



ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის  
სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა  
ფაკულტეტის ფიზიკის მიმართულება  
ინტერდისციპლინური ბიოფიზიკა

**ტატო უბილავა**

**მზის გამოყენება, როგორც ალტერნატიული  
ენერჯის წყარო**

საბაკალავრო ნაშრომი შესრულებულია ზუსტ და  
საბუნებისმეტყველო მეცნიერება ფაკულტეტის  
ბაკალავრის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

ხელმძღვანელები: თამაზ მძინარაშვილი  
ფიზ.მათ.დოქტორი, სრული პროფესორი  
ნინო შენგელია, ბიოლ.აკად.დოქტორი

თბილისი

2018

## ა ნ ო ტ ა ც ი ა

### მზის გამოყენება როგორც ალტერნატიული ენერჯის წყარო

#### ტ ა ტ ო უ ბ ი ლ ა ვ ა

ენერჯის მზარდი მოხმარების პირობებში განუხრელად მიმდინარეობს იმ ალტერნატიული წყაროების მოძებნა, რომლების შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას ელექტროენერჯის ჩასანაცვლებლად. ასეთი მიდგომების სამომავლო გამოყენება მეტად პერსპექტიულია იმ გარემოების გამო, რომ ენერჯის მიღების ასეთი წყაროების გამოყენება ჯერ ერთი ბევრად უფრო უსაფრთხოა, და მეორეც მიზნის მისაღწევად იყენებს ულევ მზის ენერჯას.

წარმოდგენილ ნაშრომში განხილულია მზის როგორც ენერჯის ალტერნატიული წყაროს გამოყენების შესაძლებლობები და მოწყობილობები, რომლებიც დანერგია სხვადასხვა კომპლექსების სახით. აქ განხილულია, რომ ტრადიციული ენერჯის წყაროები იწვევს დიდ პრობლემებს ეკოლოგიური თვალსაზრისით, ამასთან ისინი ამოწურვადია. განვიხილავთ მზის პანელის მუშაობის პრინციპს, პარამეტრებსა და მასალას მაღალი ეფექტურობისათვის. განვიხილავთ PV ტექნოლოჯის შექმნის ხერხებს და ფიზიკურ პროცესებს. განვიხილავთ ასევე მზის ენერჯის გამოყენების ალტერნატიულ საშვალეზასაც წყლის გასათბობად, ფიზიკურ პროცესებს და ეფექტუროზას.

#### Annotation

### Sun use as alternative energy source

#### Tato Ubilava

In terms of increasing energy consumption, we are constantly looking for alternate sources that can be used to replace electricity. The future use of such approaches is more prosperous because of the use of such sources of energy is still much safer, and secondly it uses solar energy to achieve the goal.

The present work deals with the possibilities and means of using solar energy as an alternative source of energy. Here it is considered that traditional energy sources cause great problems in ecological terms and they are exhausted. Consider the principle of solar panel work, parameters and materials for high efficiency. We will consider the methods of creating PV technology and physical processes. We also consider alternate use of solar energy to warm water, physical processes and efficiency.

## სარჩევი

შესავალი .....	5
მზის პანელის მუშაობის პრინციპი.....	7
ელექტროდინამიკის საფუძვლები.....	10
ელექტრომაგნიტური რხევები.....	10
ბრტყელი ზედაპირის ოპტიკა.....	11
შთანთქმელი სხეულის ოპტიკა .....	12
უწყვეტობისა და პუასონის განტოლებას .....	13
მზის გამოსხივება .....	14
მზე.....	14
რადიომეტრიული თვისებები .....	15
შავი სხეულის გამოსხივება .....	17
ტალღურ-ნაწილაკური დუალიზმი .....	17
მზის სპექტრი.....	18
ძირითადი ნახევარგამტარული ფიზიკა.....	19
ატომის სტრუქტურა .....	19
დოპინგი.....	19
მზის პანელის პარამეტრები .....	21
მოკლე ჩართის დენის სიმკვრივე .....	21
პოტენციალთა სხვაობა.....	22
შევსების ფაქტორი.....	22
კონვერტაციის ეფექტურობა .....	23
ფოტოვოლტაჯის ტექნოლოგია(PV) .....	24
ცოტა რამ მზის პანელის შესახებ .....	24
კრისტალურად სილიკონირებული მზის პანელები .....	24
სილიკონის პანელის დამზადება .....	27
თხელი მზის პანელები.....	29
მესამე თაობის მზის პანელები.....	29
PV სისტემები .....	30
PV სისტემის ტიპები.....	30

PV სისტემის კომპონენტები.....	32
PV სისტემის ეკონომია და ეკოლოგია.....	32
მზის ენერჯის ალტერნატიული გამოყენება.....	34
მზით თერმული გათბობა.....	36
მზის თერმული კოლექტორი.....	37
სითბოს შენახვა.....	39
სისტემის დამზადება.....	40
დასკვნა.....	41
გამოყენებული ლიტერატურა.....	42

## შესავალი

ენერჯია უმნიშვნელოვანესია თანამედროვე მსოფლიოსათვის. ის გამოიყენება ადამიანის ყოველდღიურ ცხოვრებაში და ზალიან დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. იმისათვის რომ ჩვენმა ცივილიზაციამ არ განიცადოს დეგრადაცია საჭიროა ენერჯიის მოხმარების ზრდა. დედამიწის ენერჯო რესურსები შეზღუდილია, მისი მარაგები ამოწურვადია, აქ კი ჩნდება კითხვა როგორ განვაგრძოთ ენერჯიის მოხმარების ზრდა შეზღუდული რესურსების პირობებში?

ამ გლობალური ენერჯოპრობლემის ფონზე, გასაკვირი არაა, რომ გაიზარდა ამ თემაზე საუბარი მედია საშვალეებზე და სამეცნიერო ნაშრომებში, რომლებშიც პრობლემის გადაწყვეტად გვევლინება ალტერნატიული ენერჯიის წყაროები. ძალიან ბევრი ადამიანი თანხმდება რომ „განახლებადი“, „ეკოლოგიურად სუფთა“, „მწვანე“ ენერჯია მოაგვარებს არამარტო დღევანდელ, არამედ მომავლის ენერჯო და ეკოლოგიურ პრობლემებსაც.

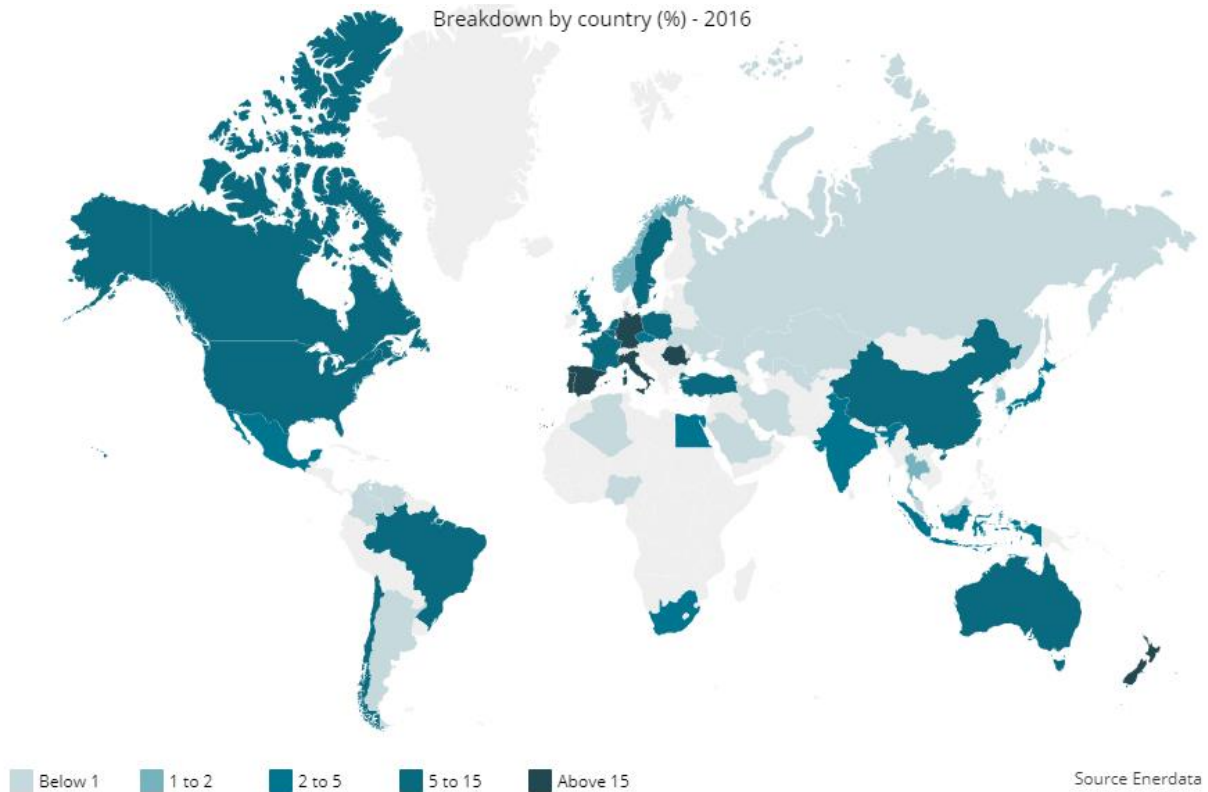
ენერჯიის ტრადიციულ წყაროებს მიეკუთვნება ქვანახშირი, ნავთობი და გაზი. მათი წვის შედეგად გარემოში გამოიყოფა გოგირდის დიოქსიდი (SO<sub>2</sub>), აზოტის ოქსიდი (NO<sub>x</sub>), ნახშიროჟანგი (CO<sub>2</sub>), მეთანი (CH<sub>4</sub>)... მათი საცხოვრებელ გარემოში დაგროვება უარყოფით გავლენას ახდენს ადამიანის ჯანმრთელობაზე, გარდა ამისა იწვევს გლობალურ დათბობასაც.

1959 წელთან შედარებით CO<sub>2</sub> ის შემცველობა გარემოში 2017 წლის მონაცემებით 400% ით გაიზარდა. ხოლო 2000 წელთან შედარებით 50% ით. ამ პერიოდის განმავლობაში გლობალურმა ტემპერატურის ცვლილებამ 1°C შეადგინა, რაც უამრავ პრობლემას ქმნის.

შვედმა მეცნიერმა სვანტე არჰენიუსმა ჯერ კიდევ 1896 წელს განაცხადა, რომ ტრადიციული ენერჯიის წყაროები გამოიწვევდა გლობალურ დათბობას. ეს საკითხი განსაკუთრებით აქტუალური მხოლოდ ბოლო რამდენიმე ათეული წელია რაც გახდა და დაიწო ალტერნატიული ენერჯო საშვალეების ათვისება. ალტერნატიული ენერჯიის გამოყენება საშვალეებს მოგვცემს ერთდროულად აღმოფხვრათ როგორც ენერჯიაზე გაზრდილი მოთხოვნილების ისე ეკელოგიური საფრთხეების პრობლემები. ალტერნატიული ენერჯიის წყაროებია წყალბადის ენერჯია, მოქცევის ენერჯია, ბიომასების ენერჯია, ქარის ენერჯია, გეოთერმული ენერჯია, ბიოსაწვავი, ტალღების ენერჯია და მზის ენერჯია. მსოფლიოს განვითარებული ქვეყნები აქტიურად მუშაობან რათა ჩანაცვლდეს ტრადიციული ენერჯო საშვალეები, იქმნება და ვითარდება ალტერნატიული ენერჯიის წყაროები, ყოველწლიურად იზრდება ამ ენერჯიის მოხმარება.

დღესდღეობით მსოფლიოში ეკონომიკის სხვადასხვა დარგში უფრო და უფრო მეტად იყენებენ ენერჯის არატრადიციულ ანუ ალტერნატიულ წყაროებს. ენერჯის ალტერნატიული წყარო უნდა იყოს განახლებადი, ნაკლებად აბინძურებდეს გარემოს და, რაც მთავარია, აგვარებდეს საწვავის პრობლემას, ამიტომ მსოფლიოს მრავალი ქვეყანა გარემოსდაცვითი და ამოწურვადი რესურსების შენარჩუნების მიზნით დიდ ყურადღებას აქცევს მზის, ქარის, წყლის, გეოთერმული ენერჯის გამოყენებას.

წარმოგიდგენთ მსოფლიო რუკას სადაც მოცემულია ქარისა და მზის ენერჯის გამოყენების მაშტაბები მთლიან ენექტროენერჯიასთან შედარებით.



ჩემი მოსხენება შეეხება მზის ენერჯის გამოყენებას როგორც ალტერნატიული ენერჯის წყაროსი.

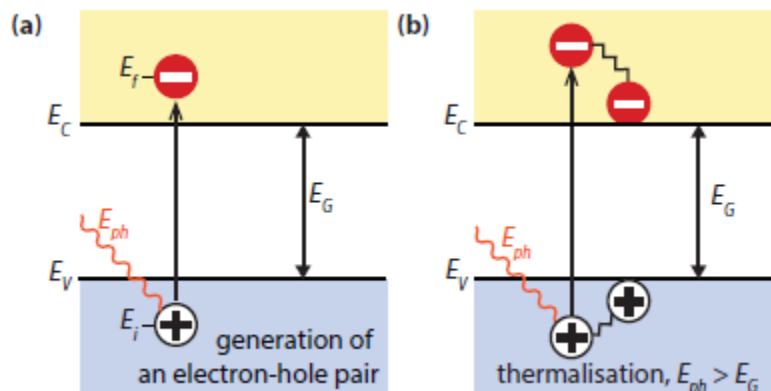
## მზის პანელის მუშაობის პრინციპი

მზის პანელის მუშაობის პრინციპი დაფუძნებულია ფოტოეფექტზე, რომელიც გამოწვეულია პოტენციალტა სხვაობით ორი განსხვავებული მატერიალის ურთიერთქმედებისას ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ზემოქმედებისას. Photovoltaic ეფექტი მჭიდროდაა დაკავშირებული ფოტოელექტრულ ეფექტთან, სადაც ელექტრონები ამოიტყორცნებიან იმ მასალიდან რომელზეც ზემოქმედებს სინათლის სხივი იმ სიხშირეზე მეტი სიხშირით რომელიც აიძულებს მატერიალს ამოტყორცნოს ელექტრონები. 1905 წელს ალბერტ აინშტაინი მიხვდა რომ ეს ეფექტი აიხსნება იმით რომ სინათლე შეიცავს განსაზღვრულ ენერჯის კვანტს, რომელსაც ფოტონი ეწოდება. ფოტონის ენერჯია გამოისახე ფორმულით:  $E = hv$ , სადაც  $h$  პლანკის მუდმივაა,  $v$  კი სინათლის სიხშირე. ფოტოელექტრული ეფექტის ახნის გამო აინშტაინმა მოიპოვა ნობელის პრემია 1921 წელს.

Photovoltaic ეფექტი შეიძლება დაიყოს სამ ძირითად პროცესად:

- მუხტის მატარებლების დაგროვება ფოტონების მატერიალზე ურთიერთქმედების შედეგად, რომელიც ქმნის შენაერთს.

