

Umarov Qudiratulla

Bekboyevich

Namangan Davlat Texnika

Universiteti

Fizika-matematika f.n.dotsent

Jamoliddinov Murodilla Saidaxmat o'g'li

Namangan Davlat Texnika Universiteti

magistranti

murodillajamoliddinov@gmail.com

Beer–Lambert asosidagi nazariy yondashuv orqali perovskit quyosh elementlarida J_{sc} ni hisoblash

Anatatsiya: Ushbu maqolada Beer–Lambert qonuniga asoslangan nazariy model yordamida perovskit quyosh elementlarida qisqa tutashuv toki (J_{sc}) hisoblandi. Model yorug'likning yutilishi, qatlam qalinligi, band gap va absorbsiya ko'effitsientining J_{sc} ga ta'sirini matematik ifodalar orqali ko'rsatadi. Olingan nazariy natijalar amaliy tadqiqotlar bilan solishtirildi. Xususan Heng Li, Yongtao Huang, Muyan Zhu, Pingyuan Yan va Chuanxiang Shenglari (2025) olib borgan tajribalar yuqori yorug'lik intensivligida quvvat chiqishi ortishini, ammo seriya qarshilik tufayli samaradorlikning pasayishini ko'rsatgan. Nazariy yondashuv J_{sc} ning yorug'lik intensivligiga chiziqli bog'liqligini tasdiqlaydi, amaliy natijalar esa real qurilmalardagi qo'shimcha cheklovchi omillarni ochib beradi. Shunday qilib, maqola amaliy natijalarga fizik asos beradi va perovskit asosidagi konsentratsion fotovoltaiikalar rivoji uchun muhim ilmiy tushuntirishlarni taqdim etadi.

Kalit so'zlar: Perovskit quyosh elementlari; Beer–Lambert qonuni; qisqa tutashuv toki (J_{sc}); yorug'lik intensivligi; band

gap; SCAPS simulyatsiya; seriya qarshilik; konsentratsion
fotovoltaika

Umarov Kudiratulla Bekboyevich

Namangan State Technical University

Associate Professor of Physics and Mathematics

Jamoliddinov Murodilla Saidakhmat oglu

Namangan State Technical University Master's student

murodillajamoliddinov@gmail.com

Calculation of J_{sc} in perovskite solar cells using a theoretical approach based on the Beer–Lambert law

Abstract: In this article, the short-circuit current (J_{sc}) in perovskite solar cells was calculated using a theoretical model based on the Beer–Lambert law. The model shows the effects of light absorption, layer thickness, band gap, and absorption coefficient on J_{sc} through mathematical expressions. The theoretical results obtained were compared with practical studies. In particular, experiments conducted by Li et al. (2025) showed an increase in power output at high light intensities, but a decrease in efficiency due to series resistance. The theoretical approach confirms the linear dependence of J_{sc} on light intensity, while practical results reveal additional limiting factors in real devices. Thus, the article provides a physical basis for practical results and provides important scientific explanations for the development of perovskite-based concentration photovoltaics.

Keywords: Perovskite solar cells; Beer–Lambert law; short-circuit current (J_{sc}); light intensity; busy phrase; SCAPS simulation; series resistance; concentration photovoltaics

Умаров Кудиратулла Бекбоевич

Наманганский государственный технический университет

Доцент кафедры физики и математики

Джамолиддинов Муродилла Саидахмат оглы

Наманганский государственный технический университет,

магистрант

murodilajamoliddinov@gmail.com

**Расчёт тока короткого замыкания (J_{sc}) в перовскитных
солнечных элементах с использованием теоретического подхода,
основанного на законе Бера – Ламберта**

Аннотация: В данной статье ток короткого замыкания (J_{sc}) в перовскитных солнечных элементах был рассчитан с использованием теоретической модели, основанной на законе Бера – Ламберта. Модель математическим образом демонстрирует влияние поглощения света, толщины слоя, ширины запрещённой зоны и коэффициента поглощения на J_{sc} . Полученные теоретические результаты были сопоставлены с практическими исследованиями. В частности, эксперименты, проведённые Ли и соавторами (2025), показали увеличение выходной мощности при высокой интенсивности света, но снижение эффективности из-за последовательного сопротивления. Теоретический подход подтверждает линейную зависимость J_{sc} от интенсивности света, а практические результаты выявляют дополнительные ограничивающие факторы в реальных устройствах. Таким образом,

статья обеспечивает физическую основу для практических результатов и даёт важные научные объяснения для разработки перовскитных фотоэлектрических систем.

