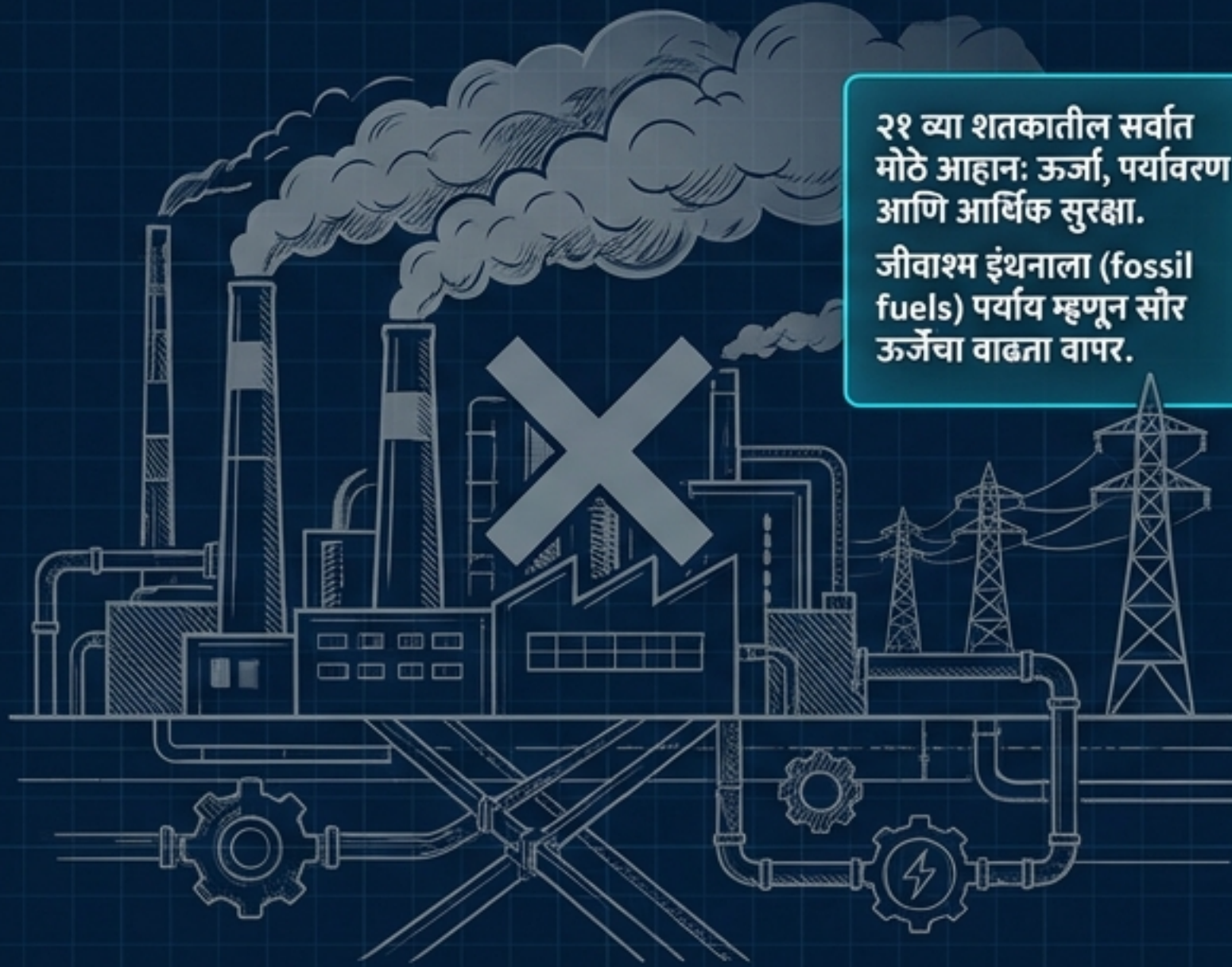


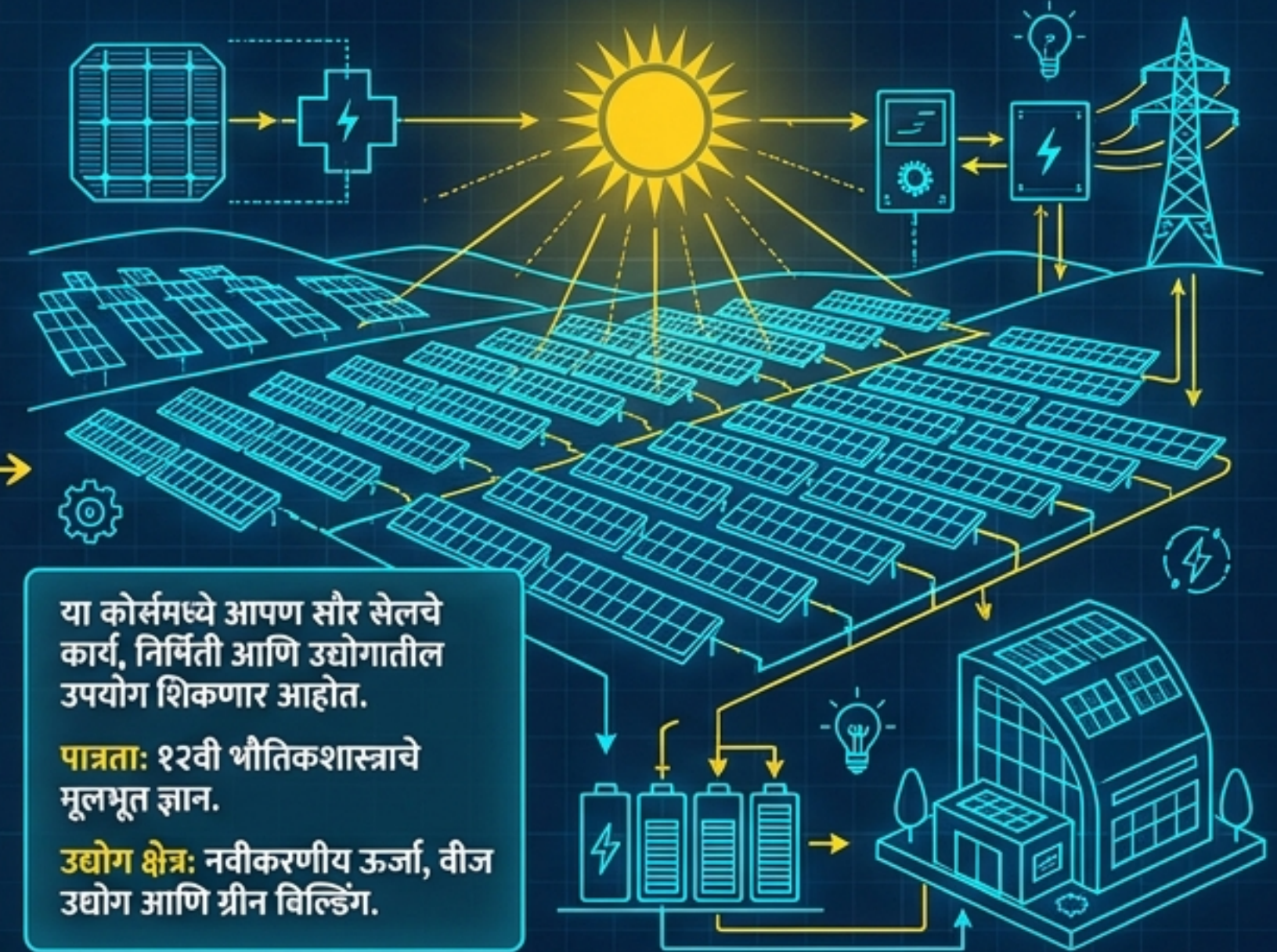
Solar Photovoltaics: Fundamentals, Technology & Applications

