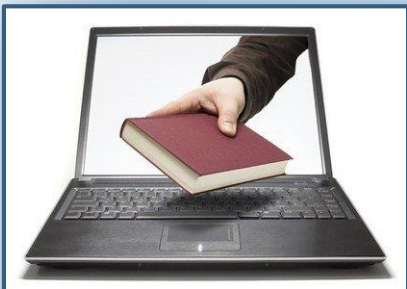




FIZIKA KAFEDRASI



Fizika II

2019

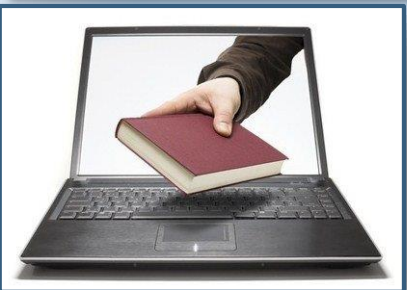
QATTIQ JISMLAR FIZIKASI

11 – ma'ruza

**K.P.Abduraxmanov,
V.S.Xamidov, M.F.Raxmatullaeva**



**TÁBIYIY HÁM
ANÍQ PÁNLER
KAFEDRASÍ**



Fizika II

2023

QATTÍ DENELER FIZIKASÍ

11 – lekciya. Qattı deneler fizikası.

**Qaraqalpaq tiline awdarmalağan
S.G. Kaypnazarov**



Lekciya rejesi

Qattı denelerdiń kristallıq dúzilisleri.

Baylanıs kúshleri.

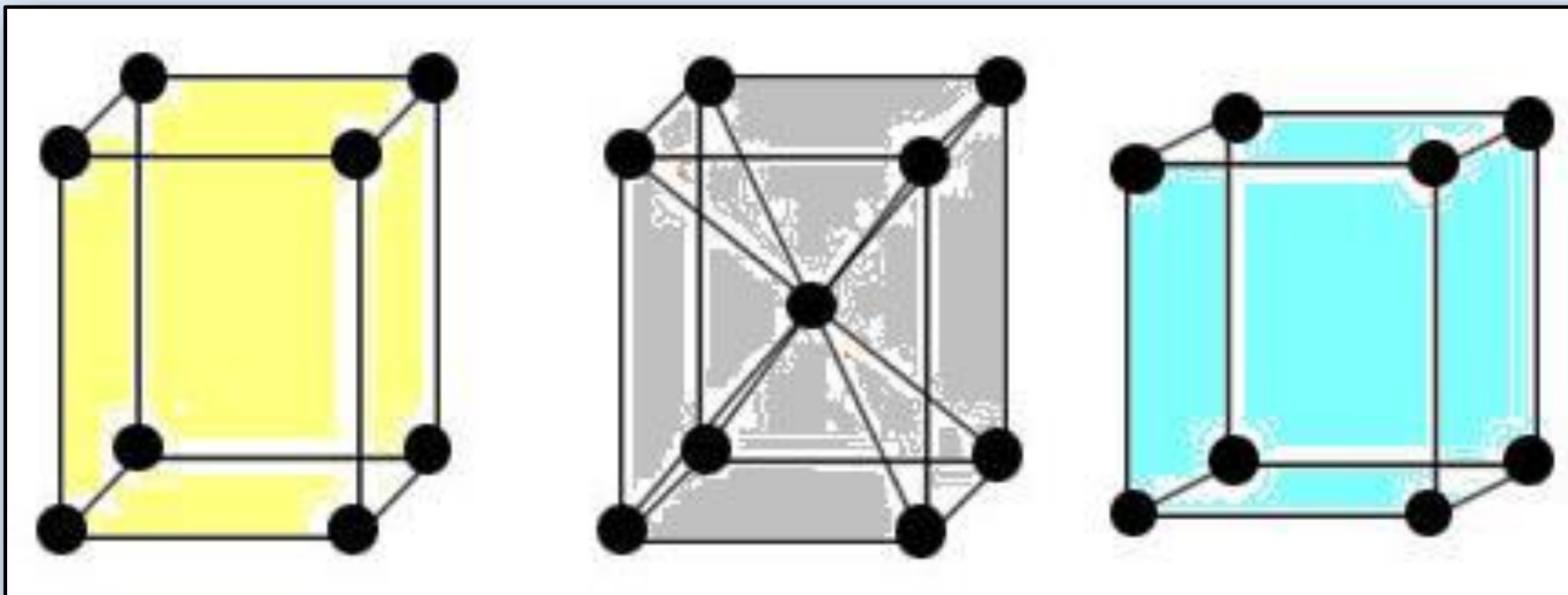
Erkin elektronnıń energetikalıq qáddileri.

Kristallardıń zonalıq teoriyası.

Zonalıq teoriyada metallar, yarım ótkizgishler hám dielektrikler.

Qattı deneler ózleriniń dúzilis qásiyetlerine qarap tómendegi túrlerge bólinedi.

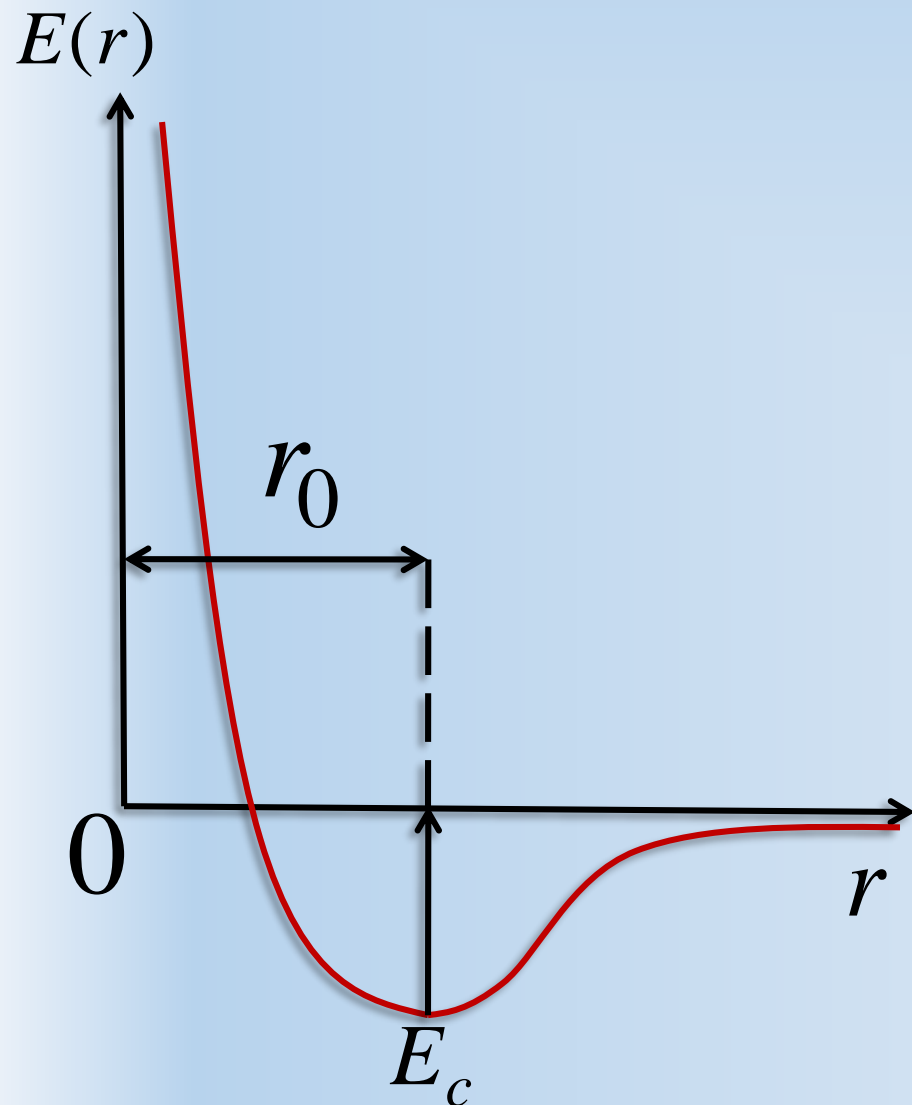
- ***Amorf zatlar***, qandayda bir anıq kristallıq dúzilislerge iye bolmağan zatlar;
- ***Polıkristall zatlar***, bólek dana – dana yaki kishi zonalı kristallıq dúzilislerden quralğan boladı. Hár bir dana – dana dúzilisler anıq kristall dúzilislerden ibarat bolıp, olardıń qońsı zonalardağı ólshemi hám orientaciyaları pútkilley ıqtıyarıy boladı.
- ***Monokristall zatlar***, olardıń atomları keńislikte tártipli jaylasqan boladı hám kristall pánjere dep atalatuǵı n úsh ólshemli dáwirli dúzilisti quraydı.



Qattı denelerdiń kristall pánjereleri súwrette keltirilgen tártipli dáwirli dúzilisler modelleri arqalı súwretlenedi. Kristall pánjerede kristall boyınsha dáwirli tákrarlanatuǵın elementar yacheykanı ajratıw múmkin.

- Kristall pánjerede atomlardıń orayları jaylasqan noqatlar – túyinler, olar arasındaqı zonalar túyinler aralıq zonalar dep ataladı.
- Elementar yacheykadağı bárshe atomlar elementar yacheykanıń bazisi dep ataladı.
- Elementar yacheykanı xarakterlew ushın, ulıwma halda altı shamanı kiritiw zárúr: elementar yacheykanıń úsh qabırǵası hám olar arasındaqı úsh múyeshler. Bul shamalardı elementar yacheykanıń parametrleri, a , b , c kesindilerdi bolsa, kósher birlikleri dep ataydı.

Atomlar arasındagi ózara tásir energiyasiniń aralıqqa gárezliligi



•Salıstırmalı úlken aralıqlarda tartısıw kúshleri (F_m) payda bolıp, bóleksheler arasındagi aralıq qısqarıwı menen tez arta baslaydı.

•Salıstırmalı kishi aralıqlarda iyteriw kúshi (F_u) payda bolıp, r aralıq qısqarıwı menen tartısıw kúshine salıstırmalı jánede tezrek arta baslaydı.

