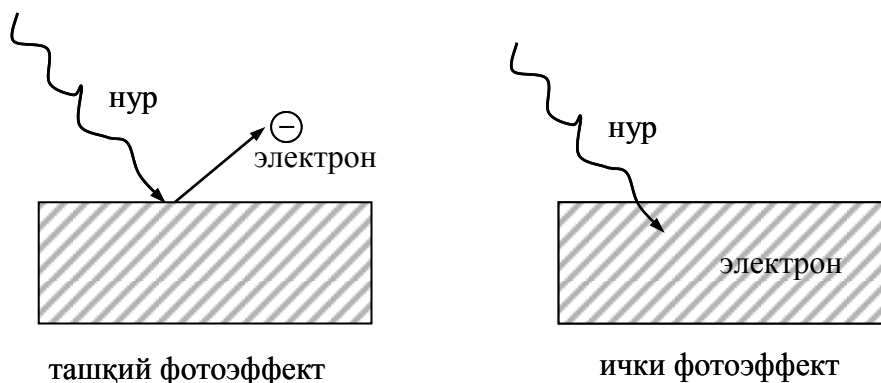


20 - Маъруза

Режа

1. Фотозъффеки ходисаси ва унинг қонунлари.
2. Эйнштейн формуласи.
3. Фотон. Фотонларнинг энергияси ва массаси.
4. Комптон эффеки.

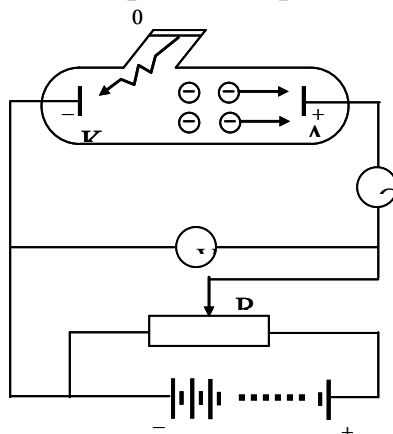
Фотозъффеки ходисаси ва унинг қонунлари. Фотозъффеки деб нур таъсирида электронларнинг ўз атомларидан ёки молекулаларидан ажралиб чиқиб кетишига айтилади. Агар электрон жисмдан ташқарига чиқиб кетса, бундай жараён ташқий фотозъффеки деб аталади. (1887 йилда Герц кашф этган ва 1888 йилда А.Г.Столетов экспериментда текширган). Агар электрон нур таъсирида ўз атомидан алоқани узиб чиқиб кетса-ю, лекин жисмнинг ичида қолса («Эркин» электрон сифатида), бундай жараён ички фотозъффеки деб аталади (1873 йилда америкалик физик У. Смит кашф қилган).



20.1-расм

Одатда ташқий фотозъффеки металлларда кузатилади (20.1- расмга қаранг).

Металдан қилинган икки электрод (А – анод ва К - катод) ичидан ҳаво сўриб олинган трубка ичида жойлаштирилиб, катодга минус потенциал ва анодга плюc потенциал берилади. Бундай шароитда схемада ток пайдо бўлмайди, чунки занжир берк эмас. Агар 0 ойна орқали катодга ёруғлик тушурилса ундан электронлар отилиб чиқади ва анодга қараб йўналади. Натижада занжирда ток ҳосил бўлади (фототок). Бу схема фототок кучини (G гальванометр билан) анод ва катод ўртасига берилган V кучланишга ва 0 ойнадан тушадиган нур интенсивлигига қандай боғлиқ эканлигини текширишга имкон беради (20.2-расмга қаранг).



20.2-расм

Тадқиқотлар фотозффектнинг куйидаги қонунлари борлигини кўрсатади:

1. Фототокнинг тўйинган қиймати $I_{\text{тўй}}$ (нур таъсирида металдан 1 сек ичида отилиб чиқаётган электронларнинг максимал сони) нур оқими Φ га тўғри пропорционал:

$$I_{\text{тўй}} = k\Phi \quad (20.1)$$

k – метал юзининг фотосезгирлиги деб аталади.

Φ – нур оқими деб бирор бир юзадан 1 сек ичида ўтадиган электромагнит энергиясига айтилади.

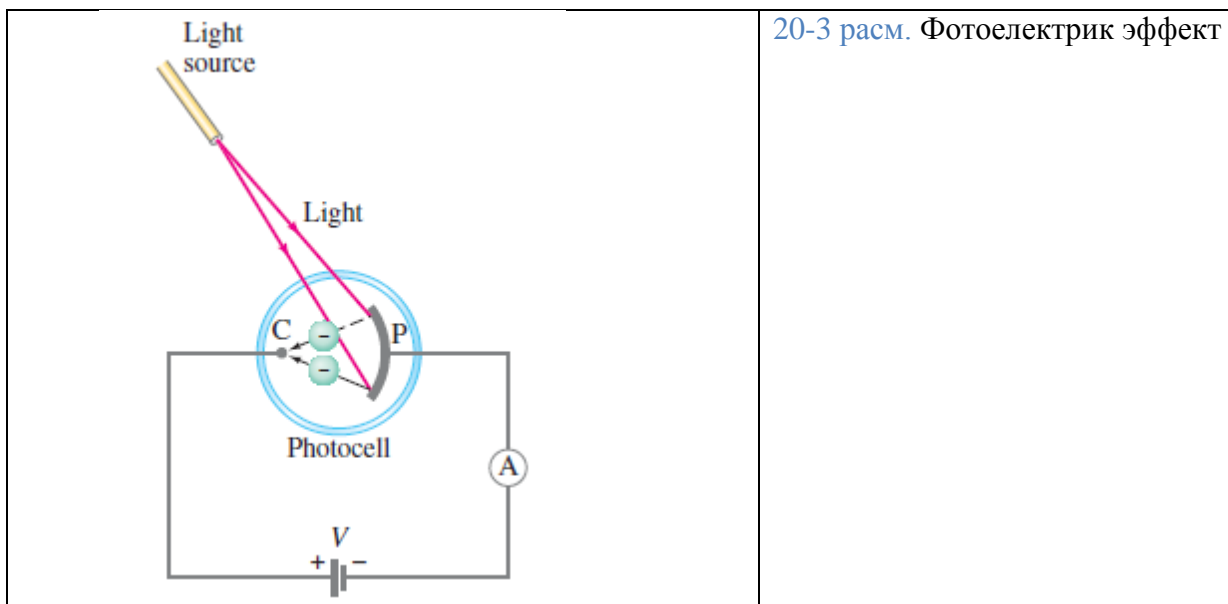
2. Фотоэлектронларнинг тезлиги нурнинг частотаси ошиши билан ортаборади, лекин нурнинг интенсивлигига боғлиқ эмас.

3. Нурнинг частотаси маълум «қизил чегара» деб қаралган қийматдан катта бўлсагина фотозффект кузатилади ва бу ходиса нурнинг интенсивлигига боғлиқ эмас.

