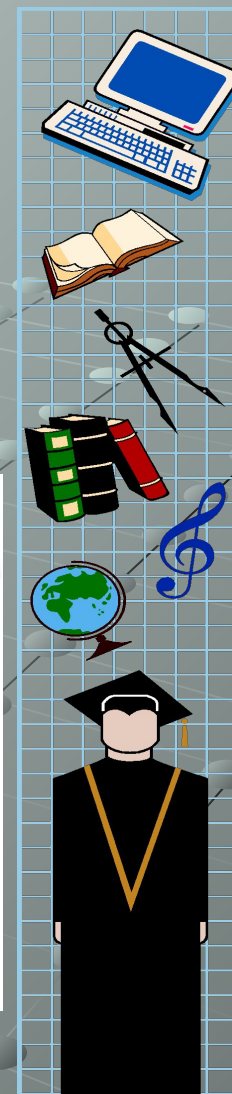
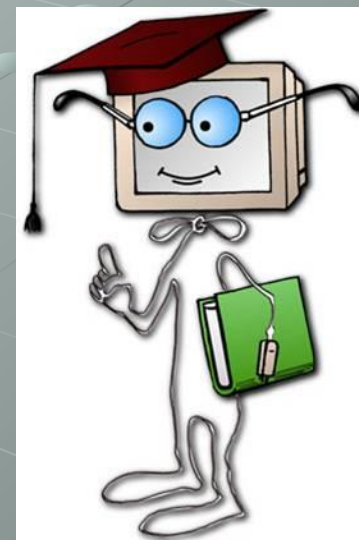
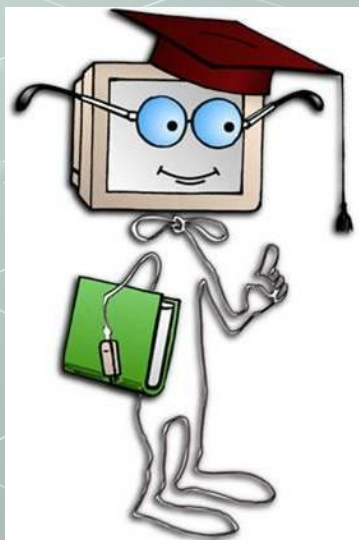


Струм у напівпровідниках

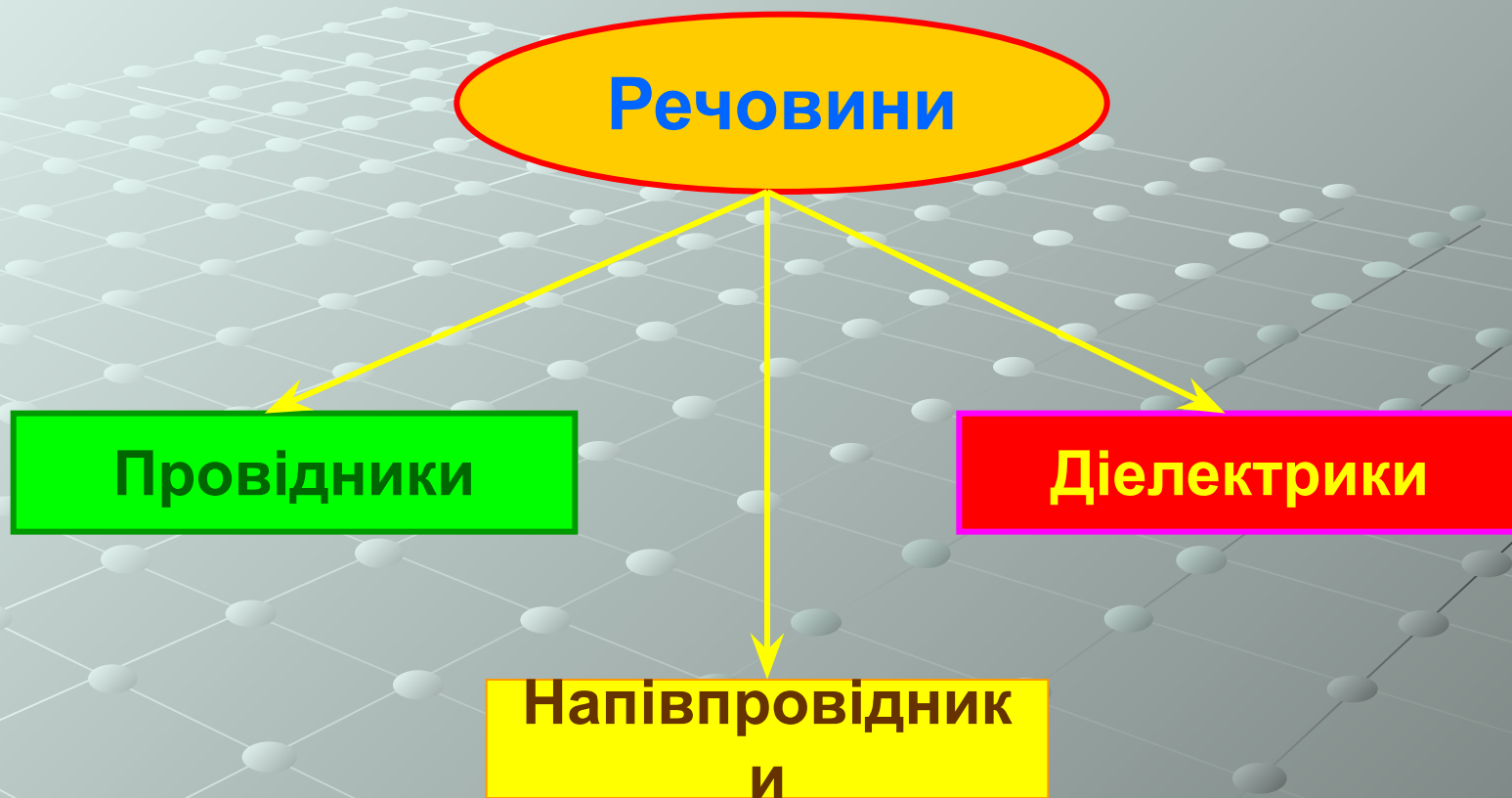


Підготував: учитель фізики Дрозденко С. І.

Поміркуй!

На які типи
поділяються речовини за
здатністю проводити
електричний струм?

Поділ речовин за провідністю



Приклади напівпровідників

- До напівпровідників належать деякі метали, окисли металів, сульфіді (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	1 H 1,008						(H)	2 He 4,003		
2	3 Li 6,94	4 Be 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	11 Na 22,99	12 Mg 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	19 K 39,10	20 Ca 40,1	21 Sc 44,96	22 Ti 47,9	23 V 50,9	24 Cr 52,0	25 Mn 54,94	26 Fe 55,85	27 Co 58,93	28 Ni 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	37 Rb 85,47	38 Sr 87,6	39 Y 88,9	40 Zr 91,2	41 Nb 92,9	42 Mo 95,94	43 Tc (99)	44 Ru 101,1	45 Rh 102,9	46 Pd 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	55 Cs 132,9	56 Ba 137,3	* 57 La 138,9	72 Hf 178,5	73 Ta 180,9	74 W 183,8	75 Re 186,2	76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 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	87 Fr (223)	88 Ra (226)	** 89 Ac (227)	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (263)	107 Bh (264)	108 Hs (265)	109 Mt (266)	

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
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