•Málim bir $r = r_0$ aralıqta iyteriw kúshleri tartısıw kúshleri menen teńlesedi hám nátiyjede juwmaqlawshı ózara tásir kúshi F nolge aylanadı, ózara tásir energiyası úsh minimal mániske erisedi. Sol sebepli, r_0 aralıqqa jaqınlasqan bóleksheler halatı bekkem teń salmaqlılıqtaǵı halatqa aylanadı. Bólekshelerdiń bir-birine salıstırmalı r_0 aralıq penen qatań tártipte jaylasıwı, tuwrı ishki dúzilisli qattı dene quralıwına alıp keledi.

Zatlardıń qattı dene halatına ótiw imkaniyatı, qurawshı bólekshelerdiń bir-birine jaqın aralıqqa jaqınlasıwında, olar arasında payda bolatuǵın baylanıs kúshlerine ǵárezli. Bunday bóleksheler, ádette atom, ion hám molekulalar esaplanadı.

Qattı deneniń bekkem pánjereli sisteması payda bolıwı ushın bóleksheler arasında eki qıylı kúsh tásir etiwı kerek:

- bólekshelerdiń bir-birinen uzaqlasıwına tosqınlıq etiwshi tartısıw kúshleri;***
- bólekshelerdiń bir-birine qosılıwına qarsılıq etiwshi iyteriw kúshleri.***

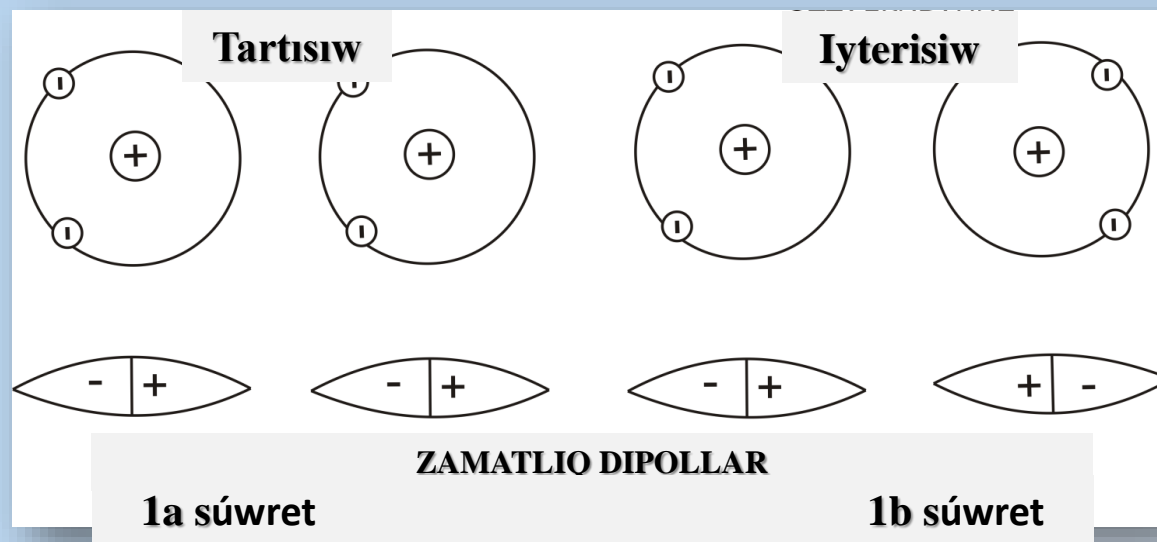
Van-der-Vaals kúshleri

- Qálegen atom hám molekulalar arasında payda bolıwshı ulıwmaraq koriniste bolǵan baylanıs kúshleri - *Van-der-Vaals kúshleri*. Ulıwma halda Van-der-Vaals kúshleri ózine *dispersiyalı, orientaciyalı* hám *indukciyalı* tásir kúshlerin qamtıp aladı.
- Van-der-Vaals kúshleri birinshi bolıp qattı faza halatında bolǵan real gazlar halat teńlemesine kiritilgen edi.

$$\left(p + \frac{a}{V_m^2} \right) (V_m - b) = RT$$

bul jerde a hám b – qosımsha aǵzalar, qattı halattaǵı real gaz molekulaları arasındaǵı tartısıw hám iyteriw kúshlerin esapqa alıw ushın kiritilgen, b – molekulalardıń ózi iyelegen kólemi, a – molekulalar arasındaǵı tartısıw kúshi.

Dispersiyalı tásir kúshler



- Waqıttıń ayırım zamatlarında elektronlar keńisliktiń málim noqatlarında jaylasıp, birden tez ózgerip turatuǵı n elektr dipolların payda etedi.
- Eki geliy atomları jaqınlastırılǵanda bul atomlar elektronları háreketinde («korrelyaciya») muwapıqlıq ornatıladı, nátiyjede atomlar ortasında ózara tásir kúshleri payda boladı. Bunday kúshler eki qıylı xarakterge iye boladı:
- *egerde elektronlar atomlardıń keri tamanlarına toplanıwı muwapıqlassa (1a-súwret), tartısıw kúshleri payda boladı;*
- *egerde elektronlar atomlardıń bir tamanlarına toplanıwı muwapıqlassa (1b-súwret), iyteriw kúshleri payda boladı*

Dispersiyalı tásir kúshler

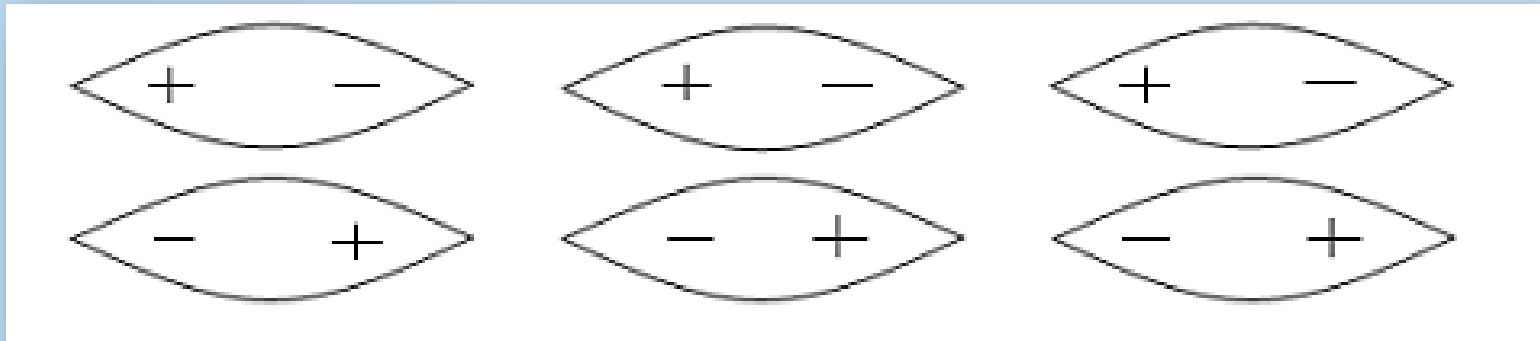
- Elektronlardıń muwapıqlasqan háreketi nátiyjesinde payda bolatuǵın baylanıs kúshleri *dispersiyalı kúshler* dep ataladı hám tómendegishe ańlatıladı:

$$U_{\partial} = -\frac{3}{4} \frac{\alpha^2 I}{r^6}$$

- bul jerde α - bóleksheniń polýarlanıwı,
- I - bólekshelerdiń qozdırılıw energiyası,
- r - dipollar arasındaqı aralıq.

Orientatsiyalı tásir kúshler

Eger molekulalar turaqlı M – dipol momentine iye bolsa, yaǵnıy polyarlı bolsa, ol halda olar arasında elektrostatikalıq tásir kúshleri payda boladı, nátiyjede sistemanıń energiyası kemeyiwine ǵárezli túrde molekulalar qatań tártipte jaylasıwǵa umtıladı.

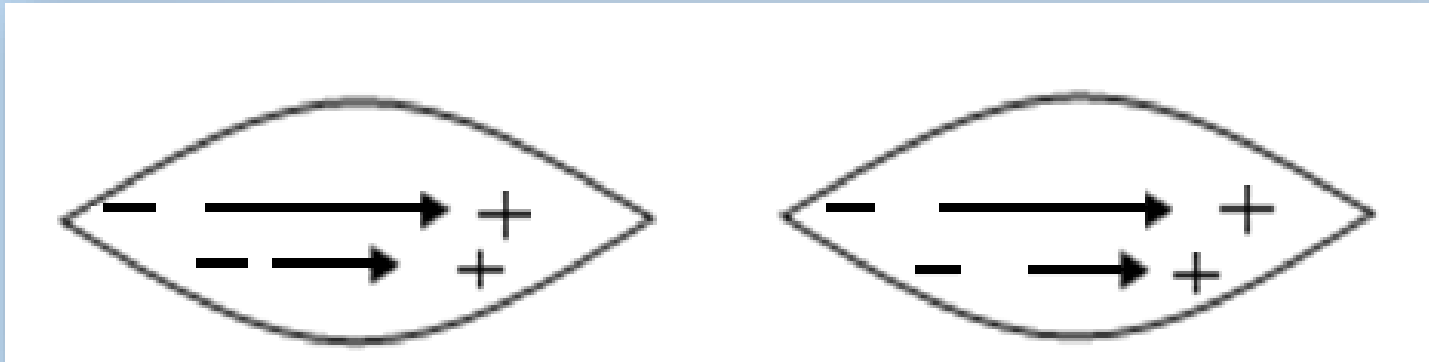


Tómen temperaturalarda molekulalar tártipli baǵıtqa tolıq iye bolsa, ózara tásir energiyası tómendegi qatnas penen anıqlanadı:

$$U_{op} = -\frac{M^2}{2\pi\epsilon_0 r^3}$$

Indukciyalı tásir kúshler

- Kúshli polýarlanıwǵa iye bolǵan polýarlı molekulalarda qońsı molekulardıń turaqlı dipolı maydanı tásirine qosımsha dipol momenti payda bolıwı múmkin.



