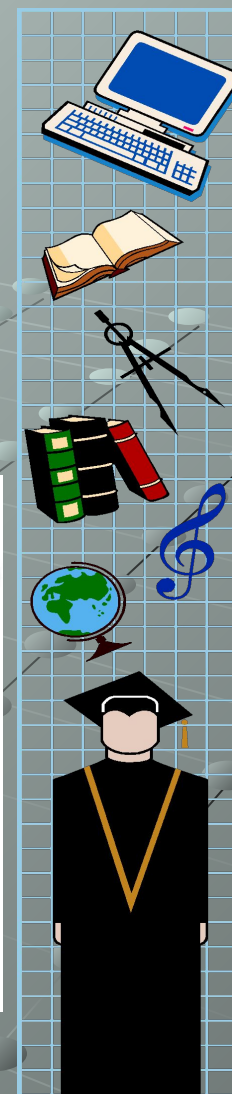
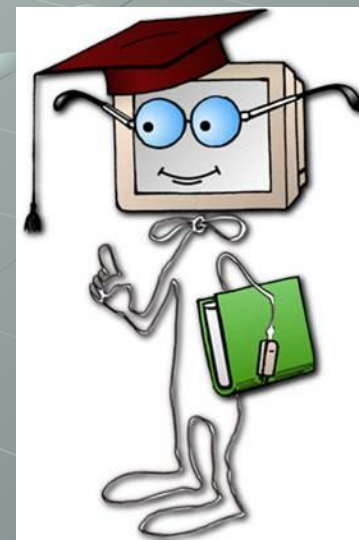
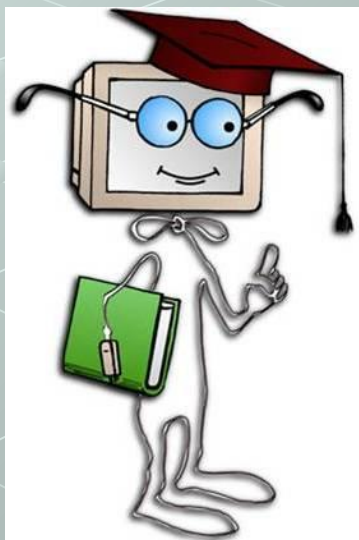


Струм у напівпровідниках

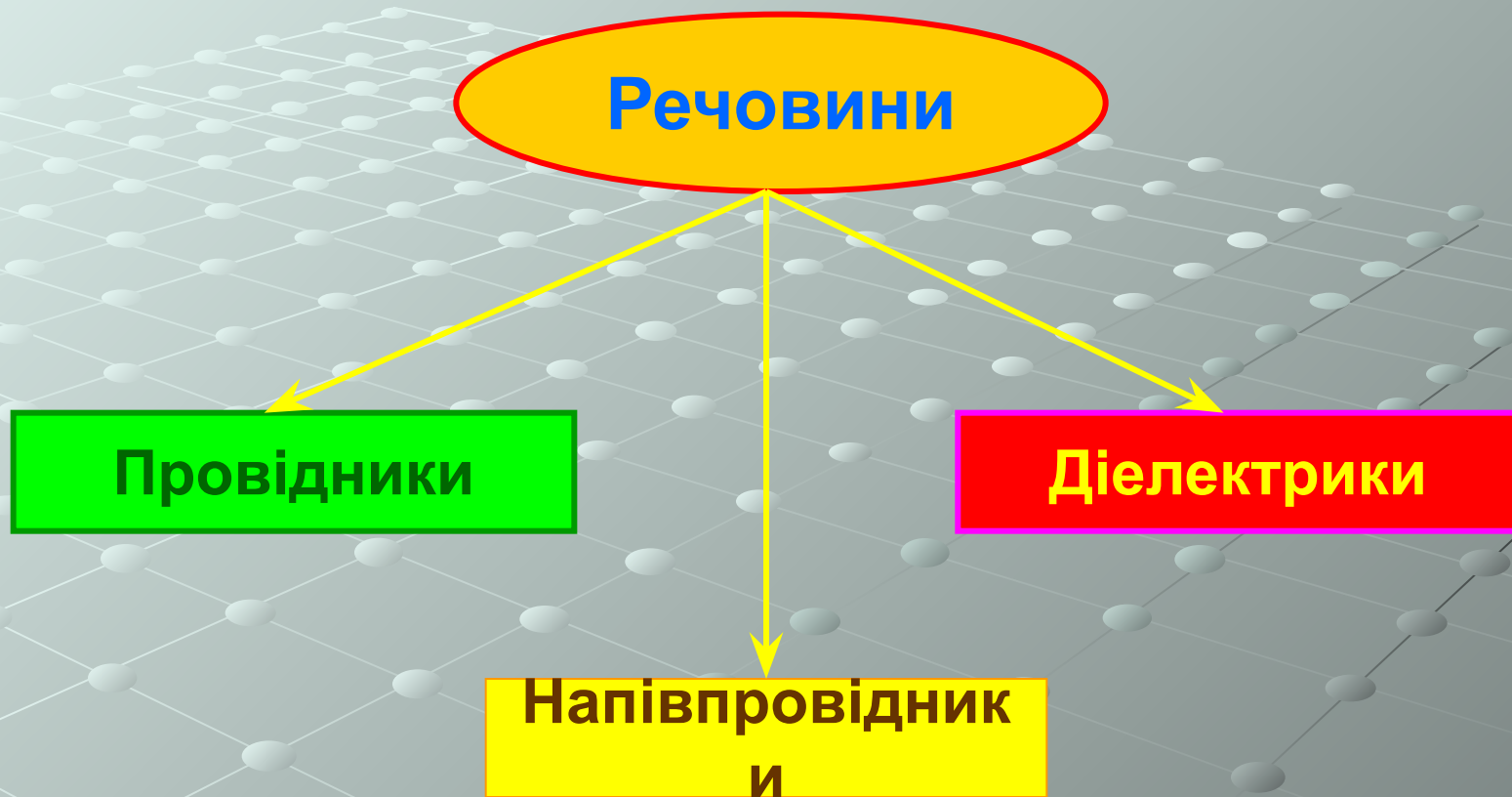


Підготував: учитель фізики Дрозденко С. І.

Поміркуй!

На які типи
поділяються речовини за
здатністю проводити
електричний струм?

Поділ речовин за провідністю



Приклади напівпровідників

- До напівпровідників належать деякі метали, окисли металів, сульфіди (сполуки Сірки), селеніди (сполуки Селену), телуриди, деякі сплави.

Напівпровідники в природі

- До **напівпровідників** належать багато хімічних елементів (**германій**, **кремній**, **селен**, **телур**, **миш'як** і ін.), величезна кількість сплавів і хімічних сполук.
- Майже всі неорганічні речовини навколишнього нас світу – **напівпровідники**.
- Найпоширенішим в природі напівпровідником є **кремній**, що становить близько **30 %** земної кори.

Напівпровідники

До напівпровідників належать: **12** хімічних елементів:

- B;
- C;
- Si;
- Ge;
- Sn;
- P;
- As;
- Sb;
- S;
- Se;
- Te;
- J.

ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА ЕЛЕМЕНТІВ Д.І. МЕНДЕЛІЄВА

ПЕРІОДИ	ГРУПИ ЕЛЕМЕНТІВ									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	H 1 1,008						(H)		2 He 4,003	
2	Li 3 6,94	Be 4 9,01	5 B 10,81	6 C 12,01	7 N 14,01	8 O 16,0	9 F 19,0		10 Ne 20,18	
3	Na 11 22,99	Mg 12 24,3	13 Al 26,98	14 Si 28,09	15 P 30,97	16 S 32,06	17 Cl 35,45		18 Ar 39,95	
4	K 19 39,10	Ca 20 40,1	Sc 21 44,96	Ti 22 47,9	V 23 50,9	Cr 24 52,0	Mn 25 54,94	Fe 26 55,85	Co 27 58,93	Ni 28 58,71
	29 Cu 63,55	30 Zn 65,4	31 Ga 69,7	32 Ge 72,59	33 As 74,92	34 Se 78,96	35 Br 79,9			36 Kr 83,80
5	Rb 37 85,47	Sr 38 87,6	Y 39 88,9	Zr 40 91,2	Nb 41 92,9	Mo 42 95,94	Tc 43 (99)	Ru 44 101,1	Rh 45 102,9	Pd 46 106,4
	47 Ag 107,9	48 Cd 112,4	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 121,75	52 Te 127,6	53 I 126,9			54 Xe 131,3
6	Cs 55 132,9	Ba 56 137,3	* La 57 138,9	Hf 72 178,5	Ta 73 180,9	W 74 183,8	Re 75 186,2	Os 76 190,2	Ir 77 192,2	Pt 78 195,1
	79 Au 196,9	80 Hg 200,6	81 Tl 204,4	82 Pb 207,2	83 Bi 208,9	84 Po (210)	85 At (210)			86 Rn (222)
7	Fr 87 (223)	Ra 88 (226)	** Ac 89 (227)	Rf 104 (261)	Db 105 (262)	Sg 106 (263)	Bh 107 (264)	Hs 108 (265)	Mt 109 (266)	

* ЛАКТАНОЇДИ													
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
** АКТИНОЇДИ													
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Напівпровідники

До напівпровідників належать:

- сполуки елементів III та V груп типу $A^{III}B^V$ (InSb, GaAs та ін.)
- сполуки елементів II та VI груп типу $A^{II}B^{VI}$ (CdS, ZnO та ін.)

Початкові відомості про напівпровідники

- Таблиця питомих опорів при 20⁰ С

Метал	Питомий опір Ом*м	Напів-провідник	Питомий опір Ом*м	Діелектрик	Питомий опір Ом*м
Срібло	$1,6 \cdot 10^{-8}$	Телур	$2,5 \cdot 10^{-2}$	Скло	$2 \cdot 10^{11}$
Мідь	$1,7 \cdot 10^{-8}$	Германій	$5,0 \cdot 10^{-2}$	Фарфор	$3 \cdot 10^{12}$
Сталь	$1,2 \cdot 10^{-8}$	Селен	$10^2 - 10^4$	Ебоніт	$2 \cdot 10^{13}$
Ніхром	$1,1 \cdot 10^{-8}$	Окис міді	$1 \cdot 10^7$	Сірка	$3 \cdot 10^{15}$

Початкові відомості про напівпровідники

- **Питомі опори напівпровідників** при кімнатній температурі мають значення, розташовані в широкому інтервалі, тобто від 10^{-3} до 10^7 Ом*м і **займають проміжне положення між металами та діелектриками.**

Питомий опір напівпровідників

Питомий
опір
провідників

Питомий
опір
напівпровідників
В

Питомий
опір
діелектриків

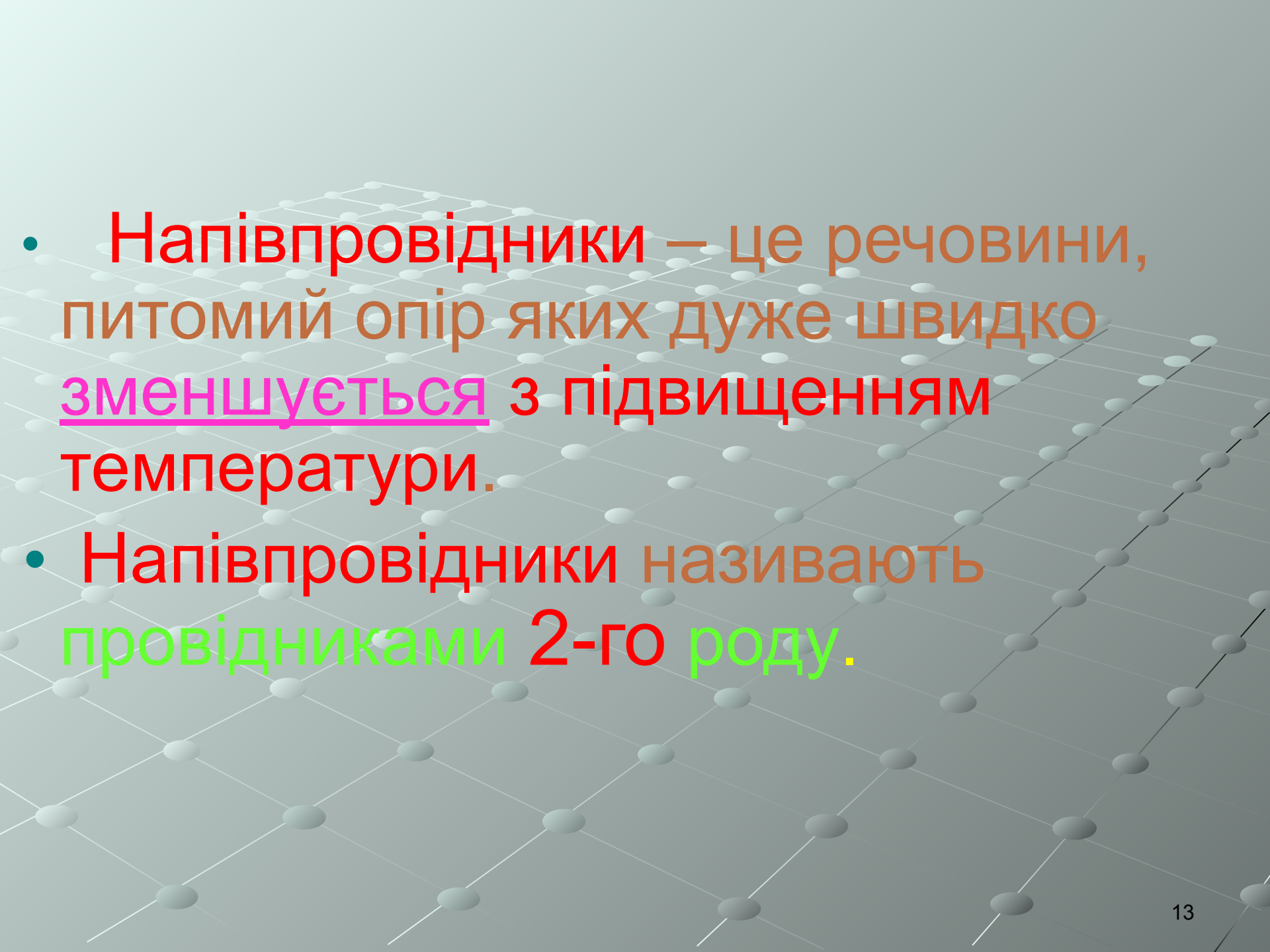


Поміркуй!