सौर फोटोव्होल्टेइक्स: मूलतत्त्वे, तंत्रज्ञान आणि उपयोग

THE PROBLEM

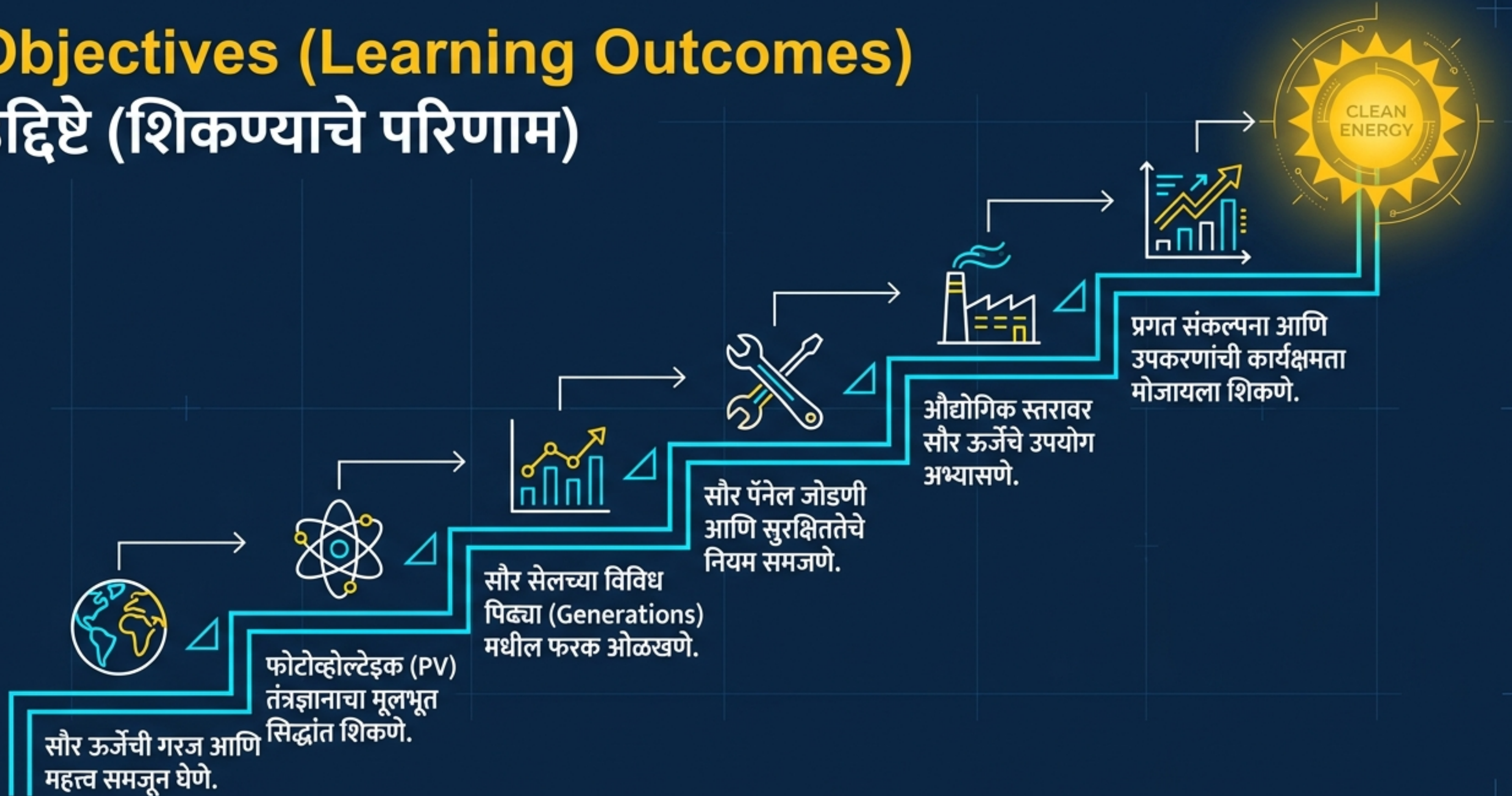


THE SOLUTION



Objectives (Learning Outcomes)