- Birinshi molekulanıń turaqlı dipolı hám ekinshi molekulanıń indukciyalanǵan dipolı arasındadı ózara tásir nátiyjesinde júzege keletuǵı n ózara tartısıw energiyası tómendegi qatnas penen anıqlanadı

$$U_{ind} = - \frac{\alpha \mu^2}{\gamma \pi \epsilon_0^2} \frac{1}{r^6}$$

Ionlı baylanıs

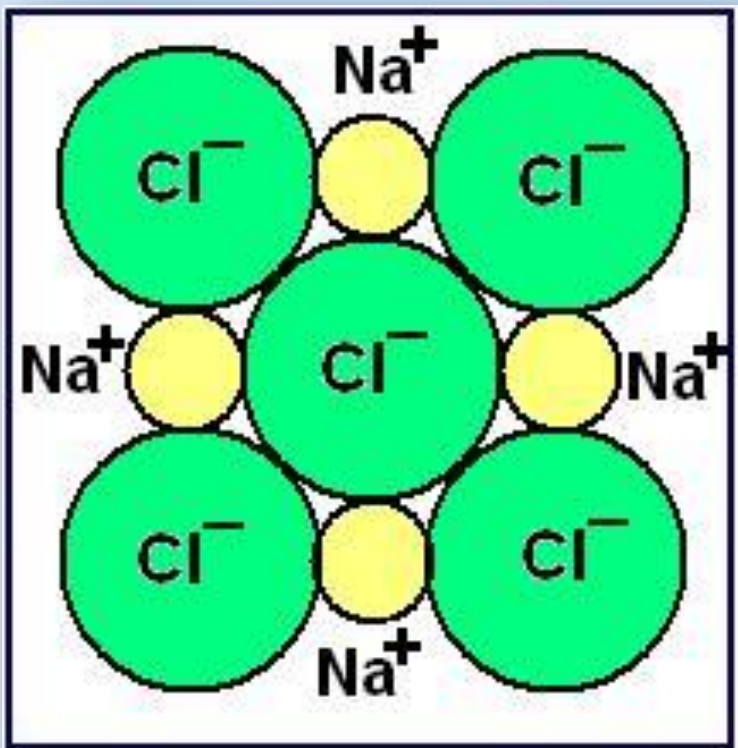
Siltili metallar hám galoidlar atomları arasındağı baylanıs tómendegishe boladı.

Áwel metall atomınıń elektronı galoid atomına ótedi, nátiyjede metall oń zaryadlı ionğa, galoid atomı – teris zaryadlı ionğa aylanadı. Bul oń hám teris ionlar Kulon tásir kúshi menen tásirlesedi. Bunday baylanıs *ionlı* yaqı *polyarlı* baylanıs dep ataladı.

Ionlardıń tartısıw energiyası tómendegige teń:

$$U_T = -\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Ionli baylanis

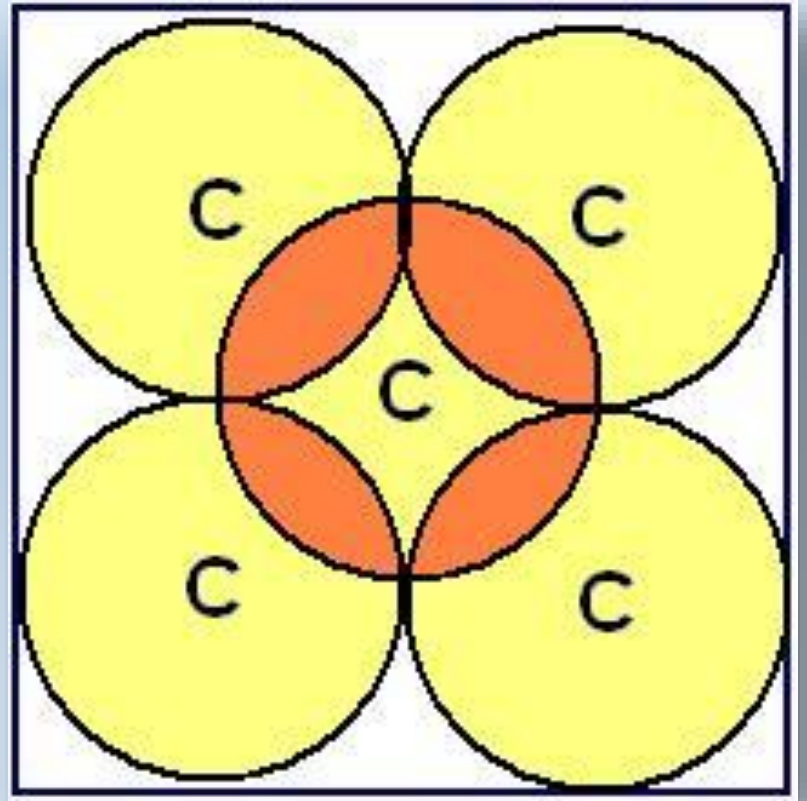


- Xlorli natriy.
- Natriy silti metalı atomları ózleriniń valent elektronların galogen xlor atomlarına uzatadı. Payda bolǵan oń hám teris ionlar arasındǵı elektrostatikalıq tartısıw kúshleri esabına xlorli natriy kristalı payda boladı.

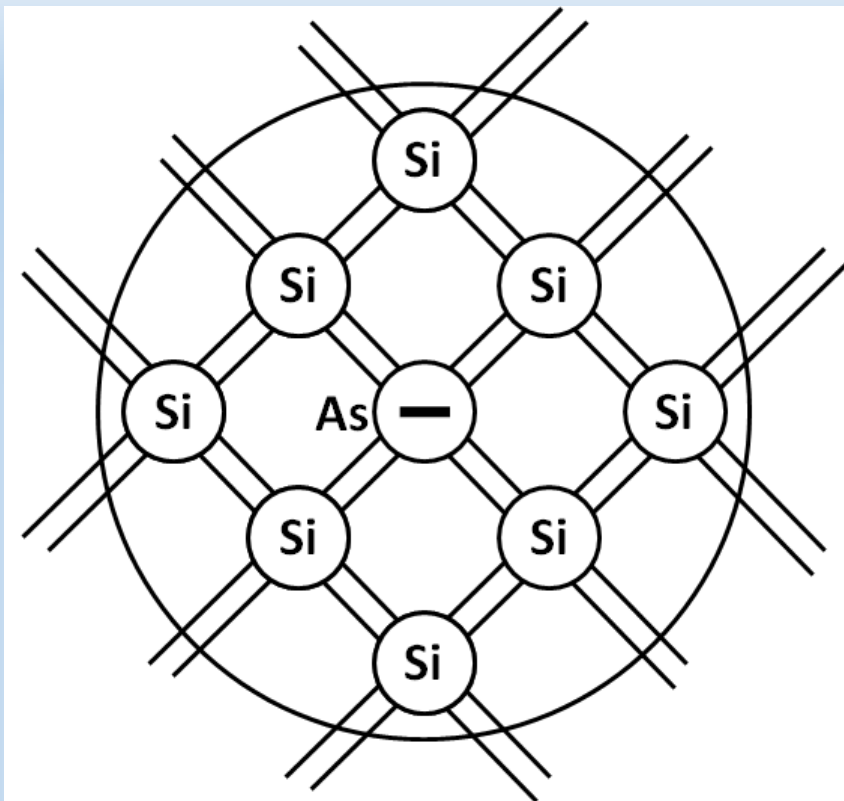
Kovalent baylanıs

Almaz

Uglerodtıń neytral atomları, elektron bultlardıń tutasıwı esabına, almaz kristalın payda etedi.



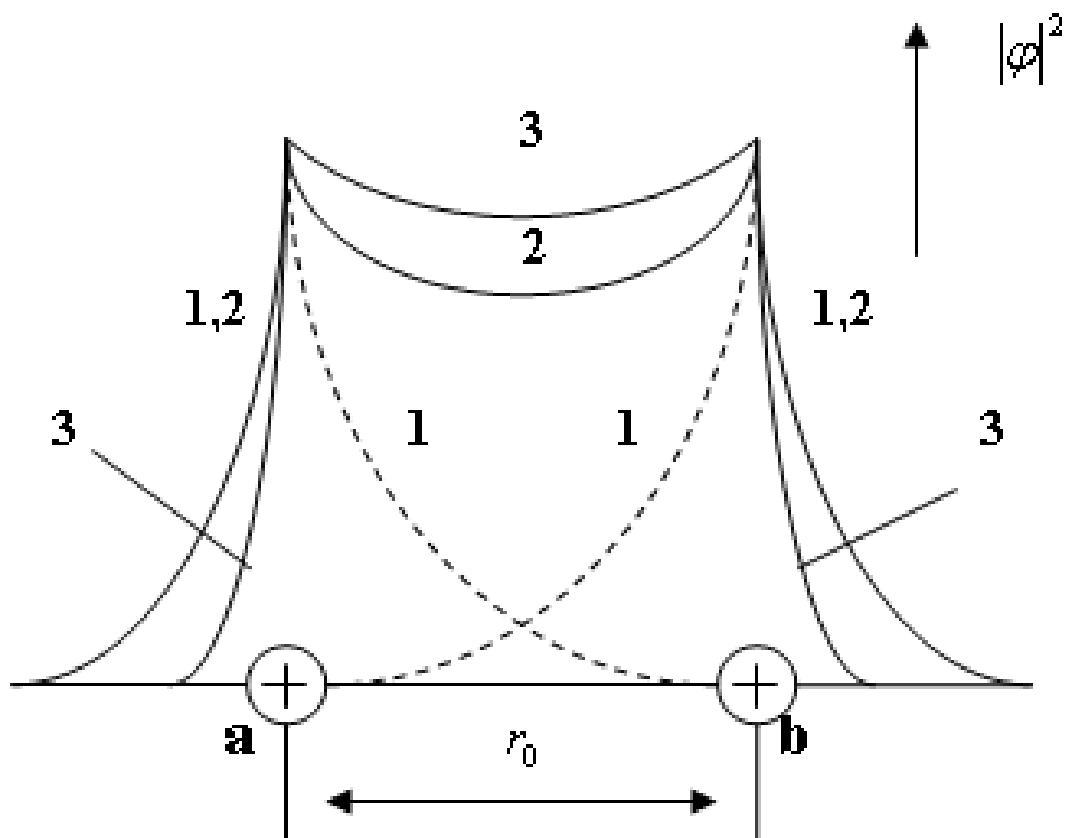
Yadrolar arasındadı keńislikte elektron bultlar tıǵızlıǵınıń artıwı sistema energiyasınıń kemeyiwine hám atomlar arasında tartısıw kúshlerin júzege keltiredi hám *kovalent baylanıstı* payda qıladı.