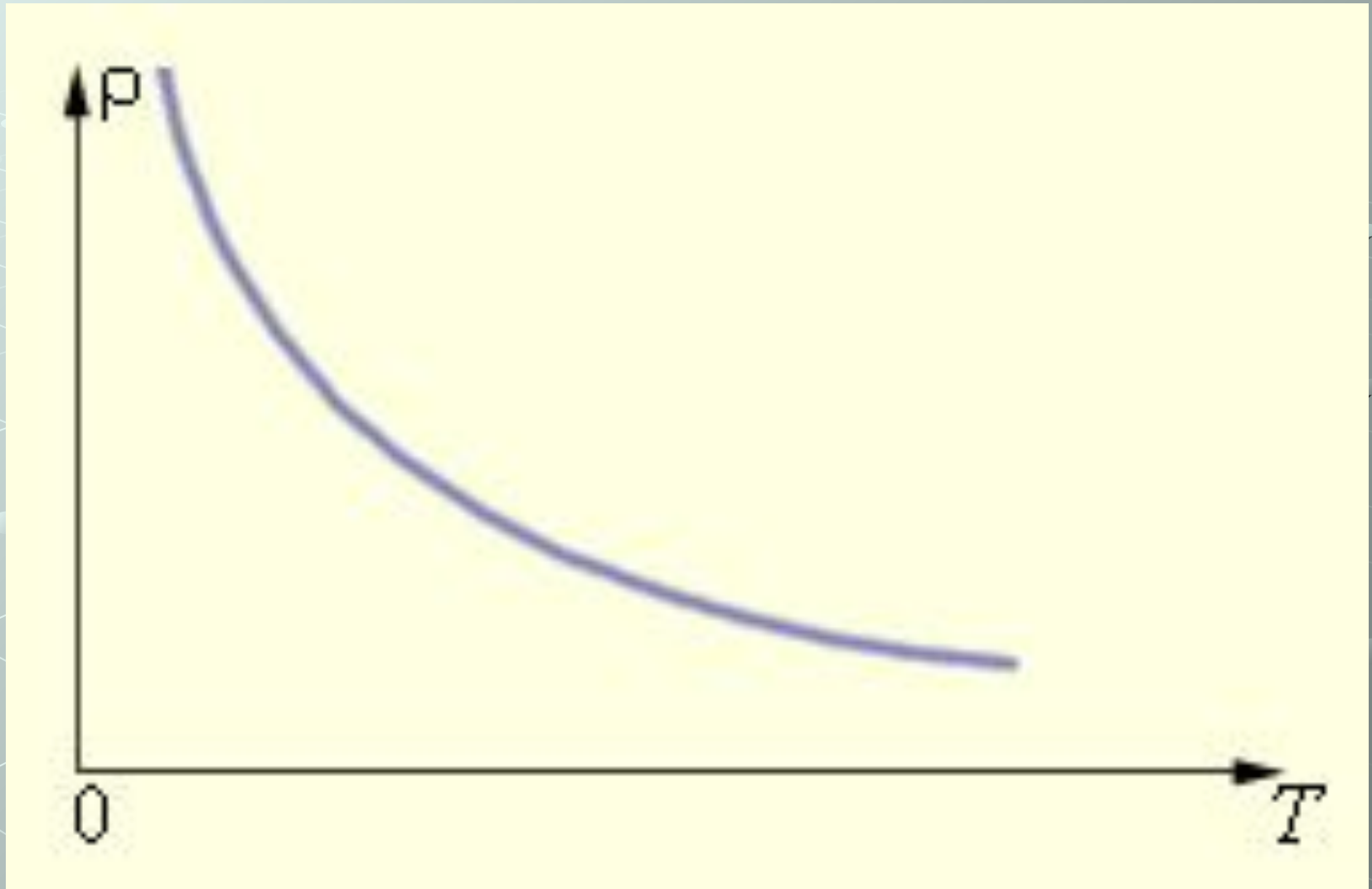
Як опір напівпровідників
залежить
від температури?



Залежність опору напівпровідників від температури

- 
- Напівпровідники – це речовини, питомий опір яких дуже швидко зменшується з підвищенням температури.
 - Напівпровідники називають провідниками 2-го роду.

Залежність питомого опору напівпровідника від температури



Терморезистор

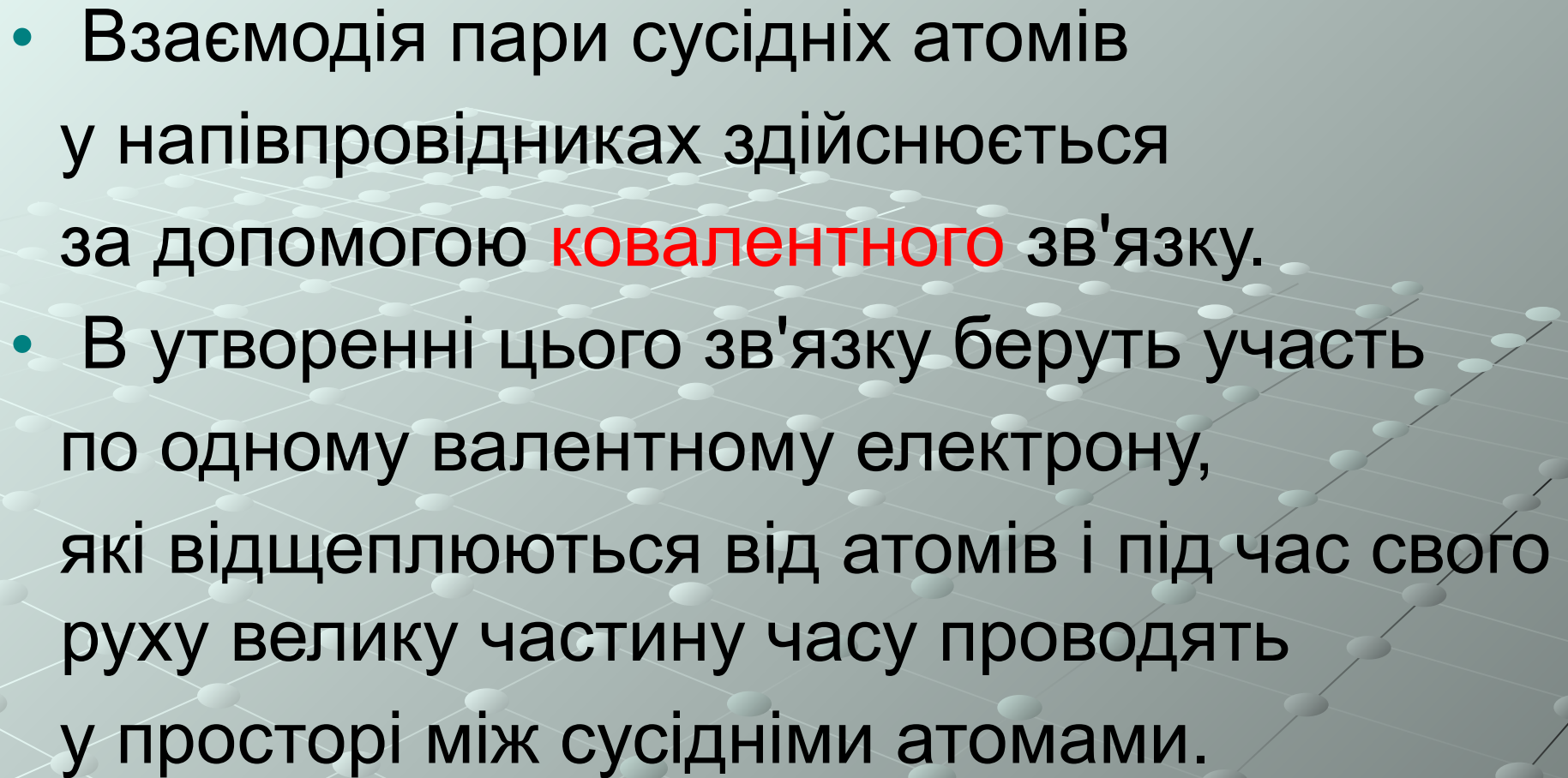


**Фактори
зміни провідності
напівпровідника**

Температура

Освітленість



- 
- Взаємодія пари сусідніх атомів у напівпровідниках здійснюється за допомогою **ковалентного** зв'язку.
 - В утворенні цього зв'язку беруть участь по одному валентному електрону, які відщеплюються від атомів і під час свого руху велику частину часу проводять у просторі між сусідніми атомами.

Типи провідності напівпровідників

- У разі нагрівання напівпровідника кінетична енергія частинок підвищується і відбувається розрив окремих зв'язків.
- Деякі електрони стають вільними, подібно до електронів у металі. В електричному полі вони переміщуються між вузлами решіток, утворюючи електричний струм.