* ЛАКТАНОЇДИ
** АКТИНОЇДИ

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

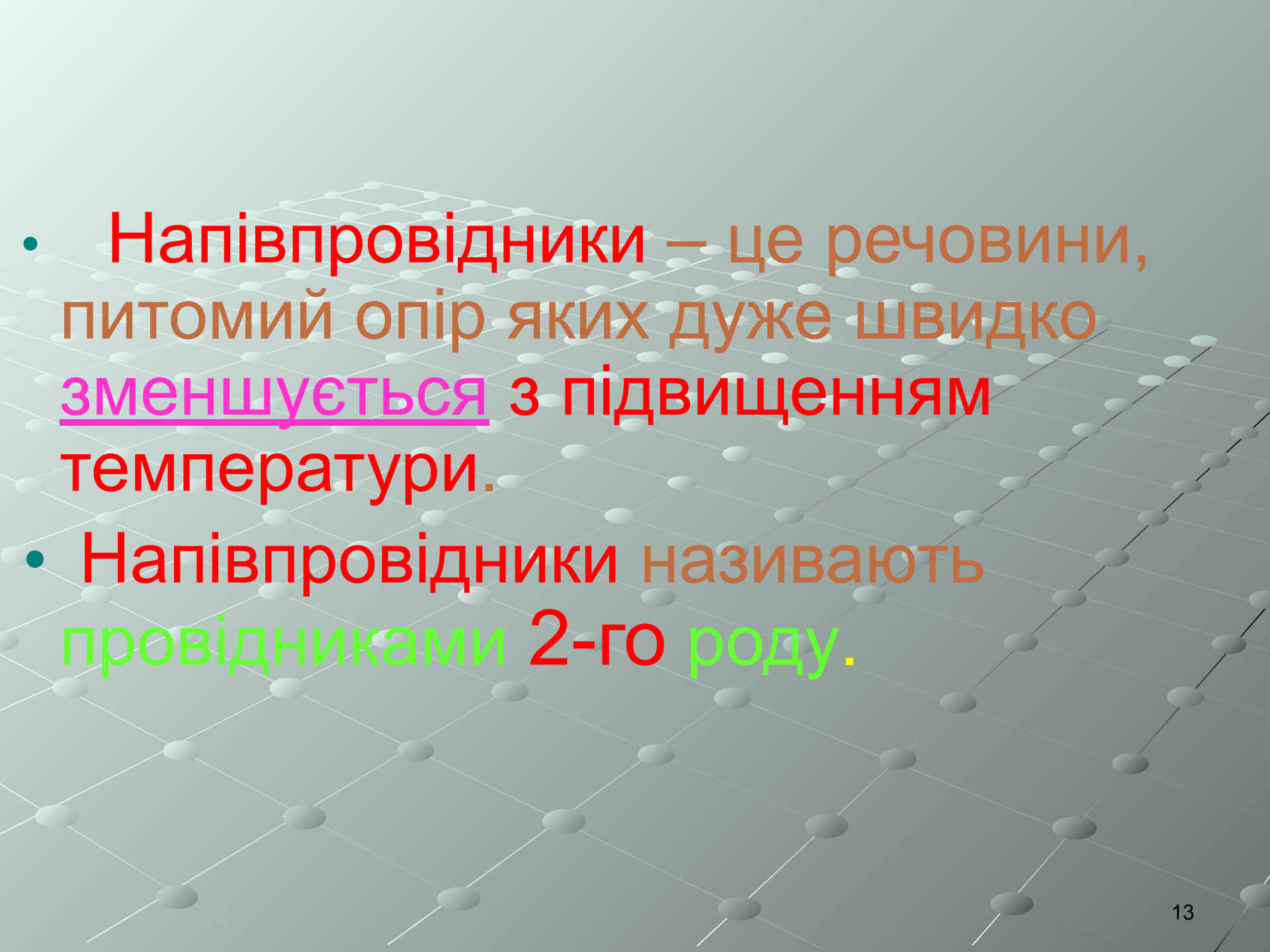


Поміркуй!

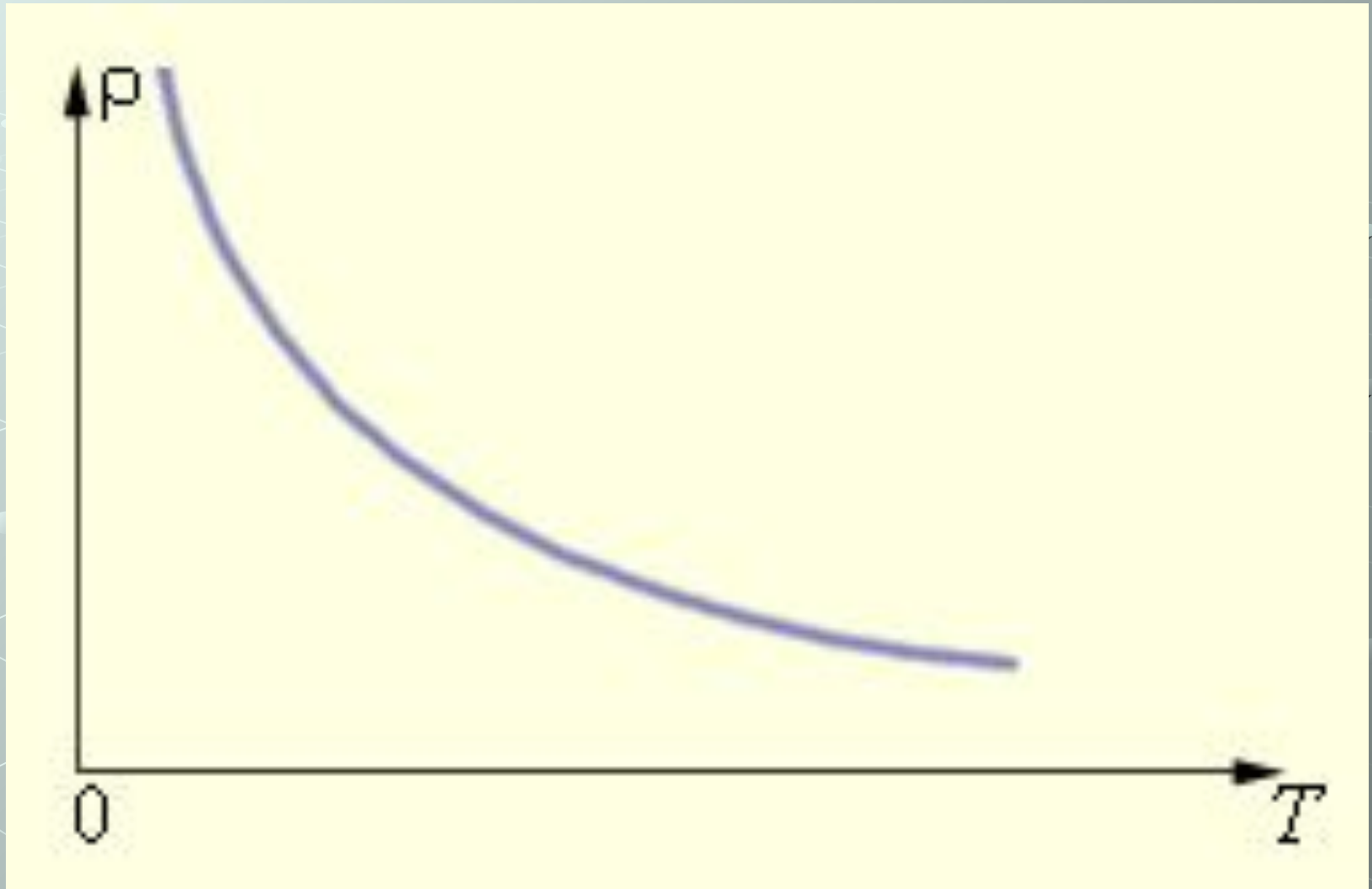
Як опір напівпровідників
залежить
від температури?