Ключевые слова: перовскитные солнечные элементы; закон Ламберта – Бера; ток короткого замыкания (J_{sc}); интенсивность света; занятая фраза; моделирование SCAPS; последовательное сопротивление; концентрационная фотоэлектрическая система

Kirish

So‘nggi yillarda perovskit asosidagi quyosh elementlari fotoelektrik qurilmalar orasida eng istiqbolli yo‘nalishlardan biri sifatida ko‘rilmoqda. Ularning yuqori yutuvchanligi, keng diapazonli yorug‘likni o‘zlashtira olishi va 26% dan yuqori quvvat konversiya samaradorligiga erishgani [1] ularni kelajakda silikon asosidagi texnologiyalarni to‘ldiruvchi yoki almashtiruvchi sifatida qarash imkonini beradi.

Biroq, amaliy tadqiqotlarda ko‘rsatilganidek, yirik maydonli perovskit panellarda samaradorlik sezilarli darajada pasayadi va yuqori yorug‘lik intensivligi ostida ham fotovoltaik xususiyatlar ideal darajada saqlanib qolmaydi [2]. Shu sababli nazariy modellar yordamida amaliy natijalarni tahlil qilish dolzarbdir. Ushbu maqolada Beer–Lambert qonuniga asoslangan yondashuv orqali perovskit asosidagi quyosh elementlarida qisqa tutashuv toki (J_{sc}) ni hisoblash ko‘rib chiqiladi va u amaliy natijalar bilan solishtiriladi.

Nazariy asos

Quyosh elementida yorug‘lik tushganda yarim o‘tkazgich qatlamida fotonlar so‘rilib, elektron–kovak juftlari hosil qiladi. Agar hosil bo‘lgan zaryad tashuvchilar ajratilib kontaktlarga yetib borsa, tok paydo

bo'ladi. Fototokni hisoblash uchun eng ko'p qo'llaniladigan yondashuv – Beer–Lambert qonuni va foton oqimiga asoslangan analitik modeldir. Bu modelga ko'ra, qatlamning qalinligi W va absorbsiya koeffitsienti $\alpha(E)$ energiyas E bo'lgan fotonlarning so'rilgan ulushi:

$$A(E) = 1 - \exp(-\alpha(E)W) \quad 1.1$$

ko'rinishida bo'ladi. Agar kvant samaradorlik birga teng deb faraz qilinsa, ya'ni har bir so'rilgan foton bir elektron-juft hosil qilsa, Fermi-Dirak taqsimotiga asosan qo'shimcha energetik satxlar hosil bo'ladi. Unda spektral fototok zichligi quyidagicha aniqlanadi:

$$J(E) = q \Phi_E(E) [1 - e^{-\alpha(E)W}] \quad 1.2$$

$\Phi_E(E)$ – energiyasi E bo'lgan fotonlarning spektral oqimi
Barcha energiyalar bo'yicha qo'shib qisqa tutashuv toki (short-circuit current density) aniqlanadi:

$$J_{sc} = q \int_{E_g}^{\infty} \Phi_E(E) [1 - e^{-\alpha(E)W}] dE \quad 1.3$$

bu yerda E_g –materialning teshik–o'tkazuvchanlik oralig'i (band gap). Absorbsiya koeffitsienti $\alpha(E)$ esa to'g'ri o'tishli bandgap materiallar uchun tajribiy–nazariy model asosida:

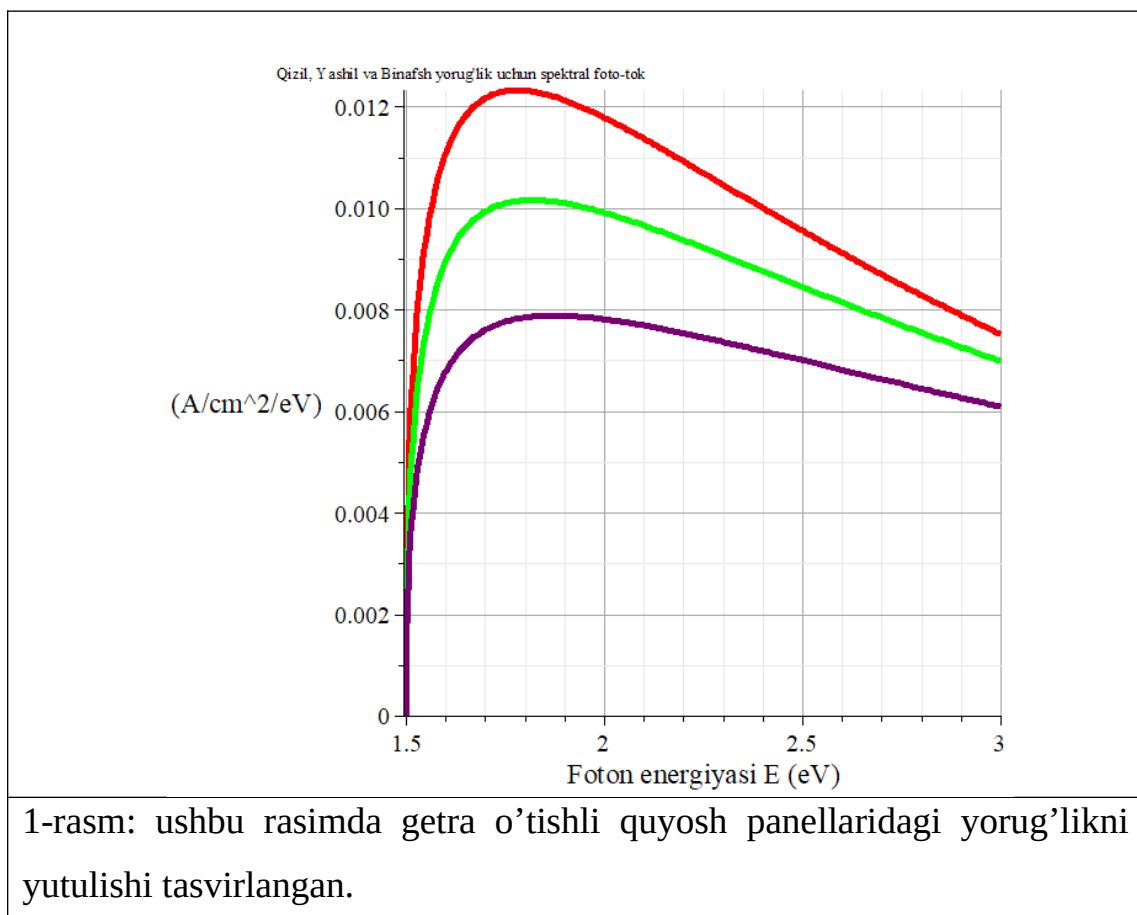
$$\alpha(E) = \left(\alpha_0 + \beta_0 \frac{E}{E_0} \right) * \sqrt{\frac{E}{E_0} - 1} \quad 1.4$$