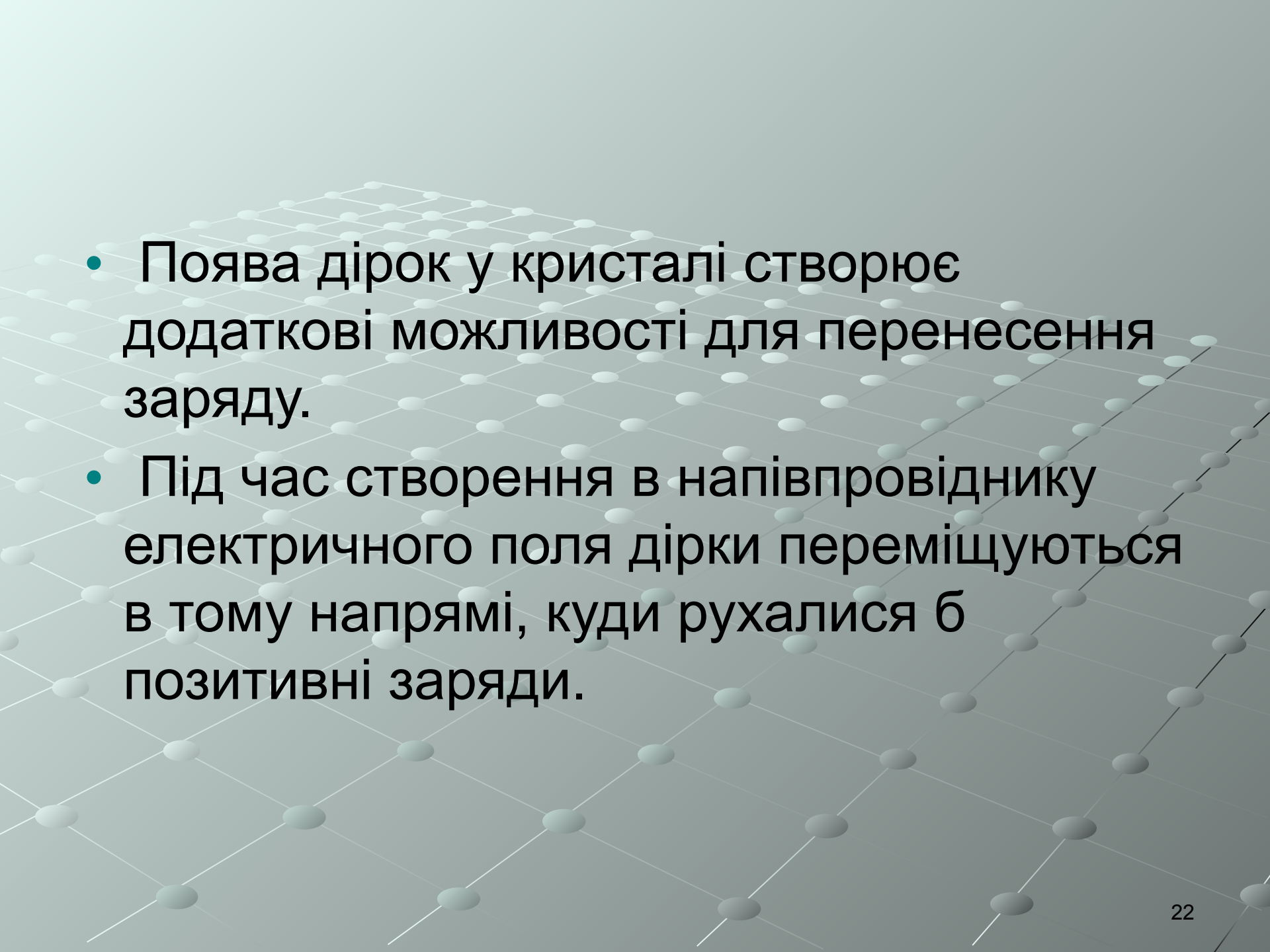
Типи провідності напівпровідників

- Провідність напівпровідників, зумовлена наявністю в них вільних електронів, називається **електронною провідністю**.

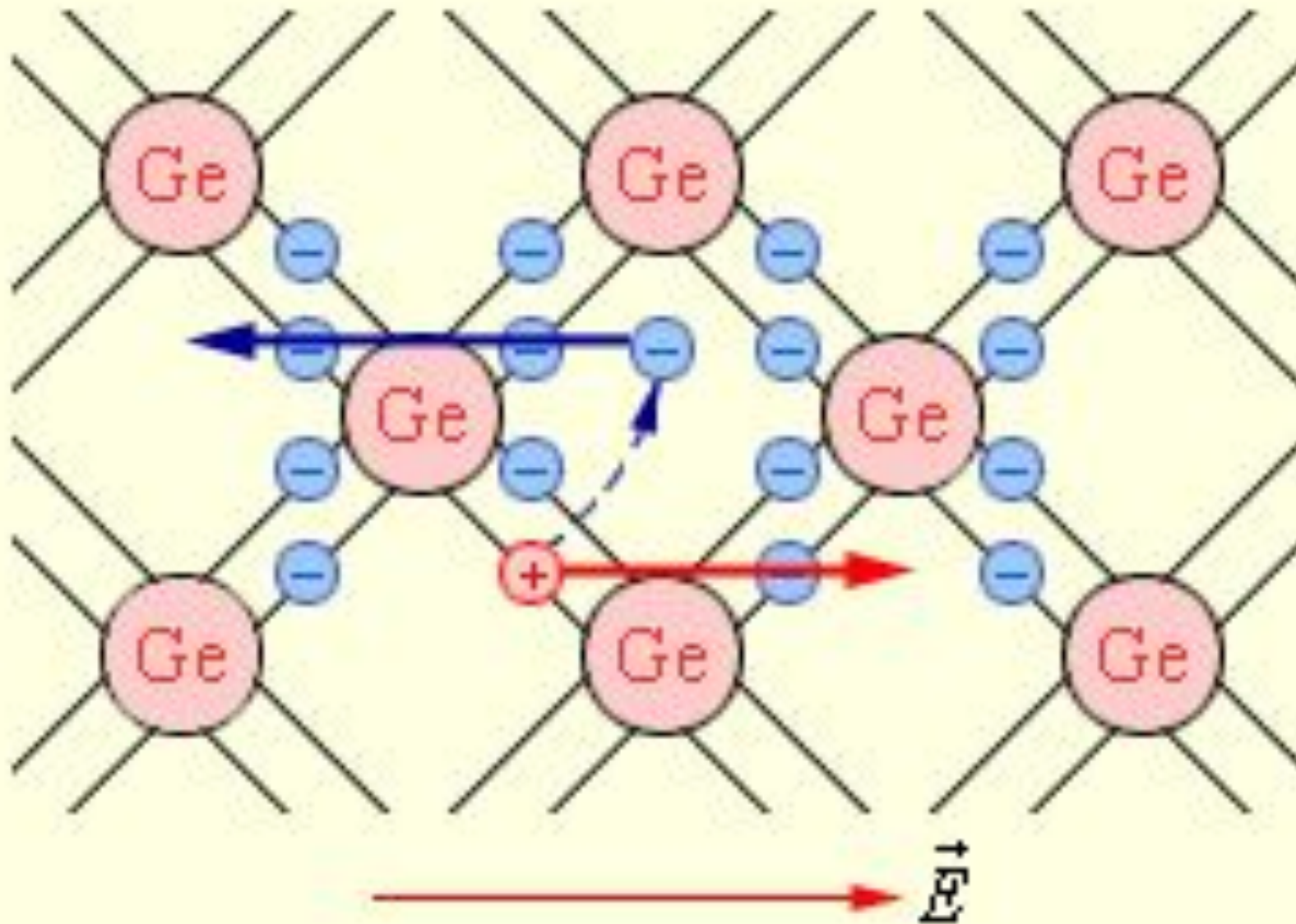
Типи провідності напівпровідників

- У тій парі атомів, звідки під зовнішнім впливом – **нагріванням** або **освітленням** – електрон був переведений у вільний стан, з'являється надлишковий позитивний іон (**дірка**).
- Тепловий рух атомів кристала приводить до того, що який-небудь електрон із найближчих сусідніх атомів переходить до даного іона.

