

*ИНФРАКРАСНЫЕ  
СРЕДСТВА  
ОБНАРУЖЕНИЯ*

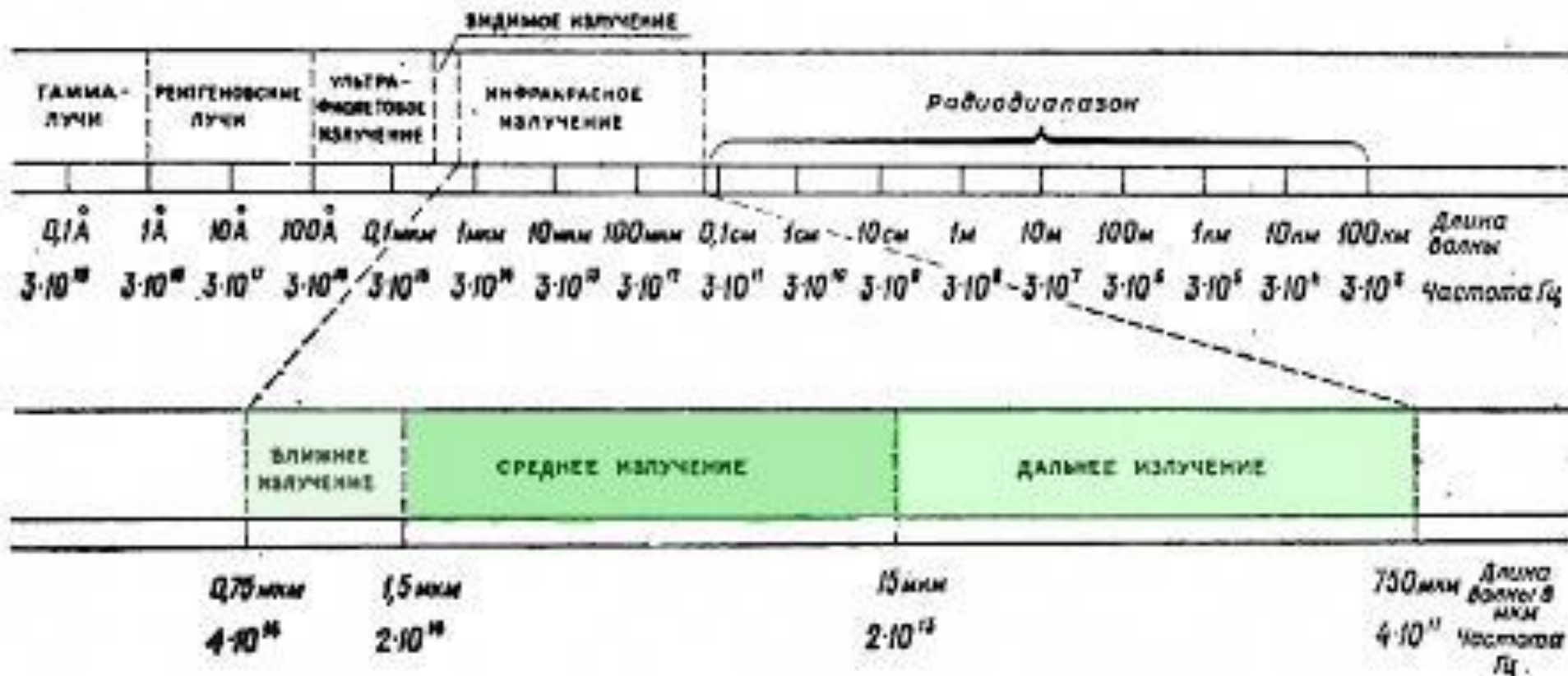
# УЧЕБНЫЕ ВОПРОСЫ

- Физические основы ИК-излучения.
- Излучатели и приемники ИК-излучения.
- Принципы построения активных и пассивных средств обнаружения.