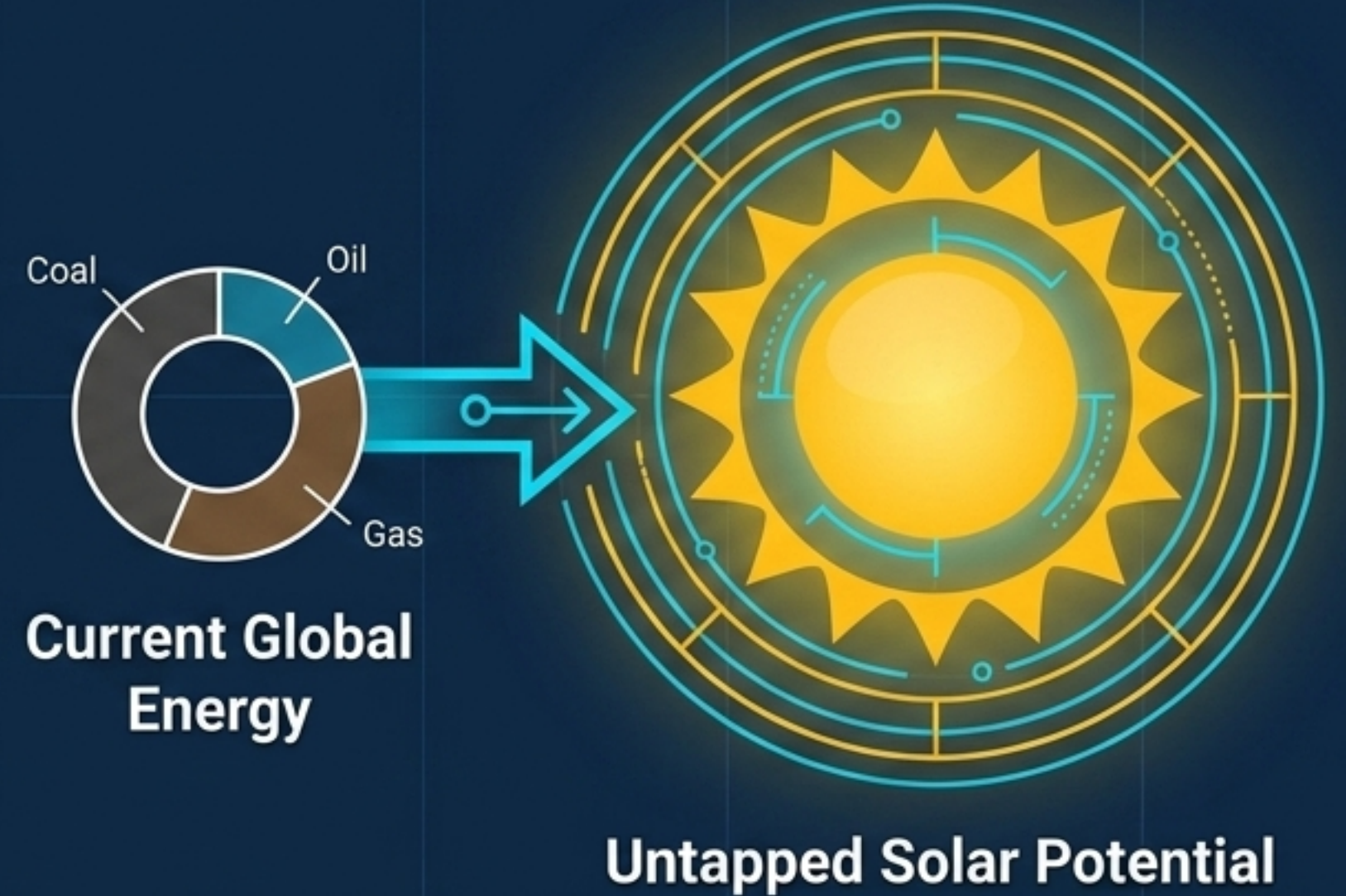
उद्दिष्टे (शिकण्याचे परिणाम)



Introduction: The Energy Crisis

प्रस्तावना: ऊर्जा संकट आणि सौर ऊर्जेची गरज

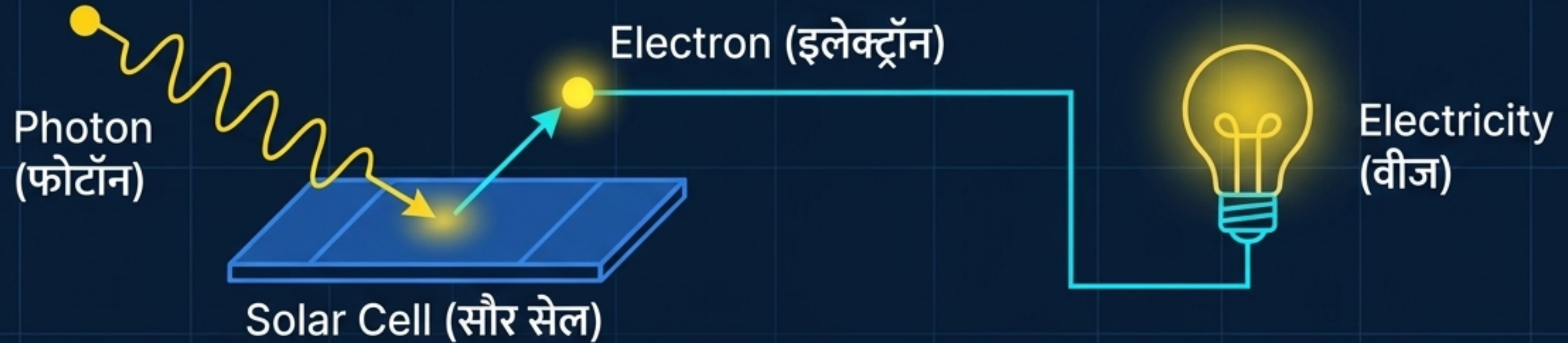
- वाढती लोकसंख्या आणि औद्योगिकीकरणामुळे ऊर्जेची मागणी प्रचंड वाढली आहे.
- कोळसा, पेट्रोल यांसारखी जीवाश्म इंधने (fossil fuels) मर्यादित आहेत आणि प्रदूषण करतात.
- शाश्वत विकासासाठी (Sustainable development) नवीकरणीय ऊर्जेची नितांत गरज आहे.
- सूर्य हा ऊर्जेचा सर्वात मोठा आणि मोफत स्रोत आहे.
- सौर तंत्रज्ञानामुळे कार्बन उत्सर्जन (Carbon emission) कमी होण्यास मदत होते.
- पुढील १०-२० वर्षांत ऊर्जा क्षेत्रातील हे सर्वात मोठे परिवर्तन असेल.



Core Theory: What is Photovoltaics?