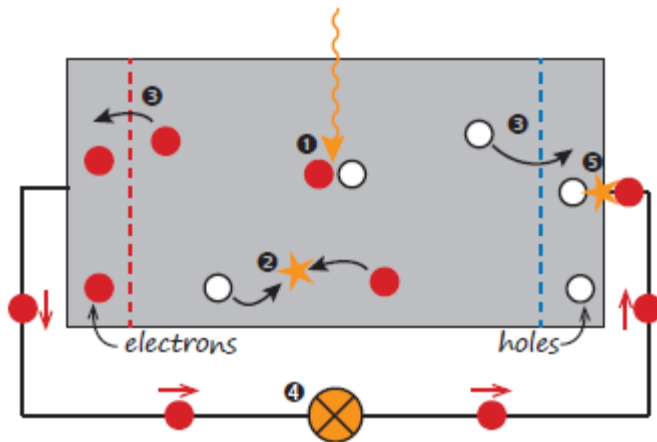
მატერიალის მიერ ენერჯის შთანთქმა ნიშნავს რომ, ენერჯია გამოიყენება იმისათვის რათა ელექტრონის ენერჯია შეიცვალოს  $E_i$  დან  $E_j$  მდე, გადავიდეს უფრო მაღალ ენერჯეტიკულ დონეზე, როგორც მოცემულია სურათზე



ფოტონი შთანთქმება მხოლოდ იმ შემთხვევაში თუ, ელექტრონის ერთი დონიდან მეორე დონეზე გადასვლის ენერჯია გაუტოლდება ფოტონის ენერჯიას,  $h\nu = E_f - E_i$ . იდეალური ნახევარგამტარის შემთხვევაში ელექტრონები შეავსებენ ვალენტური უბანს სრულად,  $E_v$ -ს, და მის ზემოთ არსებულ ზონას გამტარებლობის ზონას,  $E_c$ -ს. ამ ორ ზონას შორის აღარ არსებობს ისეთი ზონა სადაც ელექტრონებს შეეძლებატ ყოფნა. ენერჯის განსხვავებას ამ ზონებს შორის ეწოდება bandga,  $E_g = E_c - E_v$ . თუ ფოტონი რომელსაც ექნება ამ ენერჯიაზე ნაკლები მიაღწევს ნახევარგამტარს, ის აღარ შთანთქმება და გაივლის მატერიალს ზემოქმედების გარეშე.

რეალურ ნახევარგამტარებში, სავალენტო და გამტარებლობის ზონები არ არის ბრტყელი, და დამოკიდებული ეგრეთწოდებულ  $K$  ვექტორზე, რომელიც აღწერს კრისტალის ნახევარგამტარებლობის მომენტს. თუ მაქსიმალური სავალენტო და მინიმალური გამტარებლობის ზონა მოხვდება ამ  $K$  ვექტორზე, ელექტრონი გადავა სავალენტო ზონიდან გამტარებლობის ზონაში, კრისტალის მომენტის ცვლილების გარეშე. ნახევარგამტარი ეწოდება *direct bandgap* მატერიალს. თუ ელექტრონის ამოგდება შეუძლებელია კრისტალის მომენტის ცვლილების გარეშე, მაშინ ჩვენ ვსაუბრობთ *indirect bandgap* მატერიალზე. შთანთქმის კოეფიციენტი გაცელებით მეთია პირველ შემთხვევაში ვიდრე მეორეში.

თუ ელექტრონი გადავა  $E_i$  დან  $E_j$  ში, სიცარიელე წარმოიქმნება  $E_i$  ზონაში. ეს ხვრელი იქცევა როგორც დადებითად დამუხტული ნაწილაკი და ეწოდება ხვრელი. ფოტონის შთანთქმა წარმოქმნის ელექტრონ-ხვრელურ წყვილებს როგორც მოცემულია ნახაზზე.



ფოტონის რადიოაქტიული ენერგია გარდაიქმნება ელექტრო-ხვრელურ ქიმიურ ენერგიად. ტერმოდინამიკა საზღვრავს მაქსიმალურ გარდაქმნის ეფექტურობას რადიაციულიდან ქიმიური ენერგისაკენ. თერმოდინამიკული საზღვარი ტოლია 67% დან 86% მდე იმის მიხედვით არის თუ არა სინათლის სხივი კონცენტრირებული.

- შემდეგი გამოყოფა ფოტოგენერირებული მუხტის მატარებლების გადაკვეთაში

ჩვეულებრივ ელექტრო-ხვრელური წყვილები რეკომბინირებიან, ელექტრონი ბრუნდება საწყის ენერგო მდგომარეობაში როგორც სურათზეა მოცემული(2). რა დროსაც ელექტრონი ისევ გამოსხივდება როგორც ფოტონი ან გადაეცემა სხვა ელექტრონს ან ხვრელს ან მესრის რხევებს. იმიათვის რომ ელექტრო-ხვრელურმა წყვილმა წარმოქმნას მუშაობა გარე წრედში საწიროა, ნახევარგამტარული მემბრანა უნა იყოს მოთავსებული ორივე მხარეს. (semipermeable). ელექტრონს უნდა შეეძლოს მხოლოდ ერთი მემბრანიდან გასვლა ხოლო ხვრელს მეორე მემბრანიდან, როგორც ეს სურათზეა ნაჩვენები(3). ამისათვის მზის პანელებში ძირითადად გამოიყენება  $n$  და  $p$  ტიპის მატერიალი.



მზის პანელები უნდა დამზადდეს ისე რომ, ელექტრონებმა და ხვრელებმა უნდა მიაღწიონ მემბრანას მანამ სანამ ისინი, შევლენ რეაქციაში ერთმანეთთან, რეკომბინირდებიან. დრო რომელიც დამუხტული ნაწილაკისთვის მემბრანამდე მისაღწევად საჭირო ნაკლები უნდა იყოს მის სიცოცხლის ხანგრძლივობაზე. ეს ყოველივე კი მშტანტქმელის სისქეს ზრვარს უწესებს.

- ფოტოდამუხტული ნაწილაკების შეგროვება საკვანძო წერტილებში

საბოლოოდ დამუხტული ნაწილაკები გამოიყოფა მზის პანელებიდან ელექტრული კონტაქტის საშვალეებით, ნახ(4). ელექტრო ხვრელური წყვილის ქიმიური ენერგია გარდაიქმნება ელექტრულ ენერგიაში. მას შემდეგ რაც ელექტრონი გაივლის წრედს, ის დაუკავშირდება ხვრელს მეტალურ ზედაპირზე, როგორც ნახაზზე(5).

## ელექტროდინამიკის საფუძვლები

### ელექტრომაგნიტური რხევები

ელექტრომაგნიტური რხევები გამოსახება ფორმულით

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \mathbf{E} - \frac{n^2}{c_0^2} \left( \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \right) = 0$$

ელექტრული ველისთვის  $\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ , სადაც  $c_0$  არის სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში და  $n$  არის სხეულის გარდატეხის ინდექსი. მარტივად შეგვიძლია გამოვსახოთ ტალღის მოძრაობა მაგნიტური ველისთვის

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \mathbf{H} - \frac{n^2}{c_0^2} \left( \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} \right) = 0$$

პირველი გამოსახულების მარტივი ამოხსნა წარმოადგენს ჰარმონიული რხევის შემტხვევა როცა სინათლე მუდმივი ტალღის სიგრძით ვრცელდება ერთი მიმართულებით. დავუშვათ რომ სინათლე მოძრაობს  $z$  მიმართულებით დანაკარგების გარეშე. ელექტრული და მაგნიტური ველი ამ შემთხვევაში იქნება

$$\begin{aligned} \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) &= \mathbf{E}_0 e^{ik_z z - i\omega t}, \\ \mathbf{H}(\mathbf{r}, t) &= \mathbf{H}_0 e^{ik_z z - i\omega t}, \end{aligned}$$

სადაც  $\mathbf{E}_0$  და  $\mathbf{H}_0$  მუდმივი ვექტორებია,  $k_z$  არის ტალღის რიცხვი, და  $\omega$  არის კუთხური სიხშირე. ამ ფორმულების გამოყენებით ჩვენ ვნახავთ რომ  $k_z$  და  $\omega$  არიან დაკავშირებული

ერთმანეთთან შემდეგნაირად  $k_z^2 - \frac{n^2}{c_0^2} \omega^2 = 0$ . აქედან კი  $k_z = \frac{n\omega}{c}$ .

კუთხური სიხშირე ტალღის სიხშირესთან დაკავშირებულია შემდეგნაირად  $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$ .

სადაც  $T=1/\nu$  არის პერიოდი. ტალღის რიცხვი  $k_z$  დამოკიდებული ტალღის სიგრძე  $\lambda$  ზე

შემდეგნაირად  $\lambda = \frac{2\pi}{k_z} = \frac{2\pi c}{n\omega} = \frac{c}{n\nu}$  სადაც  $\nu$  და  $\omega$   $n$ -ისაგან დამოკიდებულია, როცა  $k$  და  $\lambda$  იცვლება  $n$  თან ერთად.

- ელექტრომაგნიტური ტალღის ვექტორები მართობული ერთმანეთისა და გავრცელების ვექტორის მიმართ.  $\mathbf{k} \cdot \mathbf{E}_0 = \mathbf{k} \cdot \mathbf{H}_0 = \mathbf{H}_0 \cdot \mathbf{E}_0 = 0$
- ელექტრულ და მაგნიტურ ვექტორებს აქვთ მიდმივი, მატერიაზე დამოკიდებული კოეფიციენტი. თუ ელექტრული რხევა მიმართულია  $x$ ის მიმართ, მაგნიტური რხევა

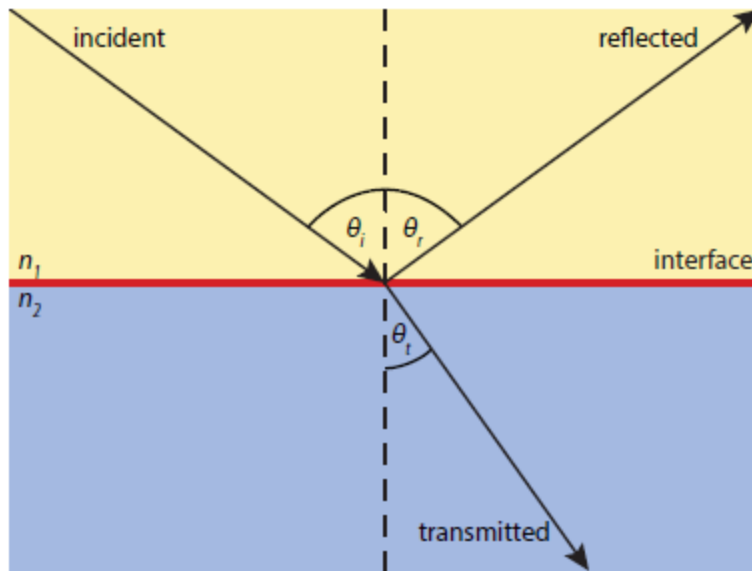
მიმართულია  $y$ ის გასწვრივ. ტანაფარდობა მოიცემა ასე

$$H_{y,0} = \frac{n}{c\mu_0} E_{x,0} = \frac{n}{Z_0} E_{x,0},$$

სადაც  $Z_0 = c\mu_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 376.7 \Omega$  არის ტავისუფალი სივრცის წინაღობა.

### ბრტყელი ზედაპირის ოპტიკა

ეხლა ჩვენ გავიხილავთ თუ როგორ ვრელდება ელექტრომაგნიტური ტალღა ერთი სივრციდან მეორეში გადასვლისას, როგორც ეს მოცემულია სურათზე, ავლნიშნოთ ეს სივრცეები  $n_1$  და  $n_2$ -ით.



სინათლის სხივის ნაწილი აირეკლება ისე რომ არეკვლის კუთხე ტოლია დაცემის კუთხისა.  
 $\theta_r = \theta_i$ .

ხოლო მეორე შემთხვევაში მეორე შემთხვევასი დაცემისა და გარდატეხის კუთხე დამოკიდებულია სნელისის კანონზე.  $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t$ .

დამოკიდებულება დაცემულ არეკლი და გარდატეხილ სხივს შორის გამოისახება ფრენსელის განტოლებით. ჩვენ გამოვოფთ პარარელურად და პერპენდიკურალურად პოლარიზებულ სინათლეს. ეს ნიშნავს რომ ელექტრული ველია რის პარალელურად ან პერპენდიკულარულად განაწილებული. პერპენდიკულარულად განაწილების შემთხვევასი გვაქვს

$$t_s = \left( \frac{E_{0t}}{E_{0i}} \right)_s = \frac{2 n_1 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_t},$$

$$r_s = \left( \frac{E_{0r}}{E_{0i}} \right)_s = \frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_t},$$

$$t_p = \left( \frac{E_{0t}}{E_{0i}} \right)_p = \frac{2 n_1 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_t + n_2 \cos \theta_i},$$

$$r_p = \left( \frac{E_{0r}}{E_{0i}} \right)_p = \frac{n_1 \cos \theta_t - n_2 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_t + n_2 \cos \theta_i}.$$

ხოლო პარალელურად გფავრცელებისთვის კი

ინტენსივობა პირდაპირპროპორციულია ელექტრული ველის კვადრატისა.  $I \propto \bar{E}^2$ . არაპოლარიზებული სინათლისთვის, ჩვენ უნდა ავიღოთ ორი ოლარიზაციის სშვალო მნიშვნელობა. გარდატეხისთვის R ცვენ გვაქვს

$$R = \frac{1}{2} (r_s^2 + r_p^2)$$

ნორმალურ შემთხვევაში

$$R(\theta_i = 0) = \left( \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2$$

ენერჯის შენახვის გამო, R-ის და T-ს გამტარებლობის ჯამი უნდა იყოს 1 ის ტოლი.  $R + T = 1$

ეხლა კი შეგვიზღია გამოვითვალოთ გამტარებლობა.

$$T = 1 - R = \frac{n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i} \frac{1}{2} (t_s^2 + t_p^2) \quad \text{რაც დაიყვანე} \quad T(\theta_i = 0) = \frac{4n_1 n_2}{(n_1 + n_2)^2} \quad \text{-ზე ნორმალურ}$$

შემთხვევაში. თუ  $n_2 > n_1$  გვაქვს კრიტიკული კუთხე რომლის შემდეგაც სხივს არ შეუძლია  $n_2$ .

$$\sin \theta_{\text{crit}} = \frac{n_1}{n_2}.$$

ეს კუთხე ტოლია

### შთანთქმელი სხეულის ოპტიკა

მზის პანელის მუშაობის პრინციპი დაფუძნებულია იმაზე რომ სინათლეს შთანთქავს მატერია და შთანთქმული სინათლე იწვევს მიხტების მოზრაობას.