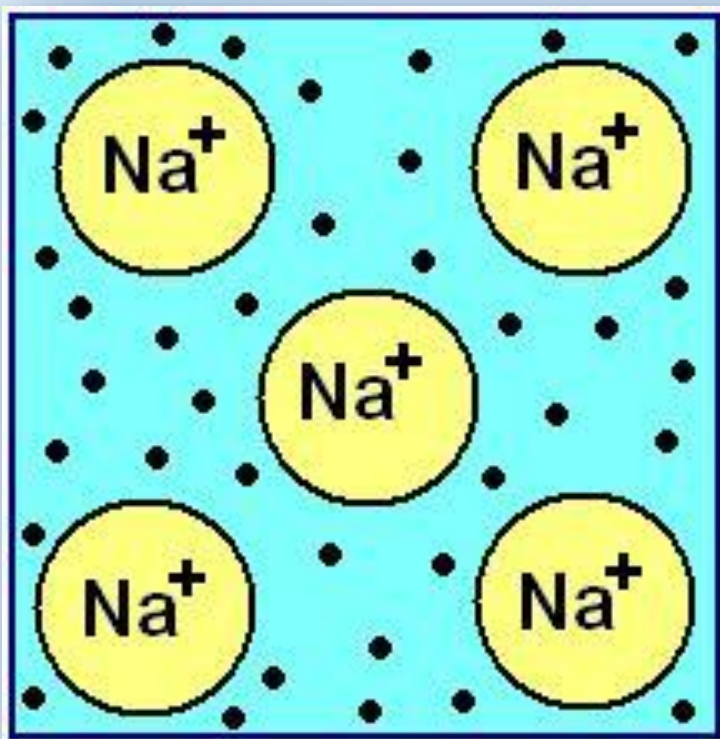
Kremniy, germaniy kristallarında elementar ketekshedegi atom valent baylanıstı tórt jaqın qońsı atomlar menen payda qıladı. Sol tórt kovalent baylanıslardı payda etiwshi hár eki elektron qarama-qarsı spinlerge iye boladı.

Atomlardıń bir-birine jaqınlasıwı menen elektronlardıń basqa atomlarǵa ótiw itimalı artadı hám bul atomlardıń elektron bultları bir-birin tosa baslaydı. Atomlardıń keyingi jaqınlasıwında bultlardıń tosılıw dárejesi hám elektronlardıń almasıw jıyılıǵı asıp baradı, 1 – elektronnıń a - atomǵa, 2 -elektronnıń b - atomǵa tiyisli ekenligi óz kúshin joǵaltadı

Solay etip, bul halatta elektronlar bir waqıtta eki yadroǵa tiyisli boladı hám olar *ulıwmalasqan* esaplanadı.



Metall baylanis



Natriy

silti natriydiń valent elektronları
óz atomların taslap ketedi hám
oń ionlar elektron «suyıqlıqqa»
shóktirilgen halatta boladı.

- Metall atomlarında valent elektronları yadro menen kúshsiz baylanısqan esaplanadı. Metall qattı dene halatına iye bolǵanda, atomlar bir-biri menen júdá jaqın jaylasıwı sebepli, valent elektronlar óz atomların taslap, kristall pánjere boylap erkin háreket qılıw imkaniyatına iye boladı. Nátiyjede kristall pánjerede teris zaryadlardıń bir tekli bólistiriliwi payda boladı hám túyinler arasındagı keńisliktiń úlken bóliminde elektronlardıń ortasha tıǵızlıǵı ózgermewi baqlanadı.
- Metall kristall pánjeresindegi baylanıs oń ionlardıń elektron gaz benen ózara tásiiri nátiyjesinde payda boladı. Oń ionlar arasındagı elektronlar yadrolardıń bir-birine tartısıw hám iyterisiw kúshlerin teń salmaqlılıqqa keltiredi. Basqa tárepten, ionlar arasındagı aralıq kemeyiwi menen tartısıw kúshleri arta baslaydı.

Bólek atomdağı elektronniń halatı tórt kvant sanları menen anıqlanadı:

- *n – bas kvant sanı* – stacionar halattağı atomniń energiyasın anıqlaydı.
- *l – orbital kvant sanı* – elektron háreket muǵdarınıń orbital momentin anıqlaydı. $L = 0, 1, 2 \dots (n-1)$
- *m_l - magnit kvant sanı* – elektron háreket muǵdarı orbital momentiniń orientaciyasın anıqlaydı.
 $m_l = -l, -(l-1) \dots 0, 1, 2 \dots (l-1), l$
- *S – spin kvant sanı* – tańlangan baǵıtqa salıstırǵanda háreket muǵdarınıń menshikli momenti orientaciyasın anıqlaydı.
- $S = +1/2, S = -1/2$

Bárshe basqa kvant sanlarınıń qálegen mánislerinde orbital kvant sanınıń mánisi

$l = 0$ ge tuwrı keletuǵı n halatlar *S - halatlar* dep ataladı;

$l = 1$ bolǵan halatlar – *p – halatlar* dep ataladı;

$l = 2$ bolǵan halatlar – *d – halatlar* dep ataladı;

$l = 3$ bolǵan halatlar – *f – halatlar* dep ataladı
hám t.b.

- $l = 0$ *s - halat*
- $l = 1$ *p - halat*
- $l = 2$ *d – halat*
- $l = 3$ *f – halat*

Atomdağı elektronlardıń energetikalıq spektri diskret.

S – energetikalıq qáddiler aynımağan qáddiler, sebebi bul qáddilerge tek bir elektron halatı tuwrı keledi.

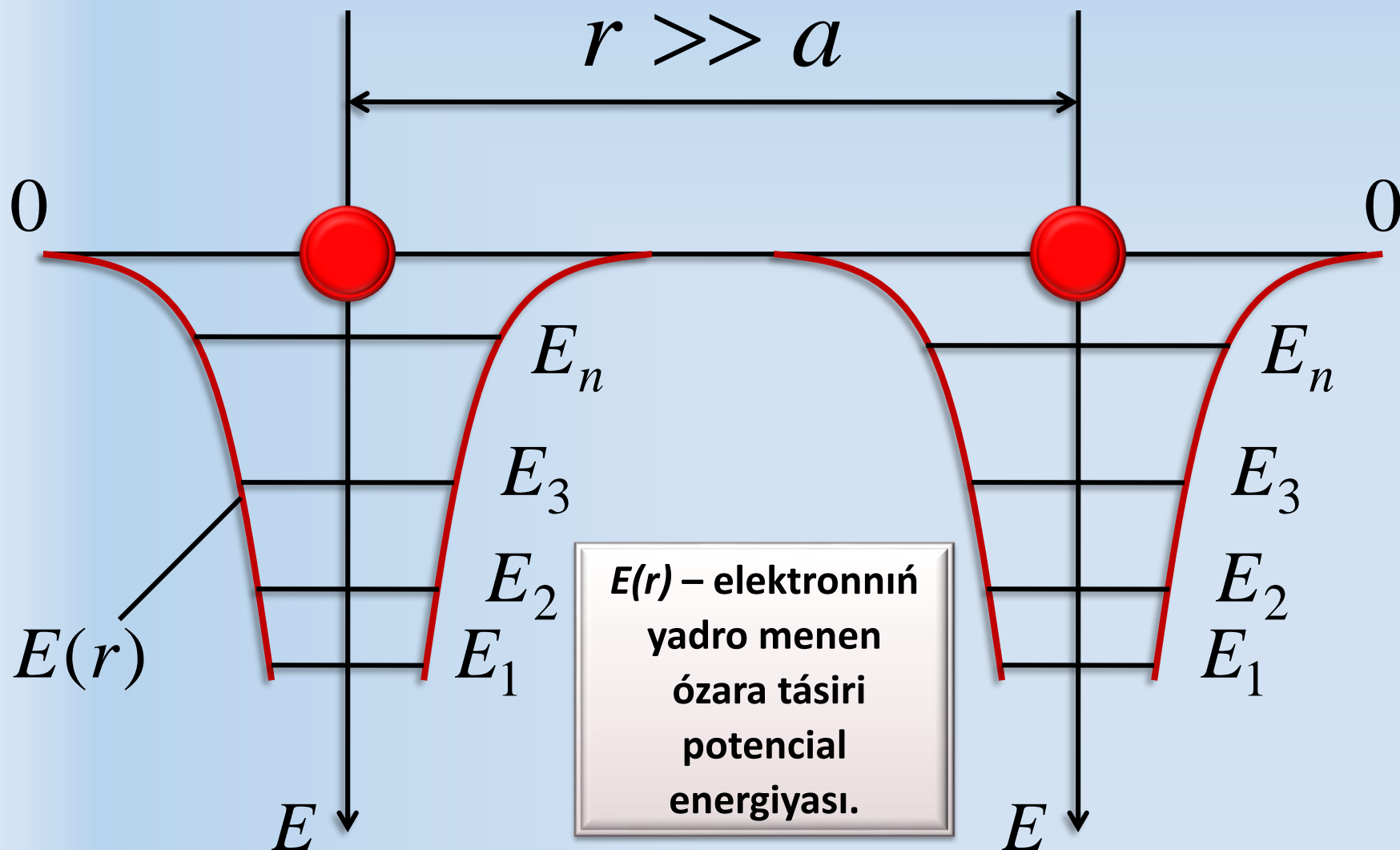
R – energetikalıq qáddiler 3 ese aynığan boladı hám olarğa elektronlardıń 3 halatı tuwrı keledi:

$$l = 1, m_l = -1, 0, 1.$$

Hár bir energetikalıq halatqa eki elektron jaylasıwı ruxsat etilgeni ushın, R - energetikalıq qáddilerdiń tolıwı ushın 6 elektron kerek boladı.

