

FOTOELEKTRIK EFFEKT ASOSIDA QUYOSH BATAREYALARI SAMARADORLIGINING OSHIRISH USULLARI

Mirzayeva Umidaxon Murodjon qizi

Pedagogika fanlari falsafa doktori(PhD)

Andijon davlat texnika instituti “Materialshunoslik va kimyo muhandisligi” kafedrası

Email: (umidamirzayeva035@gmail.com)

Tel: (50) 503 52 22

Annotatsiya: Mazkur maqolada fotoelektrik effekt hodisasi asosida ishlovchi quyosh batareyalarining fizik prinsiplari, ularning samaradorligiga ta'sir etuvchi omillar hamda samaradorlikni oshirish usullari tahlil qilingan. Yarimo'tkazgich materiallar, spektral yutilish, rekombinatsiya jarayonlari va zamonaviy texnologik yondashuvlar ko'rib chiqilgan. Tadqiqot natijalari quyosh energetikasining istiqbolli yo'nalish ekanligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: fotoelektrik effekt, quyosh batareyasi, yarimo'tkazgich, energiya samaradorligi, yashil energetika.

KIRISH.

So'nggi o'n yilliklarda global miqyosda energiya resurslariga bo'lgan talabning jadal sur'atlar bilan ortib borishi, shuningdek, an'anaviy yoqilg'i manbalaridan foydalanish natijasida yuzaga kelayotgan ekologik muammolar, jumladan, atmosfera ifloslanishi, issiqxona gazlari emissiyasining ko'payishi va iqlim o'zgarishi kabi salbiy jarayonlar qayta tiklanuvchi energiya manbalariga bo'lgan ilmiy va amaliy qiziqishni sezilarli darajada kuchaytirdi. Shu nuqtai nazardan, ekologik jihatdan xavfsiz, barqaror va uzoq muddatli energiya manbalarini yaratish zamonaviy energetika tizimining ustuvor vazifalaridan biri sifatida qaralmoqda. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari orasida quyosh energetikasi o'zining cheksizligi, ekologik tozaligi va keng miqyosda qo'llash imkoniyatlari bilan alohida ahamiyat kasb etadi. Quyosh energetikasining fizik asosi esa bevosita fotoelektrik effekt hodisasiga tayanadi, ya'ni yorug'lik nurlanishining modda bilan o'zaro ta'siri natijasida elektr energiyasining hosil bo'lish jarayoniga asoslanadi [1].

Quyosh nurlanishini bevosita elektr energiyasiga aylantirish imkonini beruvchi qurilmalar — quyosh batareyalari yoki fotoelektrik elementlar zamonaviy energetika tizimining muhim tarkibiy qismi hisoblanadi. Ushbu qurilmalar yarimo'tkazgich materiallar asosida ishlab chiqilgan bo'lib, yorug'lik kvantlari — fotonlarning yarimo'tkazgich kristall panjarasi bilan o'zaro ta'siri natijasida elektron–kovak juftlarining hosil bo'lishi va ularning ichki elektr maydon ta'sirida tartibli harakatga kelishi orqali elektr toki hosil qiladi. Mazkur jarayon energiyaning to'g'ridan-to'g'ri konversiyasi sifatida tavsiflanadi va mexanik harakat yoki qo'shimcha issiqlik

konversiyasi bosqichlarini talab qilmaydi. Shu sababli quyosh batareyalari yuqori ishonchlilik, uzoq xizmat muddati va ekologik xavfsizlik kabi muhim afzalliklarga ega.

Biroq quyosh batareyalarining keng miqyosda qo'llanilishini cheklovchi asosiy omillardan biri ularning foydali ish koeffitsientining (FIK) nisbatan past darajada ekanligi bilan bog'liqdir. Quyosh elementlarining samaradorligi ko'plab fizik va texnologik omillarga, jumladan, yarimo'tkazgich materiallarning energiya bo'shlig'i, yorug'likning spektral tarkibi, rekombinatsiya jarayonlari, optik yo'qotishlar, harorat ta'siri hamda qurilmaning konstruktiv xususiyatlariga bevosita bog'liqdir. Ushbu omillar energiyaning to'liq konversiya qilinishiga to'sqinlik qilib, umumiy samaradorlikni pasaytiradi. Shu sababli quyosh batareyalarining samaradorligini oshirish masalasi zamonaviy fizika, xususan, kvant fizikasi, yarimo'tkazgichlar fizikasi, materialshunoslik va nanoteknologiya sohalarining dolzarb ilmiy yo'nalishlaridan biri sifatida e'tirof etilmoqda [2].