შთანთქმელის ოპტიკური შესაძლებლობები აღიწერება კომპლექსური ელექტრული შეღწევადობის საშვალებით.  $\tilde{\epsilon} = \epsilon' + i\epsilon''$ . გარდატეხი ინდექსი მოიცემა როგორც კვადრატული ფესვი ელექტროშეღწევადობიდან  $\tilde{n} = \sqrt{\tilde{\epsilon}} = n + i\kappa$ , სადაც  $\kappa$  აირს წარმოსახვითი ნაწილი. აქედან გამომდინარე, რხევის რიცხვიც კომპლექსური რიცხვი ხდება

$$\tilde{k}_z = \frac{\tilde{n}\omega}{c} = \frac{n\omega}{c} + i\frac{\kappa\omega}{c} = k'_z + ik''_z.$$

ამ ფორმულისა და მაგნიტური ველის ფორმულის გამოყენებით კი ვირებთ რომ

$$E_x(z, t) = E_{x,0} \cdot e^{ik_z z - i\omega t} = E_{x,0} \cdot e^{-k''_z z} e^{ik'_z z - i\omega t}$$

ელექტრული ველი მცირდება ეხპონენციალურად როდესაც მოძრაობს შთანთქმელებში. გავითვალისწინოთ რომ ელექტრომაგნიტული ველი კვადრატულადაა პროპორციული ელექტრული ველის  $I(\mathbf{r}, t) \propto |\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)|^2$ .

ჩვენ შეგვიძლია განვსაზღვროთ ელექტრომაგნიტური რხევის ამოწურვის მომენტი

$I(z) = I_0 \exp(-2k''z) = I_0 \exp(-\alpha z)$  სადაც  $\alpha$  შთანთქმის კოეფიციენტი. ის სხვა წევრებზე დამოკიდებულია შემდეგნაირად  $\alpha = 2k'' = 2\frac{\kappa\omega}{c} = \frac{4\pi\kappa}{\lambda_0}$ , სადაც  $\lambda_0 = 2\pi c/\omega$  არის რხევის სიგრძე ვაკუუმში.

მნიშვნელობა რომელსაც ხშირად გამოიყენებენ სხეულის შთანთქმელობის შესაფასებლად განსაზღვრულ ტალღის სიგრძეზე ეწოდება შეღწევადობის სიღრმე და აღინიშნება  $\delta_p$ -თი.

$$\delta_p = \frac{1}{\alpha}.$$

### უწყვეტობისა და პუასონის განტოლებას

პუასონის განტოლება გამოსახავს ელექტრული მუხტების სიმჭიდროვის  $\rho(\mathbf{r})$  ის დამოკიდებულებას ელექტრულ პოტენციალთან  $U(\mathbf{r})$ .

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) U = -\frac{\rho}{\epsilon\epsilon_0}.$$

ჩვენ გამოვიყენებთ მხოლოდ ერთგანზომილებიან ფორმას

$$\frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = -\frac{\rho}{\epsilon\epsilon_0}$$

მუხტი ეს მუდმივი მნიშვნელობაა.  $V$  მოცულობაში მყოფი მუხტის ოდენობა შეიძლება შეიცვალოს მხოლოდ მისი  $S$  ზედაპირიდან მუხტის შემოდინებით. ეს გამოისახება ასე:

$$\frac{dQ_V}{dt} + \iint_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} = 0,$$

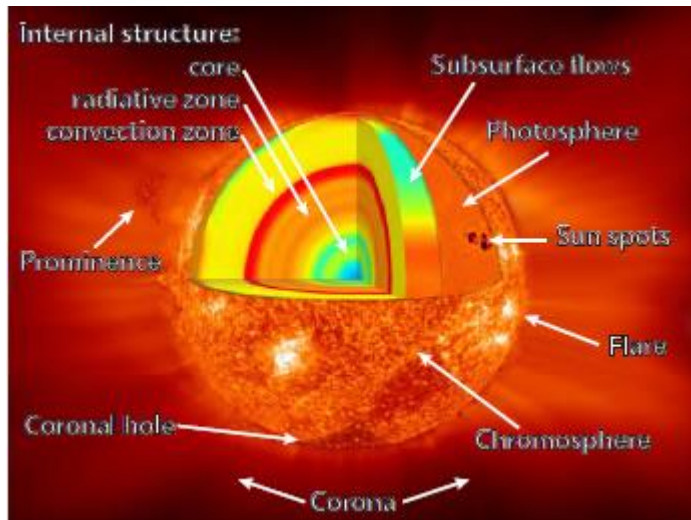
$$Q_V = \iiint_V \rho dV.$$

ინტეგრალური ფორმა კი მოიცემა ასე  $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \left( \frac{\partial J_x}{\partial x} + \frac{\partial J_y}{\partial y} + \frac{\partial J_z}{\partial z} \right) = 0,$

## მზის გამოსხივება

### მზე

მზე მზის სისტემის ცენტრალური ვარსკვლავია. ის ძირითადად შედგება წყალბადისა და ჰელიუმისაგან. მზის მასა იმდენად დიდია, რომ მასშია მოთავსებული მზის სისტემის მასის 99.68%. მზის ცენტრში წნევა და ტემპერატურა იმდენად მაღალია რომ მიმდინარეობს თერმობირთვული რეაქციები.



ძირითადად თერმობირთვული პროტონ-პროტონ რეაქციები მიმდინარეობს ოთხი პროტონის საშვალეობით ნაბიჯებად გარდაიქმნება

- ჰელიუმის ბირთვად (ორი პროტონი და ორი ნეიტრონი)
- 2 პოზიტრონად (ელექტრონის საწინააღმდეგო ნაწილაკებად)
- 2 ნეიტრონად
- ელექტრომაგნიტურ რადიაციად.

დამატებით რადიაციას იწვევს პოზიტრონის მიერ ელექტრონის შთანთქმვა. ჰელიუმის ბირთვის მასა ითხ პროტონთან შედარებით 0,635% ით ნაკლებია, მასის სხვაობა აინშტაინის ფორმულის გამოყენებით გარდაიქმნება ენერგიად.

$$E=mc^2$$

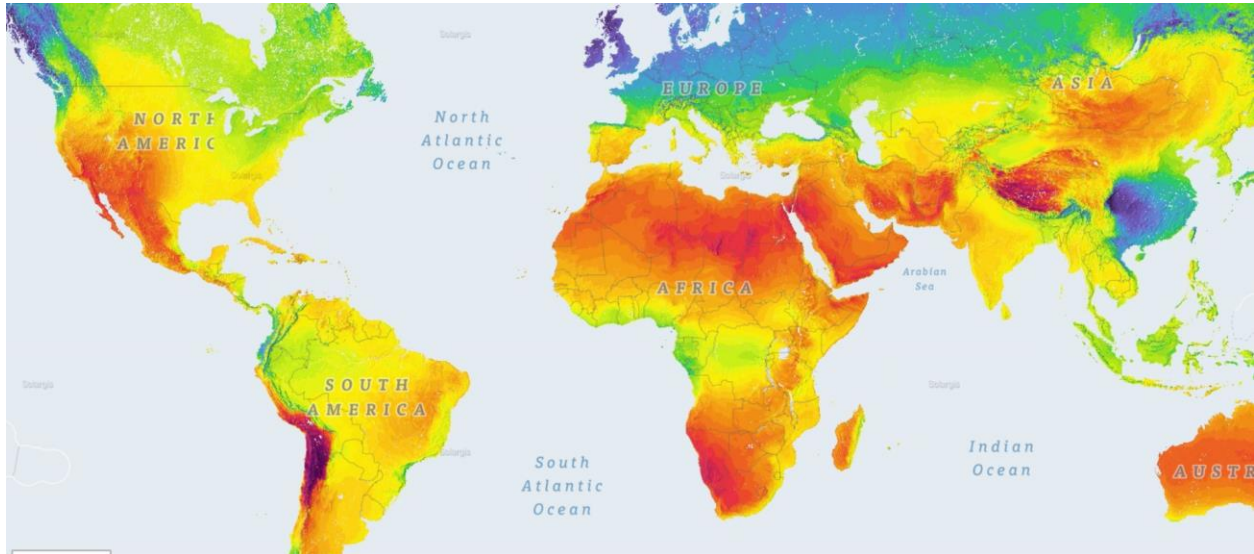
ყოველ წამს მსგავსად, 4 მილიონი ტონა გარდაიქმნება ენერგიად.

ნეიტრონები ძნელად ურთიერთქმედებენ მატერიასთან, ამიტომაც, მათ შეუძლიათ ყოველგვარი წინააღმდეგობის გარეშე დატოვონ მზის ბირთვი. ყოველ წამს,  $6,5 \cdot 10^{10}$  ნეიტრონი გაივლის ყოველს  $\text{cm}^2$  დედამიწაზე და ჩვენს სხეულში. ნეიტრონებს გადააქვთ 2% იმ ენერგიისა რომელსაც მზე ასხივებს.

დარჩენილი გამოსხივება კი გამოსხივდება როგორც ელექტრომაგნიტური გამოსხივება. მზის ცენტრი იმდენად მჭიდროა რომ რადიაციას არ შეუძლია გადაადგილდეს თავისუფლად, ის გამუდმებით შეიწოვება და რე-ემიტირდება, აქედან გამომდინარე 10 000 დან 170 000-მდეა საჭირო რათა მან მზის ზედაპირს მიაღწიოს. მზის ზედაპირს ფოტო-სფერო ეწოდება.

ტემპერატურა 6000K-ს შეადგენს. ის ენერგია რომელიც მზიდან დედამიწის მიმართულებით აღწევს არის მუდმივი და მას მზის მუდმივას უწოდებენ, რომელიც ტოლია 1361 W/სმ<sup>2</sup>-ის.

მზის გამოსხივების განაწილება დედამიწაზე მოცემულია შემდეგ სურათზე.



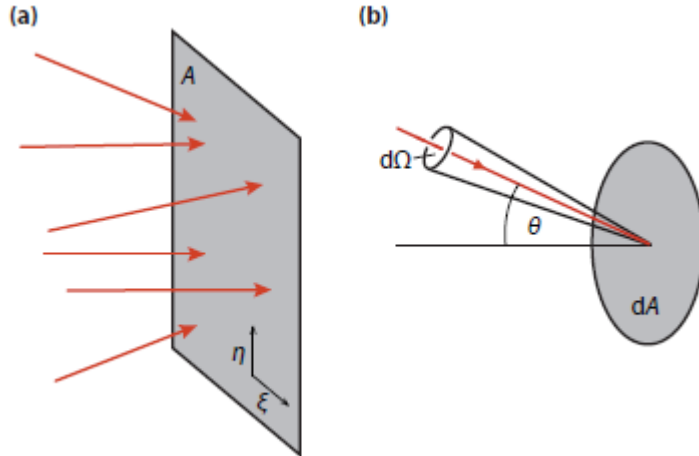
### რადიომეტრიული თვისებები

მანამ სანამ მზის სხივი გადაიქსეოდეს ელექტრულ ენერგიად, საჭიროა გავიგოთ თუ როგორ სინათლის ენერგია როგორაა გამოხატული ფიზიკურად და მათემატიკურად.

ჩვენ შემთხვევაში არაა მნიშვნელოვანი მთლიანი ენერგია, მხოლოდ ერთეულზე მოსული ენერგია გვინტერესებს. ამისთვის გამოვიყენებთ ძალას რომელიც მოიცემა შემდეგნაირად.

$$P = \frac{dE}{dt}$$





ჩვენ ვიყენებთ რაღაც  $A$  სიბრტყეს ჩვენი მსჯელობისათვის. იმისათვის რომ განვსაზღვროთ ზედაპირის მიერ შთანთქმული სრული ენერგია, ჩვენ უნდა გავაინტეგრავთ სრული ზედაპირი. ასევე უნდა გავითვალისწინოთ რომ სხივი ეცემა სხვადასხვა მიმართულებიდან. რომლის პარამეტრებიც მოიცემა სფერულ კოორდინატებში.  $(\theta, \phi)$ . თეორიულად ჩვენ ვირებთ რომ

$$P = \int_A \int_{2\pi} L_e \cos \theta \, d\Omega \, dA.$$

Le მნიშვნელობას ეწოდება სიკაშკაშე.

ის ფაქტი რომ გვაქვს  $\cos \theta$  გვეუბნება რომ ტავისთავად  $A$  არ არის რელევანტური ეს ცნობილია როგორც ლამბერტის კანონი.

ჩვენ შეგვიძლია წინა გამოსახულება გამოვსახოთ როგორც კოორდინატების და მიმართულებების ინტეგრალი.

$$P = \int_A \int_{2\pi} L_e(\xi, \eta; \theta, \phi) \cos \theta \sin \theta \, d\theta \, d\phi \, d\xi \, d\eta.$$

იმის გამო რომ მზის სხივი შეიცავს სინათლის სხვადასხვა სიხშირეს, უნდა გამოვიყენოთ სპექტრული მნიშვნელობები. რომელიც მოიცემა ასე

$$P_\nu = \frac{dP}{d\nu}, \quad P_\lambda = \frac{dP}{d\lambda},$$

$$L_{e\nu} = \frac{dL_e}{d\nu}, \quad L_{e\lambda} = \frac{dL_e}{d\lambda},$$

იმის გამო რომ ტალღის სიგრძე და სიხშირე დაკავშირებულია ერთმანეთთან შემდეგნაირად  $\nu\lambda = c$ ,  $P_\nu$  და  $P_\lambda$  დამოკიდებულია ერთმანეთთან ასე



$$P_\nu = \frac{dP}{d\nu} = \frac{dP}{d\lambda} \frac{d\lambda}{d\nu} = P_\lambda \cdot \left(-\frac{c}{\nu^2}\right)$$

ასევეა  $L_\nu$  და  $L_\lambda$ .

სპექტრის ძალა მოცემულ ტალღის სიგრძეზე შეიძლება განისაზღვროს ასე

$$P_\lambda = \int_A \int_{2\pi} L_{e\lambda} \cos \theta \, d\Omega \, dA,$$

ხოლო სიკაშკაშე შემდეგნაირად  $L_e = \frac{1}{\cos \theta} \frac{\partial^4 P}{\partial A \partial \Omega^2}$ .

### შავი სხეულის გამოსხივება

აბსოლუტურად შავი სხეული — იდეალიზირებულ ფიზიკური სხეული, რომელიც მასზე დაცემულ ყველა სიხშირის ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას მთლიანად შთანთქავს და არაფერს ირეკლავს. შავი სხეულის გამოსხივებას ახასიათებს უწყვეტი სპექტრი და გამოსხივების ინტენსივობა დამოკიდებულია მხოლოდ სხეულის ტემპერატურაზე. 1900 წელს გერმანელმა ფიზიკოსმა მაქს პლანკმა მიიღო შავი სხეულის გამოსხივების აღმწერი ფორმულა

$$B_\lambda(T) = \frac{2c^2}{\lambda^5} \frac{h}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}, \quad B_\nu(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

სადაც  $h$  არის პლანკის მუდმივა. პლანკმა ეს ფორმულა მიიღო იმ დაშვების მერე, რომ ნებისმიერი სიხშირისთვის გამოსხივების ენერგია არის გარკვეული ფუნდამენტალური ენერგიების, კვანტების, ერთობლიობა. თითოეული კვანტის ენერგია არის

$$E = h\nu$$

სადაც  $\nu$  არის გამოსხივების სიხშირე. პლანკის კანონს არ აქვს ულტრაიისფერი კატასტროფის პრობლემა და კარგად ემთხვევა ექსპერიმენტზე დანახულ შედეგს.