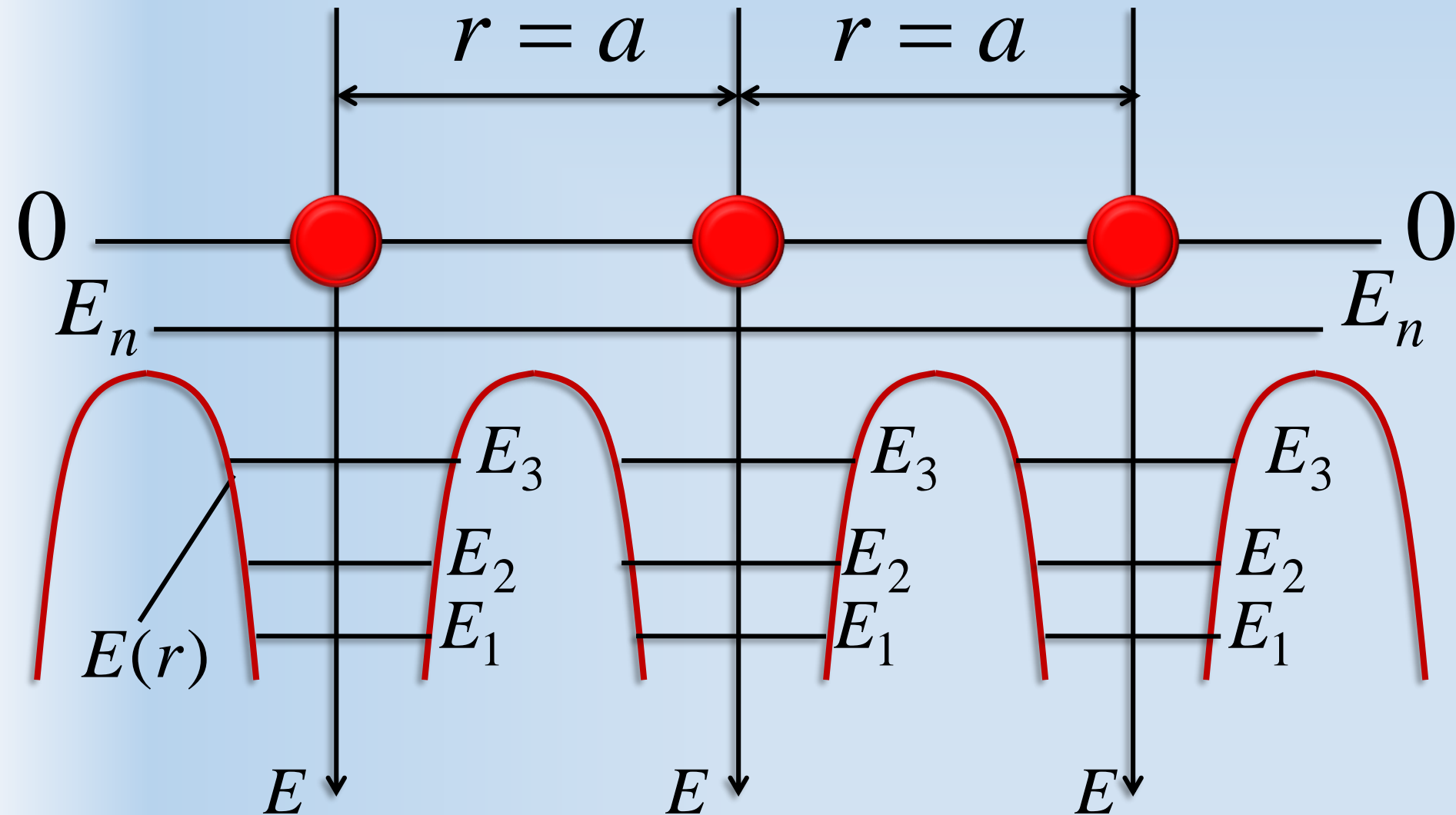
Ulıwma halda orbital kvant sanlı qáddi $(2l + 1)$ ese aynığan boladı hám onda $2(2l + 1)$ elektronlar jaylasıwı múmkin.

Bir – biri menen ózara tásirde bolmağan atomlar elektronlariniń energetikalıq halatları



- N natriy atomın kristall pánjere kórinisinde jaylastıramız hám baslanıwda olar arasındaqı aralıqtı atomlar maydanı bir – biri menen tásir sheńberinde bolmaytuǵı n túrde tańlaymız ($r \gg a$)
- Bul halda elektronlardıń energetikalıq halatları tap bólek atomlar elektronlarınıń energetikalıq halatlarına uqsaqan boladı. Súwrette eki natriy atomınıń energetikalıq sıızılması keltirilgen. Atomlardıń hár biri kóbiktárizli potencial shuqırılıq kórinisine iye hám bul shuqırılıq ishine $1s$, $2s$, $2p$, $3s$ energetikalıq qáddiler jaylasqanlıǵı súwretlengen. Natriydiń $1s$, $2s$, $2p$ energetikalıq qáddileri elektronlar menen pútkilley tolǵan. $3s$ qáddi yarmına shekem tolǵan, $3s$ ten joqarıǵa jaylasqan energetikalıq qáddiler bos. Súwretten kórinıwınshe, natriydiń bólek turǵan atomları, qalıńlıǵı $r \gg a$ bolǵan potencial tosqınlıq penen ajralıp turıptı, bul jerde a – kristall pánjere turaqlısı.

Bir – biri menen ózara tásirde bolǵan atomlar elektronlarınıń enerjetikalıq halatları



Súwretten kóriníwínshe, qońsı atomlardı ajratıwshı potencial sızıqlar bir-biriniń ústine bir bólimi túse baslaydı hám 00 – nolınshı energetikalıq qáddiden tómende jaylasqan juwmaqlawshı iymek sızıqtı payda qıladı. Solay etip, atomlardıń bir - birine jaqınlasıwı potencial tosqınlıqqa eki qıylı tásir ótkizedi:

tosqınlıqtıń qalıńlıǵın pánjere turaqlısına shekem kemeytedi hám biyikligin páseytedi.

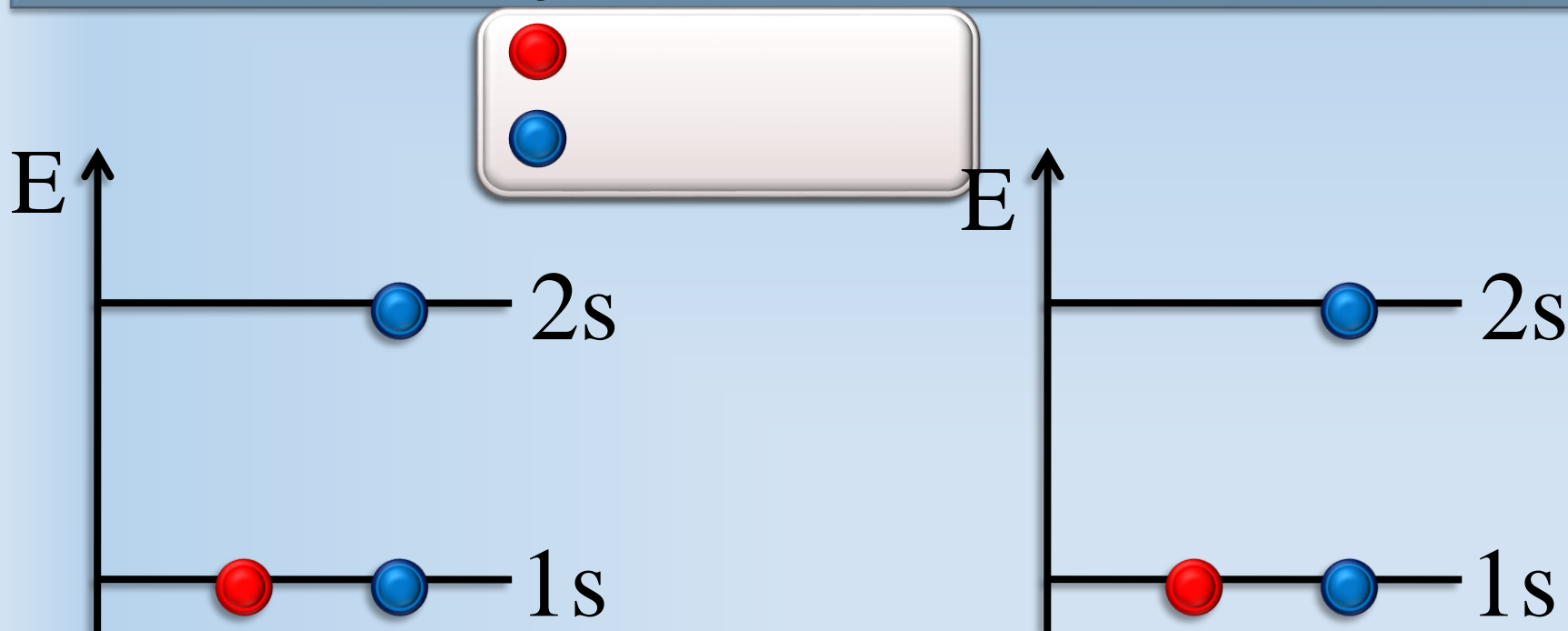
3s qáddiniń valent elektronları ámelde bir atomnan ekinshisine tosqınlıqsız ótiwi múmkin. Sol halattı valent elektronlarınıń elektron bultı xarakteri de kórsetip turıptı. Bul hádiyse kristall pánjerede *elektronlardıń tolıq ulıwmalasıw hádiyresi* dep ataladı.

- 1. Qońsı atom yadrosı basqa atom elektronların tartıwı nátiyjesinde bólek atomlar elektronların ajratatuǵın potencial tosqınlıq biyikligin páseytedi.
- 2. Atomlar bir - birine jaqınlasqanda elektron qabatlar bir - birin tosuwı júz beredi, nátiyjede elektronlar háreketi xarakteri sezilerli ózgeredi.
- 3. Atomlardıń jaqınlasıwınan potencial tosqınlıqtıń keńligi hám biyikliginiń keskin kemeyiwi nátiyjesinde kristall pánjereniń tek valent elektronları emes, bálkim tómengi qáddilerde jaylasqan elektronları da erkin háreket qılıwı múmkin.
- 4. Elektronlardıń ózara tutasıwı tásiiri kvant tábiyatına iye boladı hám ol elektronlardı bir - birinen parq qıla almaw nátiyjesi.