मुख्य सिद्धांत: फोटोव्होल्टेइक्स म्हणजे काय?

फोटोव्होल्टेइक (PV) हा शब्द दोन शब्दांनी बनला आहे: Photo (प्रकाश) + Voltaic (विद्युत दाब).



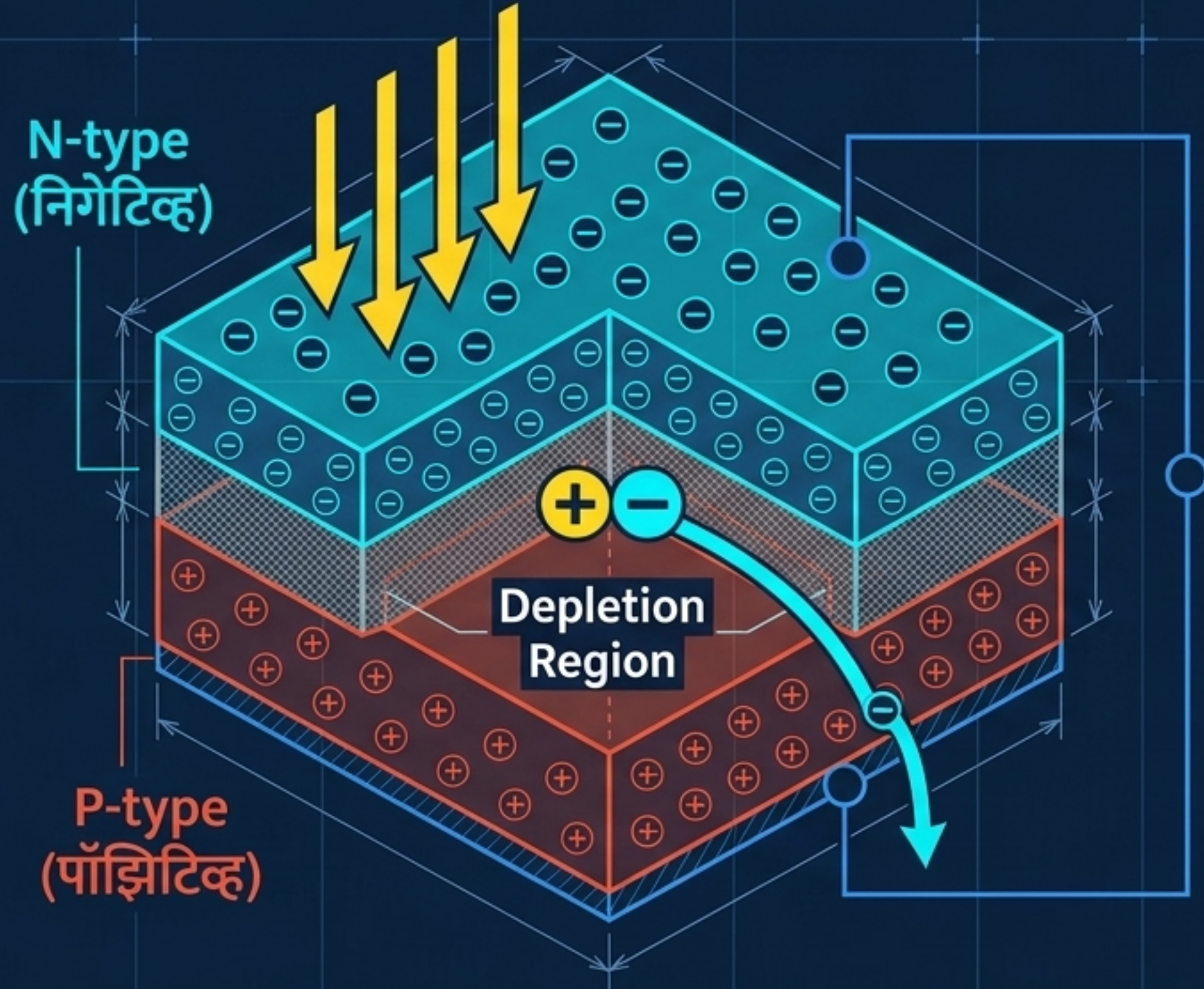
सूर्याच्या प्रकाशाचे थेट विजेमध्ये (Direct Current - DC) रूपांतर करण्याच्या प्रक्रियेला PV म्हणतात.

जेव्हा सूर्यकिरण (Photons) सौर सेलवर पडतात, तेव्हा त्यातील इलेक्ट्रॉन सक्रिय होतात. हे मुक्त झालेले इलेक्ट्रॉन वाहू लागतात, ज्यामुळे विद्युत प्रवाह तयार होतो.

यात कोणताही हलणारा भाग (Moving part) नसतो, त्यामुळे आवाज किंवा झीज होत नाही.

Core Theory: The P-N Junction

मुख्य सिद्धांत: पी-एन जंक्शन (P-N Junction)



- सौर सेल प्रामुख्याने **सेमीकंडक्टर (Semiconductor)** सिलिकॉनपासून बनलेले असतात.
- **N-type** मध्ये जास्तीचे **इलेक्ट्रॉन्स** असतात, तर **P-type** मध्ये **होल्स (Holes)** असतात.
- दोन्ही थर एकत्र केल्यावर मध्ये '**Depletion Region**' तयार होतो.
- सूर्यप्रकाशामुळे या भागात नवीन **इलेक्ट्रॉन-होल** जोड्या तयार होतात.
- इन-बिल्ट **इलेक्ट्रिक फिल्ड**मुळे इलेक्ट्रॉन्स एकाच दिशेने वाहतात.