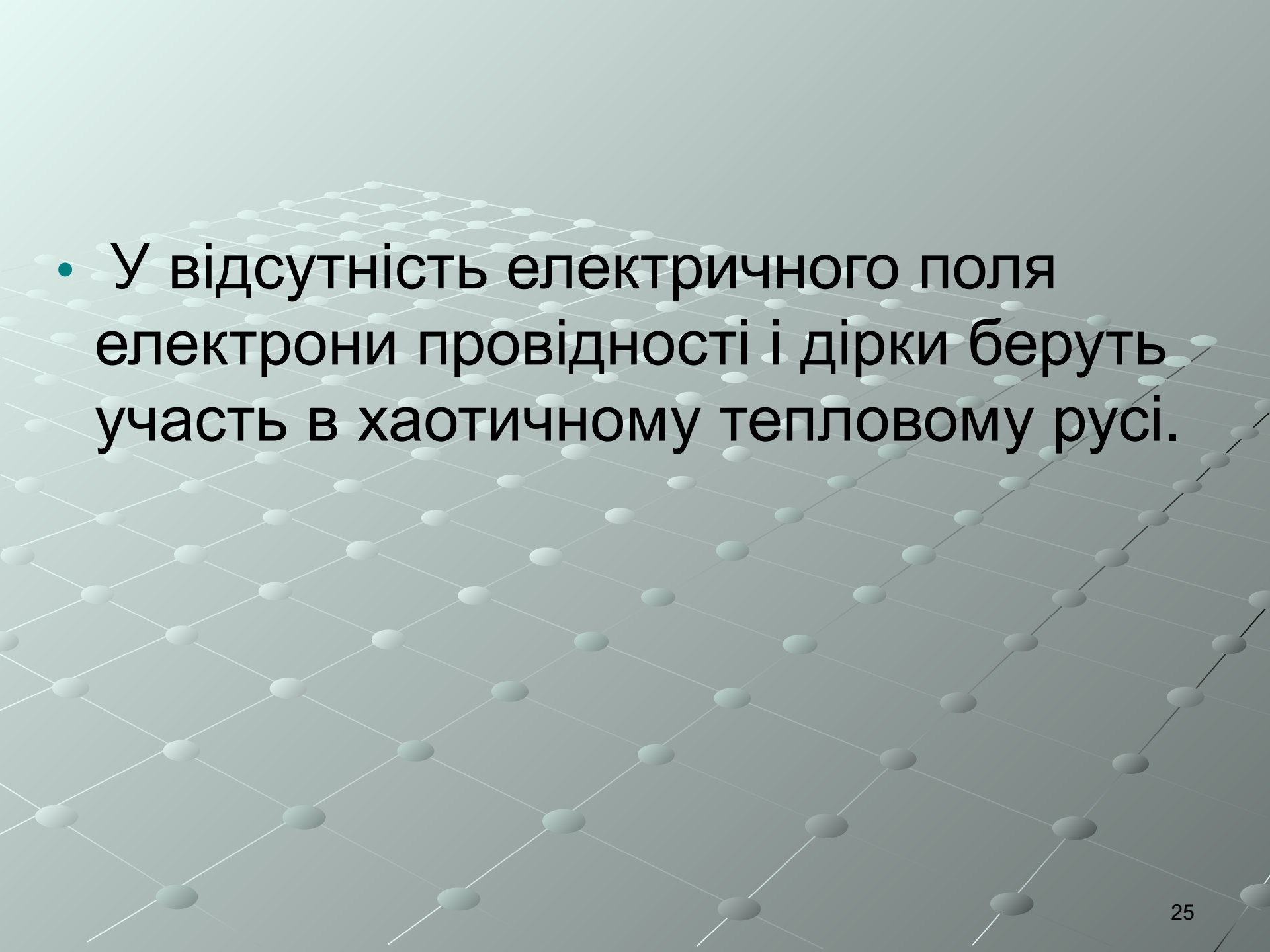
- Тоді позитивним іоном стає сусідній атом, звідки був “захоплений” електрон.
- Такий процес відбувається багато разів, і тому переміщення позитивного заряду всередині кристала, яке відображає насправді рух зв'язаних електронів від одного атома до іншого, називають рухом дірок.

- 
- Поява дірок у кристалі створює додаткові можливості для перенесення заряду.
 - Під час створення в напівпровіднику електричного поля дірки переміщуються в тому напрямі, куди рухалися б позитивні заряди.

Утворення електронно-діркової пари



- В той же час йде зворотний процес – при зустрічі вільного електрона з діркою, відновлюється електронний зв'язок між атомами германію.
- Цей процес називається **рекомбінацією**. Електронно-діркові пари можуть народжуватися також при освітленні напівпровідника за рахунок енергії електромагнітного випромінювання.

- 
- У відсутність електричного поля електрони провідності і дірки беруть участь в хаотичному тепловому русі.

- Якщо напівпровідник поміщається в електричне поле, то до впорядкованого руху залучаються не тільки вільні електрони, але і дірки, які поводяться як позитивно заряджені частинки. Тому струм I в напівпровіднику складається з електронного I_n і діркового I_p струмів:

$$I = I_n + I_p$$

- Концентрація електронів провідності в напівпровіднику дорівнює концентрації дірок: $n_p = n_r$.
- Електронно-дірковий механізм провідності виявляється тільки у чистих (тобто без домішок) напівпровідників.
- Він називається **власною електричною провідністю** напівпровідників.