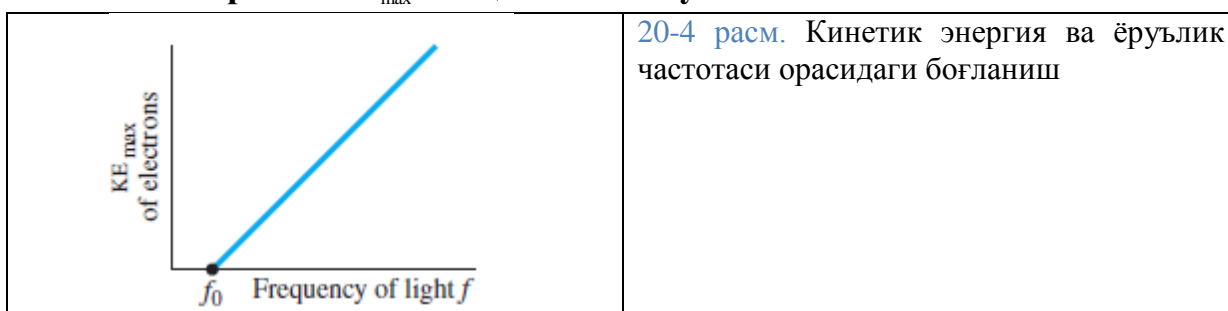
1905 йилда Эйнштейн томонидан махсус нисбийлик назарияси ишлаб чиқилди, Эйнштейн ўз ғояларини квант гипотезаси билан умумлаштириб ёруғлик назариясини янги талқинини ишлаб чиқди. Планк гипотезаси тебранувчи атом энергияси ҳисобидан жисм ўзидан квантланган энергия $E = nhf, n = 1, 2, 3, \dots$ нурлайди. Молекуляр тебраниш энергияси $E = nhf, n = 1, 2, 3, \dots$ бўлиб ўзидан ёруғлик чиқарса энергияси камайиб бошқа квант ҳолатга $E = (n - 1)hf, n = 1, 2, 3, \dots$ ўтади. Энергиянинг сақланиш қонунига асосан нурланган ёруғлик кванти энергияси

$$E = hf, \quad (20-2)$$

Барча ёруғлик радиацион манбалардан келиб чиқади, бу ғояга кўра ёруғлик заррачалар оқими ёки фотонлар деб аталади, тўлқин шартини бажарса Максвелл электродинамикаси орқали тушинтириш мумкин. Ёруғликнинг фотон назариясида классик ғоялардан кескин воз кечилди. Эйнштейн ёруғлик квант назариясига фотоэлектрик эффект устида олиб борган ўлчашларни таклиф этди. Қайсики, метал сиртига тушган ёруғлик метал таркибидан электронларни уриб чиқаради, бу ходиса фотоэлектрик эффект деб аталади. 14-3 расмда бу тажриба қурилмасини кўриш мумкин.



Метал қоплама П ва ундан кичикроқ метал қоплама С шиша трубкага жойлашган бўлиб уни фотоэлемент деб аталади. Электродлар расмда кўрсатилганидек амперметр орқали ЭЮК га уланган. Агар қоронғу бўлса амперметр нолни кўрсатади, аммо метал қоплама П га етарли частотадаги ёруғлик туширилса занжир орқали ток ўтаётганлигини кўриш мумкин. Ёруғлик таъсирида электронлар учиб чиқиб С қопламага келиб тушади ва занжирдан ток ўта бошлайди. Ёруғлик таъсирида электронларнинг метал сиртидан учиб чиқишини ёруғлик электромагнит тўлқин назарияси орқали тушинтириш мумкин. Электр майдон кучи таъсирида электронлар метал сиртидан уриб чиқарилади. Эйнштейннинг таъкидлашича ёруғлик тўлқин назарияси ҳам фотон назарияси ҳам фотоэлектрик эффект турли металллар учун турлича бўлар экан. Мисол учун 20-4 расмда бир модда учун уриб чиқарилган электронларнинг максимал кинетик энергияси E_{\max} ни ҳисоблаш мумкин.



Электродларга уланган ЭЮК ни юналишини ўзгартириб ўлчаш ишларини олиб боориш мумкин, бу ерда П-манфий, С-мусбат электродлар. ЭЮК нинг манфий қутбини П электродга, мусбат қутбини эса С электродга уланса тез электронлар таъсирида кучланиш кам бўлса ҳам занжирдан ток ўта бошлайди. Аксинча

уланса занжирдаги ток нолга тенг бўлади, яъни электронлар етарли кинетик энергияги эришмайди. Бу тўхтатувчи потенциал, тормозловчи кучланиш дейилади.

$$E_{\max} = eU_0 \quad (20-3)$$

Энди Эйнштейннинг фотон назариясидан тўлқин назариясига ўтамиз ва шу орқали ўрганамиз.

Ёруғликни тўлқин назариясида монохроматик ёруғликни оламиз. Ёруғлик тўлқини учун иккита асосий тушунча частота ва интенсивликни қабул қиламиз. Бу иккала катталиқнинг ўзгариши куйидаги натижани беради:

1. Агар ёруғлик интенсивлиги катта бўлса, уриб чиқарилган электронлар сони ортади ва максимал кинетик энергияси ҳам ошади, агар электр майдон ортса электронлар сони ортади ҳамда уларнинг максимал тезлиги ошади.
2. Ёруғлик частотаси электронлар максимал кинетик энергиясига таъсир этмайди.

Ёруғлик фотон назариясида умуман бошқача талқин қилинади. Фотонлар интенсивлиги ортса фотонлар сони ортади, фотонлар сони ортса ҳар бир фотон энергияси ва частотаси ўзгармай қолади. A_{ch} – чиқиш иши дейилади. Агар $hf > A_{ch}$ бўлса электронлар метал сиртидан учиб чиқади ва кинетик энергия олади.

$$hf = A_{ch} + E_{\max} \quad (20-4)$$

Бу формула фотоэлектрик эффект учун Эйнштейн формуласи дейилади.

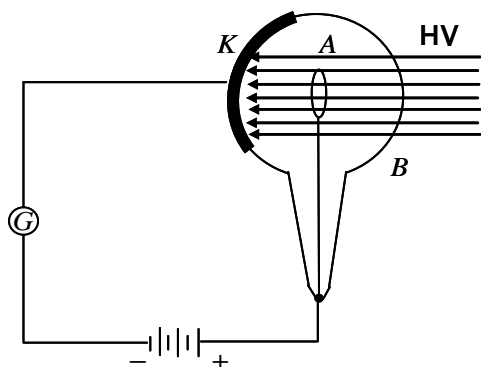
1. Агар ёруғлик интенсивлиги ортса уриб чиқарилган электронлар сони ортади, бунда ҳар бир фотон энергияси ўзгармайди, демак ҳар бир электрон максимал кинетик энергияси ҳам озгармайди.
2. Агар ёруғлик частотаси ортса электронларнинг максимал кинетик энергияси чизиқли ортади (20-4 расм).
3. Ёруғлик интенсивлиги қанча катта бўлмасин частотаси кам бўлса бирорта ҳам электрон учуб чиқмайди.