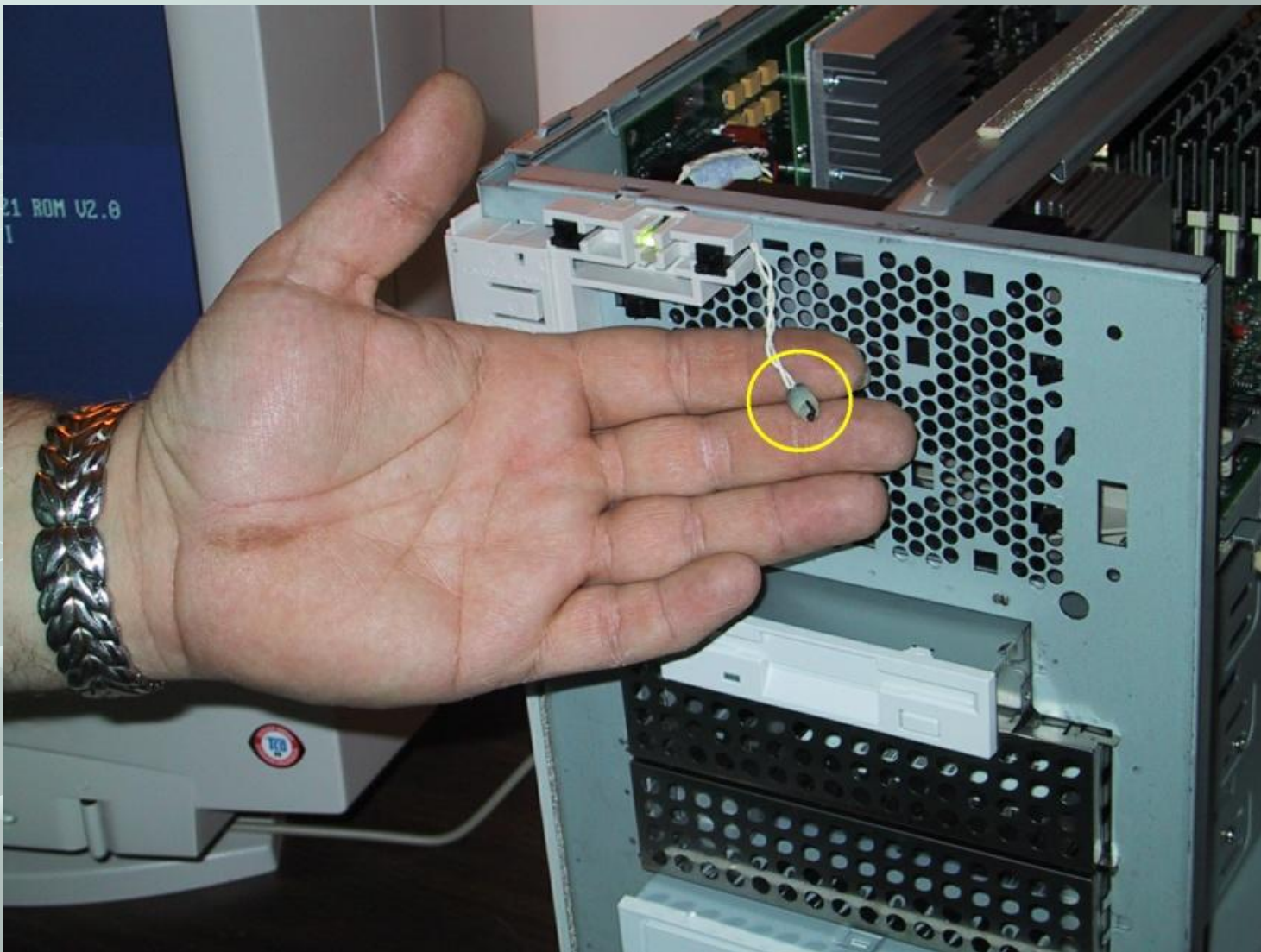
Залежність опору напівпровідників від температури

- 
- 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.