# **Учебный вопрос №1**

- **Физические основы ИК-излучения.**

В спектре электромагнитных колебаний ИК -излучение занимает диапазон, характеризуемый длинами волн  $\lambda = 0.75 \dots 750 \text{ мкм}$



**ближний**  $\lambda = 0,75 \dots 1,5 \text{ мкм}$  (коротковолновый - ближнее излучение);

**средний**  $\lambda = 1,5 \dots 20 \text{ мкм}$  (средневолновый);

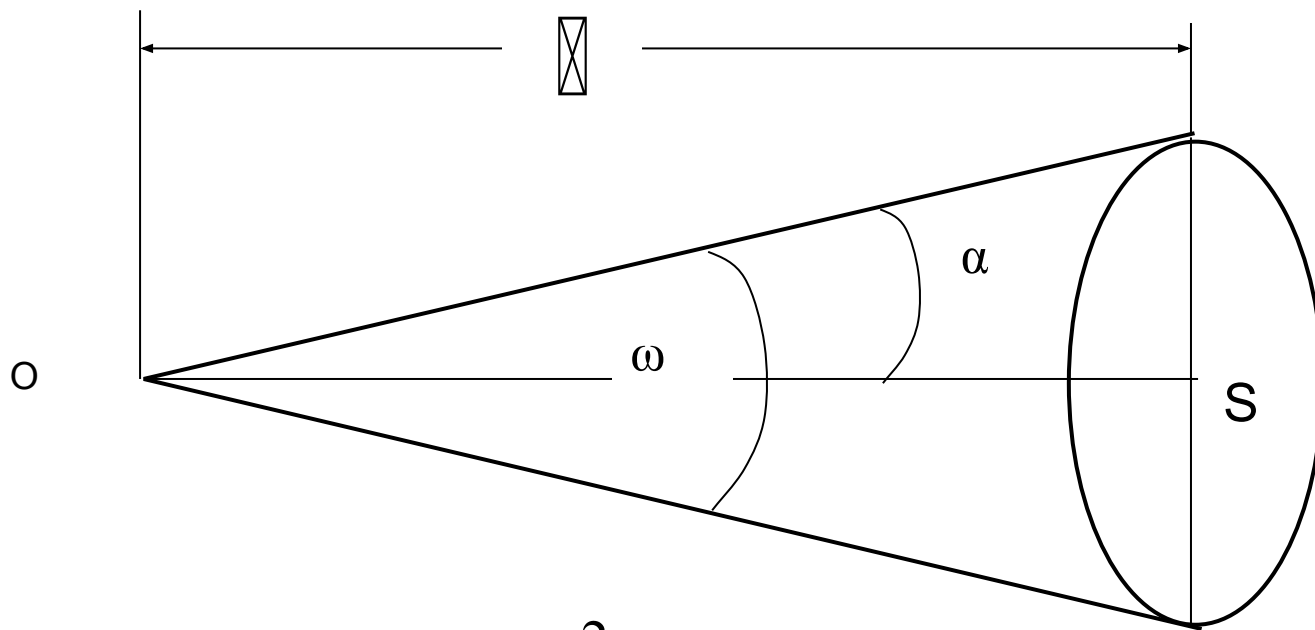
**дальний**  $\lambda = 20 \dots 1000 \text{ мкм}$  (длинноволновый).

# ИК - излучения характеризуют

## следующими основными величинами:

- энергией излучения (лучистой энергией)  $W$  (Дж);
- потоком излучения (лучистым потоком)  $\Phi = W/t$  (Вт) - это энергия, переносима в единицу времени;
- энергетической силой света (силой излучения)  $I = \Phi/\omega$  (Вт/ср) - это отношение лучистого потока, излучаемого внутри телесного угла  $\omega$ , к величине этого угла. Если источник точечный то  $I = \Phi/4\pi$  (Вт/ср);
- плотностью излучения  $R = \Phi/S$  (Вт/см<sup>2</sup>) - это лучистый поток с единицы излучающей поверхности, сосредоточенной внутри телесного угла  $2\pi$ , излучаемый во всех направлениях;
- энергетической освещенностью (облученностью)  $E = \Phi/S$  (Вт/см<sup>2</sup>) - отношение лучистого потока к площади облучаемой поверхности, по которой он равномерно распределен;
- энергетической яркостью (лучистостью)  $B = I/S \cos \alpha$  (Вт/ср см<sup>2</sup>) - это сила излучения с единицы излучаемой поверхности.