Kristallarda energetikalıq zonalardıń payda bolıwı

Qattı denelerdiń zonalıq teoriyası – kristallarda elektronlardıń energetikalıq spektriniń kvant teoriyasın, bul teoriyaǵa tiykarlanıp energetikalıq spektr izbe-iz jaylasqan qadaǵan etilgen hám ruxsat etilgen energetikalıq zonalardan quraladı.

Eki bólek jaylasqan atomlardıń energetikalıq qáddileri sıızılması

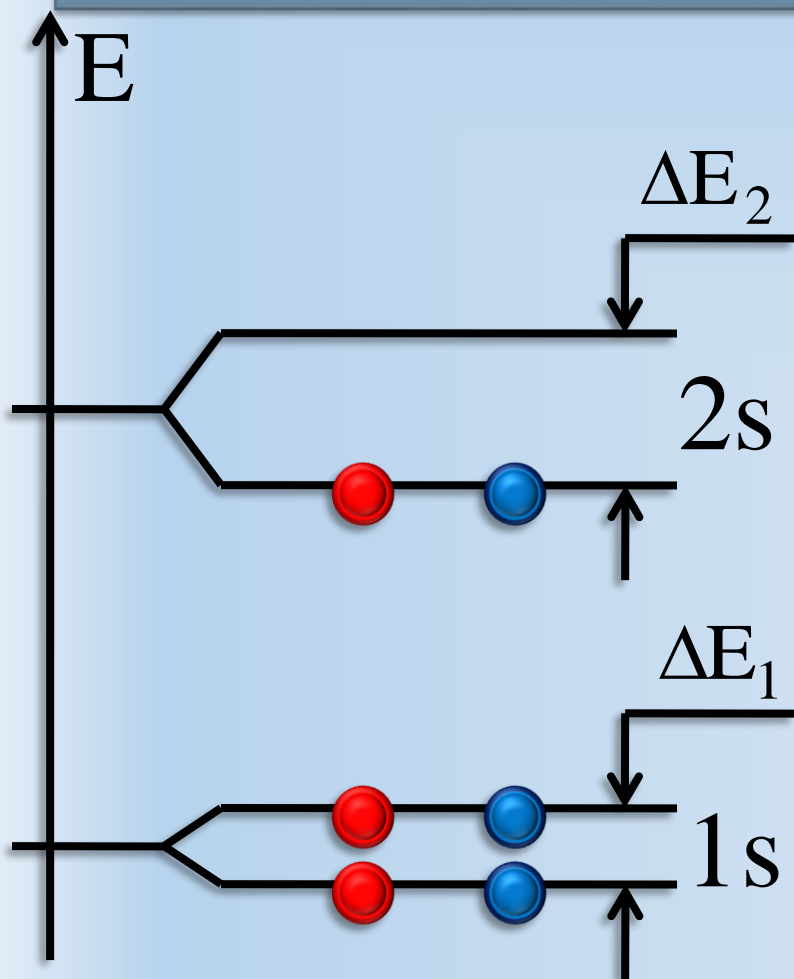


Eki litiy atomları bir birinen tásirlespeytuǵı n aralıqta jaylasqan bolsa, olardıń energetikalıq qáddileri sıızılması bir qıylı boladı:

1s qáddilerde spinleri hár qıylı bolǵan eki elektron hám

2s qáddilerde birewden elektron jaylasqan boladı.

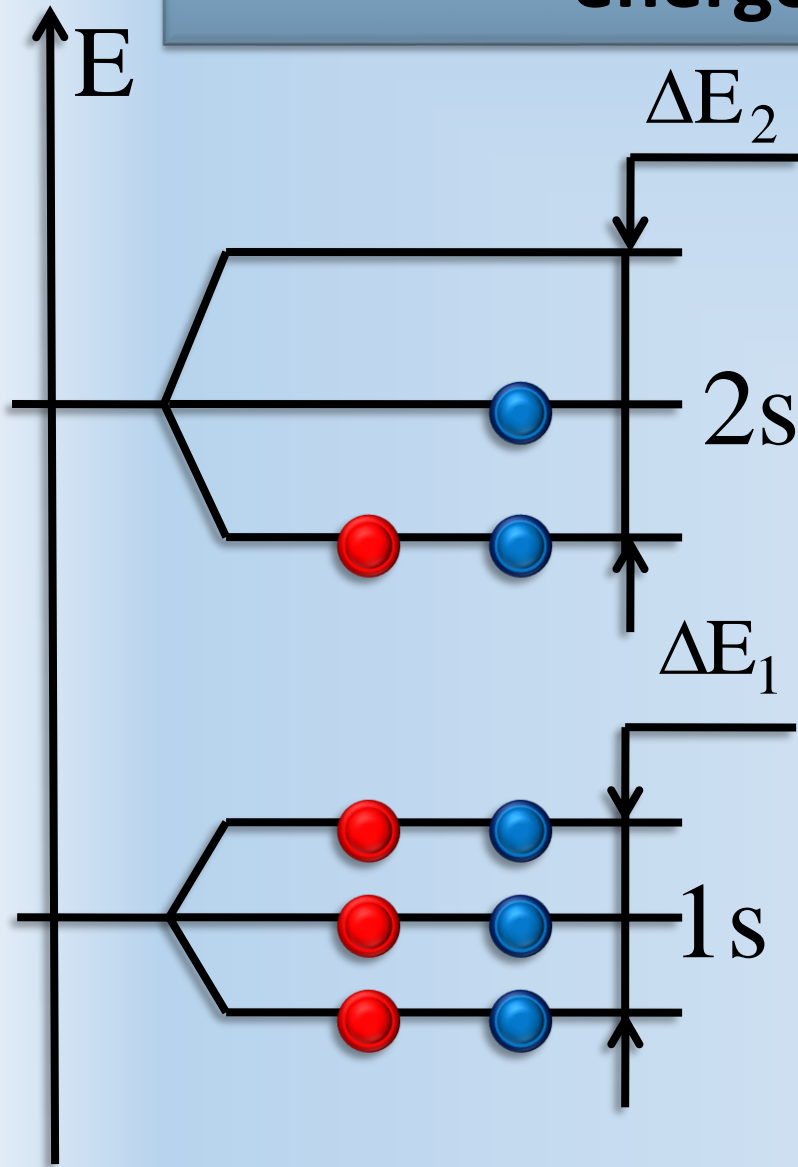
Eki atomnan quralğan sistemaniń energetikalıq sıızılması



- Pauli principine tiykarlanıp eki jańa halatlar payda boladı: energetikalıq qáddiler eki energetikalıq qáddilerge ajraladı.
- $1s$ energetikalıq qáddilerde Pauli principine tiykarlanıp 4 elektron jaylasadı.

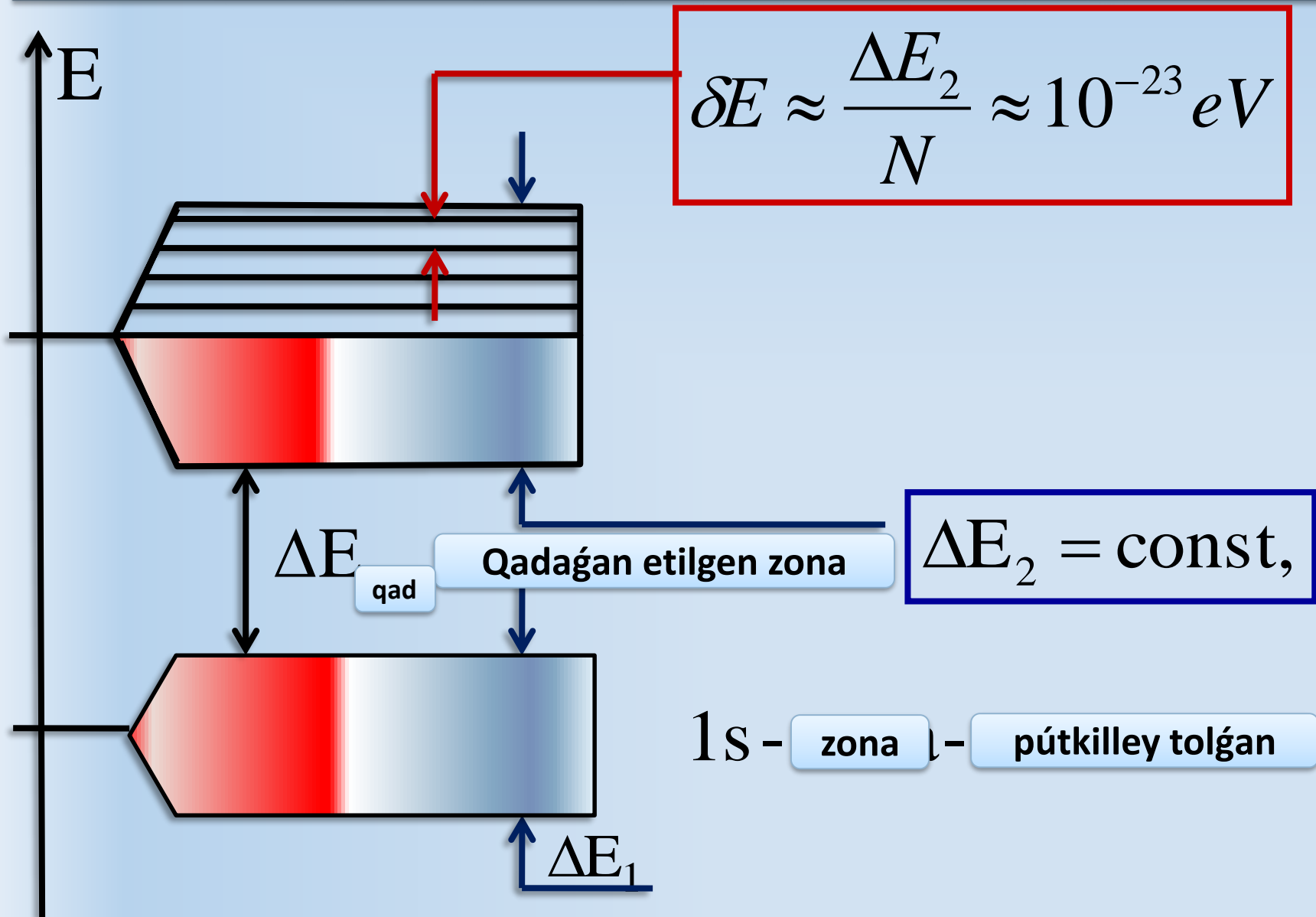
- 1. Energetikalıq qáddilerdiń ajralıw shaması ΔE atomlar arasındagı aralıqqa gárezli.
- 2. Atomlardıń jaqınlasıwı menen ΔE niń ajralıw shaması ósip baradı.
- 3. Shamalar $\Delta E_1 < \Delta E_2$ bolıwınıń sebebi, **1s** halattagı elektronlardıń yadro menen kúshli baylanısqaqlığında.