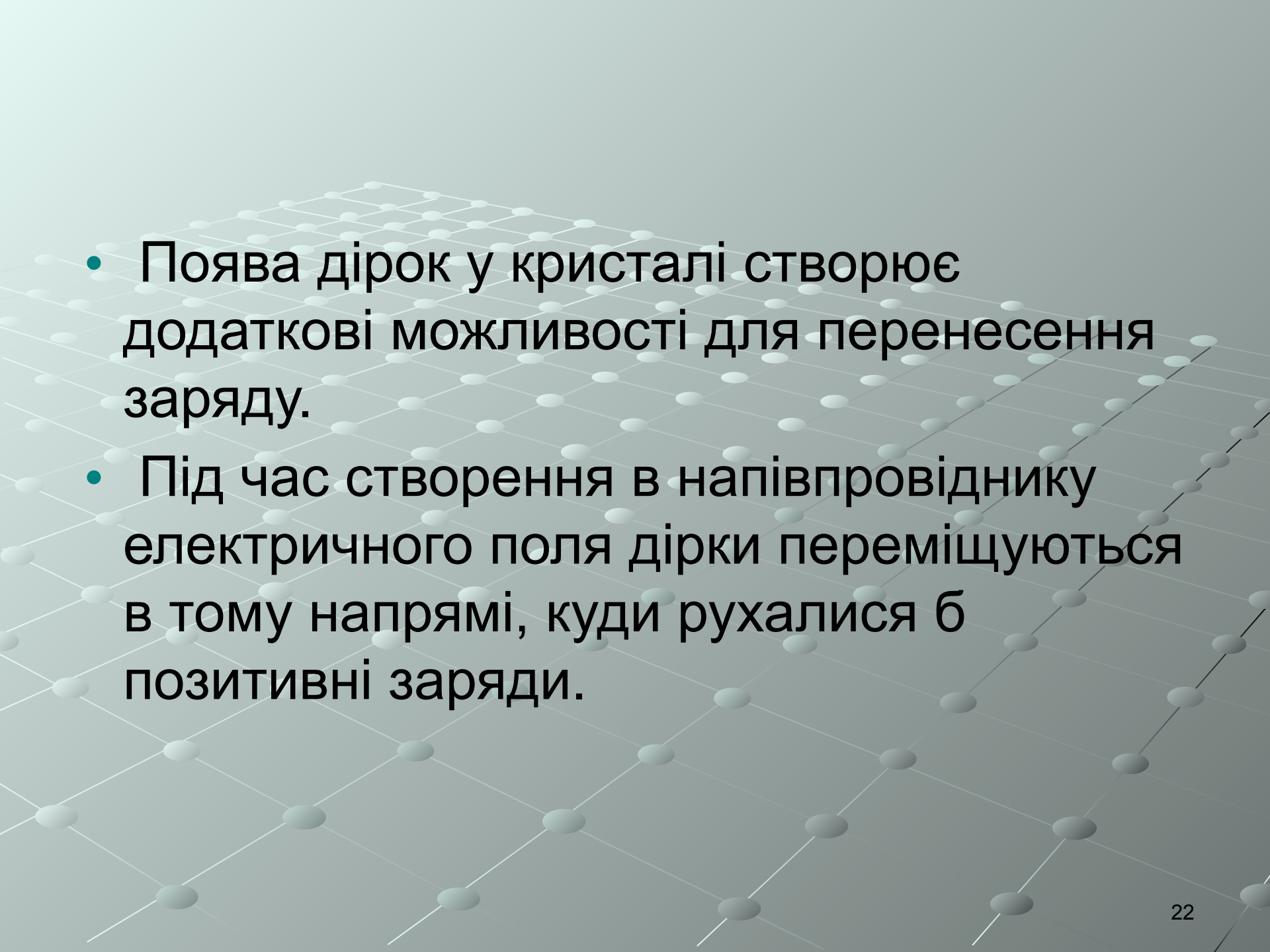
Типи провідності напівпровідників

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

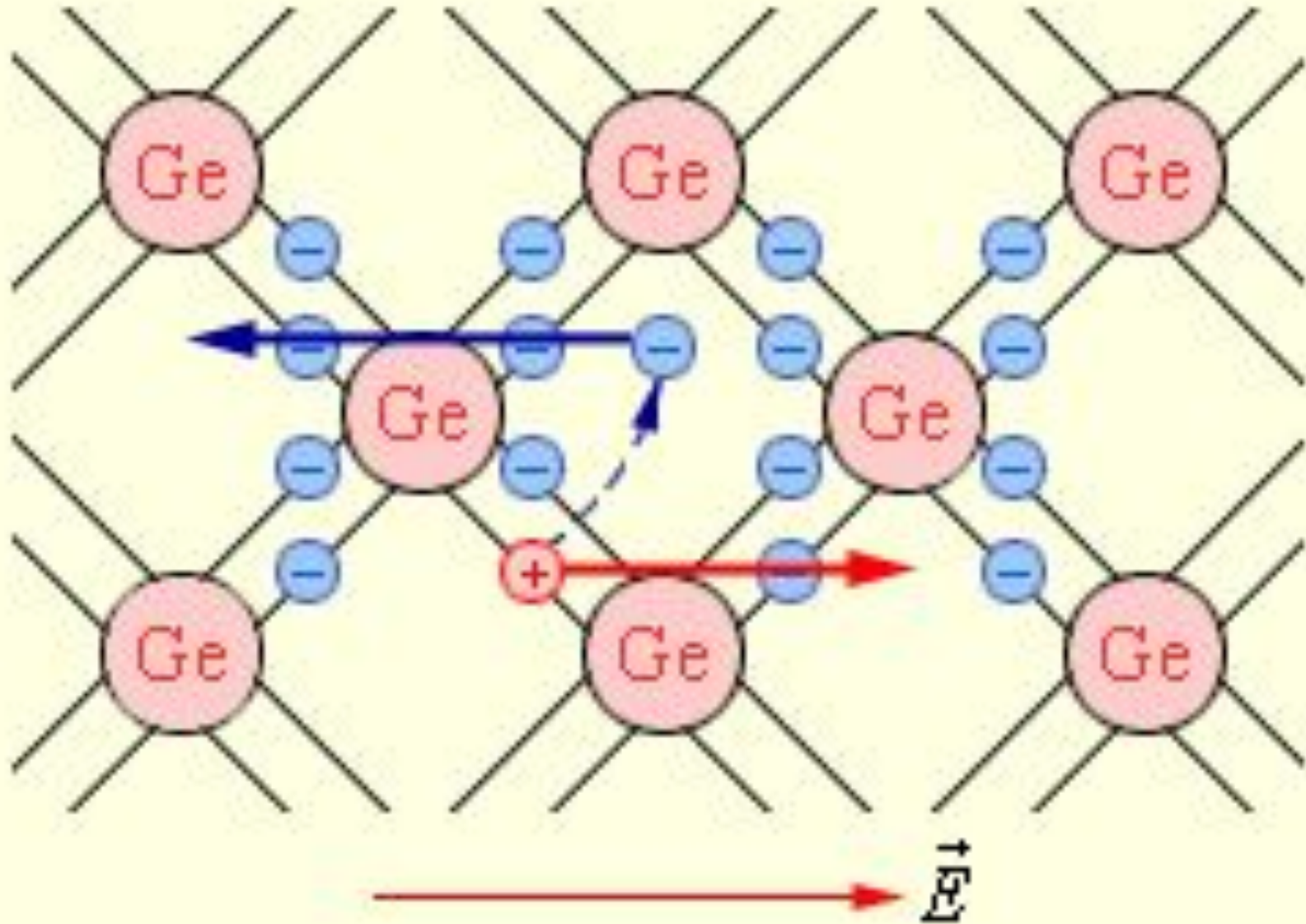
Типи провідності напівпровідників

- 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.

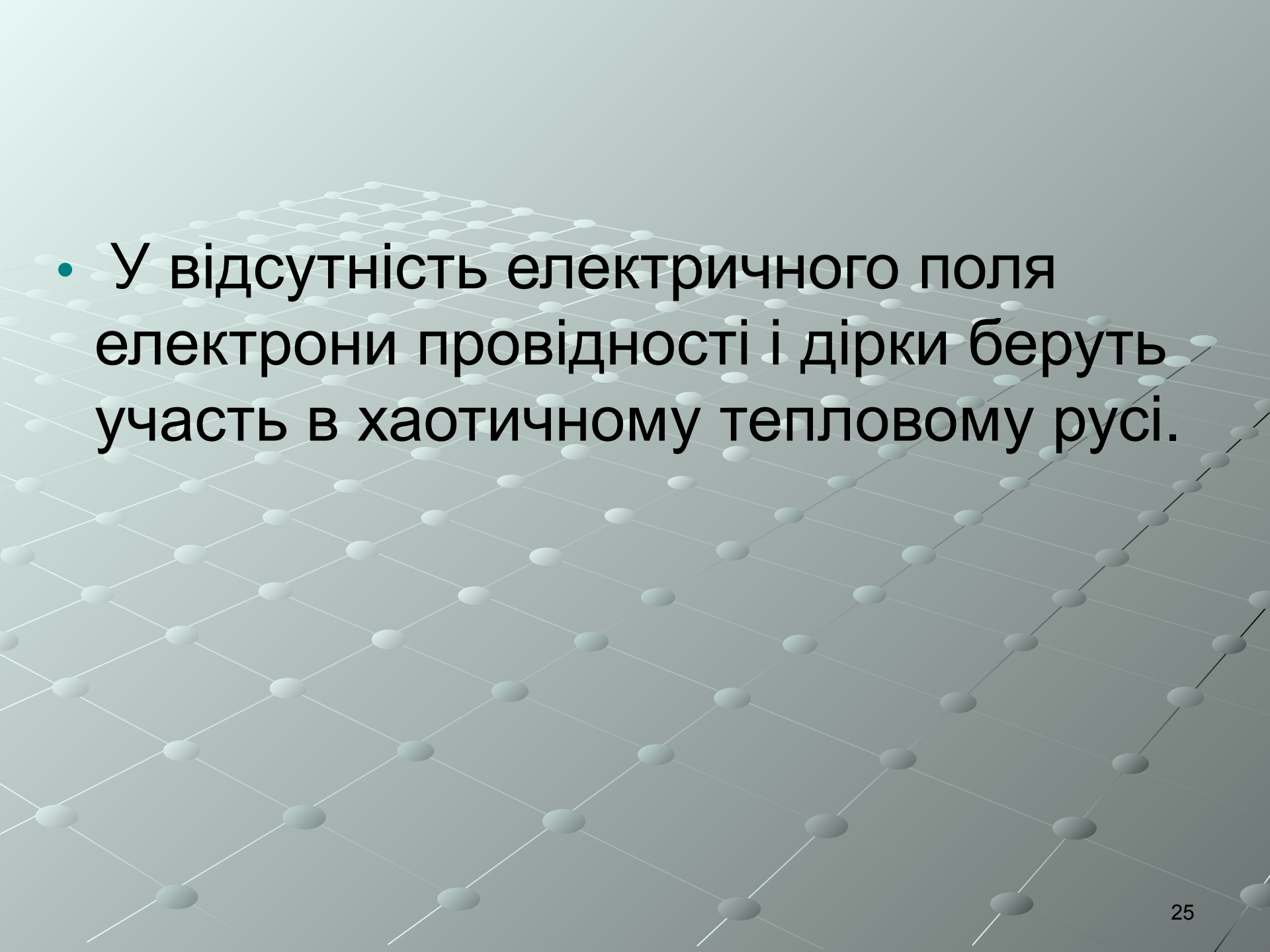
- Тоді позитивним іоном стає сусідній атом, звідки був “захоплений” електрон.
- Такий процес відбувається багато разів, і тому переміщення позитивного заряду всередині кристала, яке відображає насправді рух зв'язаних електронів від одного атома до іншого, називають рухом дірок.