Бу фикрлардан қайсидир ёруғлик фотон назарияси бошқаси тўлқин назарияга асосланади. 1913-1914 йилларда Милликин бир неча тажрибалар ўтказди. Натижа эса тўлқинга Эйнштейннинг фотон назариясини тасдиқлади. Бошқа ўтказилган тажрибалар ҳам ёруғликни фотон назариясини тасдиқлайди. Агар ёруғлик интенсивлиги етарли кичик бўлса кечикиш содир бўлади, электрон етарлича энергия ютгандан сунг чиқиш ишини бажариб электрон эмиссия кузатилади. Фотоннинг частотаси етарлича катта бўлса ҳеч қандай кечикиш бўлмайди, бу Эйнштейн фотон назарияси орқали тўлиқ тасдиқланади.

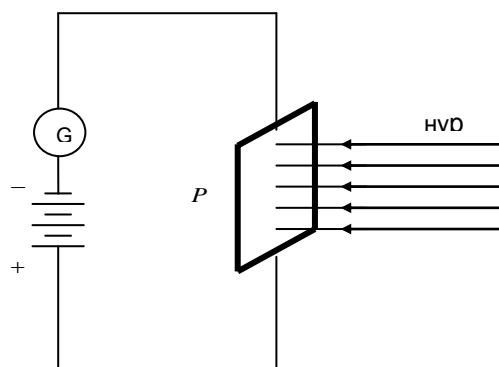
Жадвалда баъзи бир металллар учун «қизил чегара» тўлқин узунлиги λ_0 ва чиқиш ишлари A нинг қийматлари келтирилган:

Метал	λ_0 (мкм)	A (эВ)
Платина	0,235	5,29
Вольфрам	0,276	4,50
Рух	0,290	4,19
Торий	0,364	3,41
Натрий	0,552	2,25
Цезий	0,620	1,89
Вольфрам юзида цезий пленкаси	0,913	1,36

Фотоэффектга асосланиб ҳар ҳил қурилмалар ясалган. Улардан бири вакуум фотоэлементи (20.5-расмга қаранг). Ҳавоси сўриб олинган B баллоннинг ички юзасига металл пленкаси ётқизилса, у катод K ролини бажаради, металлдан қилинган ва баллоннинг марказига ўрнаштирилган ҳалқа A анод вазифасини бажаради. Агар катодга ташқаридан нур юборсак, ундан электронлар отилиб чиқади. Уларни анодга берилган мусбат потенциал ўзига тортади ва натижада фототок ҳосил бўлади.



20.5-расм



20.6-расм

Ички фотоэффект асосан яримўтказгичларда кузатилади. 20.6-расмда кўрсатилган схемада P – яримўтказгич пластинка бўлаб унга нур тушмаганда занжирда G орқали ўтайдиган ток жуда кичик бўлади, чунки яримўтказгичнинг қаршилиги анча катта. Лекин пластинкага нур тушса занжирда ток кескин равишда ортади. Бунинг сабаби шуки, яримўтказгичга нур тушганда у электронларни ўз атомларидан ажратиб эркин электронларга айлантиради ва натижада яримўтказгичнинг электр ўтказувчанлиги ортади (қаршилиги камаяди).

Комптон эффекти

Фотелектрик эффект ва йигирманчи аср бошларида ўтказилган бошқа тажрибалар фотон назариясини тасдиқлади. Комптон эффекти 1923 йилда А.Х. Комптон (1892-1962) томонидан кашф қилинган.

Комптоннинг мақсади қисқа тўлқинли (Рентген нурлари) турли материаллардан ўтганда тирли бурчакларда сочилишини ўрганиш эди. Комптон сочилган тўлқин узунлиги тушган тўлқин узунлигидан катта ва энергия юқолишини топди. Комптон натижа фотон назариясига асосланади ва материал таркибидаги электронлар билан тўқнашади. Комптон эффекти формуласи қуйидагича:

$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \phi) \quad (20-5)$$

Бу ерда m_0 – электрон массаси, $\frac{h}{m_0 c}$ – ёруғлик ўлчови ҳисобланиб

электрон учун Комптон тўлқин узунлиги дейилади. Тушган фотонлар қайтишда ϕ – бурчак остида сочилади. 20-5 формула Комптон томонидан 1923 йил ишлаб чиқилган. Тўлқин назарияси шуни кўрсатадики, тушган электромагнит тўлқин частотаси ва сочилган тўлқин частотаси бир-хил бўлади. Агар сочилган тўлқин бирор бурчак остида қайтса у ҳолда частота ўзгаради. Комптон эффекти ёруғликнинг фотон назариясини экспериментал асосини ташкил этади.

Комптон эффектидан суяк касалликлари остеопорозисни диагноз қилишда фойдаланиш мумкин. Қисқа тўлқинли гамма ва рентген нурланишли радиоактив моддалар суякда сочилади.

Сочилган нурланиш интенсивлиги электронлар зичлигига тўғри пропорционал, электронлар зичлиги суяк зичлигини бидиради, суяк зичлигининг камлиги остеропорозис касаллигидан дарак беради.

Фотон. Фотонларнинг энергияси ва массаси. Биз биламизки, Эйнштейннинг нисбийлик назариясига биноан, массаси ва энергияси ўзаро қуйидагича боғланган:

$$W = mc^2 \quad (20.6)$$

Бу формулани ёруғлик квантига ишлатамиз. Фотоннинг энергияси $W = h\nu$ бўлганлиги учун ёзишимиз мумкин:

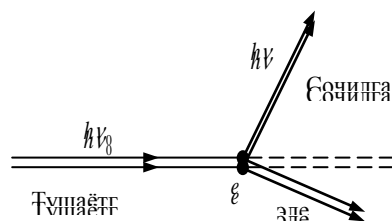
$$h\nu = m_\phi c^2 \quad \text{ва} \quad m_\phi = \frac{h\nu}{c^2} \quad (14.5) \quad m_\phi - \text{фотоннинг массаси}$$

Фотоннинг тезлиги c бўлганлиги учун унинг импульси тенг:

$$m_\phi c = \frac{h\nu}{c} \quad (20.7)$$

Фотоннинг массаси жуда кичикдир. Оптик диапазондаги нур фотонининг массаси тахминан $\approx 4 \cdot 10^{-36}$ кг га тенг, лекин γ – нур учун унинг массаси $\approx 2 \cdot 10^{-30}$ кг га тенг ва электроннинг массасидан ҳам кўп. Демак, частотаси катта тўлқинларнинг (γ – ва рентген нурларининг)

фотонлари яхшигина заррачага ўхшаб қоладилар. Бундай фотонлар электронга сезиларли даражада туртки беришлари мумкин. Буни Комптон – эффектда кузатиш мумкин (20.7-расмга қаранг). **Комптон эффекти.**