Úsh atomnan ibarat bolǵan sistemanıń energetikalıq sıızılması



ΔE_1 hám **ΔE_2** ajralıwlar
shamaları eki atomnan
ibarat bolǵan
sistemadaǵıǵa uqsas
boladı.

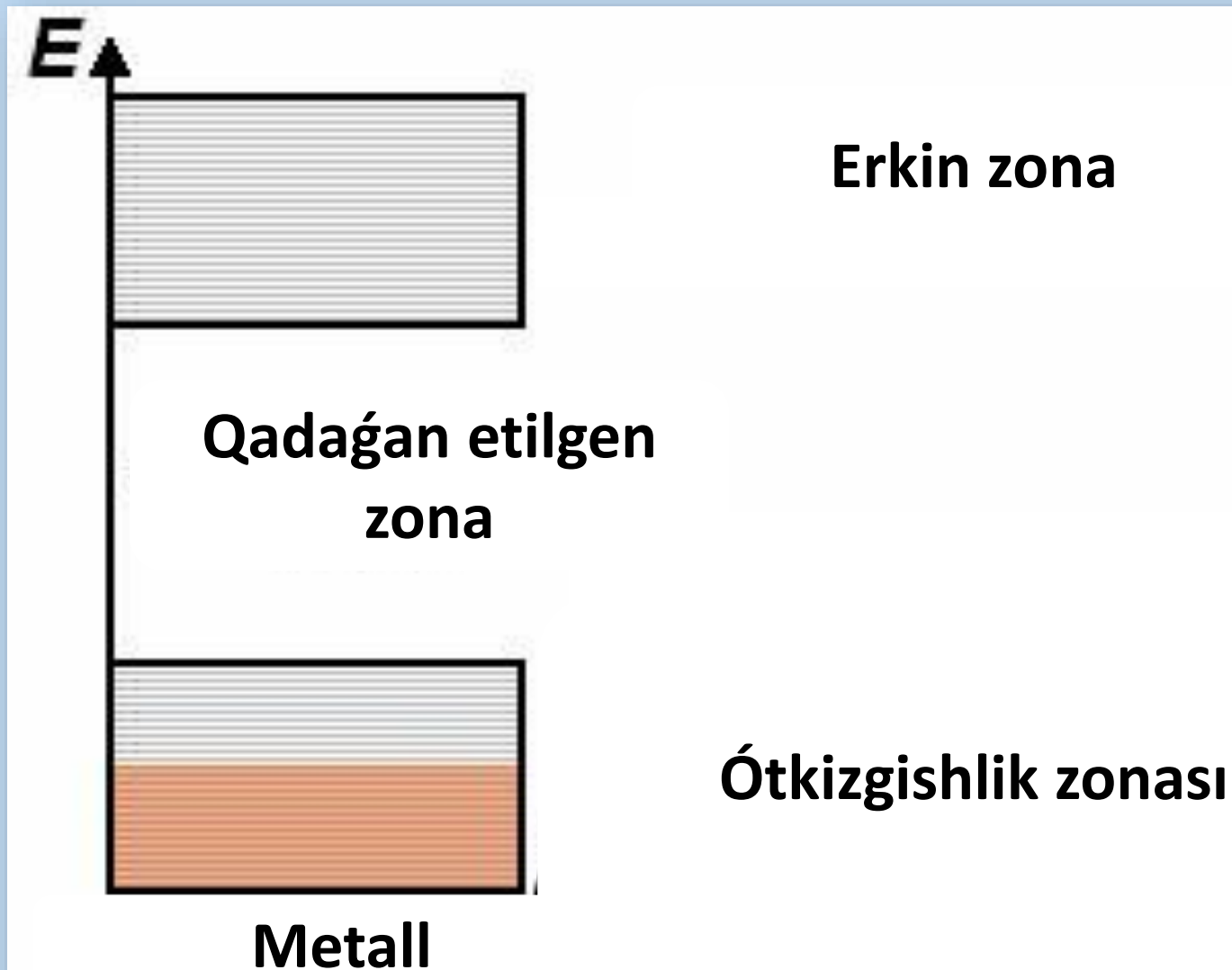
N atomlardan ibarat bolğan sistemanıń energetikalıq sızılması



- 1. Energetikalıq zonalardıń keńligi kristaldıń ólshemlerine ǵárezli bolmay, atomlardıń tábiyatına hám kristall pánjereniń simmetriyasına ǵárezli.
- 2. Atomdaǵı elektronniń energiyası artıwı menen ruxsat etilgen energetikalıq zonalar keńligi úlkeyip baradı, qadaǵan etilgen zonalar keńligi taraya baslaydı.
- 3. Hár bir energetikalıq zona júdá kóp energetikalıq qáddilerden ibarat boladı, olardıń sanı qattı deneni qurawshı atomlar sanı menen anıqlanadı.
- 4. Energetikalıq zona kvazi úzliksiz energetikalıq spektr korinisine iye.
- 5. Qadaǵan etilgen zonaǵa tiyisli energetikalıq qáddilerde elektronlar jaylasa almaydı.

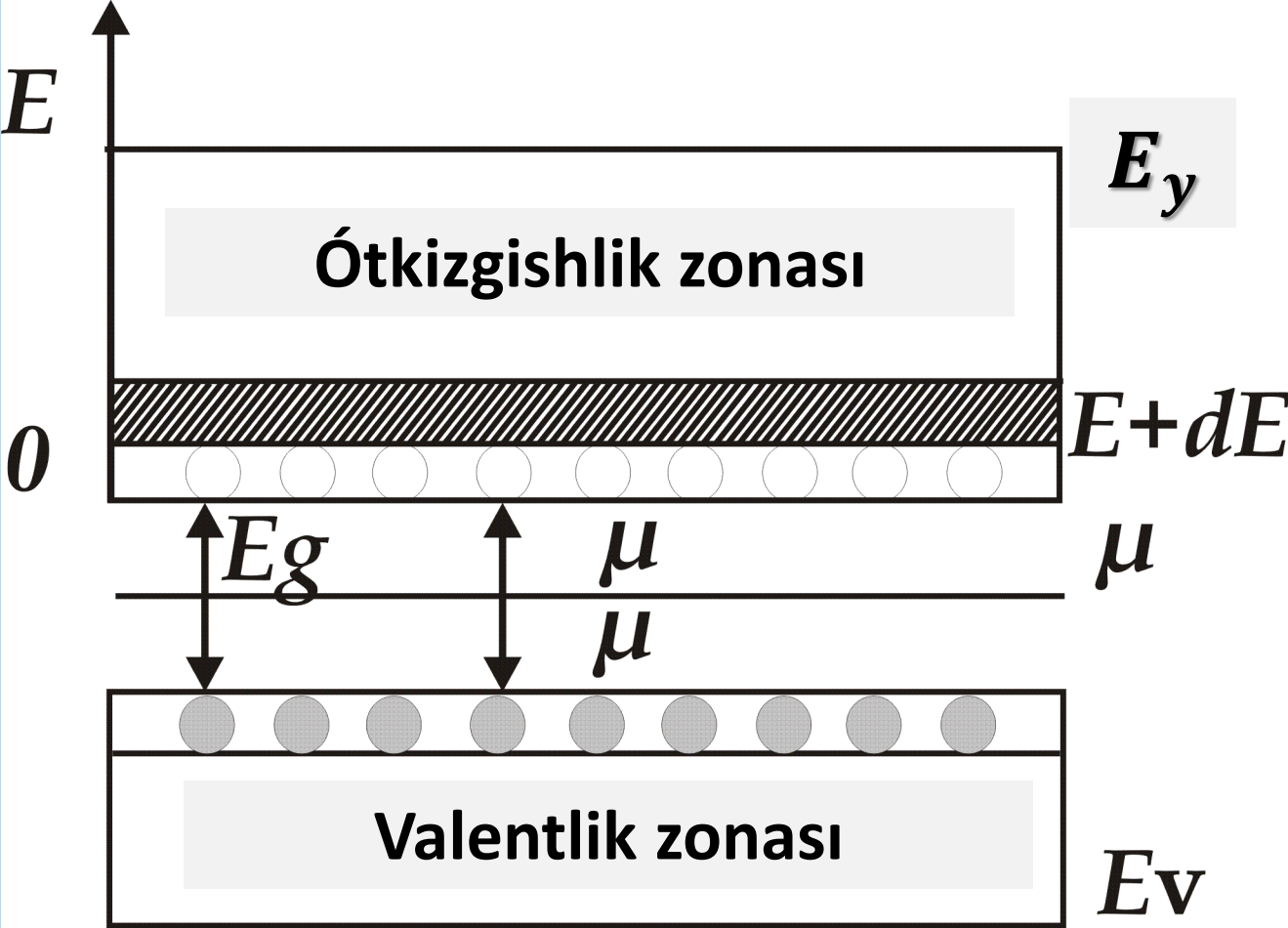
- Elektr ótkizgishlik bolıwı ushın qattı deneler energetikalıq spektrine elektronlar menen bir bólimi tolğan energetikalıq zonalar bolıwı zárúr.
- Qattı deneler energetikalıq spektrinde bunday bir bólimi tolğan energetikalıq zonaldıń bolmawı olarda elektr ótkizgishlik joq bolıwına sebep boladı.
- Qattı denelerdiń qadağan etilgen zonası keńligine qarap, olardı dielektrik hám yarım ótkizgishlerge bóliw múmkin.
- Dielektriklerge, salıstırmalı keń qadağan etilgen zonaǵa iye bolğan qattı deneler kiredi.
- Tar qadağan etilgen energetikalıq zonalarǵa iye bolğan qattı deneler yarım ótkizgishlerge kiredi, olardıń keńligi shama menen **$\sim 1 \text{ eV}$** átirapında boladı.
- Qadağan etilgen zonanıń tómene elektronlar jaylasıwı ruxsat etilgen zona ***valent zona***, joqarıdaǵısı ***ótkizgishlik zonası*** dep ataladı.