Core Theory: Generations of Solar Cells

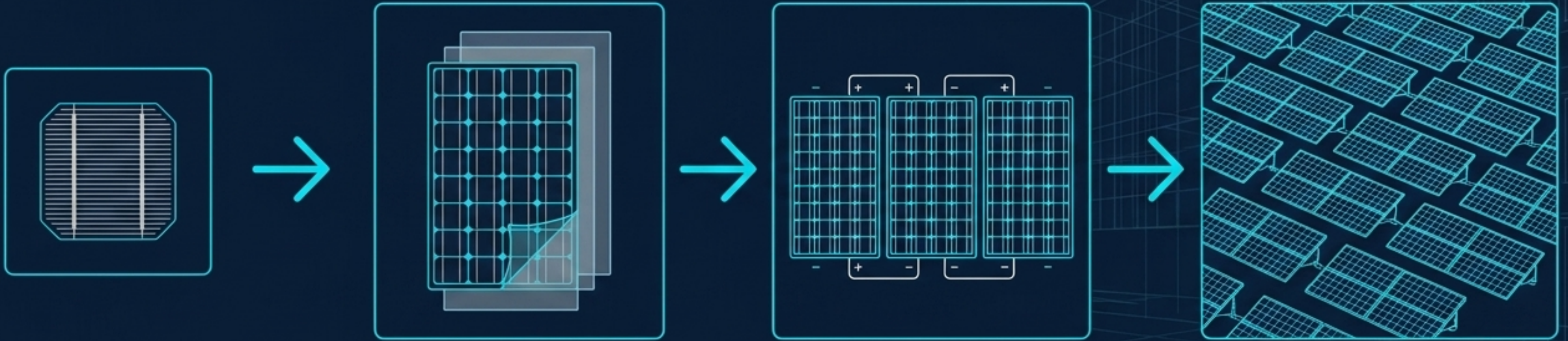
मुख्य सिद्धांत: सौर सेलच्या पिढ्या

पहिली पिढी (1st Gen)	दुसरी पिढी (2nd Gen)	तिसरी पिढी (3rd Gen)
		
- क्रिस्टलाइन सिलिकॉन (Crystalline Silicon). - सर्वात जास्त वापर (९०%). - कार्यक्षमता जास्त पण खर्चिक.	- थिन फिल्म (Thin Film - CdTe, CIGS). - लवचिक आणि हलके. - कमी खर्चात निर्मिती, पण कार्यक्षमता कमी.	- इमर्जिंग तंत्रज्ञान (Perovskite, Organic). - संशोधन सुरू आहे. - अत्यंत स्वस्त आणि पारदर्शक (Transparent) असू शकतात.

उद्योगांमध्ये सध्या पहिल्या आणि दुसऱ्या पिढीचाच जास्त वापर होतो.

Core Theory: Cell to Array

मुख्य सिद्धांत: सेल ते अरे (Cell to Array)



सौर सेल (Solar Cell)

सौर सेल (Solar Cell)

सर्वात लहान घटक, जो साधारण ०.५ ते ०.६ व्होल्ट वीज तयार करतो.

सौर मॉड्यूल (Solar Module)

सौर मॉड्यूल (Solar Module)

अनेक सेल एकत्र जोडून पॅनेल बनवले जाते (उदा. ३६, ६० सेल्स). काचेचे आणि इव्हा (EVA) शीटचे आवरण असते.

स्ट्रिंग (String)

स्ट्रिंग (String)

जास्त व्होल्टेज मिळवण्यासाठी अनेक पॅनेल्स सिरीज (Series) मध्ये जोडणे.

अरे (Solar Array)

अरे (Solar Array)

खूप मोठी वीज निर्मिती करण्यासाठी अनेक पॅनेल्स आणि स्ट्रिंगची जोडणी.

Practical Section: Required Tools & Equipment

प्रात्यक्षिक: आवश्यक साधने आणि उपकरणे



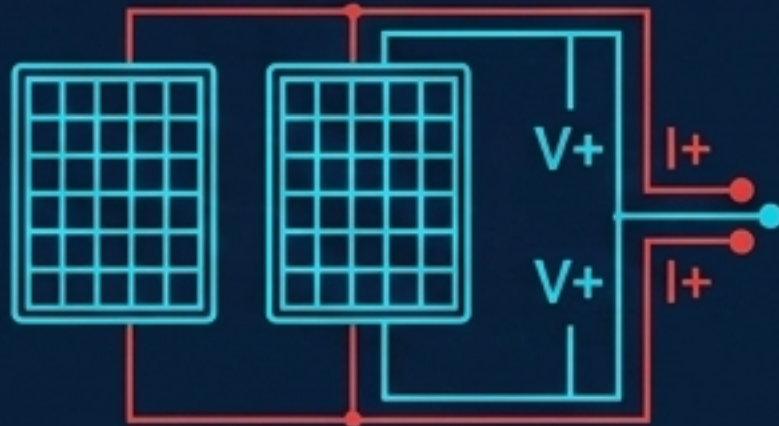
Practical Section: Step-by-Step Connection

प्रात्यक्षिक: टप्प्याटप्प्याने जोडणी (Installation)

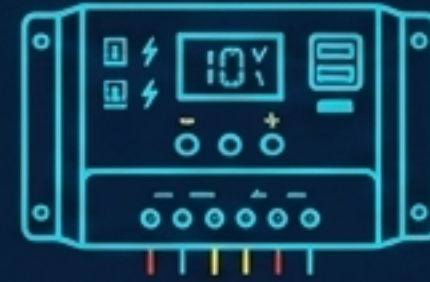
पायरी १: सूर्यप्रकाशाच्या दिशेने (दक्षिण दिशेला) योग्य कोनात स्ट्रक्चर उभे करा.



पायरी २: पॅनेल्स माउंट करा आणि वायरिंग करा.
सिरीज (Series): व्होल्टेज वाढवण्यासाठी.
पॅरलल (Parallel): करंट वाढवण्यासाठी.



पायरी ३: पॅनेलची वायर चार्ज कंट्रोलरला जोडा.



Charge Controller

पायरी ४: चार्ज कंट्रोलरला इन्व्हर्टर जोडा.



इन्व्हर्टर (Inverter)

पायरी ५: चार्ज कंट्रोलरला बॅटरी जोडा.



बॅटरी (Battery)

पायरी ६: इन्व्हर्टरमधून घरातील उपकरणांना सप्लाय द्या.



Practical Section: Safety Precautions

प्रात्यक्षिक: सुरक्षिततेची काळजी



भरपूर सूर्यप्रकाश असताना पॅनेलच्या तारा उघड्या हाताने स्पर्श करू नका; शॉक लागू शकतो. डीसी व्होल्टेज धोकादायक असू शकते.



डीसी व्होल्टेजवर काम करताना नेहमी इन्सुलेटेड टूल्स वापरा. रबरी हातमोजे आणि बूट घालणे आवश्यक आहे.