### ტალღურ-ნაწილაკური დუალიზმი

სინათლე, რომელიც ჩვენს წარმოდგენაში ტალღას წარმოადგენს, ისე იქცევა თითქოს ნაწილაკების(ფოტონების) ნაკადს წარმოადგენდეს, ხოლო ელემენტარული ნაწილაკები, როგორცაა ელექტრონი და მასიური პროტონიც კი, ტალღურ თვისებებს ავლენენ. კვანტური ობიექტი შეგვიძლია წარმოვადგინოთ როგორც ნაწილაკი ან როგორც ტალღა და ეს წარმოდგენები არ ეწინააღმდეგება ერთმანეთს – ისინი ერთმანეთს ავსებენ, რაზეც თვითონ პრინციპის სახელიც მეტყველებს. სინათლე კვანტების ენერგიის სახით მოედინება რომლის ენერგია ტოლია

$$E_{ph} = h\nu.$$

## მზის სპექტრი

მხოლოდ გარკვეული ენერჯის მქონე ფოტონებს შეუძლიათ ელექტრონ ხვრელური წყვილების წარმოქმნა ნახევარგამტარში. მნიშვნელოვანია ვიცოდეთ მზის გამოსხივების სპექტრული განაწილება. მზის გამოსხივების გამოსახატავად გამოიყენება ორი მნიშვნელოვანი სპექტრული დასხივება  $I_e\lambda$  და ფოტონის სპექტრული ნაკადი  $\Phi_{ph}(\lambda)$ .

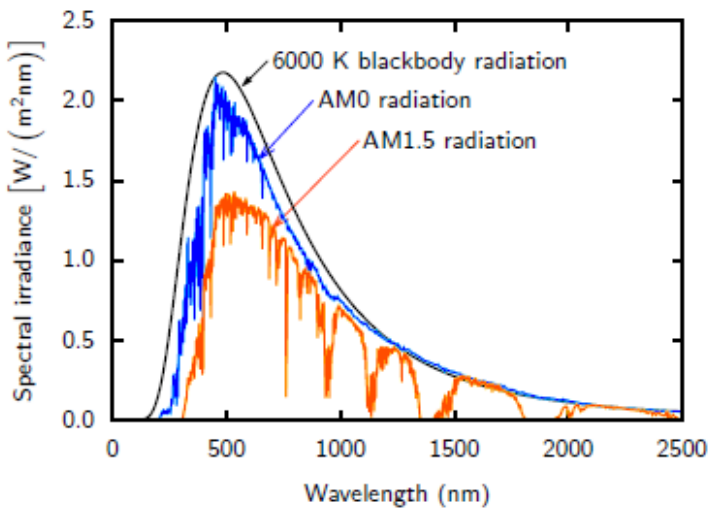
მზის ზედაპირის ტემპერატურა 6000 K-ს შეადგენს. წარმოვიფიქროთ ის როგორც აბსოლუტურად შავი სხეული. ამ შემთხვევაში შეგვეძლება გამოვტვალოთ მზის ზომის შავი სხეულის მიერ დედამიწის დასხივება, და ამასთან გავითვალისწინოთ მისი მოძრაობაც.

$$\Omega_{Sun} = \pi \left( \frac{R_{Sun}}{AU - R_{Earth}} \right)^2$$

მზის რადიუსი  $R_{sun}=696000$ კმ, ასტრონომიული ერთეული  $AU=149600000$  კმ,  $R_{ear}=6370$  კმ

$$\Omega_{Sun} \approx 68 \mu sr.$$

შავი სხეულის სპექტრი ნაჩვენებია გრაფიკზე.



AM0 არის სპექტრის ატმოსფეროს გარეთ. როდესაც გამოსხივება შემოაღწევს ატმოსფეროში ის შთაინთქმება გარკვეულწილად. მნიშვნელოვანია ის მანძილი რომელიც მსემ უნდა გაიაროს ატმოსფეროში. მანძილი ყველაზე მოკლეა მაშინ როცა მზე ზენიტშია. აირის ოპტიკური მასის სახელიტა ცნობილი ეს მანძილი. როდესაც მზე ზენიტშია აირის ოპტიკური მასა მუდმივია და სპექტრს ეწოდება AM1. AM ის გამოსათვლელი ფორმულა

$$AM := \frac{1}{\cos \theta}.$$

მაგალითად როცა მზე ზენიტიდან  $60^\circ$  ზეა და ჰორიზონტიდან  $30^\circ$  ზე მაშინ ვიღებთ AM2 სპექტრს. ინდუსტრიული სტანდარტი არის AM1.5  $48.2^\circ$ -ზე.

## ძირითადი ნახევარგამტარული ფიზიკა

### ატომის სტრუქტურა

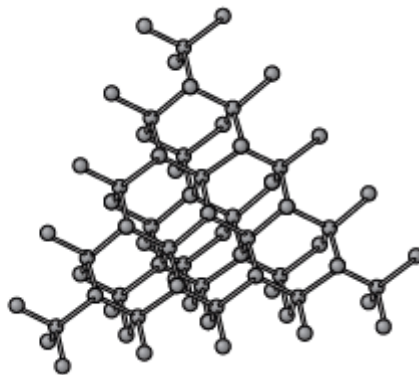
აილიკონის ატომური ნომერია 14. რაც ნიშნავს რომ 14 ელექტრონი მოძრაობს ბირთვის გარშემო ორბიტაზე. პირველ ორბიტაზე 2 ელექტრონია 1S ორბიტალზე. შემდეგ ორბიტალზე 8 ელექტრონია 2 2S და 6 2P ორბიტალზე. Si-ის გარე ორბიტაზე კი მოძრაობს ოთხი ელექტრონი.

მხოლოდ ეს ოთხი ელექტრონი ამყარებს კავშირს სხვა ატომებთან, მათ ვალენტური ელექტრონები ეწოდებათ. მაშინ როცა Si-ის ატომებს აქვთ 4 თავისუფალი ელექტრონი მათ შეუძლიათ კოვალენტურად დაუკავშირდნენ სხვა ოთხ Si-ის ატომს.

(a)



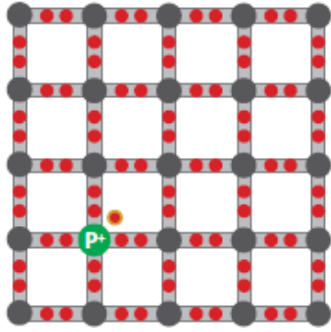
(b)



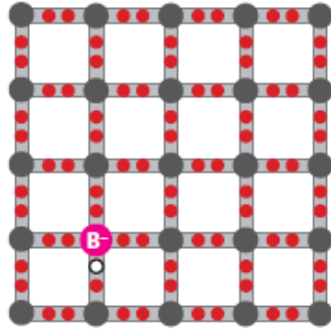
### დოპინგი

დოპინგის საშუალებით შესაძლებელია Si-ში ელექტრონების და ხვრელების კონცენტრაცია. სილიკონის დოპინგი ნიშნავს რომ, სხვა ელემენტის ატომები ცვლიან Si-ის ატომებს კრისტალურ მესერში. ჩანაცვლება უნდა მოხდეს სამ ან ოთხ ვალენტიანი ატომებით. ყველაზე ხშირას Si-ის დოპინგისათვის იყენებენ ბორონს (B) და ფოსფორს (P) ატომური ნომრით 5 და 15. ეს პროცესი გამოსახულია შემდეგ სურათზე.

(a)

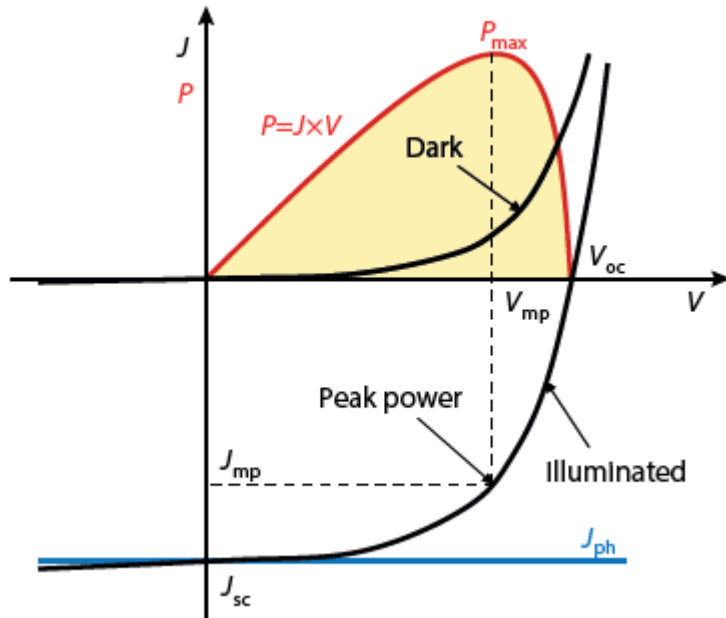


(b)



## მზის პანელის პარამეტრები

ძირითადი პარამეტრები რომელიც ახაიათებს მზის პანელს, ესენია პიკური ენერგია  $P_{max}$ , მოკლე ჩართვის დენის სიმკვრივე  $J_{sc}$ , პოტენციალთა სხვაობა  $V_{oc}$  და შევსების ფაქტორი  $FF$ . ეს პარამეტრები განისაზღვრება  $J-V$  დამოკიდებულებიდან რომელიც გამოსახულია გრაფიკზე.



გარდაქმნის ეფექტურობა ი განისაზღვრება ამ პარამეტრებიდან.

### მოკლე ჩართვის დენის სიმკვრივე

მოკლე ჩართვის დენი  $J_{sc}$  ის დენია რომელიც აღიძვრება გარე წრედში როდესაც მზის პანელის ელექტროდები მოკლე ჩართვას იწვევს. მზის პანელის მოკლე ჩართვის დენი დამოკიდებულია ფოტონების დინების სიმჭიდროვეზე მზის პანელზე, რომელიც განისაზღვრება სინათლის სპექტრიდან.  $J_{sc}$  დამოკიდებულია მზის პანელის ფართობზე. იმუათვის რომ მოიხსნას ფართობის დამოკიდებულება  $J_{sc}$  ზე, ხშირად გამოიყენება მოკლე-ჩართვის დენის სიმჭიდროვე რათა აღიწეროს მაქსიმალური დენის მნიშვნელობა მიღებული მზის პანელის მიერ. მაქსიმალური დენის მნიშვნელობა მჭიდროდაა დამოკიდებული მზის პანელის ოპტიკურ შესაძლებლობებზე. საუკეთესო შემთხვევაში  $J_{sc}$  ტოლია  $J_{ph}$  რომელიც მარტივად გამოისახება ფორმულიდან

$$\begin{aligned}
 J(V_a) &= J_{rec}(V_a) - J_{gen}(V_a) - J_{ph} \\
 &= J_0 \left[ \exp\left(\frac{eV_a}{kT}\right) - 1 \right] - J_{ph}
 \end{aligned}
 \tag{1.1}$$

$J_{ph}$  შეიძლება გამოისახოს ფორმულიდან  $J_{ph} = eG(L_N + W + L_P)$ , (1.2)????????????????????

### პოტენციალთა სხვაობა

პოტენციალთა სხვაობა არის იმ ძაბვის მნიშვნელობა რომელზეც დენი არ შემოდის გარე წრედიდან. ეს მარის მაქსიმალური ძაბვა რომელიც მზის პანელს შეუძლია აწარმოოს.  $V_{oc}$  შეესაბამება კონპენსაციის ძაბვას, როდესაც ფოტოდენი აკომპენსირებს მუქ დენს.  $V_{oc}$  დამოკიდებულია პოტოდენის წარმოქმნის სიმჭიდროვეზე და გამოითვლება ფორმულით 1.1 იმის გათვალისწინებით რომ ქსელში დენი ნულია.

$$V_{oc} = \frac{kT}{e} \ln \left( \frac{J_{ph}}{J_0} + 1 \right) \quad (1.3)$$

გამოსახულებიდან ვხედავთ რომ  $V_{oc}$  დამოკიდებულია მზის პანელის დენის ინტენსივობასა და ფოტოდენის გამომუშავებაზე. როცა  $J_{ph}$  იცვლება მცირედით გვაქვს ნაჯერობის დენი. ნაჯერობის დენის სიმკვრივე დამოკიდებულია გარდაქმნაზე მზის პანელში. თეორიულად  $V_{oc}$  არის მოწყობილობაში გარდაქმნის ზომის მაჩვენებელი. ლაბორატორიულად სილიციუმ კრისტალის მზის პანელის  $V_{oc}$  შეადგენს 720mV –ს როდესაც კომერციული პანელებისთვის ის ტოლია 600mV-სი.

### შევსების ფაქტორი

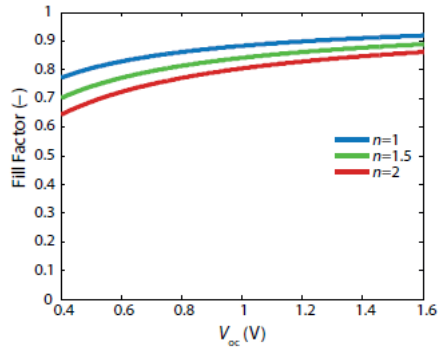
შევსების ფაქტორი არის დამოკიდებულება მაქსიმალურ ენერგიას და  $V_{oc}$   $J_{sc}$  დამოკიდებულებას შორის.

$$FF = \frac{J_{mp} V_{mp}}{J_{sc} V_{oc}} \quad (1.4)$$

იმის გათვალისწინებით რომ მზის პანელი იქცევა როგორც იდეალური დიოდი, შევსების ფაქტორი შეიძლება გამოისახოს როგორც პოტენციალთა სხვაობის ფინქცია

$$FF = \frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)}{v_{oc} + 1}, \quad (1.5)$$

სადაც  $v_{oc} = V_{oc} \cdot e / (kT)$  არის ნორმალური ძაბვა. 1,5 ფორმულა არის კარგი მიახლოება FF მნიშვნელობისა როცა  $V_{oc} > 10$ -ზე. FF როგორც  $V_{oc}$ -ს ფუნქცია მოცემულია ნახაზზე.



ნახაზიდან ჩანს რომ FF არ იცვლება ისე სწრაფად Voc-ს ცვლილებასთან ერთად. მზის პანელში მზის კონკრეტული შთანთქმით, Voc ში დიდი განსხვავება არ გვხვდება. მაგალითად, სტანდარტული განათების პირობებში, პოტენციალთა სხვაობებს შორის განსხვავება სილიკონის ლაბორატორიულ მოწყობილობასა და კომერციულ პანელს შორის არის 120mV, რომელიც გვაძლევს შევსების ფაქტორს შესაბამისად 0,85 და 0,83. ასე რომ, განსხვავება მაქსიმალურ FF შორის შეიძლება იყოს მნიშვნელოვანი პანელისათვის რომელიც დამზადებულია განსხვავებული მატერიალით. მაგალითად, GaAs მზის პანელის FF ტოლია 0,89-ის. პრაქტიკაში მზის პანელის მუქი დიოდების დენი არ ემორჩილება

$$\begin{aligned}
 J(V_a) &= J_{\text{rec}}(V_a) - J_{\text{gen}}(V_a) \\
 &= J_0 \left[ \exp\left(\frac{eV_a}{kT}\right) - 1 \right],
 \end{aligned}
 \tag{1,6}$$

ბოლცმანის მიახლოებას.