# Зависимость между облученностью и силой излучения



$$E = \left( \frac{\Phi}{\omega \square^2} \right) \cos \alpha$$

№ п/п	Величина	Буквенное обозначение	Основная единица измерения	Формула связи с другими величинами
1	Энергия излучения	<b>W</b>	Вт · с	-
2	Поток излучения (лучистый поток)	<b>Φ</b>	Вт	<b>Φ = dW / dt</b>
3	Спектральная плотность лучистого потока	<b>f</b>	Вт/см	<b>f = dΦ / dλ</b>
4	Энергетическая сила света (сила излучения)	<b>I</b>	Вт/Ср	<b>I = dΦ / dω</b>
5	Спектральная плотность силы излучения	<b>i</b>	Вт/Ср · см	<b>i = dΦ / dω · dλ</b>
6	Плотность излучения	<b>R</b>	Вт/см <sup>2</sup>	<b>R = dΦ / dS</b>
7	Спектральная плотность излучения		Вт/см <sup>3</sup>	<b>r = dΦ / dSdλ</b>
8	Энергетическая освещенность (облученность)	<b>E</b>	Вт/см <sup>2</sup>	<b>E = dΦ / dS</b>
9	Энергетическая яркость (лучистость)	<b>B</b>	Вт/Ср · см <sup>2</sup>	<b>B = dI / dS · cosα</b>
10	Спектральная плотность энергетической яркости	<b>b</b>	Вт/Ср · см <sup>3</sup>	<b>b = dI / dS · cosα · dλ</b>

# Прохождение ИК - излучения через атмосферу.

Условия прохождения лучистого потока в атмосфере оценивают коэффициентом прозрачности данного слоя атмосферы.

Коэффициент прозрачности  $\tau$  - отношение лучистого потока  $\Phi$ , прошедшего через атмосферный слой определенной толщины, к начальному значению входящего потока  $\Phi_0$

$$\tau = \Phi / \Phi_0.$$



# Окна прозрачности

Явление обусловлено в основном воздействием молекулярного поглощения атмосферы.

Поглощение ИК - излучения на многих участках спектра практически полное. Поэтому говорят о прохождении ИК - излучения в атмосфере только в некоторых окнах прозрачности. "Окнам" соответствуют интервалы длин волн

ИК - излучения:

$$\lambda = 0,95 - 1,05 \text{ мкм};$$

$$\lambda = 1,15 - 1,35 \text{ мкм};$$

$$\lambda = 1,5 - 1,8 \text{ мкм};$$

$$\lambda = 2,1 - 2,4 \text{ мкм};$$

$$\lambda = 3,3 - 4,2 \text{ мкм};$$

$$\lambda = 4,5 - 5,1 \text{ мкм};$$

$$\lambda = 8 - 13 \text{ мкм}.$$

Характер и интенсивность рассеяния зависят от соотношения между радиусом рассеивающих частиц  $r$  и длиной волны  $\lambda$  падающего излучения:

- - в области  $\lambda = r$  рассеяние максимально;
- - в области  $\lambda < r$  рассеяние зависит только от размеров частиц;
- - в области  $\lambda > r$  рассеяние уменьшается.