ko‘rinishda tanlanadi. Bu formuladagi α_0 va β_0 —materialga xos parametrlardir.

Demak natijavi ifoda yuqoridagilarni birlashtirsak quyidagicha chiqadi

$$J_{sc} = q \int_{E_g}^{\infty} \Phi(E) [1 - \exp(-\alpha_0 E)] \exp(-\beta_0 E) dE \quad (1.5)$$

Ushbu ifoda asosida integral yechilgani



Natijalar va muhokama

Yuqoridagi ifodadan ko‘rinib turibdiki, qisqa tutashuv toki asosan uchta parametrga bog‘liq:

1. Band gap (E_g) — perovskit materialлари uchun ~ 1.5 eV bo'lib, quyosh spektrining optimal qismiga to'g'ri keladi.
2. Qatlam qalinligi (W) — yuzlab nanometr qalinlikdagi perovskit qatlam ham yuqori J_{sc} beradi.
3. Absorbsiya koeffitsienti (α) — perovskitlarning yuqori yutuvchanligi tufayli fotonlarning katta qismi samarali so'riladi.

Amaliy maqolada [2] $MAPbI_3$ asosidagi 6 mm^2 perovskit element qurilib, yorug'lik intensivligi ortishi bilan umumiy quvvat oshgani ($1\text{ Sun} \rightarrow 0.9\text{ mW}$, $10\text{ Suns} \rightarrow 4.2\text{ mW}$), ammo PCE pasaygani kuzatilgan. Bu nazariy model bilan hamohang: yorug'lik kuchayganda J_{sc} ortadi, lekin amalda seriya qarshilik tufayli FF va samaradorlik kamayadi.

Demak, nazariy model J_{sc} ning yorug'lik intensivligiga bog'liq o'sishini tasdiqlaydi, amaliy natijalar esa qo'shimcha cheklovchi omillar (kontakt qarshiligi, nuqsonlar, issiqlik ta'siri)ni ko'rsatib beradi.

Xulosa.

- Beer–Lambert qonuniga asoslangan nazariy model perovskit quyosh elementlarida yorug'lik yutilishi va qisqa tutashuv tokini (J_{sc}) hisoblash imkonini beradi.
- Nazariya bo'yicha yorug'lik intensivligi oshishi bilan J_{sc} ham ortadi.
- Amaliy natijalar esa, yuqori yorug'lik ostida PCE ning pasayishini ko'rsatadi, bu asosan seriya qarshilik va issiqlik ta'siri bilan bog'liq.
- Shunday qilib, nazariya va amaliyot uyg'unlashib, perovskitlarning konsentratsion fotovoltaikalarda qo'llanishi mumkinligini ko'rsatadi, ammo kontaktlarni optimallashtirish va issiqlikni boshqarish zarur.

Foydalanilgan adabiyod

- [1] Best Research-Cell Efficiency Chart, NREL (2025).
- [2] Li, H. va boshq. Analyzing Efficiency of Perovskite Solar Cells Under High Illumination Intensities by SCAPS Device Simulation, Nanomaterials 2025, 15, 286.