ნახაზი გვაჩვენებს ასევე რომ მნიშვნელოვანია დიოდის იდეალურობა როცა შემოგვაქვს ნორმალური ძაბვა ფორმულაში 1,5.

### კონვერტაციის ეფექტურობა

კონვერტაციის ეფექტურობა გამოითვლება დამოკიდებულებით მაქსიმალურ ენერჯის წარმოქმნასა და წარმოქმნილ ენერჯის შორის. გამოსხივების მნიშვნელობა  $P_{\text{in}} 1000\text{W}/\text{m}^2$  ზე AM1.5 სპექტით გახდა სტანდარტი კონვერტაციის ეფექტურობის განსაზღვრისათვის, მზის პანელში.

$$\eta = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{in}}} = \frac{J_{\text{mp}} V_{\text{mp}}}{P_{\text{in}}} = \frac{J_{\text{sc}} V_{\text{oc}} FF}{P_{\text{in}}}.
 \tag{1,7}$$

კრისტალური სილიკონის მზის პანელისათვის მაშინ როცა  $J_{\text{sc}} \sim 35\text{mA}/\text{cm}^2$ , Voc მეტია 0,65V ზე და FF არის 0,75 და 0,80 შორის კონვერტაციის ეფექტურობა შეადგენს 17-18%-ს.

## ფოტოვოლტაჯის ტექნოლოგია(PV)

### ცოტა რამ მზის პანელის შესახებ

ჯერ კიდევ ზველი წელთაღრიცხვით მეშვიდე საუკუნეში იყენებდნენ, გამადიდებელი შუშით კონცენტრირებულ მზის სხივს ცეცხლის დასანთებად. მოგვიანებით ძველი ბერძნები და რომაელებიც იყენებდნენ შუშას იგივე მიზნებით.

მეთვრამეტე საუკუნეში შვეიცარიელმა მეცნიერმა ჰორაციო ბენედიქტ დე საცურმა შექმნა მინიატურული მწვანე სახლის ტიპის ყუთი. ის შეიცავდა სხვადასხვა ზომის შუშის ყუთებს, სადაც ტემპერატურა 108C აღწევდა და შეიძლებოდა საჭმლის მომზადებაც კი.

1839 წელს ფრანგმა მეცნიერმა ალექსანდრე ბეკერელმა აღმოაჩინა ფოტოვოლტაჯია ჯერ კიდევ 19 წ ასაკში.

1876 წელს ბრიტანელმა მეცნიერმა ვილიამს გრილს ადამსა მის სტუდენტთან ერთად დემონსტრირება გაუკეთა ფოტოვოლტაჯის ეფექტს, რომელიც დაფუძნებული იყო პლატინისა და სელენიუმის გამოყენებაზე. ძალიან დაბალი შედეგი აჩვენა ამ მეთოდმა.

1887 წელს გერმანელმა მეცნიერმა ჰერცმა აღმოაჩინა ფოტო-ელექტრული ეფექტი. ამ ეფექტით ელექტრონები ემიტირდებოდნენ იმ მატერიალზე რასაც სინათლის სხივი ეცემოდა.

1905 წელს ალბერტ აინშტაინმა ახსნა ფოტოელექტრული ეფექტი, როგორც კუანტების ენერგია, რასაც დღეს ფოტონი ეწოდება.

1918 წელს პოლონელმა მეცნიერმა იან ჩორჩალსკიმ შეიმუშავა მაღალი ხარისხის კრისტალური მატერიალის შექმნის მეთოდი.

1953 წელს ამერიკელმა მეცნიერმა დენ ტრივიჩმა პირველმა დააკავშირა მზის პანელის მუშაობის ხარისხი მატერიალის გუმტარებლობის ზონასთან.

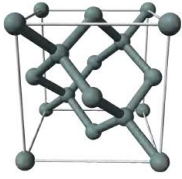
პირველი ნამდვილი მზის პანელი კი შეიმუშავეს ამერიკელმა მეცნიერებმა 1954 წელს ბელის ლაბორატორიაში. მეცნიერებმა დერილ ჩაპინმა, კევინ ფულერმა და გერალდ პირსონმა შექმნეს მზის პანელის 6%იანი ეფექტურობით.

### კრისტალურად სილიკონირებული მზის პანელები

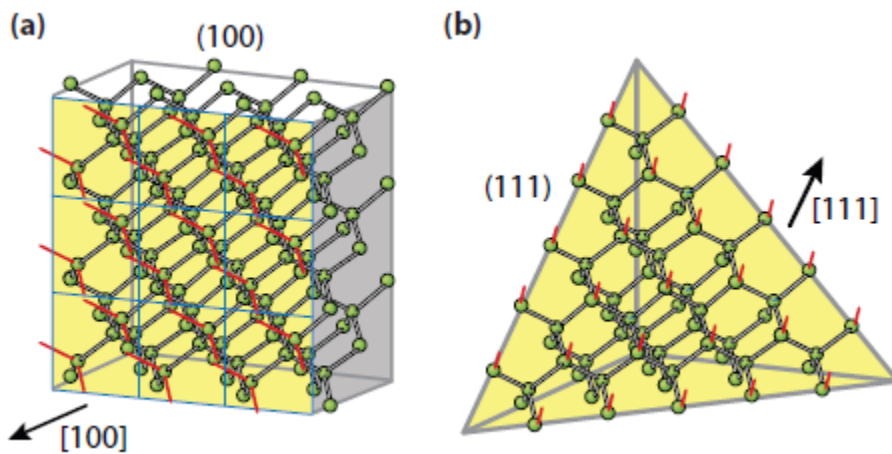
კრისტალური სილიკონი

მესერში ატომები განლაგებული არიან რაღაც თანმიმდევრობით, და მეორებიან.



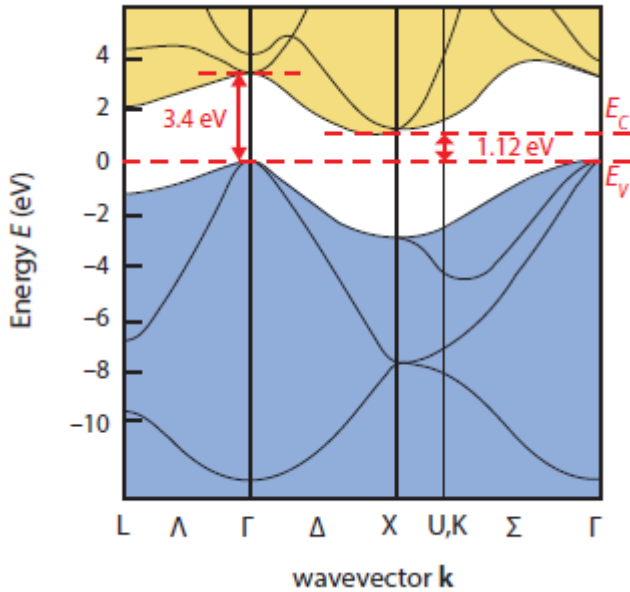


კრისტალური სილიკონის სიმჭიდროვე ტოლია  $2,390 \text{ გ/სმ}^3$  და ალმასის კუბის კრისტალური სტრუქტურა. სურათზე მოცემულია ორი სხვადასხვა ნაწილი. რომელიც თავდაპირველად შედგებოდა სამ-სამი უჯრედისაგან.



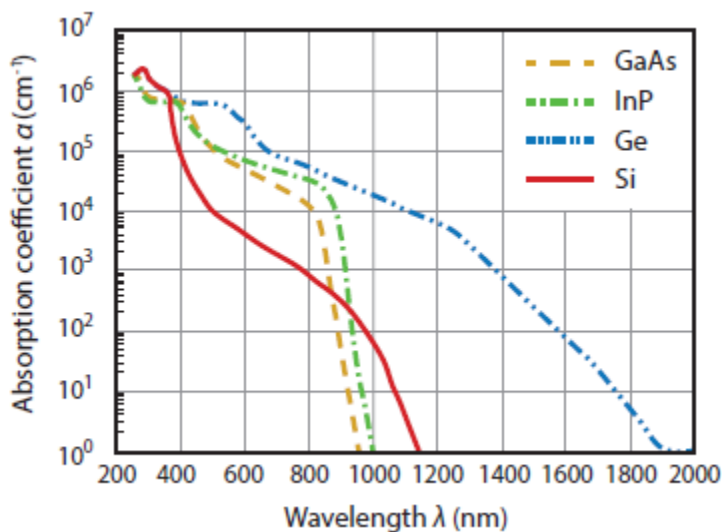
პირველ სურათზე მოცემულია 100 მიმართულება, ამ მიმართულებაზე Si-ის ატომებს აქვთ ორი ვალენტური ელექტრონი. ხოლო მეორე შემთხვევაში გვაქვს 111 მიმართულება 1 ვალენტურ ელექტრონით.

მიმართულებების მნიშვნელობის უკეთ გასაგებად, განვიხილოთ ელექტრონული დისპერსიის დიაგრამა სილიკონისათვის.



ვერტიკალურ ღერძზე ნაჩვენებია ვალენტობისა და გამტარობის ენერჯის მნიშვნელობა. ჰორიზონტალურ ღერძზე ნაჩვენებია კრისტალის მომენტი ანუ დამუხტული მატარებლის მომენტი. თეთრი ნაწილი გვიჩვენებს აკრძალული ზონის ენერჯის მნიშვნელობას. ჩვენ ვხედავთ რომ ყველაზე დაბალი ენერჯიაა საჭირო ვალენტურების მისაღწევად X-ის შემთხვევაში რომელიც 100 მიმართულებას შეესაბამება. ხოლო ყველაზე მეტი ენერჯიაა საჭირო  $\Gamma$  შემთხვევაში.

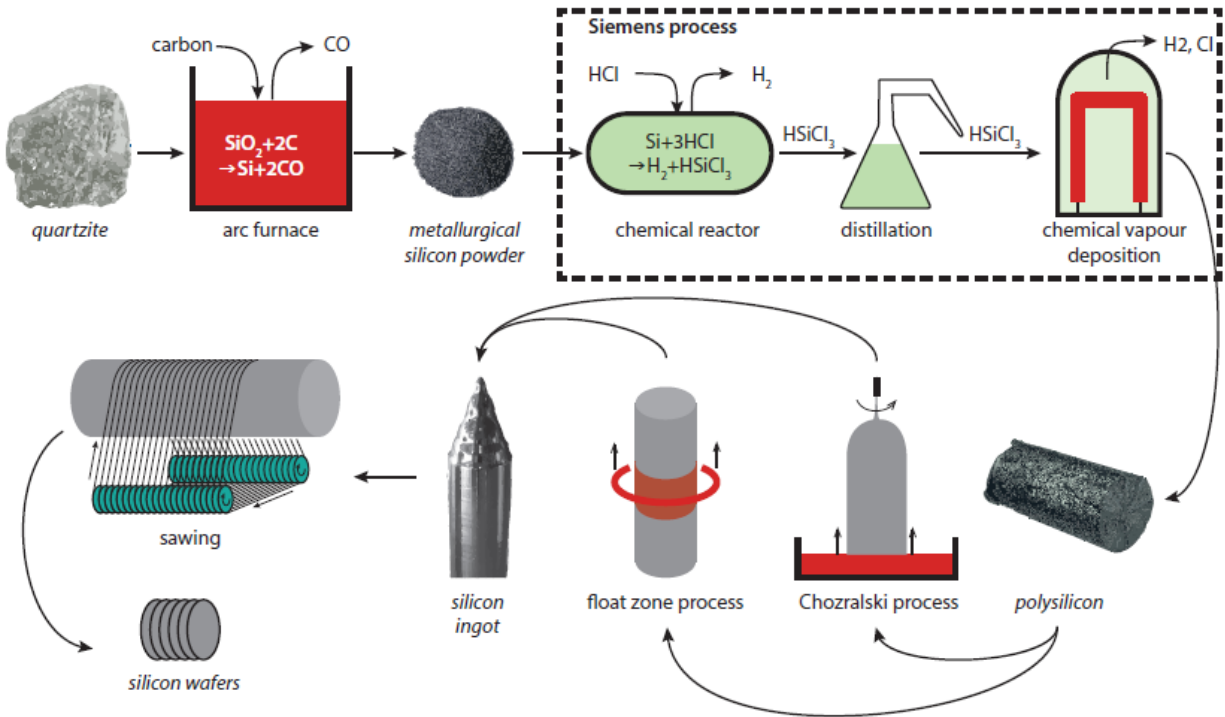
ნახაზზე მოცემულია აბსორბციის კოეფიციენტები სხვადასხვა მატერიალისათვის.



როგორც ვხედავთ სპექტრის ნაწილში Si-ის აბსორბციის კოეფიციენტი ნაკლებია GaAs და InP-ს კოეფიციენტზე, რომელიც 3645მ ის შემდეგაა.

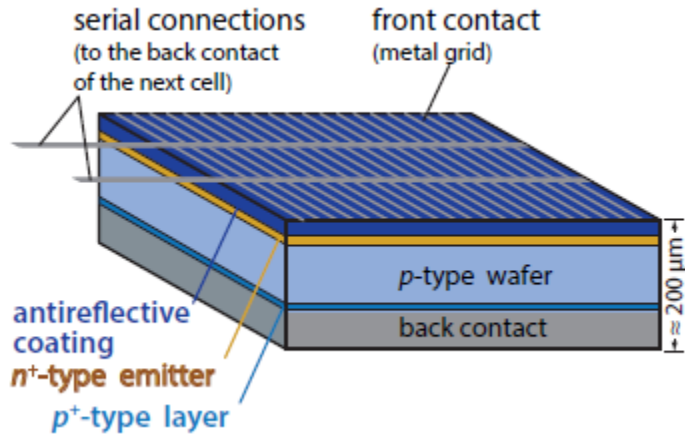
## სილიკონის პანელის დამზადება

ყველაზე დაბალი ხარისხის სილიკონის პანელი მზადდება კვარცისგან. კვარციტი ქვაა რომელიც შეიცავს სილიციუმის დიოქსიდს. (SiO<sub>2</sub>). სილიციუმის მისაღებად კვარც ათავსებენ სითხეში და 1900 ცელსიუსზე ადნობენ მას.