20.7-расм

1923 йилда Комптон эркин электронларга эга жисмни ренген нурлари билан ёритди ва сочилган ренген нурларини кузатди. Сочилган нурларнинг тўлқин узунлиги тушаётганига қараганда катта бўлиб чиқди. Бунинг сабаби қуйидагича тушунтирилади. Тушаётган фотон (энергияси $h\nu_0$) электрон e билан тўқнашади ва унга энергиясининг бир қисмини беради. Натижада электрон четга сакрайди, фотон эса ўзининг тарқалиш йўналишини ўзгартиради. Бунда унинг энергияси $h\nu < h\nu_0$

Фотон энергияси, массаси ва импульси ва электрон-позитрон жуфтлигининг ҳосил бўлиши

Фотон релятивистик зарра; у ёруғлик тезлигида ҳаракатланади. Фотоннинг массаси, импульси ва энергиясини махсус нисбийлик назарияси формулалари орқали ҳисоблаш мумкин. Фотон

массаси $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ формула орқали аниқланади. Агар фотон тезлиги

$v = c$ бўлса массаси нолга тенг бўлади. Энергияси $E = mc^2$ чексиз, шу билан бирга фотон ҳеч қачон тинч ҳолатда бўлмайди, импульси эса

$$p = \frac{E}{c}.$$

$E = hf$ дан фотон импульси ва энергияси орасидаги боғланиш

$$p = \frac{h}{\lambda}.$$

Фотон энергия нурлайди ва электрон позитрон жуфтлигини ҳосил қилади. 27-8 расмда электрон ва позитронинг туғилиши кўрсатилган. Бу жараён жуфтликларнинг туғилиши дейилади ва фотон юқолиши кузатилади. Жуфтликларнинг туғилиш эйнштейннинг $E = mc^2$ формласига тўлиқ тўғри келади. Диққат қиладиган бўлсак, фотон битта электрон ҳосил қилмайди бу зарядларнинг сақланиш қонунига зид келади.

Электрон-позитрон жуфтлигининг ҳосил бўлиши бўш фазода туғилмайди, бунда энергия ва импульс бир вақтда сақланмайди.

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Фотоэффект ҳодисаси, фотоэффект турлари, Столетов тажрибаси, Эйнштейн формуласи, фотоэффект қонунлари, қизил чегара тушунчаси, фотонлар, Комптон эффекти, электрон позитрон жуфти.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Фотоэффект қандай ҳодиса. Унинг қандай турлари мавжуд.
2. Фотоэффект кузатиладиган тажриба схемасини изоҳланг.
3. Фотоэффект қонунларини таърифланг.
4. Эйнштейн томонидан фотоэффект учун таклиф этилган ифодани ёзиб, тушунтиринг.
5. Ички фотоэффект қандай ҳодиса.
6. Фотоннинг массаси қандай аниқланади.
7. Комптон эффекти қандай ҳодиса.
8. **Бир метал ўрнига бошқа метал олинганда фотоэффект натижасида тўлқин узунлик ошди. Бу икки метал чиқиш иши ҳақида нима дейиш мумкин?**
9. **Ультрабинфша нур терини куйдиради. Нима учун ёруғлик нири терини куйдирмайди?**
10. **Фотоэффект ҳодисасини тушинтиришда корпускуляр ёки тўлқин назария орқали тушинтиринг.**
11. **Фотоэффект ҳодисасидан ёнғин, плёкага ёзиш ишларида фойдаланиш мумкинми?**
12. **Ёруғлик тўлқин ва корпускуляр табиатини тушинтиринг.**
13. **Электрон ва фотон фарқини тушинтиринг.**
14. **Электроннинг тўлқин ва корпускуляр назария орқали тушинтиринг.**
15. **Водород атоми ва электрон асосий ҳолатдан эластик тўқнашув бўлиши учун максимал кинетик энергиясини аниқланг.**
16. **Иккинчи Балмер серияси тўлқин узунлигини аниқланг.**
17. **Икки қарра зарядланган Литий учун ионизатсия энергиясини ҳисобланг.**
17. **Водород атоми учун ионизатсия энергияси берилиши учун қандай максимал тўлқин узунлигидаги ёруғлик билан нурлантирилиши керак?**
18. **3Газ ҳолатдаги водород атоми паст температурада асосий ҳолатда жойлашган. Қандай минимал частотадаги фотон фотоэффект ҳосил қилади?**
19. **Гелий иони учун энергетик схема чизинг.**
20. **Икки қарра ионлаштирилган Литий атоми учун энергетик схемасини чизинг.**

9-Лаборатория иши

Фотоеффект қонунларини текшириш

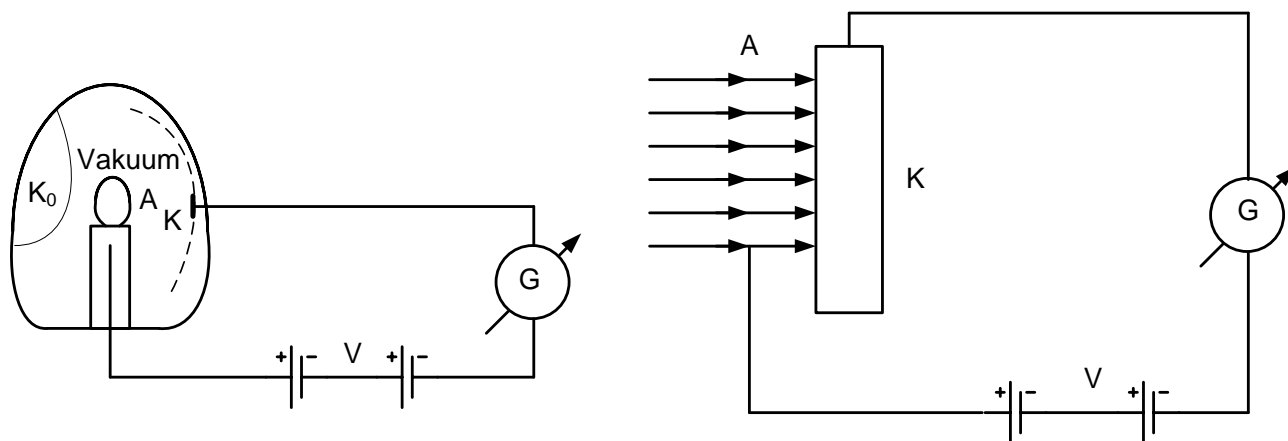
Ишнинг мақсади: фотоеффект ходисасини физик мазмуни билан танишиш ва фотоэлемент хоссаларини ўрганиш.

Керакли асбоблар ва буюмлар: оптик таглик, эталон лампа, микроамперметр, фотоэлемент, лампали вольтметр, рангли филтлар.