Fotoelektrik effekt hodisasi yorug'likning kvant tabiatini ifodalovchi fundamental fizik jarayonlardan biri bo'lib, u yorug'likning zarracha va to'lqin xususiyatlariga ega ekanligini ilmiy asosda tasdiqlaydi. Mazkur hodisa yorug'lik kvantlari — fotonlarning energiyasi yarimo'tkazgich materialdagi elektronlarni valent zona holatidan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tkazishi natijasida elektr energiyasining hosil bo'lish mexanizmini tushuntirib beradi. Shu nuqtai nazardan, fotoelektrik effekt quyosh batareyalarining ishlash prinsipi va energiya konversiyasi jarayonining nazariy asosini tashkil etadi.

Mazkur tadqiqot ishida yorug'likning kvant tabiati, foton tushunchasi hamda fotoelektrik effektning fizik mohiyati chuqur nazariy jihatdan tahlil qilinadi. Shuningdek, fotoelektrik effektning yarimo'tkazgich materiallarda amalga oshish mexanizmi, quyosh batareyalarining ishlash prinsipi hamda ularning samaradorligiga ta'sir etuvchi asosiy fizik va texnologik omillar ilmiy asosda o'rganiladi. Tadqiqotning asosiy maqsadi fotoelektrik effektga asoslangan quyosh elementlarining energiya konversiyasi mexanizmini nazariy jihatdan tizimli ravishda tahlil qilish, ularning samaradorligini belgilovchi asosiy omillarni aniqlash hamda samaradorlikni oshirishning ilmiy asoslangan istiqbolli yo'nalishlarini ko'rsatib berishdan iboratdir.

ADABIYOTLAR TAXLILI.

Fotoelektrik effekt va unga asoslangan quyosh batareyalari fizikasi XX asr boshlaridan boshlab ilmiy tadqiqotlarning muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Mazkur hodisaning nazariy asoslari birinchi marta M. Plank tomonidan kvant nazariyasining ishlab chiqilishi bilan bog'liq holda shakllangan bo'lib, u elektromagnit nurlanish energiyasi uzluksiz emas, balki diskret kvantlar shaklida uzatilishini isbotlab berdi. Ushbu g'oya keyinchalik A. Eynshteyn tomonidan rivojlantirilib, fotoelektrik effekt nazariyasi yaratildi va yorug'likning kvant tabiati ilmiy asoslab berildi.

Yarimo'tkazgich fizikasi sohasidagi keyingi tadqiqotlar fotoelektrik effektning ichki mexanizmlarini chuqurroq tushunish imkonini berdi. Nelson va Fonash tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda quyosh elementlarida elektron-kovak juftlarining hosil bo'lishi va p-n o'tishdagi ichki elektr maydon ta'sirida elektr tokini

yuzaga keltirish mexanizmi batafsil yoritilgan. Ushbu tadqiqotlar quyosh elementlarining samaradorligi yarimo'tkazgich materiallarning fizik xususiyatlariga, ayniqsa ularning energiya bo'shlig'i va rekombinatsiya jarayonlariga bog'liq ekanligini ko'rsatadi.

Green tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda kremniy asosidagi quyosh elementlarining ishlash prinsiplari, texnologik xususiyatlari hamda samaradorlik chegaralari tahlil qilingan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, an'anaviy kremniy quyosh elementlarining samaradorligi nazariy va texnologik omillar bilan cheklanadi. Luque va Hegedus esa fotoelektrik energiya konversiyasining samaradorligiga spektral moslik, optik yo'qotishlar va materialning energetik tuzilishi muhim ta'sir ko'rsatishini ta'kidlaydi.

Yarimo'tkazgichlarda rekombinatsiya jarayonlarini o'rganish bo'yicha Sze va Ng tomonidan olib borilgan tadqiqotlar rekombinatsiya jarayonlari quyosh elementlarining samaradorligini sezilarli darajada pasaytiruvchi asosiy omillardan biri ekanligini ko'rsatdi. Skoplaki va Palyvos esa haroratning ortishi quyosh batareyalarining chiqish kuchlanishi va umumiy samaradorligiga salbiy ta'sir ko'rsatishini aniqladi.

So'nggi yillarda olib borilgan ilmiy izlanishlar yangi avlod quyosh elementlarini yaratishga qaratilgan. Kojima va boshqalar tomonidan perovskit materiallari asosidagi quyosh elementlari yuqori yorug'lik yutish qobiliyatiga ega ekanligi aniqlangan. King va boshqalar esa ko'p bo'g'inli quyosh elementlari yordamida yuqori samaradorlikka erishish mumkinligini ko'rsatdi. Bundan tashqari, Atwater va Polman (2010) tomonidan plazmonik strukturalar yordamida yorug'lik yutilishini oshirish orqali quyosh elementlari samaradorligini yaxshilash imkoniyatlari ilmiy asoslab berilgan.