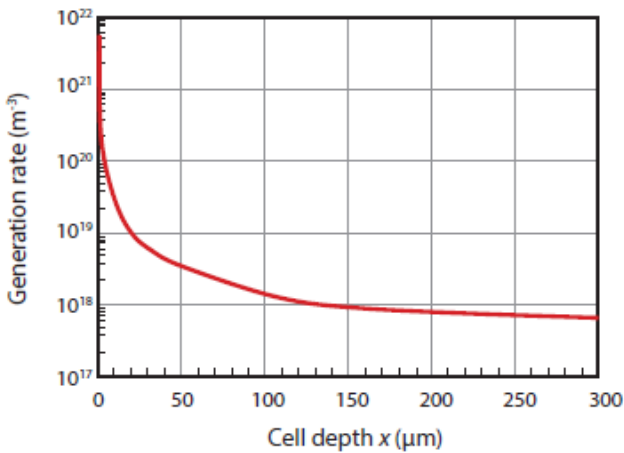


შემდეგ გამდნარ კვარც ურევენ კარბონს, რომელიც შედის რეაქციაში. რეაქციის შედეგი კი სურათზე ჩანს. ამის შემდეგ გვრჩება სილიციუმის ფხვნილი, რომელიც 98 99 %-ს შეადგენს.

შემდეგ მდგომარეობაში სილიციუმს ეწოდება პოლისილიციუმი. ის წარმოიქმნება სილიციუმის ფხვნილისგან სიემენსის პროცესისას. ამ პროცესისას ფხვილი თავსდება ჰიდროგენ ქლორიდთან ერთად რეაქტორში მაღალ ტემპერატურაზე პროცესის კატალიზაციისთვის. რის შედეგადაც წარმოიქმნება ტრიქლოროსილანი. დისტილაციის საშუალებით ეს ნივთიერებები შორდებიან ერთმანეთს. შემდეგ რეაქტორში ტრიქლოროსილანი ორთქლდება ისევ და ერევა ჰიდროგენის გაზს. აქ მირებული ნივთიერება დეკომპოზიციას განიცდის მარალი ტემპერატურის წნელებში. ამ დროს ქლორინის და ჰიდროგენის ატომები გადადიან ისევ გაზის მდგომარეობაში. საბოლოოდ კი ვიღებთ პოლისილიციუმს.



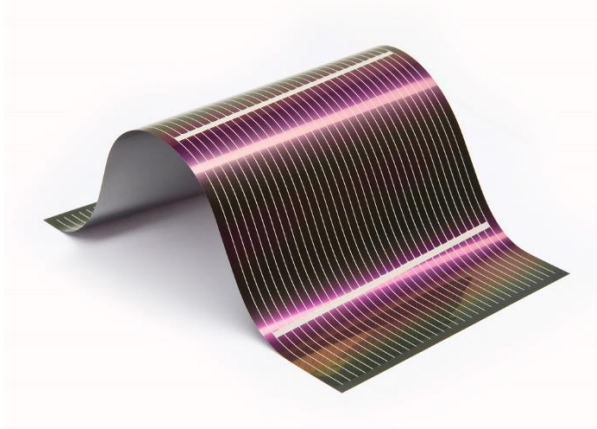
სურათზე ნაჩვენებია სილიციუმის პანელი. ჩვეულებრივი სილიციუმის პანელები მზადდება P ტიპის პანელებისაგან. n ტიპის ფენა საკმაოდ პატარაა, მას ემიტერსაც უწოდებენ. მთლიანი პანელის სისქემ შეიძლება შეადგინოს 100-300 მკმ. ლამბერ-ბერის კანონიდან გამომდინარე სინათლის ინტენსივობა სილიციუმში ექსპონენციალურად გამოისახება.



ყველაზე მეტი სინათლე შთაინთქმება ზედაპირის. პირველ 10მკმ-ზე.

### თხელი მზის პანელები

თხელი მზის პანელები ესაა მეორე ტაობის მზის პანელები, რომლებიც მზადდება ერთი ან მერი ფენის დაფენით, ან თხელი ფოტოვოლტაჯის უნარის მქონე მატერიის საშვალეებით. კომერციულად გამოიყენება რამდენიმე ტექნოლოგია, კანდიუმ თელურიდი (CdTe), სპილენძ ინდიუმ გალიუმი (CIGS), ამორფული თხელი სილიციუმი (a-Si, TF-Si). სისტემ შეიძლება შეადგინოს რამდენიმე ნანომეტრიდან, 10 მიკრომეტრამდე. მსგავსი ტიპის პანელები ბევრად იაფია მაგრამ ნაკლებ ეფექტურობით გამოირჩევა.



### მესამე თაობის მზის პანელები

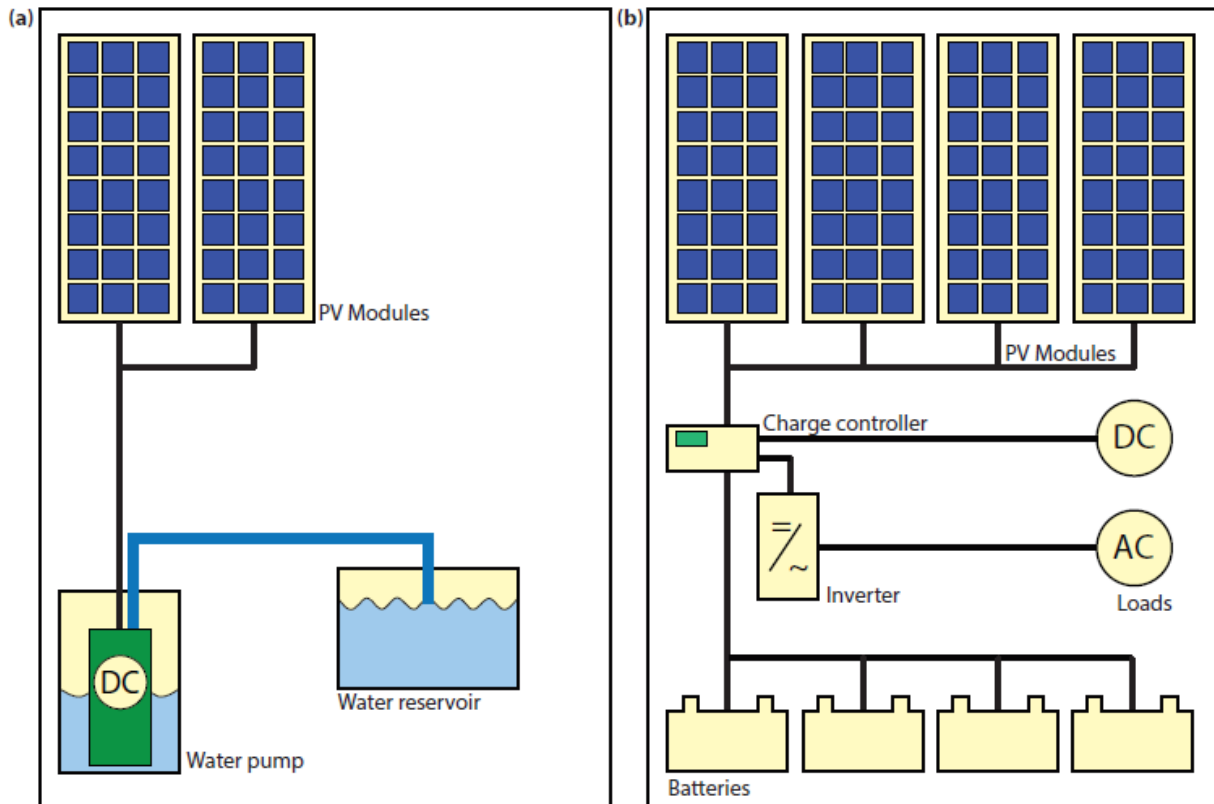
მესამე თაობის მზის პანელებს აქვთ უნარი გადალახონ შოკი-კეისერის ლიმიტი, რომელიც აწესებს მზის პანელის ეფექტურობის ლიმიტს, 31-41% მდე. ეს პანელები შედგება მრავალი პენისაგან რომლებიც მზადდება, ამორფული სილიციუმის ან გალიუმ არსენიდისაგან.

## PV სისტემები

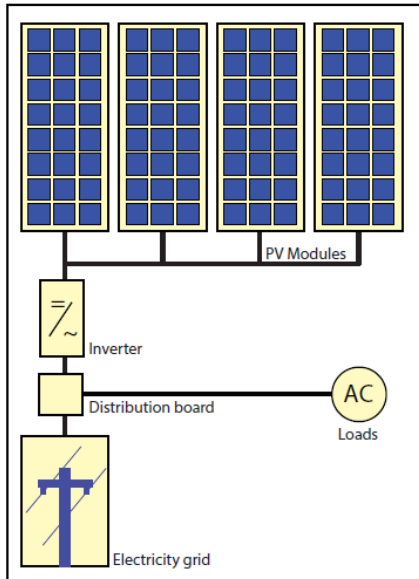
### PV სისტემის ტიპები

PV სისტემები შეიძლება იყოს ძალიან უბრალო, რომელიც შედგება მხოლოდ PV მოდულისა და დატვირთვისაგან, რომელიც მუშაობს მაშინ როცა მზე ანათებს. მაგრამ როცა მთელი სახლის განათებაა საჭირო სისტემამ დრედადამ უნდა იმუშავოს. ის უნდა მუშაობდეს ასევე როგორც ცვლად ისე მუდმივ დენზე, რომელსაც უნდა ქონდეს ბატარეა და გენერატორი. კონფიგურაციის მიხედვით შეგვიზღია გამოვეყთ PV სისტემის სამი ძირითადი ტიპი. ავტონომიური, ქსელთან დაკავშირებული და ჰიბრიდული. სისტემის მტავარი პრინციპები კი უცვლელი რჩებიან. სისტემა ადაპტირებულია ძირითადი მოთხოვნების დაკმაყოფილებაზე.

ავტონომიური PV სისტემები მუშაობენ მხოლოდ მზის ენერჯიაზე. ეს სისტემები შეიცავენ მხოლოდ PV მოდულს და დატვირთვას, შესაძლებელია ასევე ბატარეის დამატებაც ენერჯიის შენახვისათვის. ბატარეის გამოყენებისას საჭიროა რეგულატორის, რომელიც გათიშავს მოდულს ბატარეის დამუხტვის შემდეგ.

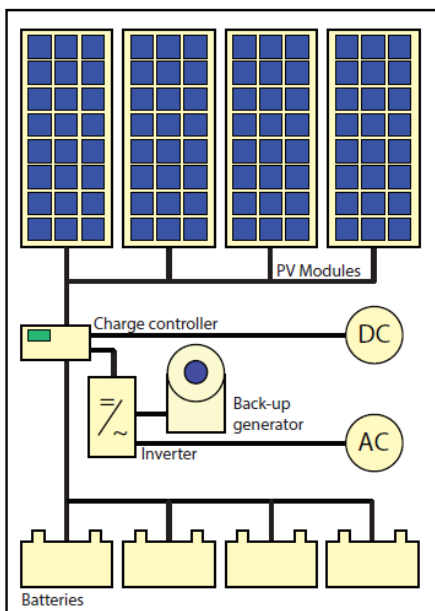


ქსელთან დაკავშირებული PV სისტემები ძალიან პოპულარულია შენობებში ინტეგრირებულ მოწყობილობების შემთხვევაში.



როგორც ვხედავთ მოდული დაკავშირებულია ქსელთან ინვერტერის საშუალებით. რომელიც ცვლად დენს მუდმივად გარდაქმნის. პატარა სისტემების შემთხვევაში, როგორცაა მაგალითად საცხოვრებელი სახლის შემთხვევა, ინვერტერი უკავშირდება განაწილების პლატას. საიდანაც დენი გადადის ქსელში ან მოწყობილობაზე სახლში. ეს სისტემა არ საჭიროებს ბატარეას სანამ ის ქსელთანაა დაკავშირებული, რადგანაც მოდულიდან არასაკმარისი დენის შემთხვევაში განაწილების პლატა გადართავს ქსელზე. დიდი PV სისტემები მუშაობენ როგორც ელექტრო სადგურები. მათმა ელექტროწარმადობამ შეიძლება რამდენიმე ასეულ მეგავატს მიაღწიოს.

ჰიბრიდული სისტემები შეიცავენ PV მოდულებს და ელექტრულ გენერატორებს, რომლებიც მუშაობენ გაზზე დისელზე ან ქარის ენერჯიაზე. სირათზე მოცემულია კონფიგურაცია.

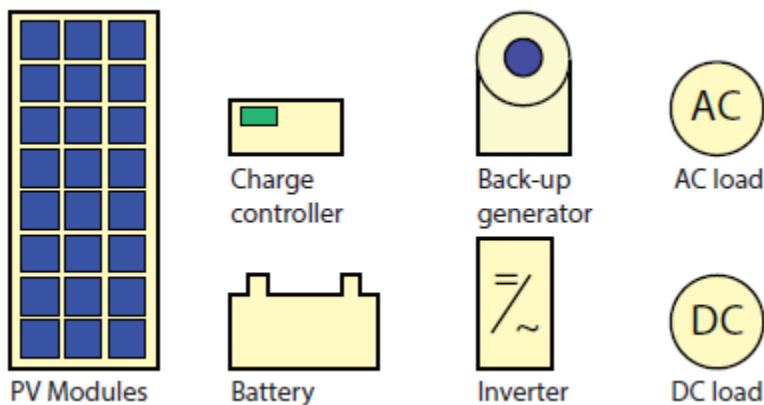


ამ სისტემას სჭირდება მეტი კონტროლი, დიზელის ან სხვა ტიპის ძრავი უნდა ჩაირთოს მაშინ როცა დენი მიაღწევს უკიდურეს განმუხტვის მდგომარეობას. გენერატორი შეიძლება გამოყენებულიქნას როგორც ბატარეის დასატენად ასევე ქსელში დენის მისაწოდებლად.

### PV სისტემის კომპონენტები

მიუხედავად იმისა რომ მზის პანელი, PV სისტემის გულია ის საჭიროებს ბევრ სხვა სისტემასაც, გამართული მუშაობისათვის. ერთან ამ კომპონენტებს ეწოდებათ სიტემის ბალანსი(BOS). კომპონენტების საჭიროება დამოკიდებულია თუ რატიპისაა სისტემა. BOS-ისთვის ყველაზე მნიშვნელოვანი კომპონენტებია

- სამონტაჟო სტრუქტურა, ის აძლევს მოდულს საშვალელებს გასწორდეს მზის მიმართ.
- ენერჯის საცავი, ბატარეა.
- DC-DC კონვერტორი. ის საჭიროა რათ მოხდეს ცვლადი დენის გარდაქმნა, რომელიც დამოკიდებულია დღის დროზე.
- ინვერტერი ან DC-AC კონვერტორი. ის გამოიყენება ქსელურ სისტემებში, ის გარდაქმნის ცვლად დენს მუდმივად.
- კაბელები, რომლებიც აკავშირებენ სხვადასხვა კომპონენტებს ერთმანეთთან.



### PV სისტემის ეკონომია და ეკოლოგია

PV სისტემის ეკონომია განისაზღვრება რამოდენიმე ფაქტორით. პირველი ესაა მწარმოებლის, მეორე მომხმარებლის, მემონტაჟს და ასევე ფაქტორით როცა PV ტექნოლოგიას ვადარებთ სხვა ენერჯის წყაროებს ქსელში. თავდაპირველად ვისაუბროთ იმაზე თუ გაღებული ინვესტიცია რამდენხანში დაგვიბრუნდება უკან ენერჯის სახით. მისი გამოთვლა შეიძლება ასე: დაბრუნების დრო=საწყისი ინვ/წლიურ შემოსავალთან.