НАЗАРИЙ ҚИСМ

Ёруғлик таъсирида модда сиртидан электронларнинг уриб чиқарилишига фотоэлектрик ходисаси ёки ташқи фотоеффект дейилади. Учиб чиққан фотоэлектронлар туфайли вужудга келган (хосил бўлган) электр ток фототок дейилади. Ташқи фотоеффект асосан металлларда ва металл оксидларида кузатилади. Мазкур фотоеффектдан ички ва вентилли фотоеффектлар мавжуддир. Ички фотоеффект ярим ўтказгичларда ва диэлектрикларда кузатилади. Бунда электронлар ёруғлик энергиясини ютиб, валент зонадан ўтказувчанлик зонасига ўтади (боғланган ҳолатдан эркин ҳолатга ўтади).

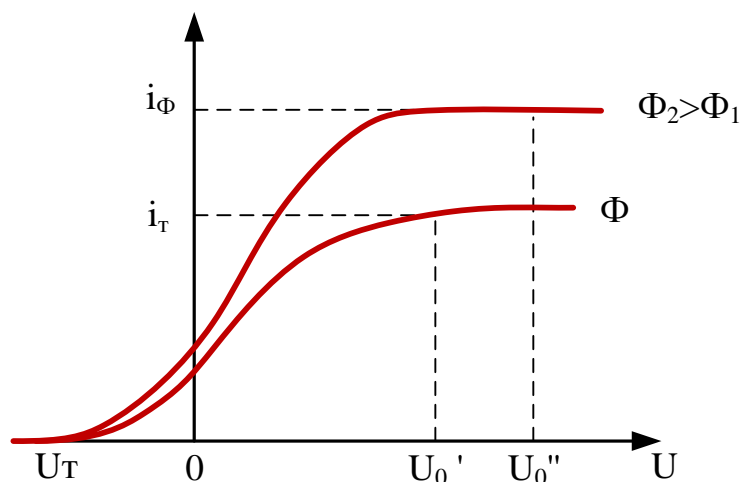
Икки тур электр ўтказувчанликка (электрон ва тешик ўтказувчанликка) эга бўлган ярим ўтказгичлар чегарасига ёки металл билан ярим ўтказгич чегарасига ёруғлик тушиши натижасида электр юритувчи куч пайдо бўлиш ходисаси вентилли фотоеффект дейилади. Фотоеффект ходисаси биринчи бўлиб рус олими А.Г.Столетов томонидан батавсил текширилган. Фотоеффектнинг қонуниятларини ўрганиш учун 1-расмда тасвирланган қурилмадан фойдаланилади.



1-расм

Анод ва катодга эга бўлган хавоси сўриб олинган шиша баллонинг деворлари ёруғлик ўтказмаслиги учун қорайтирилган. Ток манбаининг манфий кутби катодга уланган бўлиб, катодга ёруғлик фақат махсус кварс ойна билан қопланган дарча орқали тушади. Ёруғлик таъсирида катоддан

ажралиб чиққан электронлар катод анод оралиғидаги майданда тезланиб анодга этиб боради. Натижада анод занжирида пайдо бўлган токни сезгир гальванометр Γ қайд қилади. Занжирдаги вольтметр B катод ва анод орасида кучланишни ўлчаш учун, реостат P эса бу кучланишни ўзгартириш учун хизмат қилади. Мазкур қурилма ёрдамида фототокнинг катод анод оралиғидаги кучланишга боғлиқлигини кўрсатувчи $I_{\phi} \kappa \phi(y)$ график фототокнинг вольт ампер характеристикаси (ВАХ) дейилади. Тушуётган ёруғлик оқимининг икки қиймати учун ВАХ 2-расмда тасвирланган.



2-расм

ВАХ дан кўринишича, катод анод оралиғидаги кучланиш $U_{\kappa 0}$ га тенг бўлгани ҳам фотоэлектронлар анодга этиб бориб фототокни хосил қилади. Кучланиш ортиб бориши билан фототокнинг қиймати ҳам ортиб боради, яъни анодга этиб бораётган фотоэлектронлар сони кўпайиб боради. Лекин анод катоднинг маълум бир кучланишдан бошлаб, берилган ёруғлик оқими учун фототокнинг қиймати ўзгармас бўлиб қолади. Фототокнинг бу қиймати тўйиниш токи дейилади. Катоддан ажралиб чиққан электронларнинг барчаси анодга этиб келиши натижасида пайдо бўлган ток қиймати тўйиниш фототоки дейилади. тўйиниш фототоки ёруғлик оқимига муттаносибдир, яъни қанча кўп ёруғлик тушса, шунчалик кўп электронлар ажралиб чиқади (2- расмда $\Phi_2 > \Phi_1$). Ёруғлик таъсирида катоддан ажралиб чиқаётган электронлар хар хил бошланғич тезликларга эга. Шунинг учун катод анод оралиғидаги майдон тормозловчи бўлганда ҳам (анод манфий катод мусбат потенциалга эга) анодга этиб келувчи электронлар мавжуддир. Тормозловчи майдон потенциал энергияси энг катта бошланғич тезликка эга электроннинг кинетик энергиясига тенг бўлган кучланишнинг қийматида фототок йўқолади, яъни анодга электронлар этиб келмай қолади. Кучланишнинг бу қиймати тўхтатиш кучланиши U_T дейилади:

$$\frac{mv_{max}^2}{2} = eU_T \quad (1)$$

бу эрда $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл электроннинг заряди. Фототокнинг вольт ампер характеристикасини ўрганиш натижасида фотоефектнинг қуйидаги қонунлари аниқланган:

1. Муайян фотокатодга тушаётган ёруғликнинг спектрал таркиби ўзгармас бўлса, фототокнинг тўйиниш қиймати ёруғлик оқимига тўғри мутаносибдир, яъни:

$$I_{\phi} = \eta \cdot \Phi \quad (2)$$

$j = \frac{I_f}{\Phi}$ бунда $\Phi = \frac{IS}{l^2}$ бунда I_{ϕ} фототок, η мутаносиблик коэффициентсенти

бўлиб, у фотоэлементнинг интеграл сезгирлиги дейилади, $[j] = \frac{мкА}{люмен}$; Φ - ёруғлик оқими, l -мфсофа, S -юза, I_{ϕ} фототок, I -ёриқликнинг куши.

$$j = \frac{I_f l^2}{IS} \quad (2 а)$$

2. Муайян фототокдан ажралиб чиқаётган фотоэлектронлар бошланғич тезликларининг максимал қиймати V_{max} ёруғлик интенсивлигига боғлиқ эмас. Ёруғликнинг частотаси ортиб бориши билан фотоэлектронларнинг максимал тезлиги ҳам ортиб боради.

3. Хар бир фотокатод учун бирор “қизил чегара” мавжуд бўлиб, ундан каттароқ тўлқин узунликка эга ёруғлик таъсирида фотоефект вужудга келмайди. λ_k нинг қиймати ёруғлик интенсивлигига мутлақо боғлиқ эмас, у фақат фотокатод материалининг химиявий табиатига ва сиртнинг ҳолатига боғлиқ.

