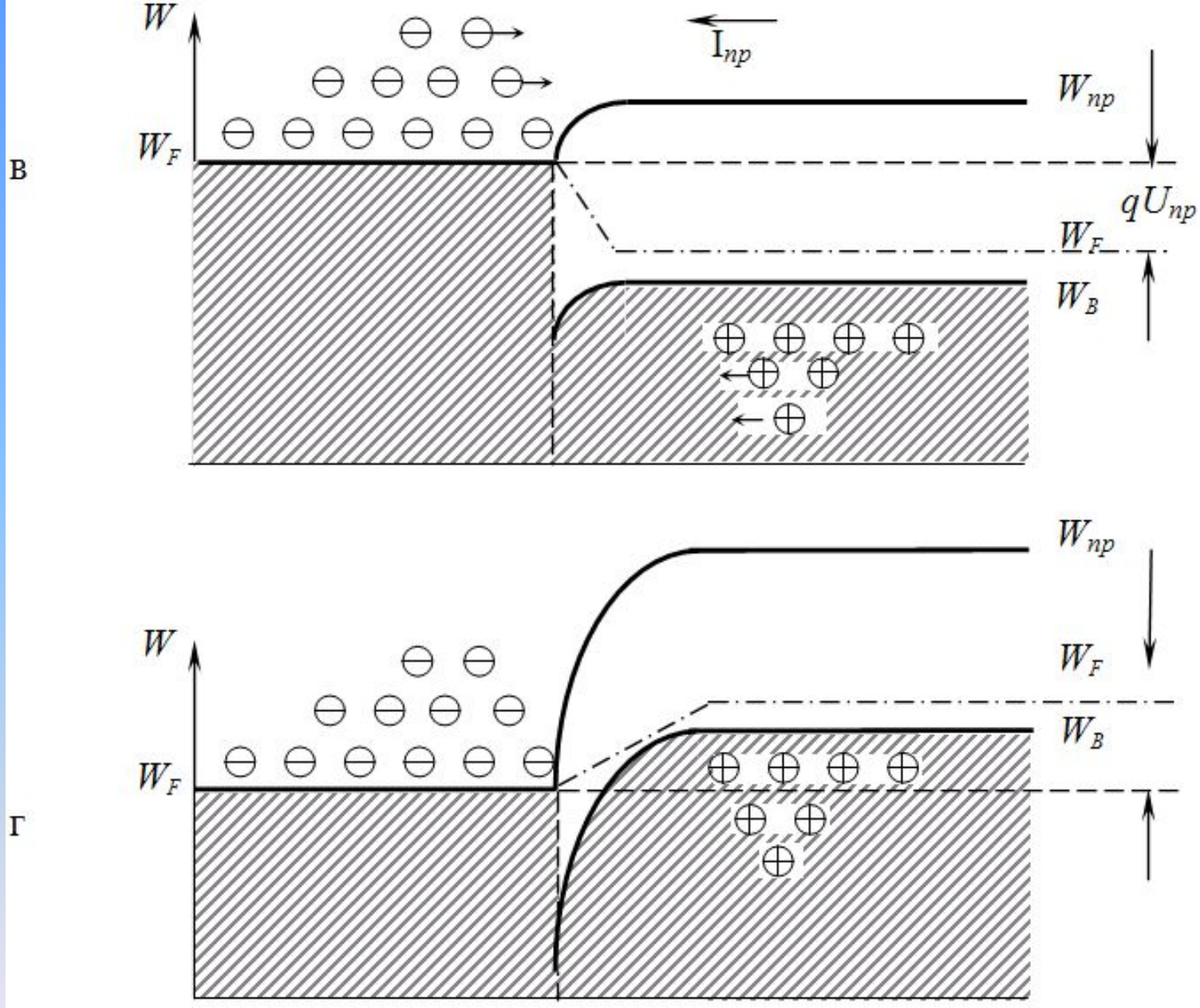


Рис. 18. Контакт металла и p -полупроводника ($W_{ом} < W_{ор}$): при прямом включении (в); при обратном включении (г)