# Прохождение ИК - излучения через атмосферу

- в коротко и средневолновой областях могут быть использованы только те участки спектра, где отсутствует избирательное поглощение, т.е. в окнах прозрачности;
- при прозрачной атмосфере, дымке и слабом тумане (видимость более 1 км.), коротковолновые (ближние) ИК - излучение проходит значительно лучше видимого;
- при дожде, снеге, граде и т.п. ( $r > 60$  мкм) ИК - излучение не имеет преимущества перед видимым излучением;
- в прозрачной атмосфере основную роль в поглощении ИК - лучей играют водяные пары, CO<sub>2</sub> и азот. Несколько слабее закись азота N<sub>2</sub>O, метан CH<sub>4</sub>, озон и другие газы.

# **Учебный вопрос №2**

- **ИЗЛУЧАТЕЛИ И ПРИЕМНИКИ ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ**

# Источники ИК - излучения

*естественные*

*искусственные*

тепловые

квантовые некогерентные  
(светодиоды)

квантовые когерентные  
(лазеры)

# **Тепловые источники** – лампы накаливания.

## Недостатки

- тепловая инерционность, которая мешает осуществлять внутреннюю модуляцию ИК - излучения;
- - очень низкий КПД,  $< 3\%$

# Квантовые некогерентные

## источники -

### СВЕТОДИОДЫ.

- КПД почти на порядок выше ( $> 10\%$ );
- излучение монохроматическое и зависит только от физических свойств вещества;
- малая инерционность позволяет модулировать поток и получать импульсы 10 нс.

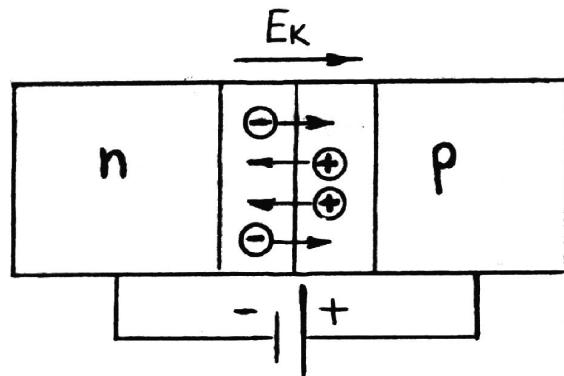
# Квантовые когерентные источники – **ЛАЗЕРЫ**

- высокая направленность
- большая плотность энергии.

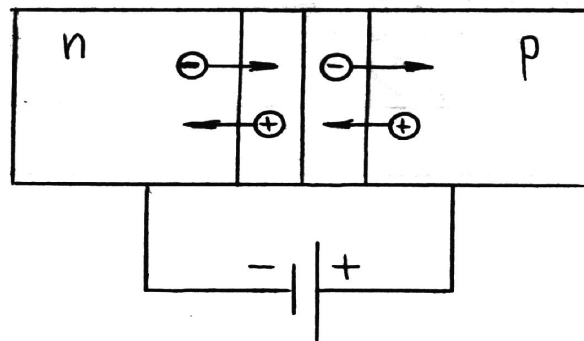
*Когерентное, или связанное, излучение представляет собой электромагнитные волны одинаковой частоты, колебания в которых отличаются постоянной разностью фаз, не изменяющейся со временем.*



Светодиод - полупроводниковый прибор, излучающий кванты света под действием приложенного к нему напряжения.