- 
- 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

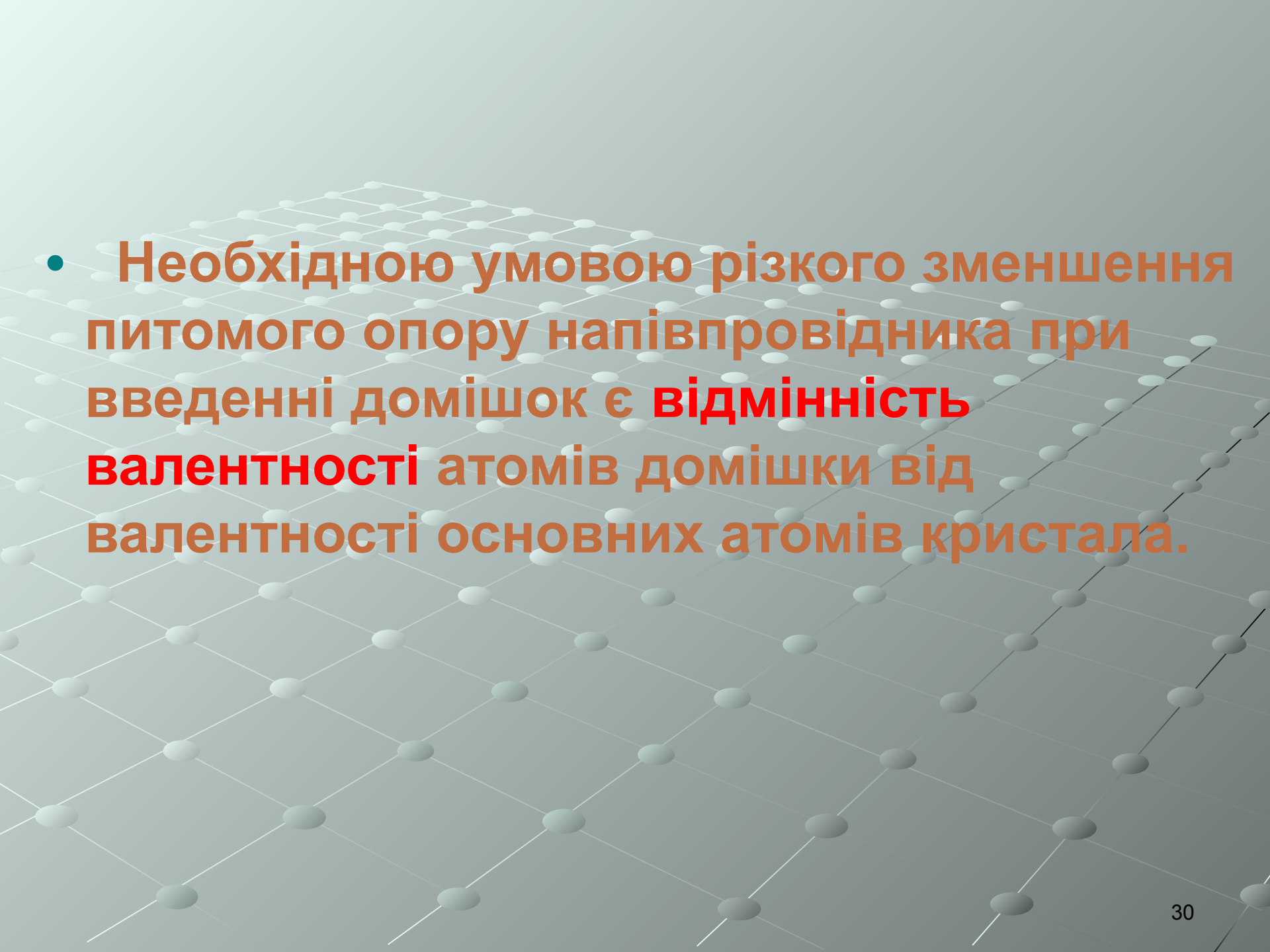
Домішкова

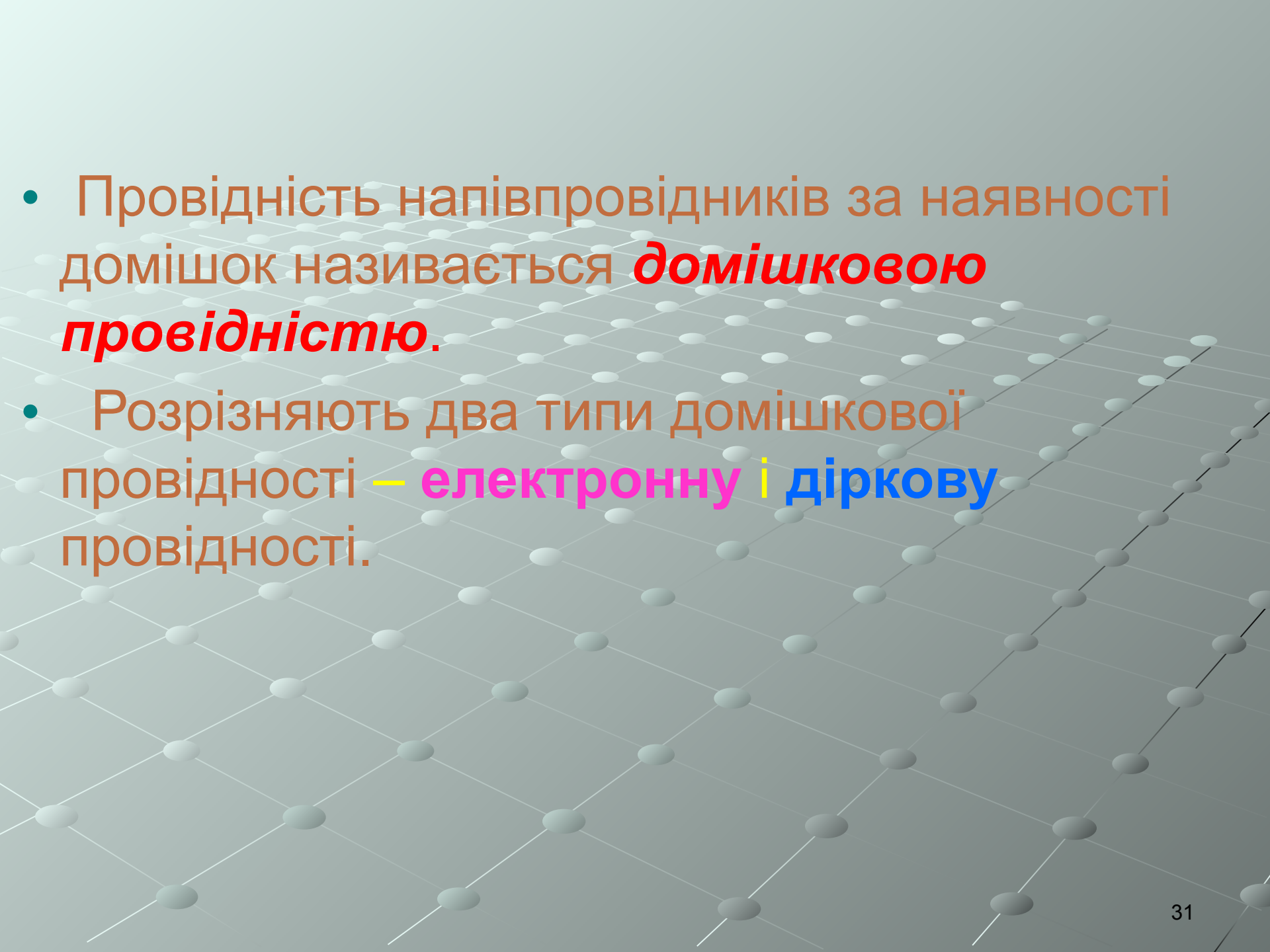
Електронна

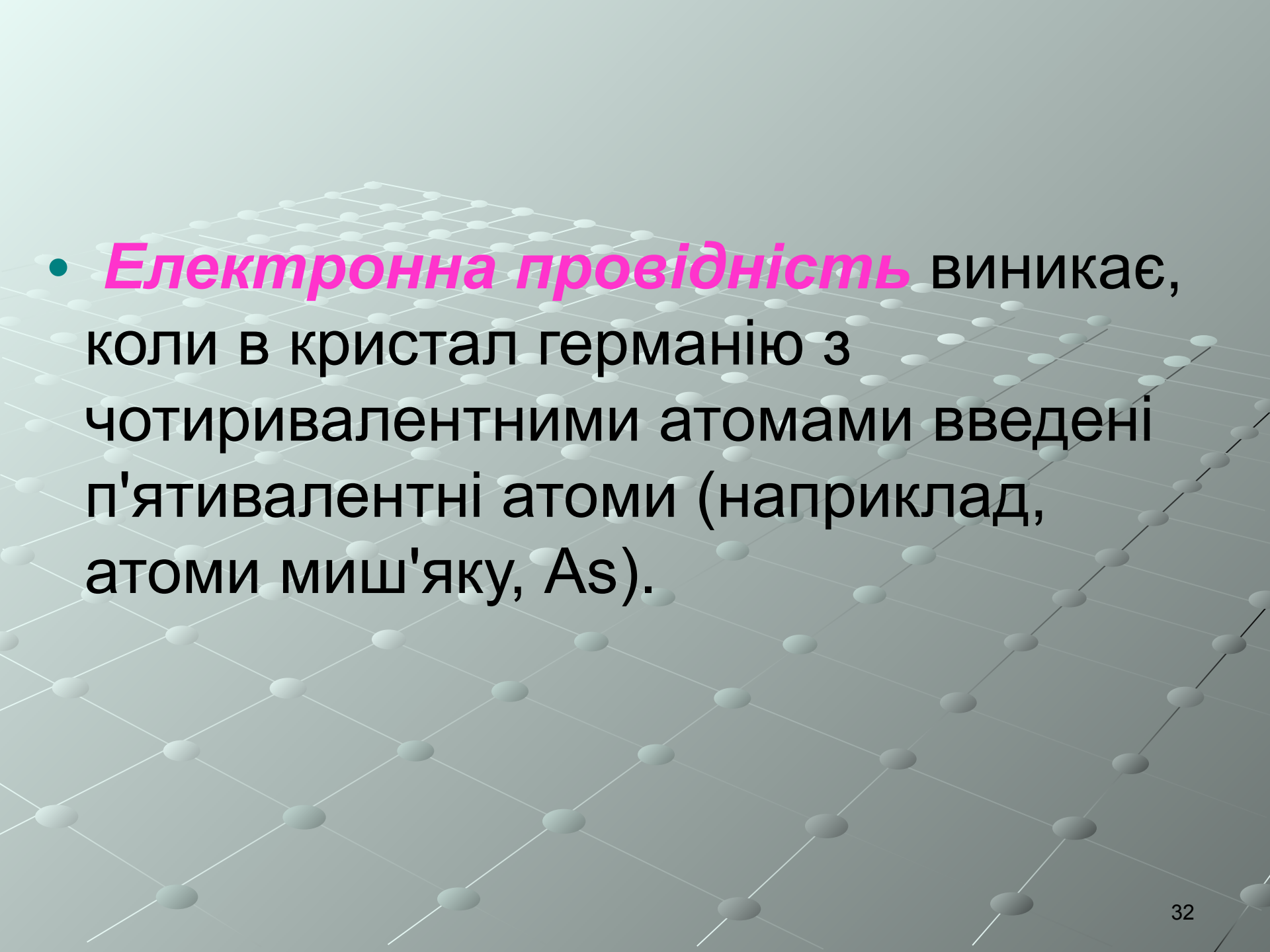
Діркова



- 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).