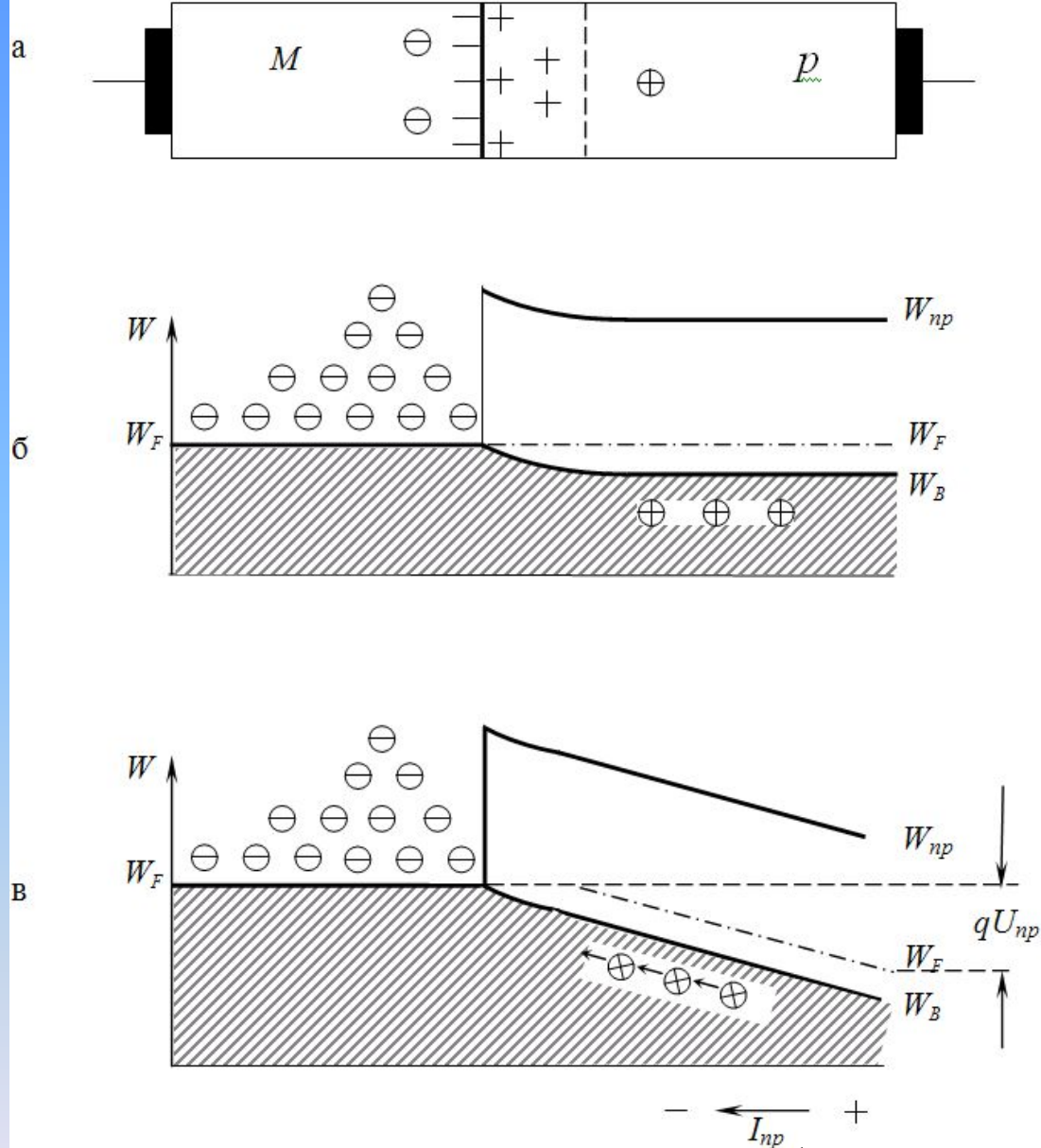


Рис. 19. Контакт металла и p -полупроводника ($W_{ом} > W_{ор}$):
схематическое изображение перехода (а); зонные диаграммы для
равновесного состояния (б); при прямом включении (в)