सिस्टीमला योग्य अर्थिंग (Earthing/Grounding) असल्याची खात्री करा.



शॉर्ट सर्किट टाळण्यासाठी + आणि - वायर एकत्र जोडू नका. बॅटरी जवळ आग किंवा ठिणगी नेऊ नका.

Application Section: Industry Relevance

औद्योगिक उपयोग आणि वास्तव उदाहरणे



रूफटॉप सिस्टीम आणि ग्रीन बिल्डिंग्स

घरे, शाळांवर वीज बिलात बचत करण्यासाठी. नवीन इमारतींमध्ये काचेच्या ऐवजी पारदर्शक सौर पॅनेलचा वापर (BIPV).



सौर कृषी पंप (Solar Water Pumps)

शेतात जिथे ग्रीडची वीज पोहोचली नाही तिथे सिंचनासाठी. शेतकऱ्यांसाठी वरदान.

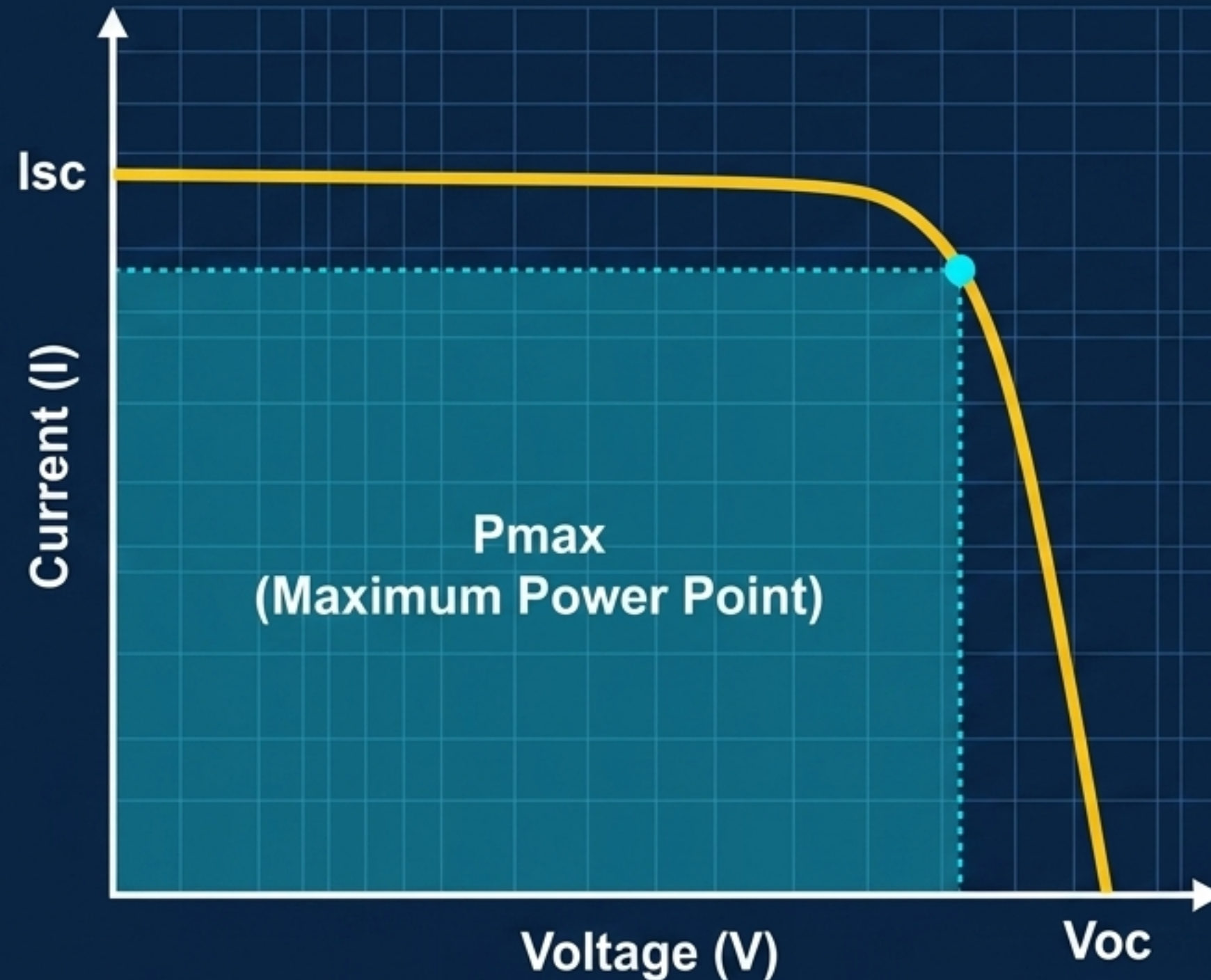


मेगा पॉवर प्लांट आणि स्पेस मिशन

हजारो एकरांवर उभारलेले मोठे प्रकल्प (उदा. भाडला सोलर पार्क). उपग्रह पूर्णपणे सौर ऊर्जेवरच चालतात.

Advanced Understanding: Characterization

प्रगत समज: आय-व्हो वक्र (I-V Curve)



सौर सेलची कार्यक्षमता मोजण्यासाठी I-V वक्र वापरतात.

Isc (Short Circuit Current): व्होल्टेज शून्य असते तेव्हा मिळणारा जास्तीत जास्त करंट.

Voc (Open Circuit Voltage): करंट शून्य असतो तेव्हा मिळणारा जास्तीत जास्त व्होल्टेज.

Pmax: वक्रावरील तो बिंदू जिथे व्होल्टेज आणि करंटचा गुणाकार सर्वाधिक असतो.