4. Уоруғликнинг фотокатодга тушиши билан фотоэлектронларнинг ҳосил бўлиши орасида сезиларли вақт ўтмайди.

Юқорида зикр этилган қонунларнинг фақат биринчисигина ёруғликнинг электрмагнит тулқин назарияси асосида тушунтирилади. Аммо қолган учта қонунни бу назария тушунтира олмайди. Фотоефект ходисасини тушунтириш учун эйнштейн М.Планк гипотезасидан фойдаланибгина қолмай, балки уни ривожлантирди, ҳамда унинг фикрига кўра: ёруғлик квантлар тариқасида нурланибгина қолмай, балки ёруғлик энергиясининг тарқалиши ҳам, ютилиши ҳам квантланган бўлади. Демак, металл сиртига тушаётган ёруғликни квантлар оқими деб тасаввур қилиш керак экан. Бунда хар бир ёруғлик кванти энергияси қуйидагига тенг бўлади:

$$\varepsilon = h\nu \quad (3)$$

ифодада ε ёруғлик кванти (фотон) энергияси, ν ёруғликнинг тебраниш частотаси, h Планк доимийси, у $6,62 \cdot 10^{-34}$ ж·с. Энергиянинг сақланиш қонуни кўллаб эйнштейн фотоефектни тушунтирди. Бунда металл сиртига тушаётган фотоннинг энергияси уларнинг ўзаро таъсирлашуви

натижасида электрон энергиясига айланади. Агар шу энергия чиқиши катта бўлса ($\nu \cdot h > A$), фотоэффект рўй беради. Энергиянинг қолган қисми металлдан ташқарига чиққан фотоэлектроннинг кинетик энергиясига айланади. Шу фикрни математик тарзда қуйидагича ёзиш мумкин:

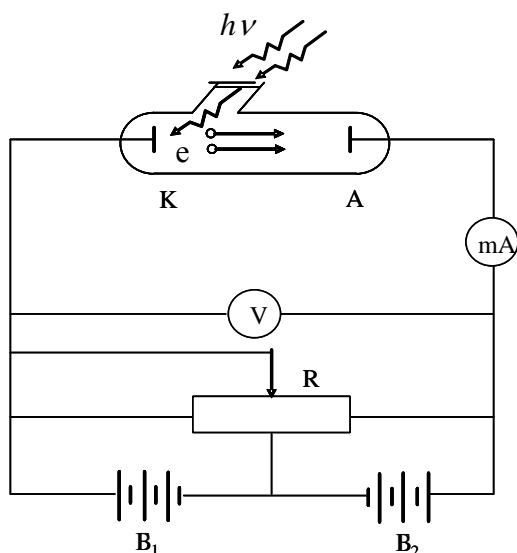
$$h\nu = A + \frac{m\nu_{max}^2}{2} \quad (4)$$

ифодани фотоэффект учун эйнштейн формуласи дейилади. Эйнштейннинг мазкур формуласи ёрдамида фотоэффектнинг барча қонунларини тушунтириш мумкин. 4 формулага кўра, фотоэффект рўй бериши учун

$$h\nu = A \quad (5)$$

бўлиши кифоя. Мазкур тенглик ёрдамида фотоэффектнинг қиизл чегарасини тушунтириш мумкин. Қизил чегара тушуётган ёруғлик фотоннинг частотасига боғлиқ бўлиб, унинг интенсивлигига асло боғлиқ эмас (интенсивлик деганда бирлик юзага тушаётган фотонлар сони тушунилади). Кўпчилик металллар учун қизил чегара спектрнинг инфра қизил қисмида жойлашаган бўлади. Ишқорий металллар учун эса у ёруғликнинг кўринувчи қисмида жойлашганлиги туфайли фотоэлементларда фотокатод ишқорий металллардан ясалади. Фотоэффект асосланган қурилма фотоэлемент дейилади (3-расм).

Ичидан хавоси сўриб олинган кварс шишадан ясалган баллон фотоэлемент баллони фотоэлемент қобиғини ташкил қилади. Баллон ичида халқа кўринишида металл сим кавшарланган бўлиб, у анод вазифасини бажаради. Шиша баллоннинг ички сиртининг бир қисми сезий элементи атомлари ёки бирор бошқа бир элементнинг оксидлари билан қопланган бўлади. Мазкур юпқа қатламга сим кавшарланган бўлиб, у шиша баллондан ташқарига чиқариб қўйилади. Бу сим эса ток манбаининг манфий қутбига уланади. Металлнинг юпқа қатлами катод вазифасини бажаради. Катодга ёруғлик оқими тушиши учун катод рўпарасида баллон деворида кичик дарча қолдириб, баллоннинг қолган қисми ёруғлик ўтқаймайдиган парда билан қопланади. Фотоэлементлар хозирги замон техникасида ва турмушда овозли кинода, фотоелеграфда, узокдан бршқа сисемаларда ва ҳ.к. ларда кенг қўлланилади.



3-расм

Фотоэлементнинг сезувчанлигини ошириш учун баллон босими 1 Па атрофида бўлган инерт газ билан тўлдирилади. Фотоэлектронлар инерт газ атомларига ўралиб уларни ионлаштириши натижасида ток қиймати ортади. Бундай фотоэлементларда катод анод орасидаги кучланиш маълум қийматдан ортмаслиги керак, акс холда, газда мустақил газ разряди рўй бериб фотоэлементни ишдан чиқаради. Бу холда тўйиниш фототоки кузатилмайди.

*Фотоэлементнинг хоссаларини текшириш
Ишни бажариш тартиби*

1-машқ. Ёруғлик оқими ўзгармас ($\Phi = \text{сонст}$) бўлганда фототок (i_ϕ) қийматининг анод кучланишига (U_a) боғлиқлигини текшириш.

1. Фотоэлемент оптик тагликда ёруғлик манбаидан $l = 15$ см узоқликда ўрнатилади.

2. Ёруғлик манбаига кучланиш берилади ва у тажриба давомида ўзгартирилмасдан сақланади.

3. Схема ўқитувчи томонидан текширилгандан сўнг УИГ-1 (универсал ток манбаи) уланади. Потенциометр ёрдамида анод кучланиши 0 дан 150 В гача оширилиб борилади. Кучланиш 10 вольтдан оширилганида фототок қийматининг ўзгариши ўлчанади. Кейин тажриба тесқари йўналишда амалга оширилади: кучланиш 150 дан 0 В гача камайтирилади. Бунда ҳам кучланишнинг хар бир 10 В га камайганида, фототок ўзгариши ёзиб борилади ва 1- жадвалга ёзилади.

4. Абссисса ўқига U_a қийматини, ордината ўқига I_ϕ ўрт. Фототок қийматини қўйиб, анод кучланиши билан фототок ўртасидаги боғланиш графиги чизилади.