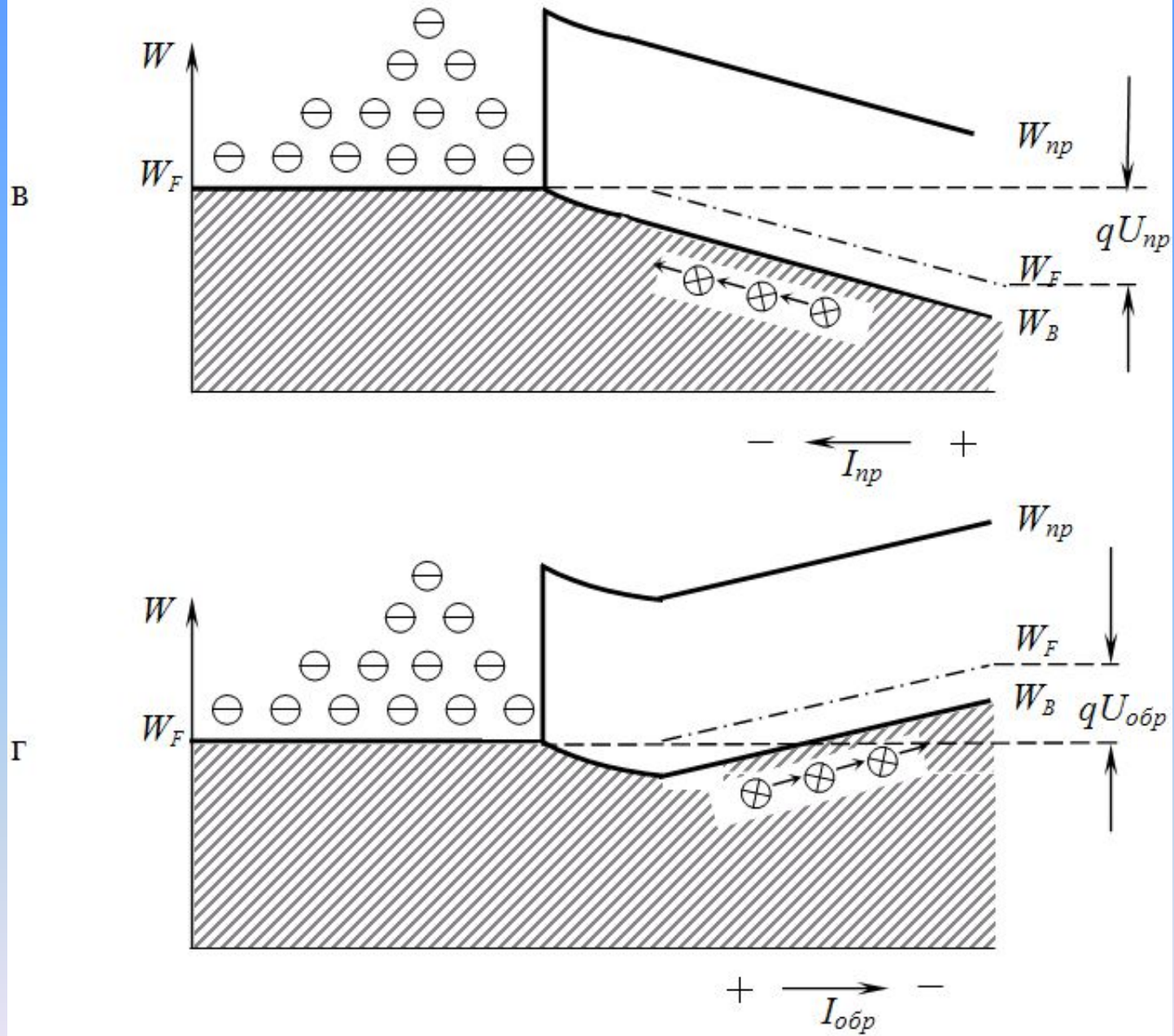


Рис. 19. Контакт металла и p -полупроводника ($W_{ом} > W_{ор}$): при прямом включении (в); при обратном включении (г)