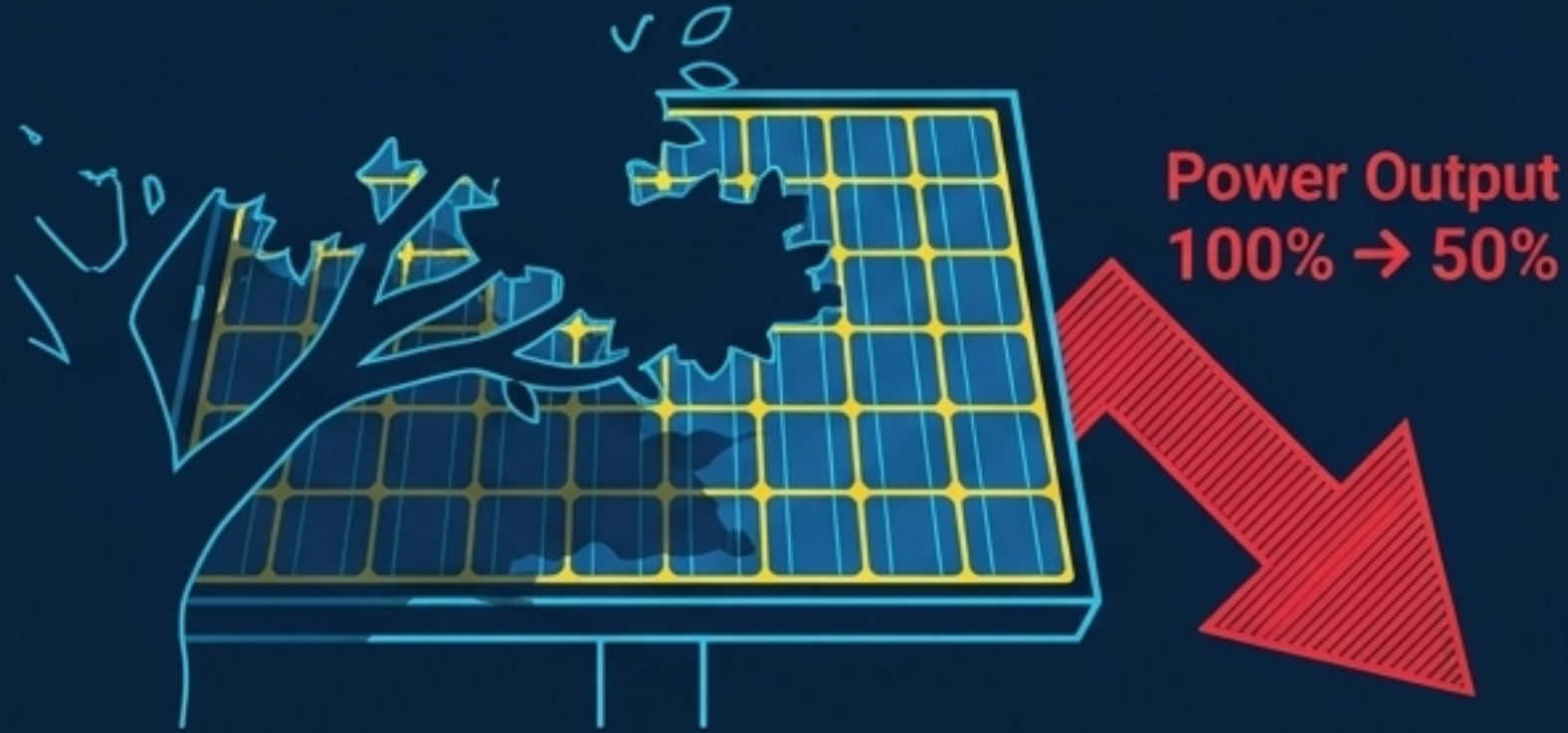
Fill Factor (FF): सेलच्या गुणवत्तेचे मोजमाप. जेवढा FF जास्त, तेवढा सेल चांगला.

तापमान वाढले की सौर सेलची कार्यक्षमता कमी होते.

Advanced Understanding: Common Mistakes

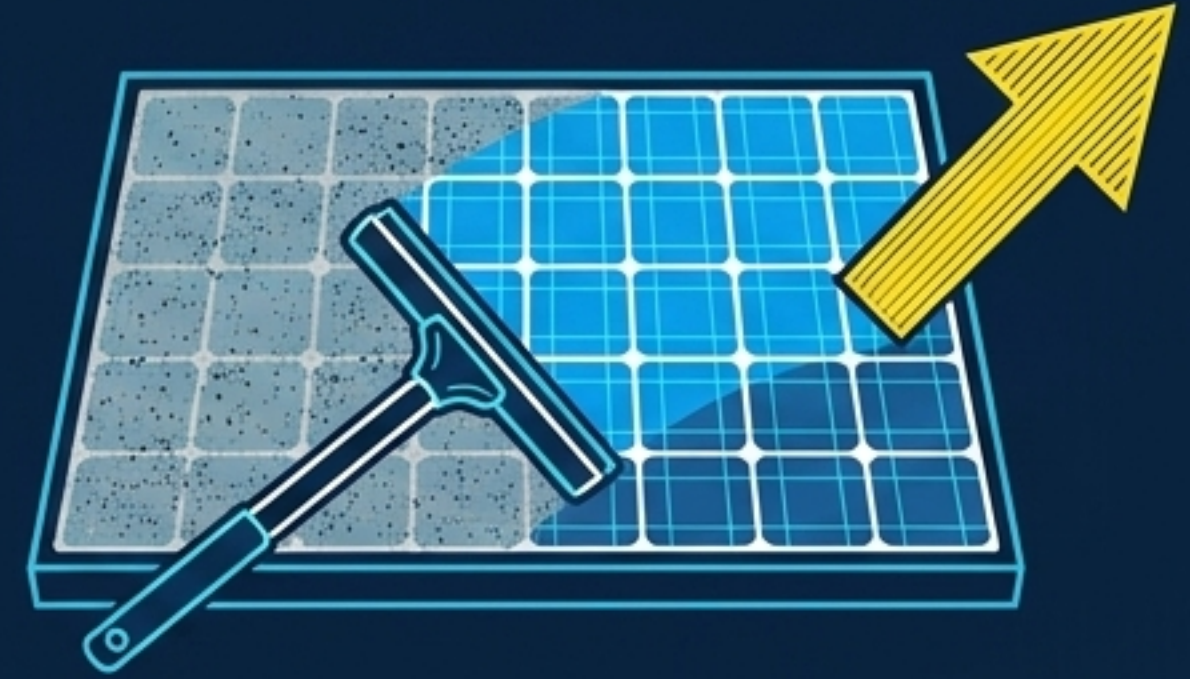
प्रगत समज: सामान्य चुका आणि संकल्पना स्पष्टता

सावलीचा परिणाम आणि उपाय (Shading Effect & Solutions)



- **सावलीचा परिणाम (Shading Effect):** पॅनेलच्या एका छोट्या भागावर जरी सावली पडली, तरी संपूर्ण पॅनेलचे उत्पादन मोठ्या प्रमाणात घटते. (Even if a small part of the panel is shaded, the overall output drops significantly.)
- **बायपास डायोड (Bypass Diode):** सावलीमुळे होणारे नुकसान टाळण्यासाठी डायोड्स वापरले जातात.