Типи провідності напівпровідників

Власна

Домішкова

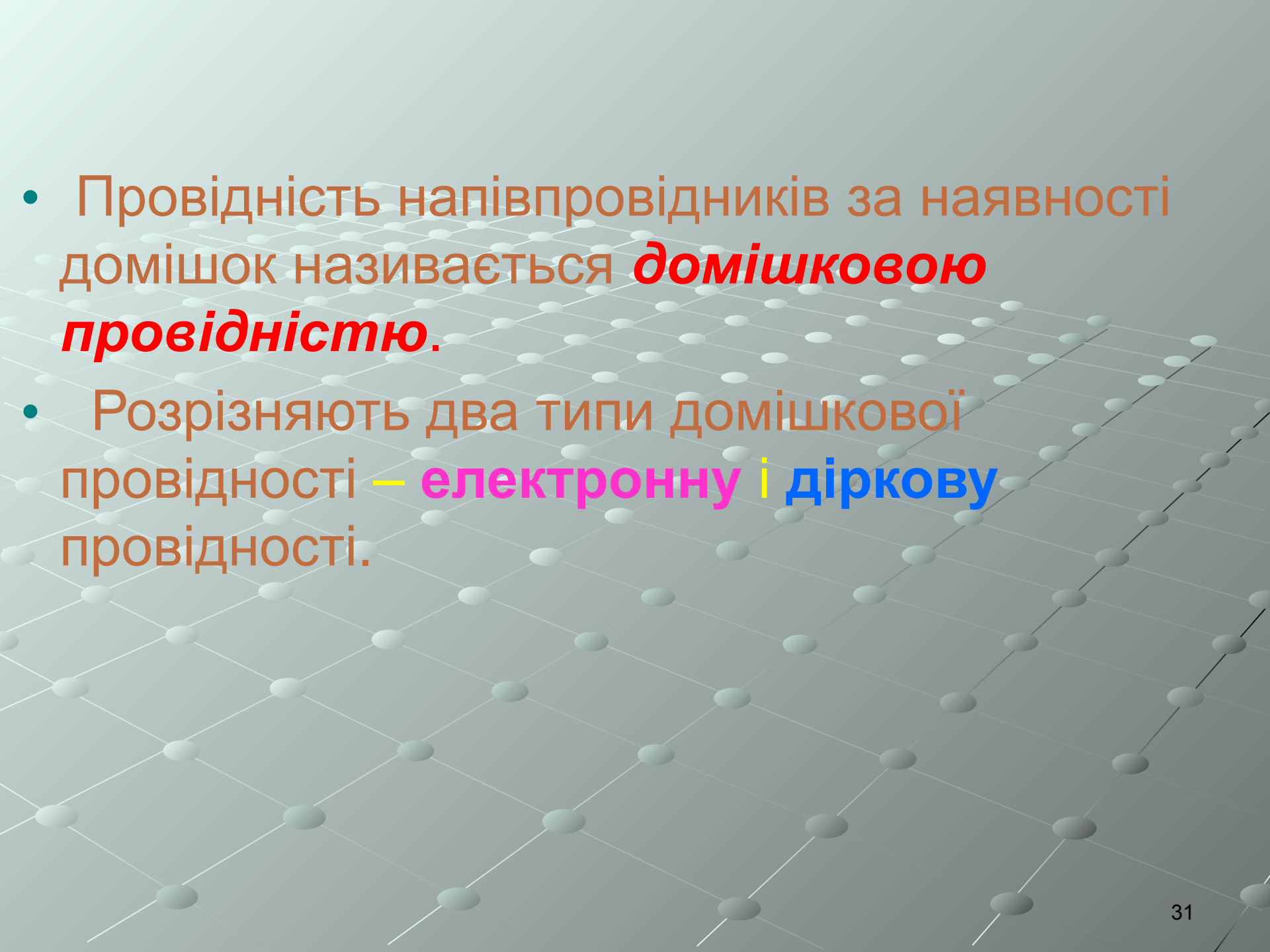
Електронна

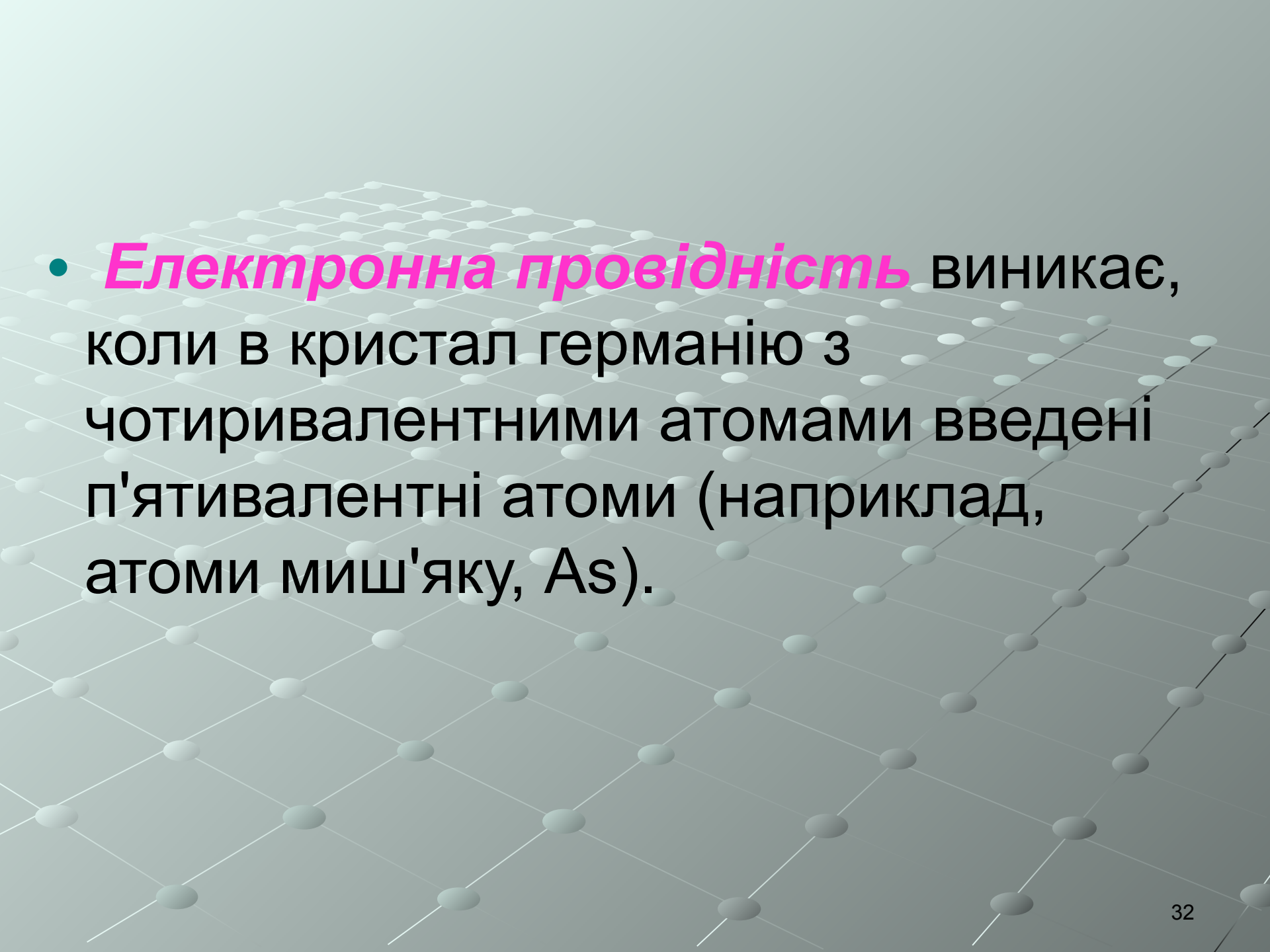
Діркова



- За наявності домішок електропровідність напівпровідників сильно змінюється.
- Наприклад, добавка домішок фосфору в кристал кремнію в кількості **0,001** атомного відсотка зменшує питомий опір більш ніж на п'ять порядків (у **100 000** раз).

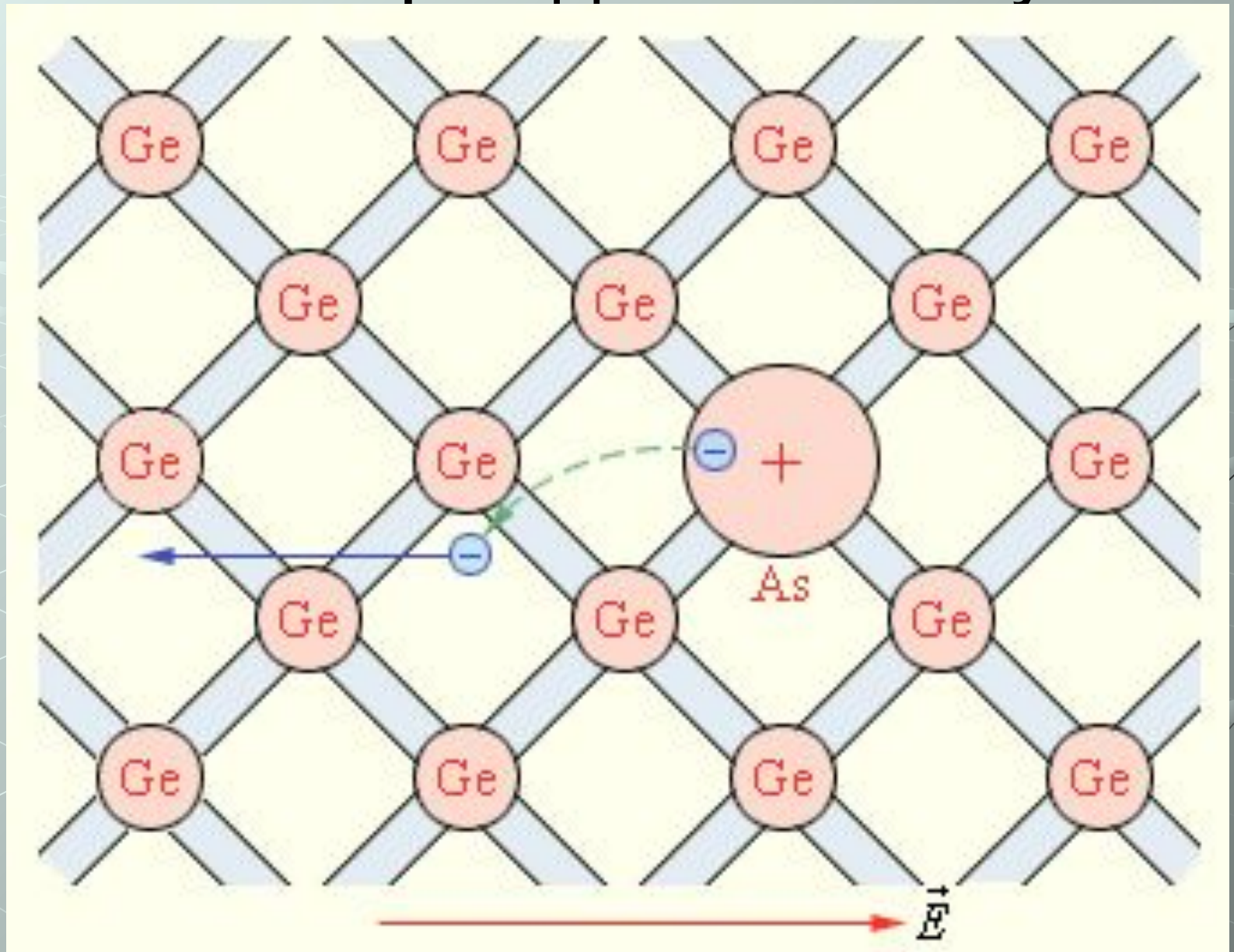
- 
- Необхідною умовою різкого зменшення питомого опору напівпровідника при введенні домішок є **відмінність валентності атомів домішки від валентності основних атомів кристала.**

- 
- Провідність напівпровідників за наявності домішок називається **домішковою провідністю**.
 - Розрізняють два типи домішкової провідності – **електронну** і **діркову** провідності.