Metaldin zonalı sızılması



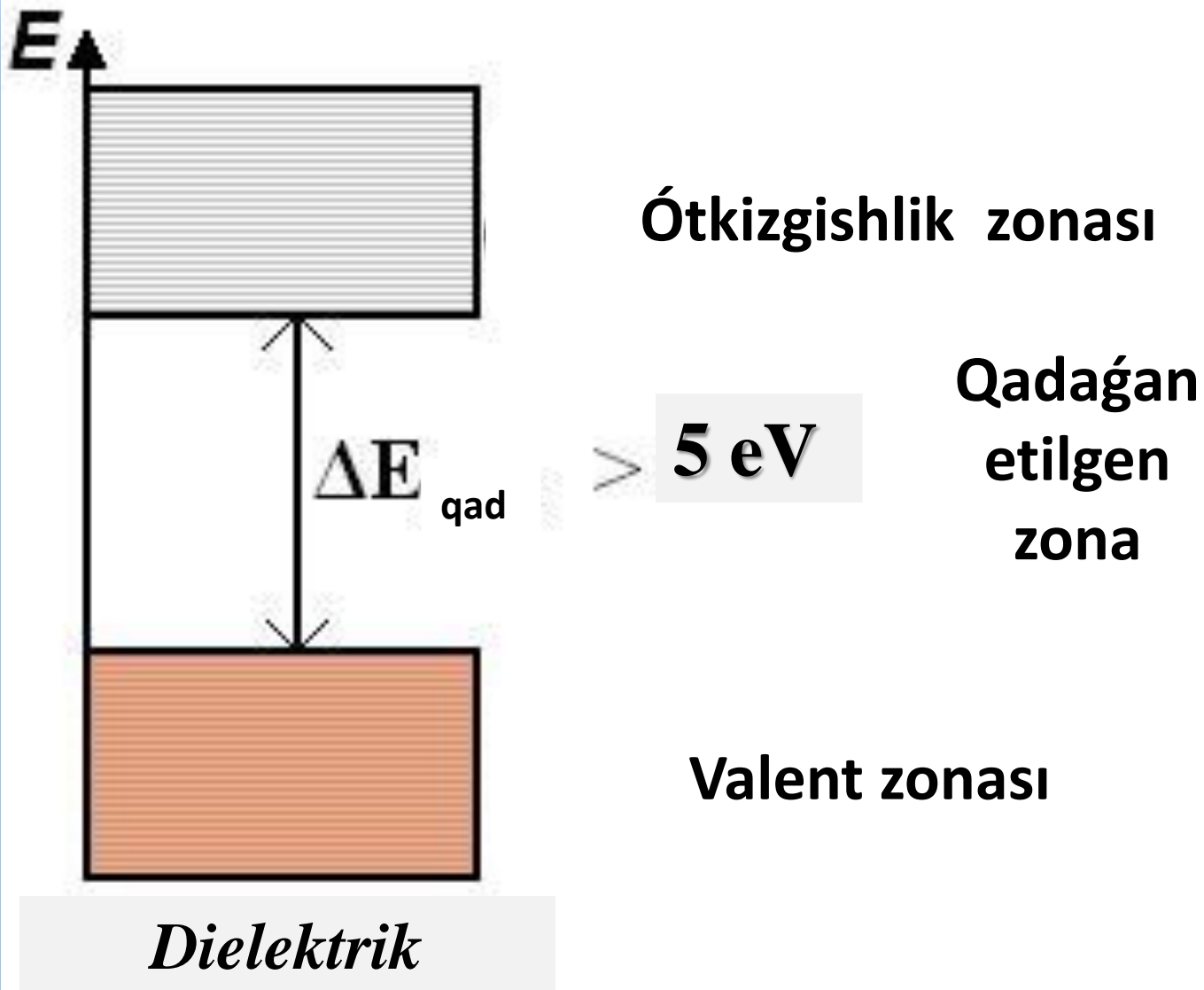
- Metallarda elektronlar valent zonaniń bir bólimin toltıradı.
- Joqarǵı qáddilerde jaylasqan elektronlarǵa 10^{-22} - 10^{-23} eV tártiptegi energiya uzatılǵanda, olardı jáne joqarǵı qáddilerge ótkiziw múmkin boladı.
- $1K$ degi jıllılıq háreketi energiyası shama menen 10^{-4} eV tártipte boladı. Sol sebepli, 0 den parqlı temperaturalarda elektronlardıń bir bólimi jáne de joqarǵı qáddilerge óte baslaydı.
- Metallarǵa sırtqı elektr maydanı túsirilgende elektronlardı jáne joqarǵıraq energetikalıq qáddilerge ótkiziw múmkin boladı.
- $1K = 0,000086101$ eV

Yarım ótkazgishtiń zonalı sızılması



- Yarım ótkazgishtiń valent zonası qáddileri elektronlar menen tolıq iyelengen boladı.
- Erkin elektronlar payda qılıw ushın baylanısqa elektronlarǵa qadaǵan etilgen zona keńliginen úlken ΔE energiya uzatıw kerek.
- Yarım ótkizgishlerdiń qadaǵan etilgen zonası keńligi $\Delta E \leq 3 \text{ eV}$ átirapında boladı.
- Uy temperaturasında jıllılıq háreketi energiyası elektronlardıń bir bólimin donor qáddinen ótkizgishlik zonasına kóshiriwine jetkilikli boladı.
- Yarım ótkizgishke sırtqı elektr maydanı túsirilgende elektronlardıń tártipli háreketi, yaǵnıy elektr tokı payda boladı.

Dielektriğin zonalı sızılması



- Dielektriklerde qadağan etilgen zona keńligi bir neshe eV qa teń boladı $\Delta E \geq 5 eV$.
- Jıllılıq háreketi energiyası dielektriktiń valent zonasındaǵı elektronlardı ótkizgishlik zonasına ótkiziwine jetkilikli bolmaydı.

PAYDALANÍLGAN ÁDEBIYATLAR

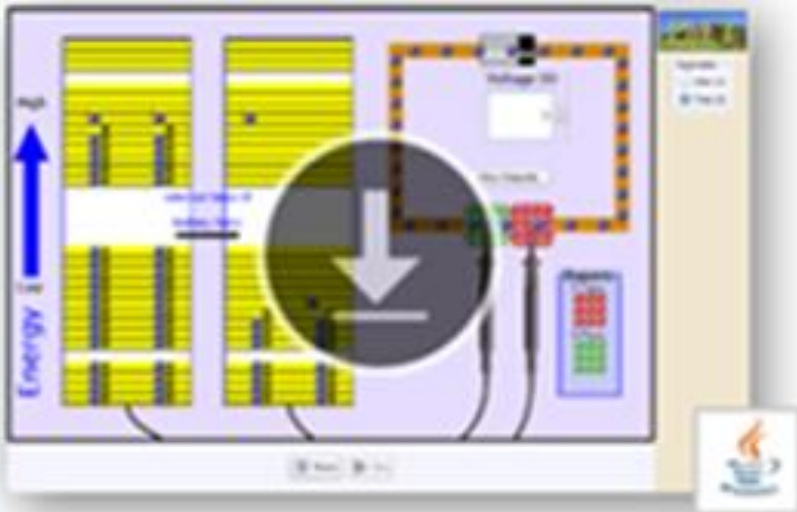
1. Q.P.Abduraxmanov, V.S.Xamidov, N.A.Axmedova. FIZIKA. Darslik. Toshkent. "Aloqachi nashriyoti". 2018 y. O'zR OO'MTV 2017.24.08 dagi "603"-sonli buyrug'i.
2. B.A.Ibragimov, G.Q.Atajanova. "FIZIKA". Oqiwliq. Tashkent. 2018 j.
3. Q.P.Abduraxmanov, O'.Egamov. "FIZIKA". Darslik. Toshkent. O'quv-ta'lim metodika" bosmaxonasi. 2015 y. O'zROO'MTV 2009.26.02. dagi "51"-sonli buyrug'i.
4. Douglas C. Giancoli. Physics. Principles with Applicathions. 2004 USA ISBN-13 978-0-321-62592-2.
5. Physics for Scientists and Engineers, Raymond A. Serway, John W. Jewett. 9th Edition, 2012.
6. S.G. Kaypnazarov. "Fizika I kursı boyınsha prezentaciyalıq multimedialı shınıǵıwlar toplamı". Elektron oqıw qollanba. Nókis. 2022 j. O'zR OO'MTV 2021.31.05 dagi "237"-sonli buyrug'i.
7. "Fizika-1 kursı bo'yicha taqdimot multimediali ma'ruzalar to'plami". Elektron o'quv qo'llanma. Toshkent. 2019 y. O'zR OO'MTV 2019.04.10 dagi "892"-sonli buyrug'i.



PEDAGOGIKALÍQ DÁSTÚRIY QURALLAR

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/semiconductor>

Semiconductors



- Semiconductors
- Diodes
- Transistors

DONATE

PhET is supported by
**GORDON AND BETTY
MOORE
FOUNDATION**
and educators like you.

DOWNLOAD **EMBED**

PEDAGOGIKALÍQ DÁSTÚRIY QURALLAR

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/conductivity>

Conductivity



- Conductivity
- Energy Levels
- Photoconductors

DONATE

PhET is supported by

BMG
BILIM MEDIA GROUP

Facebook icon
Twitter icon
Pinterest icon