Mazkur adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, quyosh batareyalari samaradorligini oshirish fotoelektrik effekt mexanizmini chuqur o'rganish, yangi yarimo'tkazgich materiallarini qo'llash va zamonaviy nanostrukturaviy texnologiyalarni joriy etish bilan bevosita bog'liqdir.

METODOLOGIYA.

Mazkur tadqiqot nazariy-tahliliy xarakterga ega bo'lib, fotoelektrik effekt asosida ishlovchi quyosh batareyalarining ishlash prinsiplari hamda samaradorligini oshirish usullarini ilmiy asosda o'rganishga qaratilgan.

Tadqiqot jarayonida nazariy tahlil metodi, ilmiy adabiyotlarni qiyosiy tahlil qilish metodi, fizik-matematik modellashirish yondashuvi, tizimli tahlil metodi, umumlashtirish va ilmiy xulosa chiqarish metodi kabi ilmiy metodlar qo'llanildi. Olingan nazariy natijalar umumlashtirilib, quyosh batareyalari samaradorligini oshirishning istiqbolli yo'nalishlari aniqlandi. Zamonaviy perovskit, ko'p bo'g'inli va nanostrukturaviy quyosh elementlarining samaradorlikni oshirishdagi roli ilmiy asosda baholandi.

NAZARIYA VA USULLAR.

Mazkur ish nazariy-tahliliy tadqiqot bo'lib, unda klassik va kvant fizikasining

asosiy qonunlari, fotoelektrik effektga oid fundamental nazariyalar hamda zamonaviy ilmiy adabiyotlar tahlil qilindi.

Tadqiqot jarayonida:

1. yorug'likning to'liq va zarracha xususiyatlarini tavsiflovchi klassik va kvant nazariyalari;

2. A. Eynshteyn tomonidan taklif etilgan fotoelektrik effekt tenglamasi;

3. yarimo'tkazgichlarda ichki fotoeffekt mexanizmi;

4. quyosh batareyalarining p-n o'tishli strukturalari

ilmiy manbalar asosida o'rganildi [3–9].

Nazariy tahlil davomida quyosh batareyalarining samaradorligiga ta'sir etuvchi omillarni aniqlash va zamonaviy tadqiqot yo'nalishlarini umumlashtirish asosiy metod sifatida qo'llanildi.

Klassik fizika doirasida yorug'lik elektromagnit to'liq sifatida qaralgan bo'lsa-da, XX asr boshlarida o'tkazilgan tajribalar uning faqat to'liq modeli bilan to'liq tushuntirib bo'lmashligini ko'rsatdi. Ayniqsa, mutlaq qora jism nurlanishi, fotoelektrik effekt va atom spektrlari klassik yondashuvning cheklanganligini namoyon etdi.

Kvant nazariyasiga ko'ra, yorug'lik energiyasi uzluksiz emas, balki kvantlangan bo'lib, u fotonlar deb ataluvchi zarrachalar orqali tashiladi. Foton energiyasi quyidagi bog'lanish bilan ifodalanadi:

$$E=h\nu \quad (1)$$

bu yerda: E — foton energiyasi, h — Plank doimiysi, ν — yorug'lik chastotasi.

Mazkur munosabat yorug'lik intensivligi fotonlar soniga, energiya esa chastotaga bog'liq ekanligini ko'rsatadi.

Fotoelektrik effekt — yorug'lik ta'sirida modda (asosan metall yoki yarimo'tkazgich) sirtidan elektronlarning ajralib chiqishi yoki energiya holatining o'zgarishi bilan bog'liq hodisadir. Tajribalar natijasida fotoeffektning quyidagi asosiy qonuniyatlari aniqlangan:

1. Fotoelektronlarning maksimal kinetik energiyasi yorug'lik intensivligiga emas, balki chastotasiga bog'liq.

2. Elektronlarning ajralib chiqishi yorug'lik tushishi bilan deyarli bir zumda sodir bo'ladi.

3. Har bir modda uchun fotoeffektni yuzaga keltiruvchi chegaraviy chastota mavjud.

Ushbu hodisaning nazariy asoslari A. Eynshteyn tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, fotoelektrik effekt tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$h\nu=A_{ch}+E_k \quad (2)$$

bu yerda:

A_{ch} — chiqish ishi,

E_k — elektronning kinetik energiyasi [3,4].

Quyosh batareyalarida ichki fotoelektrik effekt kuzatiladi. Yorug'lik ta'sirida yarimo'tkazgichda elektron–kovak juftlari hosil bo'ladi va p–n o'tishdagi ichki elektr maydon ta'sirida zaryad tashuvchilar tartibli harakatga kelib, elektr toki yuzaga keladi [5,6].