№	l	U_a кучланиш	I_ϕ	Кучланиш камайганда U_a	I_ϕ	I_ϕ ,
---	---	----------------	----------	---------------------------	----------	------------

	<i>м</i>	ортганда (В)	мка	(В)	мка	ўрт мка
1						
2						
3						
4						

2-машқ.

Ўзгармас кучланишда ёруғлик оқими билан фототокнинг I_{ϕ} боғланишини ўрганиш

1. Фотоэлементга 150 В анод кучланиши берилади ва у тажриба охиригача ўзгартирилмасдан сақланади.
2. Фотоэлемент ёруғлик манбаидан 15 см дан 60 см гача узоқлаштирилади. Хар бир 5 см силшижга мос келган фототок I_{ϕ} қиймати ёзиб борилади.
3. Фотоэлемент 60см дан 15см гача лампага яқинлаштирилади ва яна хар бир 5см камайтиришдаги фототок I_{ϕ} қиймати ёзиб борилади. Бунда лампанинг ёруғлик кучи $I=25$ шам деб олинади
4. l нинг хар бир қиймати учун Φ нинг қийматлари $\Phi = \frac{IS}{l^2}$ формуладан хисоблаб топилади. Бунда С фотокатод юзаси (4 см^2), И лампанинг чўғлантриш кучланиши $U_n=220 \text{ В}$ бўлгандаги ёруғлик кучи.
5. (2) ифода ёрдамида фотоэлементнинг интеграл сезгирлиги (\mathcal{J}) И нинг барча қийматлари учун хисобланади.
6. Олинган тажриба натижалари 2-жадвалга ёзиб борилади:

№	У (В)	l_1 узоқлаштриш (м)	l_2 яқинлаштриш (м)	I_{ϕ} l_1 да (мкА)	I_{ϕ} l_2 да (мкА)	I_{ϕ} ўрт. (мкА)	\mathcal{J} $\frac{\text{мкА}}{\text{лм}}$	Δ \mathcal{J}
1								
2								
3								
4								

Олинган маълумотлар асосида ёруғлик оқими (Φ) билан фототок ўртасидаги боғланиш графиги чизилади. Графикдан фойдаланиб, бурчак тангенсининг қиймати хисобланади ва фотоэлементнинг сезгирлиги топилади ва тажрибадан олинган натижаси билан солиштирилиб кўрилади.

Назорат саволлари

1. Ташқи ва ички фотоелектрик ходисасини тушунтиринг.

2. Фотоеффект қонунларини таърифланг.
3. Планк формуласини ёзинг ва физик маъносини тушунтиринг.
4. Фотоеффект учун эйнштейн формуласини ёзинг ва унинг физик маъносини тушунтиринг
5. Фотоеффектнинг қизил чегараси нима ва у қандай аниқланади?
6. Фотоэлементнинг сезгирлиги деб нимага айтилади ва у қандай бирликда ўлчанади? Фотоэлемент қандай тузилган?
7. Газ тўлдирилган фотоэлемент вакуумли фотоэлементдан нима билан фарқ қилади?
- 8. Жисмларнинг энергия нурлантираёт-ганлигини нима учун қоронғуда кўрмаймиз?**
9. Нима учун совғачилар ноодатий ярқирайдиган эмас кундузи бриллиантларнинг жиловланишини афзал кўради?
10. Бир метал ўрнига бошқа метал олинганда фотоеффект натижасида тўлқин узунлик ошди. Бу икки метал чиқиш иши ҳақида нима дейиш мумкин?
11. Ультрабинафша нур терини куйдиради. Нима учун ёруғлик нири терини куйдирмайди?
12. Фотоеффект ҳодисасини тушинтиришда корпускуляр ёки тўлқин назария орқали тушинтиринг.
13. Нуқтавий ёруғлик манбаини қараймиз. Нуқтавий манбадан узоклашган сари ёритилиш қандай ўзгаради? Буни тўлқин, корпускуляр назария орқали тушинтиринг.
14. Фотоеффект ҳодисасидан ёнғин, плёкага ёзиш ишларида фойдаланиш мумкинми?
15. Электрон ва фотон фарқини тушинтиринг.

Амалий машғулот учун топшириқлар

1. Электроннинг металдан чиқиш иши 2.3eV бўлса ёруғлик энг катта тўлқин узунлигини аниқланг.
2. Барий учун чиқиш иши 2.48eV. Метал сирти тўлқин узунлиги 480нм бўлган ёруғлик билан нурлантирилган бўлса учиб чиққан электронларнинг максимал кинетик энергиясини ҳисобланг. Электроннинг тезлиги қанчага тенг бўлади?
3. Тўлқин узунлиги 480нм бўлган ультрабинафша нур метал сиртига тушмоқда. Бунда электронларнинг максимал кинетик энергияси 0.85eV. Чиқиш иши нимага тенг?
4. энергия $E = 1.24 \cdot 10^{-6} / \lambda$ формула ёрдамида ҳисобланишини исботланг.

5. Интенсивлиги $1300 \frac{W}{m^2}$, тўлқин узунлиги 550нм бўлган Қуёш нурлари ер сиртига тик тушмоқда. $1\text{см}^2 / \text{с}$ га неча фотон тўғри келади?
6. Метал таркибидаги электрон нурланиши натижасида тўлқин узунлиги 550нм бўлган ёруғлик нурлади. Агар метал сирти 480нм , 280нм бўлган нурлар билан ёритилган бўлса электронларнинг максимал кинетик энергиясини топинг.
7. Қуввати 100Вт бўлган лампа энергиясининг 3% ини ёруғлик нури кўринишида тарқатади. (550нм). Диаметри 4мм крачик лампадан 10км узоқликда бўлса унга бир секундда неча фотон келиб тушади?
8. Метал сиртига 230нм тўлқин узунлигидаги нур тушиши натижасида кучланиш нолдан 1.64В гача ошди. Чиқиш иши нимага тенг?
9. Рентген трубкасида электроннинг тормозланиши натижасида рентген нури ҳосил бўлади, рентген нури тўлқин узунлиги $\lambda_0 = \frac{hc}{eV}$ формула орқали ҳисобланишини исботланг.
10. $E_{\max} = eV_0$ формулани исботланг. Агар W_e – эмиттер учун чиқиш иши, W_k – коллектор учун чиқиш иши бўлса, $E_{\max} = eV_0 - (W_e - W_k)$ формула ўринли эканини исботланг.
11. Комптон эффектига мувофиқ 0.1нм толқин узунлигидаги фотон эркин электронга тўқнашиб тескари юналишда қайтди. Энергиянинг сақланиш қонунига мувофиқ қайтган нур тўлқин узунлиги ва электроннинг кинетик энергиясини аниқланг.
12. Энергия ва импульснинг сақланиш қонунидан қайтган нур учун Комптон эффектига мувофиқ тўлқин узунлиги λ' қуйидаги формула орқали ҳисобланишини исботланг.
- $$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_0c} (1 - \cos \phi)$$
13. 3.6eV фотондан ҳосил бўлган электрон-позитрон жуфтлиги тўлиқ кинетик энергиясини аниқланг.
14. Тўлқин узунлиги 0.1нм бўлган роентген нури импульсе ва эффектив массасини аниқланг.
15. Мюон жуфтлигидан ҳосил бўлган фотон минимал энергиясини ҳисобланг. Мюоннинг массаси электроннинг массасидан 207 баравар катта бўлса, фотон тўлқин узунлиги нимага тенг бўлади?
16. Резерфорд тажрибасида алфа заррачалар кинетик энергияси 4.8МеВ . Заррачалар олтин атоми ядросига қандай масофагача яқинлашиши мумкин?