- 
- **Електронна провідність** виникає, коли в кристал германію з чотиривалентними атомами введені п'ятивалентні атоми (наприклад, атоми миш'яку, As).

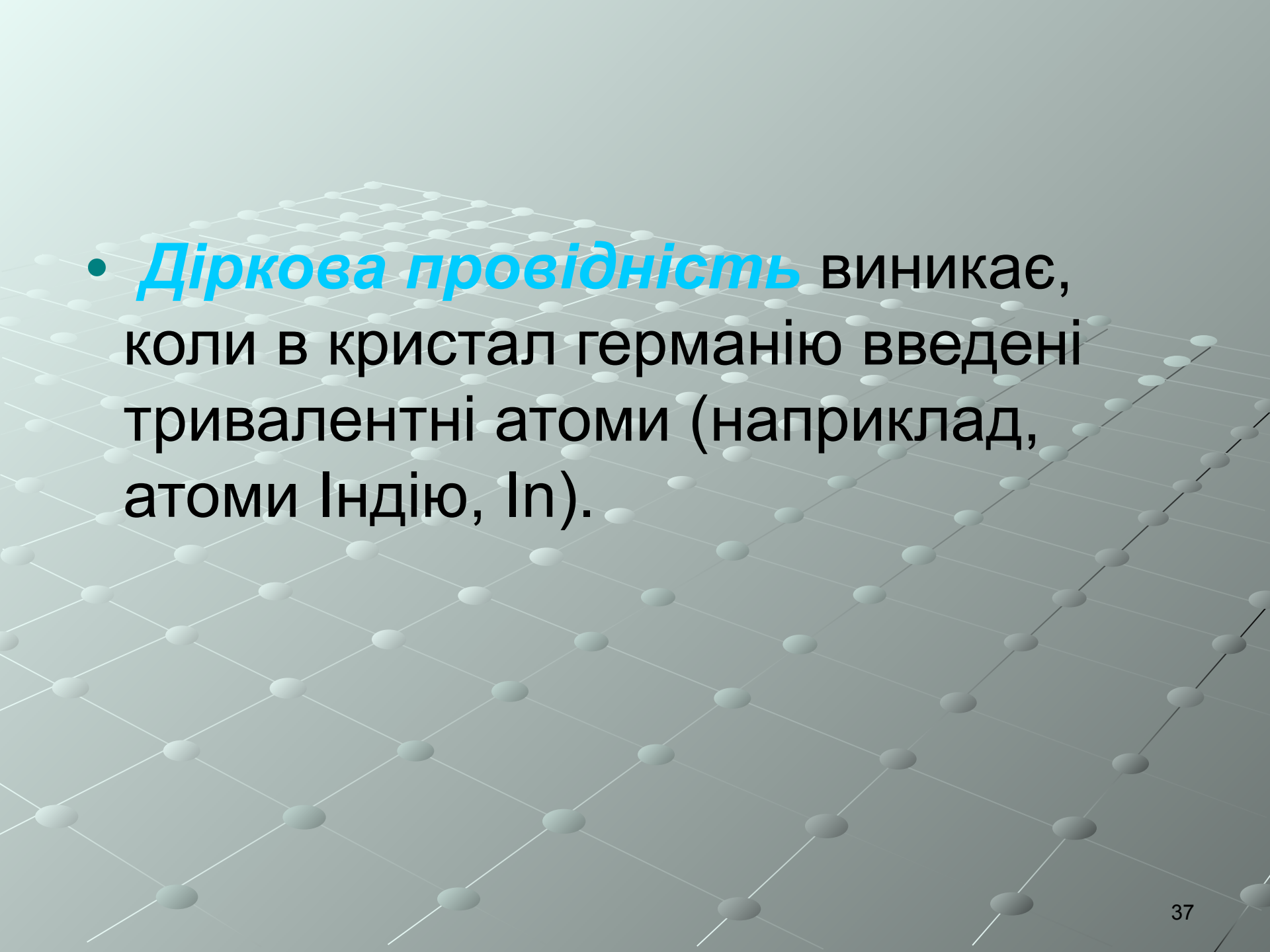
- Чотири валентні електрони атома миш'яку включені в утворення ковалентних зв'язків з чотирма сусідніми атомами германію.
- П'ятий валентний електрон виявився зайвим; він легко відривається від атома миш'яку і стає вільним.
- Атом, що втратив електрон, перетворюється на позитивний іон, розташований у вузлі кристалічної решітки.

Напівпровідник *n* - типу



- Домішка з атомів з валентністю, що перевищує валентність основних атомів напівпровідникового кристала, називається **донорською домішкою**. В результаті її введення в кристалі з'являється значне число вільних електронів. Це приводить до різкого зменшення питомого опору напівпровідника – в тисячі і навіть мільйони разів. Питомий опір провідника з великим змістом домішок може наближатися до питомого опору металевого провідника.

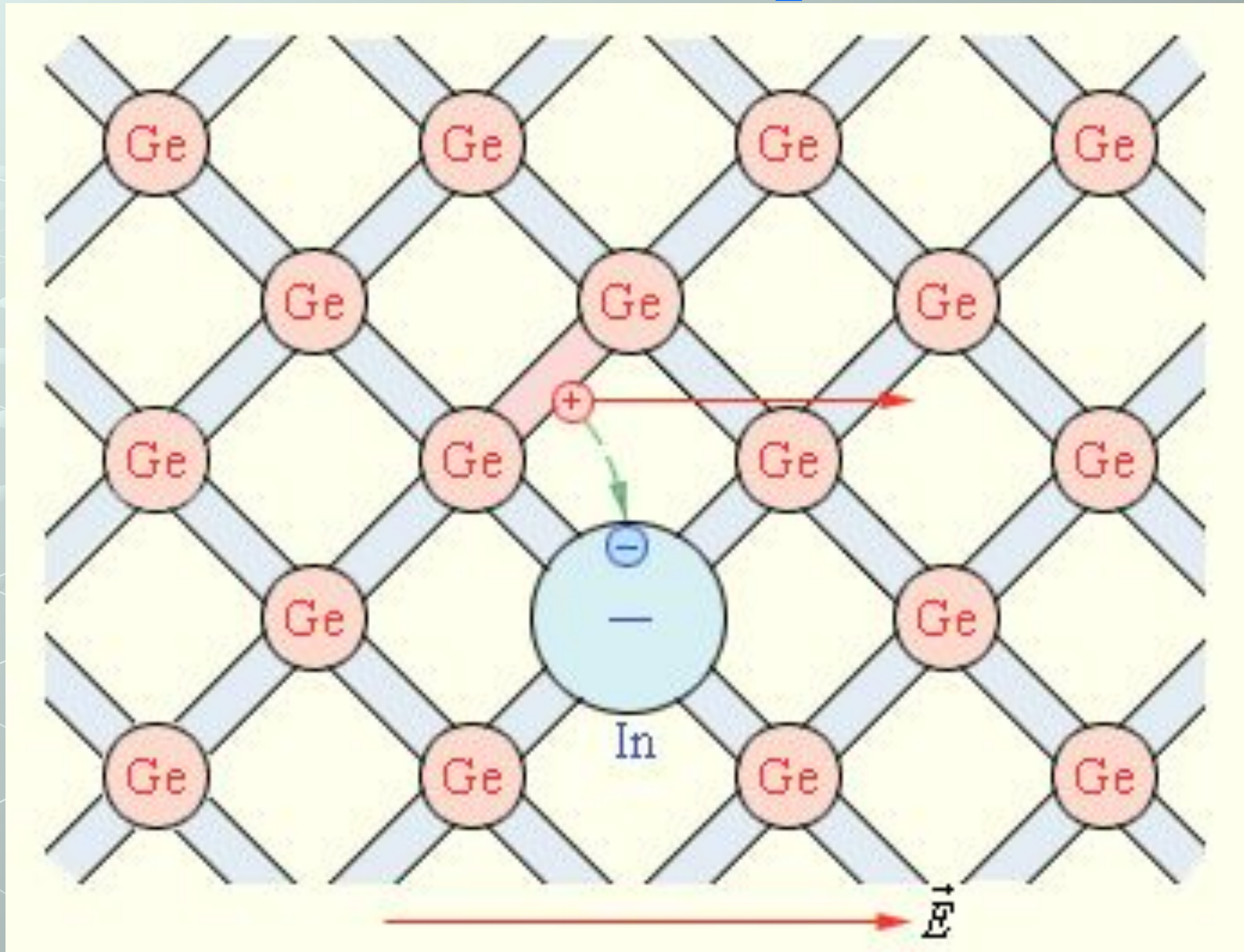
- У кристалі германію з домішкою миш'яку є електрони і дірки, відповідальні за власну провідність кристала. Але основним типом носіїв вільного заряду є електрони, що відірвалися від атомів миш'яку. У такому кристалі $n_p \gg n_r$.
- Така провідність називається **електронною**, а напівпровідник, що володіє електронною провідністю, називається **напівпровідником n-типу**.