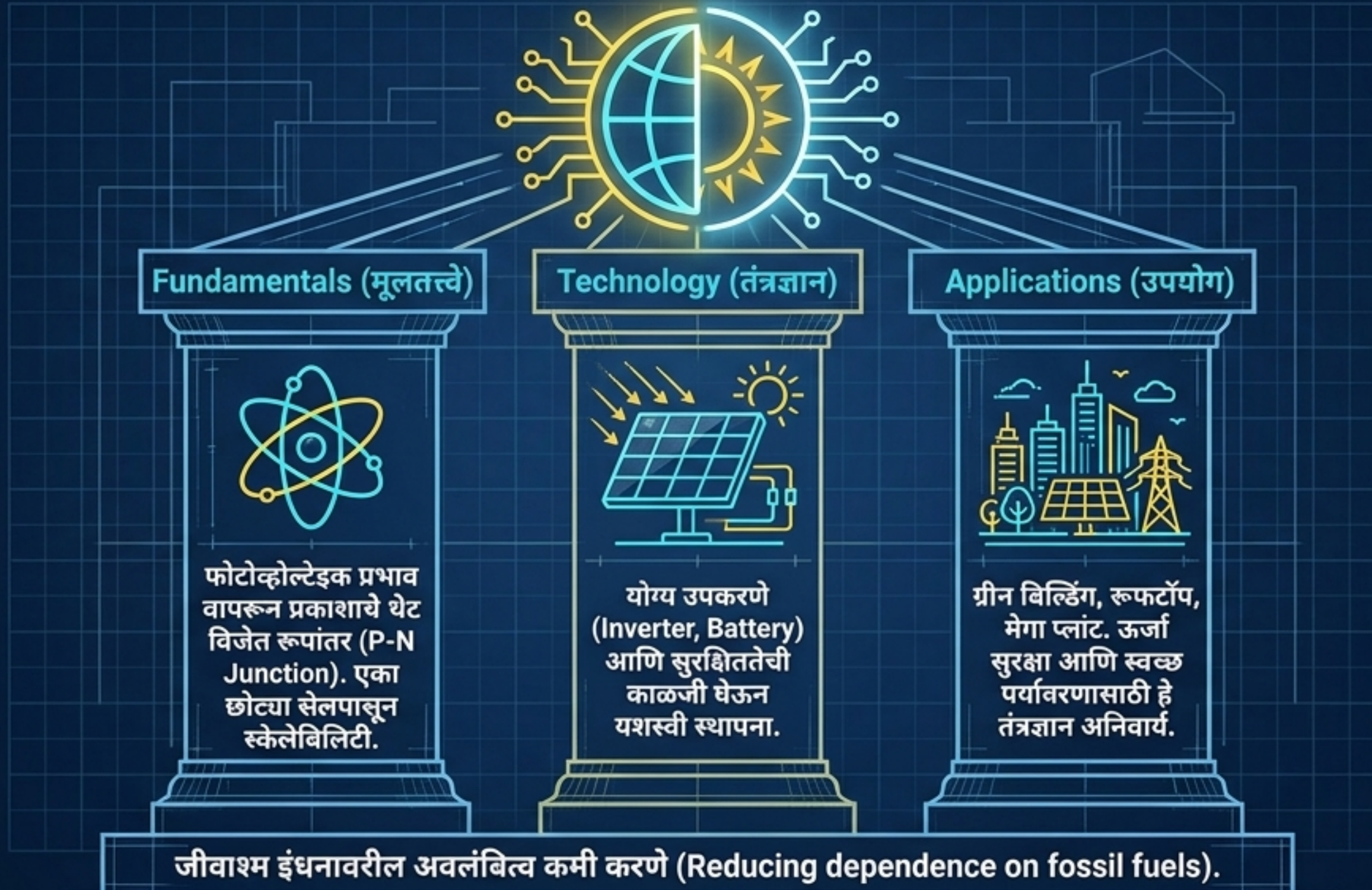
धूळ, देखभाल आणि गैरसमज (Soiling, Maintenance & Misconceptions)



- **धूळ साचणे (Soiling):** पॅनेलवर धूळ साचल्यास प्रकाश सेलपर्यंत पोहोचत नाही. नियमित साफसफाई आवश्यक आहे.
- **चुकीचा अँगल:** अक्षांशावर आधारित कोन न ठेवल्यास हिवाळ्यात वीज कमी मिळते.
- **गैरसमज:** 'पॅनेल फक्त उन्हाळ्यात चालतात.' **वास्तव:** ते प्रकाशावर चालतात, उष्णतेवर नाही.

Summary: The Big Picture

सारांश: दृष्टिक्षेप



Questions & Assessment

प्रश्न आणि सराव

चर्चा करण्यासाठी प्रश्न (Discussion Questions)

१. जीवाश्म इंधन आणि सौर ऊर्जा यांच्यात भविष्याच्या दृष्टीने काय फरक आहे?
२. P-N जंक्शनमध्ये 'Depletion Region' चे कार्य काय असते?
३. सावली पडल्यास (Shading) सोलर पॅनेलवर काय परिणाम होतो?
४. ऑफ-ग्रीड सिस्टीममध्ये इन्व्हर्टर आणि बॅटरीची गरज का असते?

सराव प्रश्न (Practice Questions)

५. एका सोलर पॅनेलचे व्होल्टेज ३०V आणि करंट ८A असल्यास, तयार होणारी पॉवर (Power) किती वॉट्स असेल? (Hint: $P = V \times I$)
६. एका सिस्टीममध्ये प्रत्येकी ४०V ची ३ पॅनेल्स सिरीजमध्ये जोडली आहेत. एकूण व्होल्टेज किती असेल?