PV სისტემის დაბრუნების დრო დამოკიდებულია მზის რადიაციის დოზაზე. ის დამოკიდებულია მდებარეობასა და მზისადმი ორიენტაციაზე. PV სისტემის გამოყენებისას გასათვალისწინებელია ასევე მისი სიცოცხლის ხანგრძლივობა.

წლიდან წლამდე მზის პანელების ინსტალაციის ხარჯები მცირდება 2013 წელს 100 კვ ის სიმძლავრის პანელის ფასი შეადგენდა 1400 ევროს/კვატზე. ხოლო 2009 წელს ფასმა შეადგინა 3500 დან 5000 ევრომდე/კვატზე. როგორც ვხედავთ ფასი წლიდან წლამდე მცირდება.



მზის ენერჯის გამოყენებისას არ გამოიყოფა გაზები CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ან NO<sub>2</sub>, და არ იწვევს გლობალურ დათბობას. ეს სისტემა უსაფრთხოა ენერჯის მოპოვების სხვა სისტემებთან შედარებით. მისი სიცოცხლის მანძილზე ის გამოიმუშავებს გაცილებით მეტ ელექტროენერჯის ვიდრე ის ჯდება და ამასთან 100 ვტ სიმძლავრის პანელის მოხმარება ამცირებს გარემოში CO<sub>2</sub> ს 2 ტონამდე. ეს სისტემა არ იწვევს ხმაურს და არც გარემოს დაბინძურებას. მზის ენერჯია არის სუფთა, უხმო და უფასო.

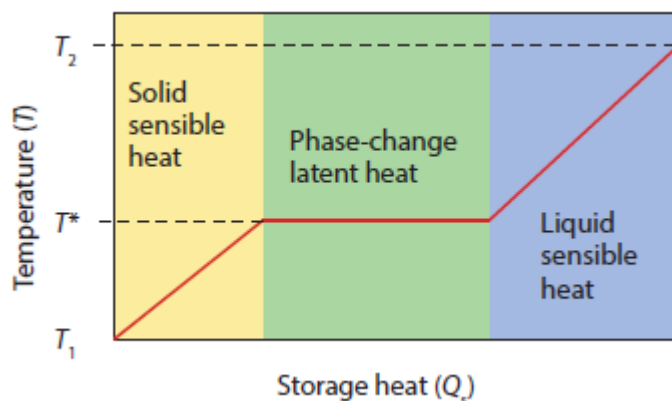
## მზის ენერჯის ალტერნატიული გამოყენება

მოლეკულები რომელთა ტემპერატურა 0K ისაგან განსხვავებულია უწყსრიგოდ მოძრაობენ. ამ მოძრაობის კინეტიკურ ენერჯის სითბო ეწოდება. კინეტიკური ენერჯის საშუალო, წრფივად და მოკიდებული სხეულის ტემპერატურაზე. სითბოს ოდენობას ავლნიშნავთ Q თი, რომლის ერთეულია ჯოული(ჯ).

თუ ორი სხულს განსხვავებული ტემპერატურით მოვათავსებთ ერთმანეთთან, შედარებით ცხელი სხეულიდან სითბო გადავა უფრო ცის სხეულზე, რაც ამ სხეულის გათბობას გამოიწვევს. იმისდამიხედვით თუ როგორი ფიზიკური მონაცემები და ტემპერატურა აქვს სხეულს, სითბო შეიძლება გადაეცეს სხეულს ორი სახით, ერთ შემთხვევაში იცვლება ტემპერატურა მეორე შემთხვევაში კი არა. შექრძნებადი სითბოგადაცემა, და შეუგრძნობადი.

პირველ შემთხვევაში ადგილი აქვს ტემპერატურის ცვლილებას, ამ შემთხვევაში

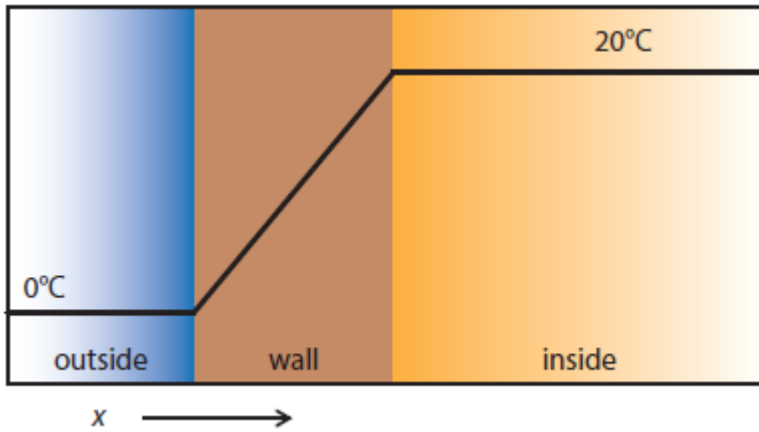
სამართლიანია ფორმულა  $Q = mC_p(T_2 - T_1)$ , სადაც Q ტემპერატურის ცვლილებისათვის გადაცემული ენერჯიაა  $C_p$  სითბოტევადობაა m მასა, ხოლო  $(T_2 - T_1)$  ტემპერატურის ცვლილება. მეორე შემთხვევას ადგილი აქვს როდესაც სხეული იცვლის ფიზიკურ მდგომარეობას მაგალითად როდესაც ყინული დნება, მანამ სანამ 0 C ზე მყოფი ყინული გადავა მდნარ მდგომარეობაში ის გაივლის ფაზას რომლის დროსაც მისი ტემპერატურა არ იცვლება მაგრამ ენერჯია გადაეცემა, ამ შემთხვევაში გადაცემული სითბოს რაოდენობა გამოითვლება ფორმულით  $Q = mL$ , ეს პროცესი მოცემულია სურათზე



ახლა კი განვიხილოთ სითბოს გადაცემის ოთხი ძირითადი მექანიზმი: გამტარობა, კონვექცია და გამოსხივება.

თბოგამტარობა ეწოდება მატერიის თერმული ენერჯის ტრანსპორტირების უნარს სითბოს გატარების მეშვეობით. ამ მოვლენის გასაგებად განვიხილოთ სახლის შემთხვევა როდესაც

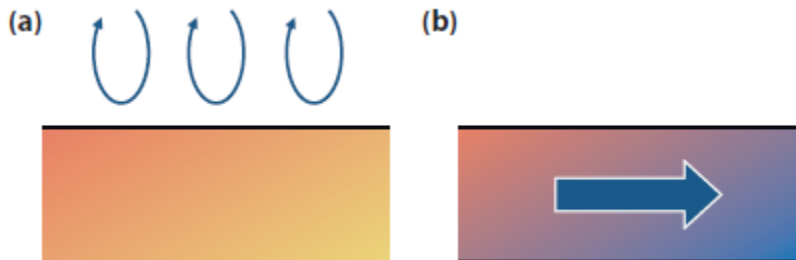
ტემპერატურა გარეთ 0C-ია ხოლო შიგნით 20C-ს შეადგენს. სითბო გადაეცემა სახლის შიგნიდან გარეთ ისე როგორც ნახატზეა მოცემული,



$$\frac{dQ_{\text{cond}}}{dt} = -kA \frac{dT}{dx}$$

სითბოცვლა აღიწერება ფურერის კანონის მიხედვით  $\frac{dQ}{dt}$  სთან არის ტემპერატურის გადაცემა კედელზე,  $k$  არის კედლის სითბოტევადობა,  $A$  არის შეხების ზედაპირის ფართობი, ხოლო  $dT/dx$  თან არის ტემპერატურის ცვლილება. თუ ჩვენ წარმოვიდგენთ რომ კედლის ზომები უცვლელია შეგვიძლია განვიხილოთ ვთქვათ რომ  $dT/dx$  თან მიდმივია და ჩავწეროთ ასე  $\Delta T/\Delta x$ , სადაც  $\Delta x$  კედლის სისქეა.

კონვექცია არის გათბობის შემდეგფი საშვალეზა. გათბობა სითხის მოძრაობის საშვალეზით. გამოირჩევა კონვექციის ორი ძირითადი ტიპი იზულებითი და ბუნებრივი.



ორივე შემთხვევაში ტემპერატურა გადადის საწყისი ტემპერატურიდან  $T_1$  მიმოქცევის ტემპერატურაში  $T_2$ , რომელიც აღიწერება ნიუტონის კანონის საშვალეზით

$$\frac{dQ_{\text{conv}}}{dt} = -hA(T_1 - T_2),$$

სადაც  $h$  არის სითბოგადაცემის კოეფიციენტი.  $h$  დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე როგორც სითხის მოძრაობაზე ისე გარემოცვის ფორმებზე და ა.შ.

სითბოგადაცემის მესამე ხერხია რადიაციული სითბოგადაცემა. რომელიც ყველაზე მნიშვნელოვანია მზიდან სითბოს მისარებად. სითბური რადიაცია ეს არის ელექტრომაგნიტური გამოსხივება რომელიც ვრცელდება მზიდან სინათლის სიჩქარით. სითბური გამოსხივება შთაინთქმება სხეულის მიერ მისი ტემპერატურის მიხედვით.

როგორც ვიცით აბსოლიტურად შავი სხეული ეს გამოსხივების მიმღები იდეალური საშვალეა. ასევე ის არის იდეალური საშვალეა სითბოს მისაღებად. სტეფანო-ბოლცმანის კანონი აღწერს T ტემპერატურის შავის სხეულის მიერ შთაინთქმულ სრულ გამოსხივებას.

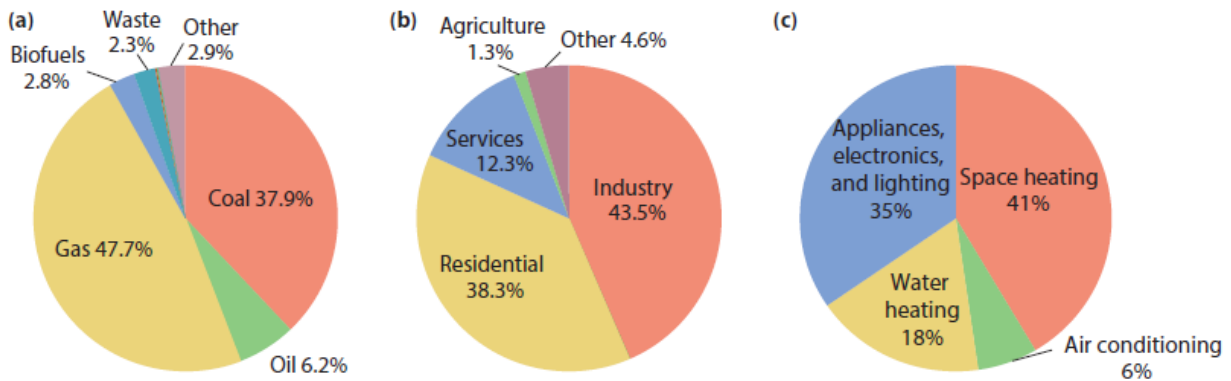
$$M_e^{BB}(T) = \sigma T^4$$

ბუნებაში იდეალური შავი სხეულები არარსებობენ. მათ ნაცრისფერი სხეულები ვუწოდოთ. ნაცრისფერი სხეულის მიერ შთაინთქმული ენერგია შეიძლება გამოისახოს ფლანის კანონის საშვალეებით, როდესაც მას გავამრავლებთ ტალღის სიგრძის დამოკიდებულების კოეფიციენტზე. შავი სხეულისთვის  $\epsilon(\lambda) \equiv 1$ .

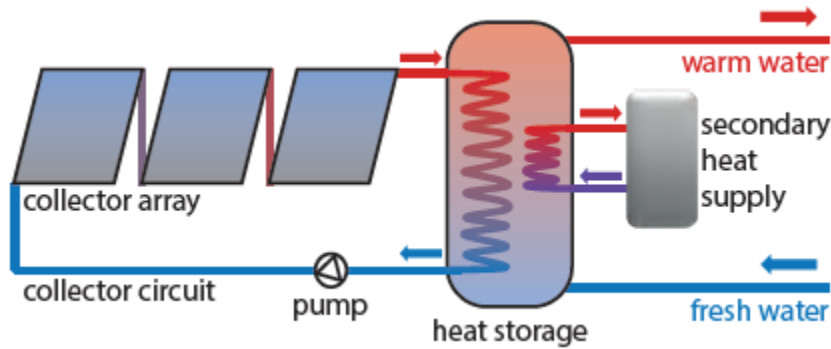
### მზით თერმული გათბობა

მსოფლისო ენერგო მოთხოვლინობის ნახევარზე მეტი მოდის გათბობაზე. ორი მესამედი აქედან ქვანახშირის ნავთობისა და გაზის საშვალეებით კმაყოფილდება. ზირითადად გათბობა გამოიყენება ინდუსტრიული ზონებისთვის ქიმიური პროცესებისა და მოსახლეობის მიერ წყლის გასათბობად.

ჩვენ ასევე ვხედავთ რომ სივრცისა და წყლის გასათბობად გამოიყენება ენერგიის 59%.



ენერგიით გათბობის მოთხოვნილების ეს ძირითადი ნაწილი შეიძლება შეიცვალოს მზის თერმული კოლექტორების საშვალეებით.

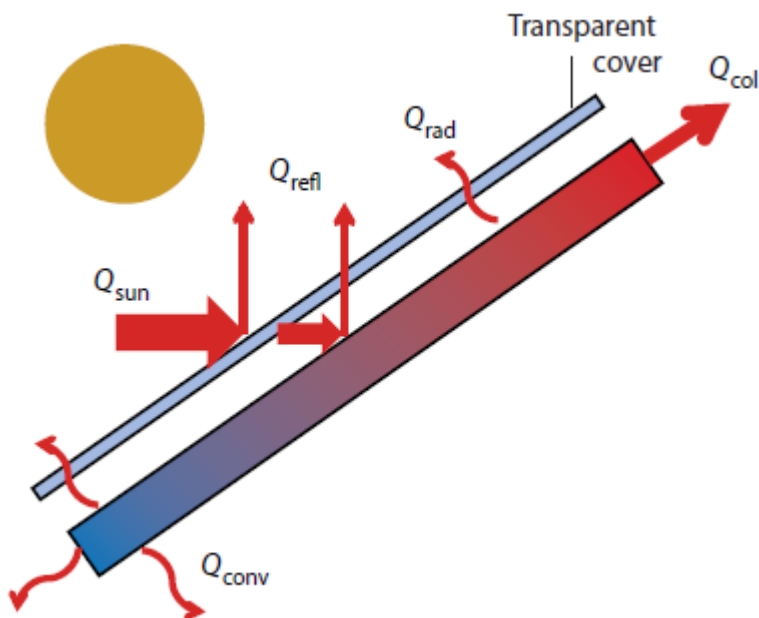


ძირითადი ნაწილია კოლექტორის ნაწილი, რომელიც მზის სხივს გადააქცევს სითბოდ. სითბო შეიძლება შეინახოს ან გამოიყენებულ იქნეს ამავედროულად. ის თუ რა რაოდენობის სითბოს მოგროვებას შეძლებს კოლექტორი დამოკიდებულია მის ფართობზე, ასევე წყლის საცავზე, მზის ნათებასა და სეზონურ ცხელი წყლის მოტხოვნილებაზე.