- 
- ***Діркова провідність*** виникає, коли в кристал германію введені тривалентні атоми (наприклад, атоми Індію, In).

- На утворення зв'язку з четвертим атомом германію у атома індія немає електрона. Цей недостаючий електрон може бути захоплений атомом Індію з ковалентного зв'язку сусідніх атомів германію. В цьому випадку атом Індію перетворюється на негативний іон, розташований у вузлі кристалічної решітки, а в ковалентному зв'язку сусідніх атомів утворюється вакансія. Домішка атомів, здатних захоплювати електрони, називається **акцепторною домішкою**.
- В результаті введення акцепторної домішки в кристалі розривається безліч ковалентних зв'язків і утворюються вакантні місця (дірки). На ці місця можуть перескакувати електрони з сусідніх ковалентних зв'язків, що приводить до хаотичного блукання дірок по кристалу.

- Наявність акцепторної домішки різко знижує питомий опір напівпровідника за рахунок появи великого числа вільних дірок. Концентрація дірок в напівпровіднику з акцепторною домішкою значно перевищує концентрацію електронів, які виникли із-за механізму власної електропровідності напівпровідника: $n_p \gg n_n$. Провідність такого типу називається **дірковою провідністю**. Домішковий напівпровідник з дірковою провідністю називається **напівпровідником р-типу**. Основними носіями вільного заряду в напівпровідниках **р-типу** є **дірки**.

Напівпровідник *p* - типу



Домішкова провідність

Донорні домішки

Домішки, атоми яких легко віддають **електрони**

Основними носіями заряду є **електрони**, а неосновними - **дірки**

Напівпровідники

n - типу

Акцепторні домішки

Домішки, кожен атом яких створює одне вакантне місце – «**дірку**»

Основними носіями заряду є **дірки**, а неосновними - **електрони**

Напівпровідники

p - типу



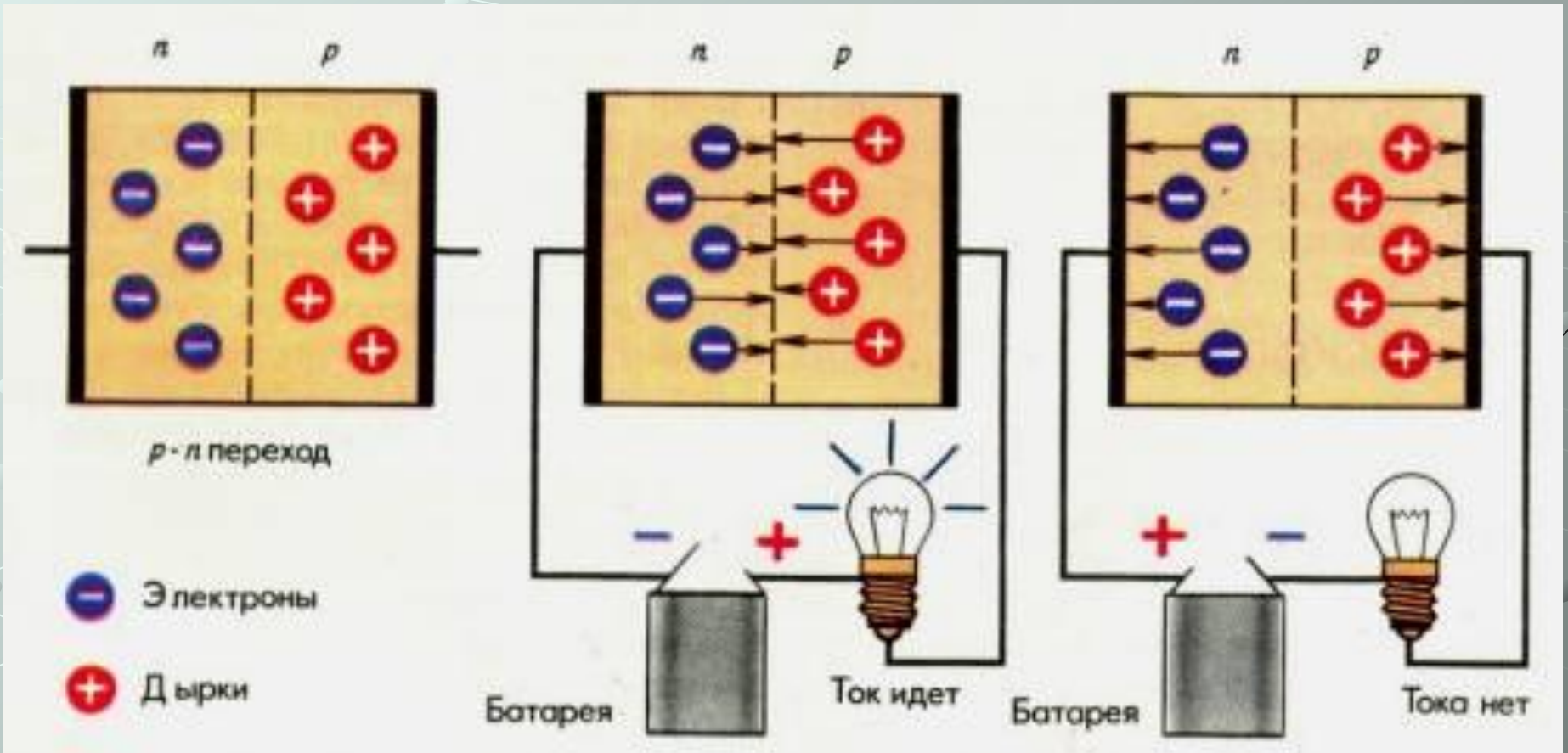
Чинники, які зумовлюють широке застосування напівпровідників:

- однобічна провідність контакту двох напівпровідників ***p***- і ***n***-типу;
- опір напівпровідників суттєво змінюється зі зміною температури;
- напівпровідники мають властивість змінювати свій опір залежно від освітленості.

Внесок українських вчених

- Великий вклад у розвиток напівпровідникової галузі, з окрема фізики напівпровідників, внесли українські вчені **К. Д. Товстюк (1922-2004)** і **В. Є. Лошкар'єв (1903-1974)**, який створив наукову школу фахівців з фізики напівпровідників.

Напівпровідниковий діод



Домашнє

завдання

- Опрацювати записи в зошиті.