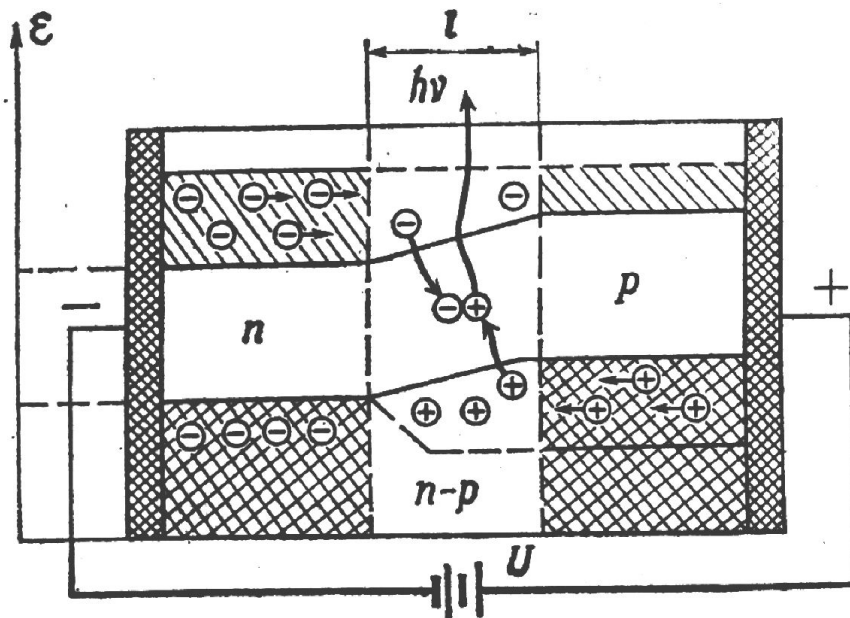


Структура светодиода с р-п переходом.



Движение носителей зарядов в монокристалле с "р-п"-переходом.

Энергетическая диаграмма процессов, происходящих в арсенид-галлиевом полупроводнике.



Выделение фотонов света вызывает интенсивное свечение p-n перехода в инфракрасной области спектра.

$E=h\nu$  - квант энергии,

## Приемники инфракрасного излучения.

***тепловые***

энергия потока  
излучения  
преобразуется в  
тепловую

***фотоприемники.***

фотоны лучистого потока  
непосредственно  
воздействуют на  
энергетическое состояние  
атомов приемника.

# Тепловые приемники

- приемники, создающие термоэлектродвижущую силу (термо-ЭДС) при нагревании их падающим ИК-излучением (**термоэлементы**).
- приемники, реагирующие на изменение температуры приемной площадки и преобразующие тепловое излучение в электрический сигнал (**боллометры и пирозлектрические приемники**)

# Термоэлемент (термопара)

Принцип их действия основан на явлении **термоэлектрического эффекта**. Этот эффект состоит в том, что при нагреве двух разнородных спаянных между собой проводников **возникает термо-ЭДС**, вызывающая в цепи электрический ток.

Термо-ЭДС возникает вследствие разности температур между двумя спаями.

# ***Болометры***

- Болометром называется приемник лучистой энергии, действие которого основано на изменении электропроводности чувствительного элемента при нагревании его вследствие поглощения излучения.

# ***Пироэлектрические приемники***

- *Действие пироэлектрических приёмников* основано на способности сегнетоэлектрических материалов создавать электрические заряды на своей поверхности при механических деформациях.
- Под действием падающего потока ИК - излучений возникает неравномерный нагрев конденсатора с сегнетоэлектриком, что приводит к деформации последнего и к появлению зарядов на обкладках конденсатора.

## *Фотоэлектрический эффект* - явление возбуждения электронов под воздействием энергии излучения

Если фотоэлектроны при облучении остаются в веществе, участвуя в образовании тока проводимости, то фотоэффект называется **внутренним**, или эффектом фотопроводимости.

Если же фотоэлектроны не только возбуждаются, но и покидают вещество, то возникает **внешний** фотоэффект. Внешний фотоэффект сопровождается фотоэлектронной эмиссией.



# ***ПРИЕМНИКИ С ВНУТРЕННИМ ФОТОЭФФЕКТОМ***

- Фоторезисторы — это полупроводниковые приемники энергии излучения, изменяющие свою проводимость (сопротивление) при воздействии потока излучения.

# ***ПРИЕМНИКИ С ВНУТРЕННИМ ФОТОЭФФЕКТОМ***

- Фотодиод (ФД) — это полупроводниковый прибор (диод), обладающий свойством односторонней проводимости при воздействии энергии излучения.