### მზის თერმული კოლექტორი

კოლექტორი განსაზღვრავს თუ რამდენად ეფექტურად გამოვიყენებთ სინათლის სხივ. ის შეიცავს შავ ზედაპირს რომელაც შემწოვი ეწოდება და გამჭვირვალე ზედაპირს. შემწოვს შეუძლია შეიწოვოს მზიდან მომავალი ენერგიის დიდი ნაწილი,  $Q_{sun}$ , ზრდის ტემპერატურას და გადააქცევს სითბოს მუშა სითხედ. სითხის მოზრაობის შედეგად კი მშთანთქმელი ცივდება და პროცესი შეიძლება განმეორდეს.

სრული  $Q_{sun}$  ენერგია ვერ გამოიყენება, რატომაუნდა გვაქვს დანაკარგებიც, რომლის ილუსტრაციაც მოცემულია სურათზე.

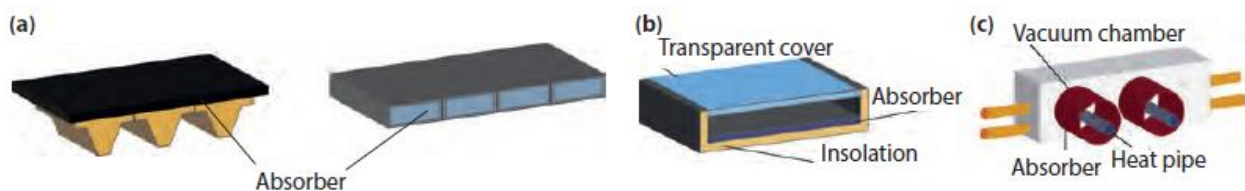


ნაწილი სითბოს რაოდენობა აირეკლება დამცავის ან თვითონ შემწოვის მიერ,  $Q_{ref}$ . ხოლო დანარჩენი დანაკარგები გამოწვეულია სითბომიმოცვლაზე ირგვლივ მდებარე ობიექტებთან,  $Q_{con}$ , და გამოსხივებით ცხელი შთანთქმელისგან,  $Q_{rad}$ . როდესაც გამოვთვლით სრულ ენერგობალანს ჩვენ დავინახავთ რომ შეგროვებული ენერგია  $Q_{col}$  ტოლია:

$$Q_{col} = Q_{sun} - Q_{refl} - Q_{conv} - Q_{rad}$$

კოლექტორის ეფექტურობა ძირითადად დამოკიდებულია ორ ფაქტორზე, პირველი ის ზონაა რომლითაც მზის სხივი შთანთქმდება, და მეორე დანაკარგი რომლებიც გამოწვეულია გარშემომყოფების მიერ. ის დამოკიდებულია როგორც ამინდზე ასევე შთანთქმელის ფიზიკურ პარამეტრებზე. დანაკარგების შესამცირებლად იზოლაცია ძალიან დიდ როლს თამაშობს განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში თუ ტემპერატურის სხვაობა გარემოს და შთანთქმელს შორის დიდია.

კოლექტორების სამი ტიპი შეგვიძლია გამოვყოთ: ღია, დაფარული და ვაკუუმური.



ღია ტიპის კოლექტორებში არ გვაქვს გამჭვირვალე დამცავი, აქედან გამომდინარე მზის სხივების დანაკარგები მინიმუმადეა დაყვანილი. ასეთი კოლექტორები გამოიყენება ისეთ ადგილებში სადაც ტემპერატურის განსხვავება გარემოსა და შთანთქმელს შორის მცირეა, მაგ. საცურაო აუზებზე. დახურული ტიპის კოლექტორებს აქვთ გამჭვირვალე დამცავები, რის გამოც იზრდება არეკლილი სხივებით გამოწვეული დანაკარგები. მსგავსი კოლექტორები გამოიყენება შთანთქმელის მიერ რომლის ტემპერატურა  $100^{\circ}\text{C}$  ზე მეტია. ვაკუუმური შთანთქმელები კი მოთავსებულია ვაკუუმურ კაპსულებში. აქედან გამომდინარე კი ძალიან ცოტა სითბო იკარგება გარემომცველი სხეულების ზემოქმედებით. მსგავსი ტიპის კოლექტორები გაცილებით ძვირი ღირს.

თრანამედროვე მზის კოლექტორებში ხშირად გამოიყენება ტექნოლოგია რომელიც ცნობილია სინათლის ხაფანგის სახელით, მზის საკნები. მაგალიტად გამოიყენება გამჭვირვალე გამტარებლობის უნარის მქონე იქსიდირებული ფენები მინის ზედა ფენებში. თუ მათი პლაზმური სიხშირე დაემთხვევა ინფრაწითელს, მზის სრულ გამოსხივებას შეეძლება გააღწიოს მინაში, მაგრამ ცხელი სხეულებიდან წამოსული გამოსხივება ვეღარ გააღწევს მინის ფენს და აირეკლება უკან.

კოლექტორები ასევე განსხვავდებიან მათი ფორმების მიხედვით. ჩვენ განვასხვავებთ პრტყელ და კონცენტრირებად კოლექტორებს. ბრტყელი ფირისებრი კოლექტორები შეიცავს ბრტყელ მშთანთქმელებს, რომელიც მიმართულია მზის მიმართულებით. მათი

ტემპერატურა შეიძლება იყოს 100C მდე. ისინი გამიყენებენ პირდაპირ და გაბნეულ მზის გამოსხივებას. ძირითადად გამოიყენება წყლის გასათბობად, შენობების, ჰაერისა და ინდუსტრიული პროცესების გასათბობად. კონცენტრირებად კოლექტორებს შუძლიათ გამოიმუშავონ გაცილებით მაღალი ტემპერატურა ვიდრე სტანდარტულ ბრტყელ კოლექტორს. კონცენტრირებადი კოლექტორის წარმადობა იზრდება მისი დანაკარგის არეალის შემცირების საშვალეებით. ამის მოხერხება შესაძლებელია რადიაციასა და შთანთქმელს შორის ოპტიკური ხელსაწყო მოტაცების საშვალეებით. ამის გამო შთანთქმელის ზომა შეიძლება შემცირებულიქნეს. ერთი უაროფითი მხარე მსგავსი კოლექტორების გამოყენების არის ის რომ, მათ შჭირდებათ იმოდროან გამოსხივების მეტი რაოდენობის მიმართ. ეს კი ღირებულებას ზრდის და საჭიროებს დამატებით გამართვას.

კოლექტორები ერთმანეთთან დაკავშირებული უნდა იყოს პარალელურად ან მწკრივის სახით. კოლექტორების პარალელურად დაკავშირება ნიშნავს რომ შემავალი ტემპერატურა ყველასთვის ერთია, ხოლო მწკრივული ჩართვა ნიშნავს რომ ელტისთვის შემავალი ტემპერატურა მეორესათვის გამომავალი ტემპერატურის ტოლია. ძირითადად გამოიყენება კოლექტორების პარალელური ჩართვა, რადგანაც ის უფრო ბალანსირებულია და ამცირებს წნევის ვარდნას.

### სითბოს შენახვა

შიტბოს შენახვა ყველაზე მნიშვნელოვანი კომპონენტია რადგანაც მასზეა დამოკიდებული სისტემის ფასი, მუშაობა და გამძლეობა. მის დამზადებაზეა დამოკიდებული ისეთი ელემენტები როგორცაა მაგალიტად კოლექტორი ან თერმული განაწილების სისტემა. საცავის დანიშნულება ორმაგია. პირველი ეს არის გამომუშავებული ენერჯის შენახვა. მეორე ეს არის სისტემის ეფექტურობის გაზრდა.

შენახვის რამდენიმე ტექნოლოგია არსებობს. ზოგიერთ მათგანს შეუძლია გაუმკლავდეს დღეღამურ და სეზონურ მოთხოვნილებებს. თხევადი სისტემებისთვის შითბოს შესანახად ძირითადად წყალი გამოიყენება, რადგანაც ის არაა ძვირი, ტოქსიკური და აქვს დიდი სითბოტევადობა. გარმა ამის მას შეუძლია შტბო გადაიტანოს თავისთავად.

ცისტერნაშ შენახული გამოყენებადი ენერჯის ოდენობა შეიძლება გამოვითვალოთ

ფორმულით  $Q_{\text{stored}} = V\rho C_p\Delta T,$

სადაც V არის ცისტერნის მოცულობა, p არის წყლის ტევადობა, Cp არის სითბოტევადობა და  $\Delta T$  არის ტემპერატურის ცვლილება. ასევე განსაზღვრულია დასაშვები მინიმალური და მაქსიმალური ტემპერატურა რომელიც შეიძლება წყალს ქონდეს, მაგალითად წყლის მინიმალური ტემპერატურა განისაზღვრება გარემომცვის მიხედვით ან თვითონ შემავალი წყლის ტემპერატურის მიხედვით, ხოლო მაქსიმალურ ტემპერატურას განსაზღვრას სითბის ოეთქლადქცევის ტემპერატურა. მაგალიტად სამომხმარებლო გათბობის სისტემებში ეს



ტემპერატურა 80C ის ტოლია რადგანაც უფრო მაღალ ტემპერატურაზე გამოიყოფა კალციუმის კარბონი, რომელიც ფარავს თბილი წყლის საცავ.

საცავის ტემპერატურული დანაკარგი შეგვიძლია გამოვითვალოთ ფორმულით

$$Q_{\text{loss}} = UA\Delta T,$$

სადაც A არის საცავის ზედაპირის ფართობი. U არის სითბოცვლის კოეფიციენტი და დამოკიდებულია იზოლაციაზე.

სითბოს შენახვის კიდევ ერთ მეთოდს წამოადგენს ფაზის ჩვლიელბის მეთოდი(PCM). PCM სისტემას უნდა ქონდეს კარგად განსაზღვრული მოლური სითბოცვლა L, აქედან გამომდინარე შესაძლებელი ხდება დიდი ოდენობით ენერჯის შენახვა. გარდა ამისა სისტემას უნდა შეეძლოს უკან დაბრუნებაც და ციკლის გამეორება. შენახული სითბოს რაოდენობა შეგვიძლია გამოვითვალოთ ფორმულით.

$$Q_{\text{stored}} = m [C_s(T^* - T_1) + L + C_l(T_2 - T^*)]$$

აქ  $C_s$  არის სითბოტევადობა მყარ მდგომარეობაში,  $C_l$  თხევად მდგომარეობაში,  $T^*$  არის დნობის ტემპერატურა,  $T_1$  და  $T_2$  კი ტემპერატურების ცვლილება. PCM სისტემისთვის შესაძლებელია გამოვიყენოთ მასალები როგორცაა მაგალითად  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$  ან  $\text{MgCl}_2$ . ეს სისტემა ძირითადად გამოიყენება მარალი ტემპერატურის მისაღებად.

### სისტემის დამზადება

ხშირად, ისეთ არეალებში სადაც ტემპერატურული ცვლილება ზამთარსა და ზაფხულს შორის ძალიან დიდია გამოყენება ისეთი მზის ტერმული სისტემები რომლებიც შეიცავენ საქვებეს როგორც დამხმარე მოწყობილობას. მისი ძირითადი ფუნქციაა რომ დაეხმაროს სისტემას თუ მზის ენერჯია არასაკმარისია. ჩვეულებრივ ენერჯის წყაროდ გამოიყენება ბუნებრივი გაზი, ნავთობი ან თუნდა ბიომასები. ასევე შეიძლება გამოყენებულ იქნეს დენი ან სითბური ტუმბო.

ჩვენ განვიხილეთ როგორ შევავროვოთ და სევიანხოთ სითბო მაგრამ ტრანსპორტირებაზე არაფერი გვისაუბრია. სითბოს ტრანსპორტირება ხდება ცოლექტორ სირკულაციით, რომელსაც გადააქვს სითბო ტხევადი ან აირადი სახით. თუ სითხე გამოყენებული უნდა გავიტვალისწინოთ რომ იგი არც უნდა გაიყინოს და არც აორთქლდეს. გარემოს უნდა ქონდეს მარალი სითბოტევადობა, დაბალი სიბლანტე და არ უნდა იყოს ტოქსიკური, უნდა იყოს იაფი და მაღალი წარმადობის მქონე. ყველაზე ხშირად გამოიყენება წყალი, ნავთი ან ჰაერი.

მიმოცვლა შეგვიძლია გამოვიწვიოთ ბუნებრივად ცირკულაციის საშვალებით, ან ტუმბოს გამოყენებით. სისტემის არჩევისას გათვალისწინებული უნდა იქნას მილების მიერ სითბოს დანაკარგი, როცა მათი სიგრძე ძალიან დიდია.



## დასკვნა

მსოფლიო ენერგომომხმარებასთან ერთად იზრდება კვლევები ალტერნატიული ენერჯის წყაროების დახვეწის თვალსაზრისით. ჩვენ გავეცანით მზის ენერჯის ალტერნატიული გამოყენების ორ მეთოდს. ნაშრომიდან მარტივად შეგვიძლია დავინახოთ თუ ფიზიკური პროცესები რაც მიმდინარეობს მზიდან წამოსული ენერჯის ელექტროენერჯად ან სითბურ ენერჯად გარდაქმნის პროცესში. გასათვალისწინებელია რომ მზე ამ ენერჯას გვაწვდის ყოველს წამს, ეს ენერჯია სრულიად უფასოდ მოგვეწოდება და საჭიროა მხოლოდ მისი ათვისება. ამასთან იგი ეკოლოგიურად სუფთაა, და გარემოს ზიანს არ აყენებს. დროთა განმავლობაში იხვეწება ათვისების მეთოდები და ალბათ რამდენიმე ათეულ წელიწადში მზის პანელების და კოლექტორების გამოყენება სრულიად ჩვეულებრივი მოვლენა გახდება, რომელიც საბოლოოდ ჩაანაცვლებს ენერჯის მიღების ტრადიციულ საშვალებებს.

## გამოყენებული ლიტერატურა

J. Poortmans and V. Arkhipov, eds., [Thin Film Solar Cells: Fabrication, Characterization and Applications](#) (John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 2006).

OECD/IEA, 2013 Key World Energy Statistics (Paris, France, 2013).

L. Freris and D. Infield, [Renewable Energy in Power Systems](#) (John Wiley & Sons Inc, Chichester, United Kingdom, 2008).

D. Neamen, [Semiconductor Device Physics: Basic Principles](#), 4th ed. (McGraw-Hill, New York, NY, USA, 2012).

P. Würfel, [Physics of Solar Cells](#) (WILEY-VCH Verlag, Weinheim, Germany, 2005).

R. J. van Overstraeten and R. P. Mertens, [Physics, technology and use of photovoltaics](#) (A. Hilger, Bristol, United Kingdom, 1986).

[https://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic_system)

<http://www.pvresources.com/en/economics/economics.php>

<http://globalsolaratlas.info/>

<https://www.nasa.gov/>