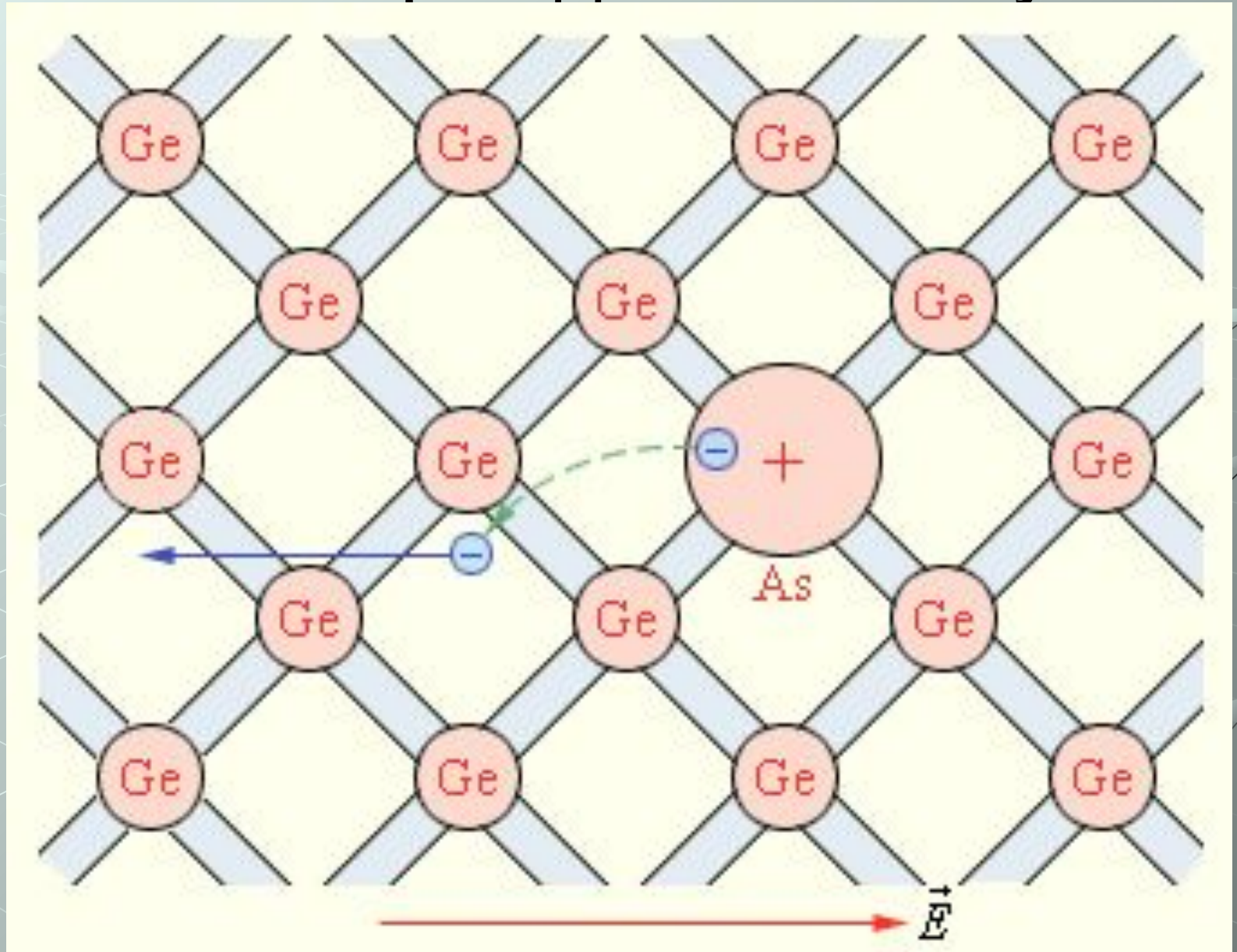
- 
- Необхідною умовою різкого зменшення питомого опору напівпровідника при введенні домішок є **відмінність валентності атомів домішки від валентності основних атомів кристала.**

- 
- 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).

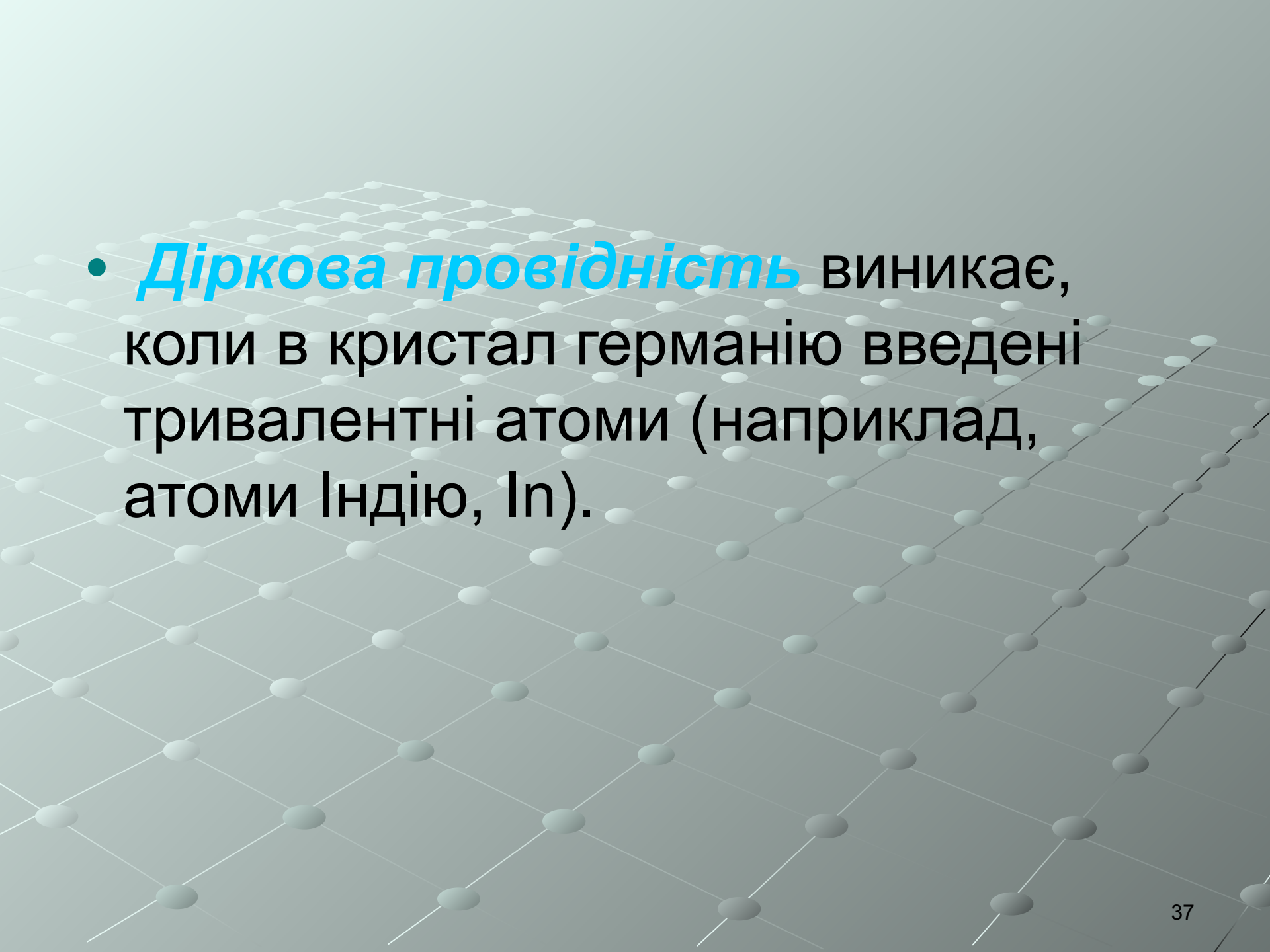
- Чотири валентні електрони атома миш'яку включені в утворення ковалентних зв'язків з чотирма сусідніми атомами германію.
- П'ятий валентний електрон виявився зайвим; він легко відривається від атома миш'яку і стає вільним.
- Атом, що втратив електрон, перетворюється на позитивний іон, розташований у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