14-1 масала. Қуёш сиртидаги температура. Агар Қуёш кўринувчи спектрида максимал интенсивлиги тўлқин узунлиги 500 нм болса Қуёш сиртидаги температурани аниқланг.

8. Ечилиши:

9. 27-2 формулага асосан Қуёшни қора жисм нурланиши каби қабул қилсак, $\lambda_p T = 2.90 \times 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$,

10. бундан $T = \frac{2.90 \times 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}}{\lambda_p} = 6000 \text{ К}$ келиб чиқади.

11. 14-2 масала. Рангли юлдуз. Юлдуз сиртидаги температуре 32500 К га тенг. Ушбу юлдузнинг рангини аниқланг.

12. Ечилиши:

13. 27-2 формулага асосан Қуёшни қора жисм нурланиши каби қабул қилсак,

14. $\lambda_p T = 2.90 \times 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$, бундан $\lambda_p = \frac{2.90 \times 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}}{T} = 89.2 \text{ нм}$. Бу тўлқин узунлиги ултрабинафша нурга тўғри келади. Юлдуз кўкимтироқ рангга тўғри келади.

15. 14-3 масала. Фотон энергияси. Кўк ранг учун фотон энергиясини ҳисобланг. Ҳавода $\lambda = 450 \text{ нм}$.

16. Ечилиши:

17. $f = \frac{c}{\lambda}$, $E = hf = \frac{hc}{\lambda} = 4.4 \times 10^{-19} \text{ Дж} = 2.8 \text{ эВ}$

18. Бу ерда f – ёруғлик частотаси.

19. 14-4 масала. Лампадан чиқаётган фотонлар. Қуввати 100 Вт буълган лампочкадан секундига неча фотон учиб чиқади? Лампа энергиясининг 3% ини ёруғликка айланади деб ҳисобланг.

20. Ечилиши:

21. Лампа бир секундда 3 Ж энергияни ёруғликка айлантиради.

$$E = Nhf \quad \text{ва} \quad f = \frac{c}{\lambda} \quad \text{еканини ҳисобга олсак,} \quad N = \frac{E}{hf} = \frac{E\lambda}{hc} = 8 \times 10^{18}.$$

Демак лампа тахминан ҳар секундда 10^{19} та фотон нурлайди.

22. 14-5 масала. Фотоэлектронларнинг тезлиги ва энергияси. Натрий сиртидан учиб чиққан электронларнинг тезлиги ва кинетик энергиясини ҳисобланг. Чиқиш иши 2.28 эВ, $\lambda = 410 \text{ нм}$.

23. Ечилиши:

24. Фотоеффе́кт учун кинетик энергия $E_k = hf - W_0$ формула ўринли.

$$hf = \frac{hc}{\lambda} = 3.03 \text{ эВ}. \quad 27-56 \quad \text{формулага мувофиқ кинетик энергия}$$

$$E_k = 0.75eV. \quad E_k = \frac{m\mathcal{G}^2}{2}, \quad m = 9.1 \times 10^{-31} kg. \quad \mathcal{G}_{\max} = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} = 5.1 \times 10^5 m/s.$$

Демак учиб чиққан электронлар тезлиги метал ичидаги тезлигидан катта экан.

25. **14-6 масала. Фотон импульси ва кучи.** 27-4 масала шартидан фойдаланиб қора қоғозга тушган фотонлар оқимининг импульсини ва таъсир кучини ҳисобланг.

26. **Ечилиши:**

27. Битта фотон импульси $p = \frac{h}{\lambda} = 1.3 \times 10^{-27} kg \frac{m}{s}$.

28. Нютоннинг иккинчи қонунига мувофиқ $F = \frac{dp}{dt} = \frac{Nh}{\lambda} \frac{d\lambda^{-1}}{dt} \approx 10^8 N$.

29. **14-7 масала. Фотосинтез.** Ўсимлик хлорофил доначаларига куйиш энергияси таъсирида корбанат молекуларга ажралади. Тўққизта фотон корбанат ангидрид молекуласини углерод ва кислород молекуларига парчалайди. Фотосинтетик эффиктивлигини ҳисобланг. Корбанат ангидридни углерод ва кислородга парчалаш учун керак бўладиган энергия 4.9eV га тенг.

30. **Ечилиши:**

31. Тўққизта фотон энергияси $hf = 2.7 \times 10^{-18} J = 17eV$.

$$\frac{4.9eV}{17eV} = 29\%$$

32. Эффективли 29% .

33. **14-8 масала. Рентген нурланиш.** 0.140nm тўлқин узунлигига эга рентген нурлари юпка углерод қатламида сочилмоқда. Рентген нурларининг 0, 90, 180 градус бурчакда сочилгандаги тўлқин узунлигини ҳисобланг.

34.

35. **Ечилиши:**

36. Комптон эффекти $\lambda' = \lambda + \frac{h}{mc}(1 - \cos \phi)$ (27-7) формуласига кўра 0°

учун $\lambda' = \lambda = 0.140nm$, 90° учун

$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{mc} = 0.140nm + 2.4 \times 10^{-12} m = 0.1424nm.$$

37. 180° учун

$$\lambda' = \lambda + 2 \frac{h}{mc} = 0.140nm + 2(0.0024)nm = 0.145nm$$

38.

39. **14-9 масала. Электрон-позитрон жуфтлиги.** Электрон-позитрон жуфтини қандай минимал энергия ҳосил қилади? Ҳосил қилган фотон тўлқин узунлиги қанча бўлади?

40. **Ечилиши:**

41.Эйнштейн формуласи $E = mc^2$ га кўра жуфтлик энергияси
 $E = 2mc^2 = 1.02MeV$.

42.Планк формуласига асосан $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$, $\lambda = \frac{hc}{E} = 1.2 \times 10^{-12}m$. Бу
тўлқин узунлиги гамма нурга тўғри келади.

43.Кинетик энергия- $E_k = eU = 100eV$. $\frac{1}{2}m\vartheta^2 = eU$ формулага кўра

$$\vartheta = \sqrt{\frac{2eU}{m}} = 5.9 \times 10^6 m/s, \text{ тўлқин узунлиги эса } \lambda = 1.2 \times 10^{-10}m.$$