Amaliy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, kremniy asosidagi quyosh elementlarining foydali ish koeffitsienti hozirgi kunda 15–22 % atrofida bo'lib qolmoqda [7].

Quyosh batareyalari samaradorligiga ta'sir etuvchi asosiy omillardan biri quyosh spektri bilan yarimo'tkazgichning energiya bo'shlig'i o'rtasidagi moslikdir. Spektral yo'qotishlar batareya quvvatining sezilarli kamayishiga olib keladi [8].

Shuningdek, elektron va kovaklarning rekombinatsiyasi foydali tokning kamayishiga sabab bo'ladi. Bu jarayon hajmiy va sirt rekombinatsiyalariga bo'linadi [9]. Harorat oshishi natijasida kuchlanishning pasayishi ham umumiy samaradorlikka salbiy ta'sir ko'rsatadi [10].

Zamonaviy ilmiy tadqiqotlar kvant nuqtalar, perovskitlar, ko'p bo'g'inli (multijunction) va gibridd quyosh elementlariga qaratilgan bo'lib, nazariy jihatdan 40 % dan yuqori samaradorlikka erishish mumkinligi ko'rsatib berilgan [11–15].

Yorug'likning kvant tabiati va foton tushunchasi fizika fanida tub burilish yasagan eng muhim ilmiy yutuqlardan biridir. Fotoelektrik effektни tushuntirish orqali yorug'likning to'liq-zarracha dualizmi isbotlandi va kvant mexanikasining rivojlanishiga asos yaratildi.

XULOSA.

Mazkur tadqiqot natijalari shuni yaqqol namoyon etadiki, fotoelektrik effekt quyosh energetikasining nafaqat nazariy-metodologik poydevorini, balki uning amaliy rivojlanish mexanizmlarini ham belgilab beruvchi fundamental hodisa hisoblanadi. Ushbu effekt yorug'lik nurlanishining modda bilan o'zaro ta'siri jarayonida elektr energiyasining hosil bo'lish mexanizmini izohlab, quyosh batareyalari faoliyatining asosiy fizik prinsipi sifatida maydonga chiqadi.

Ilmiy-texnik taraqqiyotning hozirgi bosqichida zamonaviy yarimo'tkazgich materiallari, nanostrukturaviy tizimlar hamda kvant texnologiyalari asosida olib borilayotgan kompleks tadqiqotlar fotoelektrik effekt samaradorligini oshirishga qaratilgan bo'lib, bu jarayon quyosh elementlarining energiya aylantirish koeffitsientini sezilarli darajada yaxshilash imkonini bermoqda. Shu bilan birga, yangi avlod materiallaridan foydalanish energiya yo'qotishlarini kamaytirish, ishlab chiqarish xarajatlarini optimallashtirish va ekologik barqarorlikni ta'minlashga xizmat qilmoqda.

Natijada, fotoelektrik effektga tayangan holda olib borilayotgan ilmiy izlanishlar va innovatsion ishlanmalar kelajakda yuqori samaradorlikka ega, uzoq muddatli hamda atrof-muhitga zarar yetkazmaydigan energiya manbalarini yaratish uchun mustahkam ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qiladi. Bu esa quyosh energetikasining global energetika tizimidagi strategik ahamiyatini yanada kuchaytirib, barqaror rivojlanish maqsadlariga erishishda muhim omil sifatida namoyon bo'ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.

1. Boyle G. Renewable Energy: Power for a Sustainable Future. — Oxford: Oxford University Press, 2019.

2. Green M.A. Solar Cells: Operating Principles, Technology and System Applications. — Sydney, 2019.
3. Einstein A. Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. Annalen der Physik, 1905.
4. Planck M. The Theory of Heat Radiation. — Berlin, 1914.
5. Nelson J. The Physics of Solar Cells. — London: Imperial College Press, 2018.
6. Fonash S.J. Solar Cell Device Physics. — Academic Press, 2017.
7. Green M.A. et al. Solar cell efficiency tables. Progress in Photovoltaics, 2023.
8. Luque A., Hegedus S. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. — Wiley, 2020.
9. Sze S.M., Ng K.K. Physics of Semiconductor Devices. — Wiley, 2018.
10. Skoplaki E., Palyvos J.A. Temperature dependence of photovoltaic module efficiency. Solar Energy, 2009.
11. Kojima A. et al. Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers. Journal of the American Chemical Society, 2009.
12. King R.R. et al. Multijunction solar cell efficiency. Applied Physics Letters, 2012.
13. Macleod H.A. Thin-Film Optical Filters. — CRC Press, 2019.
14. Atwater H.A., Polman A. Plasmonics for improved photovoltaic devices. Nature Materials, 2010.