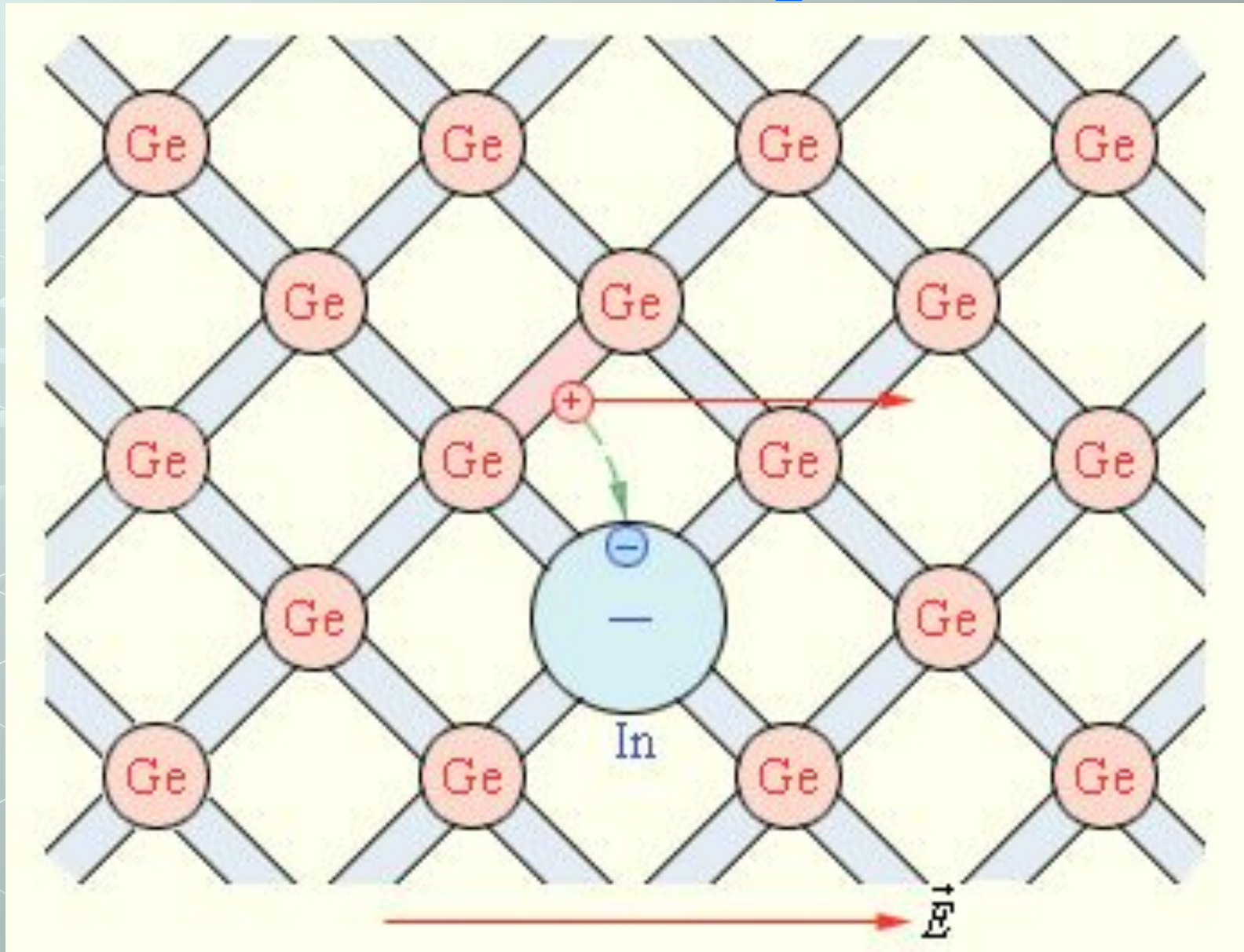
- У кристалі германію з домішкою миш'яку є електрони і дірки, відповідальні за власну провідність кристала. Але основним типом носіїв вільного заряду є електрони, що відірвалися від атомів миш'яку. У такому кристалі $n_p \gg n_r$.
- Така провідність називається **електронною**, а напівпровідник, що володіє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



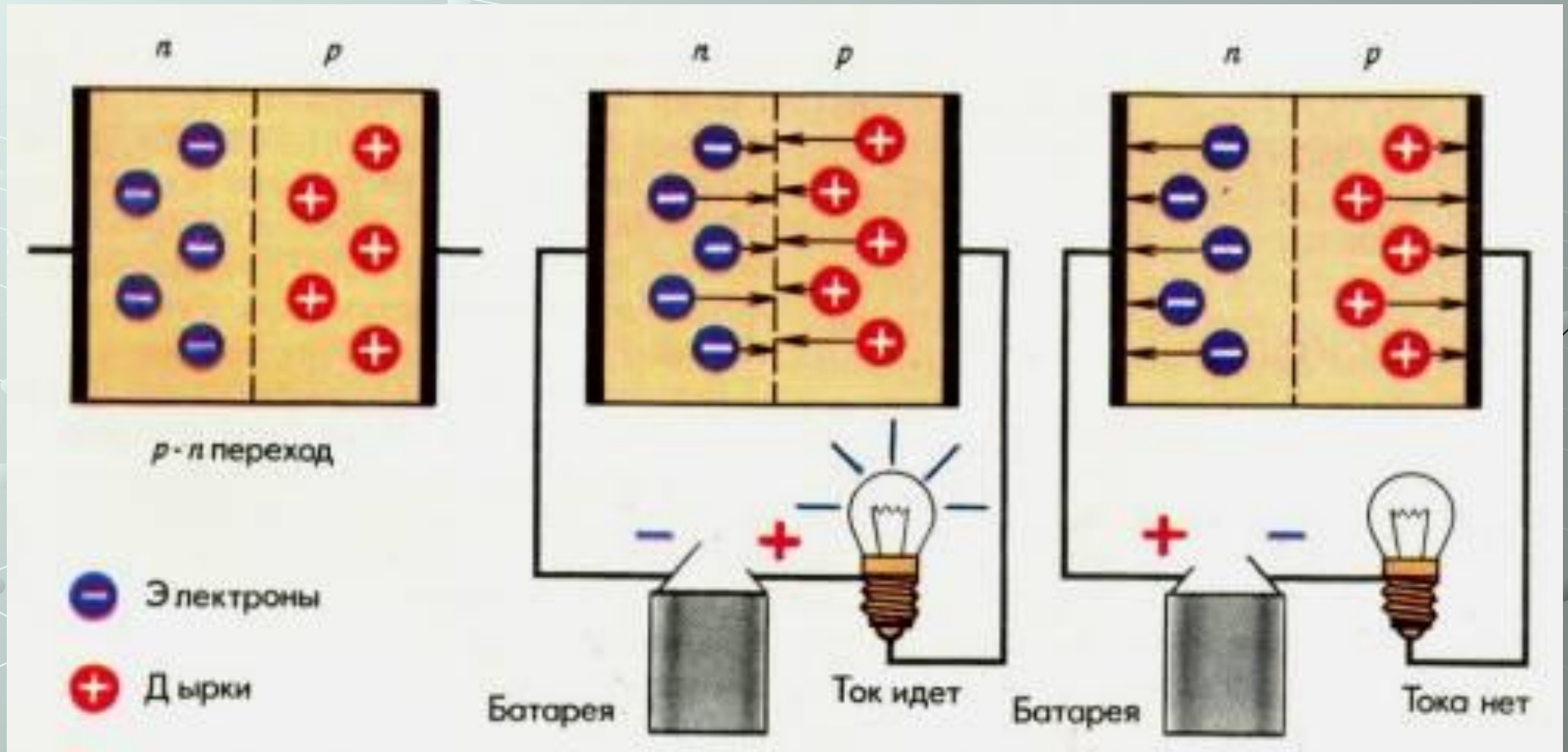
Чинники, які зумовлюють широке застосування напівпровідників:

- 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.