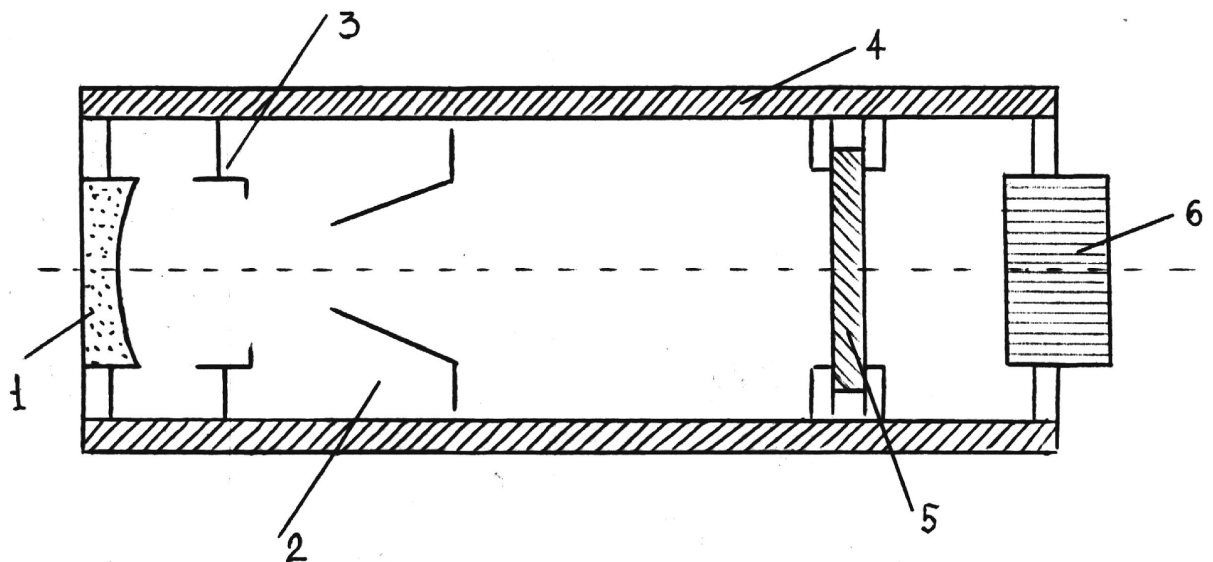
# ПРИЕМНИКИ С ВНУТРЕННИМ ФОТОЭФФЕКТОМ

- **Фототранзистор (ФТ)** представляет собой полупроводниковый приемник, состоящий из трех чередующихся областей проводимости  $p$  и  $n$ :  $p-p-r$  или  $n-r-n$ . Как и в полупроводниковом транзисторе, фототранзистор имеет коллектор, эмиттер и базу. База обычно служит приемной площадкой излучения. Работает фототранзистор по принципу обычного полупроводникового транзистора, в котором роль управляющего тока выполняет ток, вызываемый попадающим на базу излучением, т.е. фототранзистор практически осуществляет внутреннее усиление фототока.

# **ПРИЕМНИКИ С ВНЕШНИМ ФОТОЭФФЕКТОМ**

- Электронно-оптические преобразователи (ЭОП), применяемые в пассивных ИК - приборах наблюдения, представляют собой вакуумные фотоэлектронные приборы для преобразования невидимого глазом изображения объекта в инфракрасных лучах в видимое и для усиления яркости этого изображения.

# Схема микроканального ЭОП типа ЭП-10.



- 1-катодный узел; 2-анод; 3-фокусирующая система;  
4-корпус металлизированное стекло);  
5-блок микроканальной пластины (МКП);  
6-экранный узел.

# **Учебный вопрос №3**

- **ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АКТИВНЫХ И ПАССИВНЫХ ИНФРАКРАСНЫХ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ**

# ИК - средства обнаружения

Предназначены для поиска теплоизлучающих объектов, наблюдения за ними, а также для обнаружения какого-либо объекта по некоторым признакам.

Приборы этой категории преобразуют информацию, содержащуюся в лучистом потоке, излучаемом объектом, в информацию, считываемую оператором с экрана прибора наблюдения.

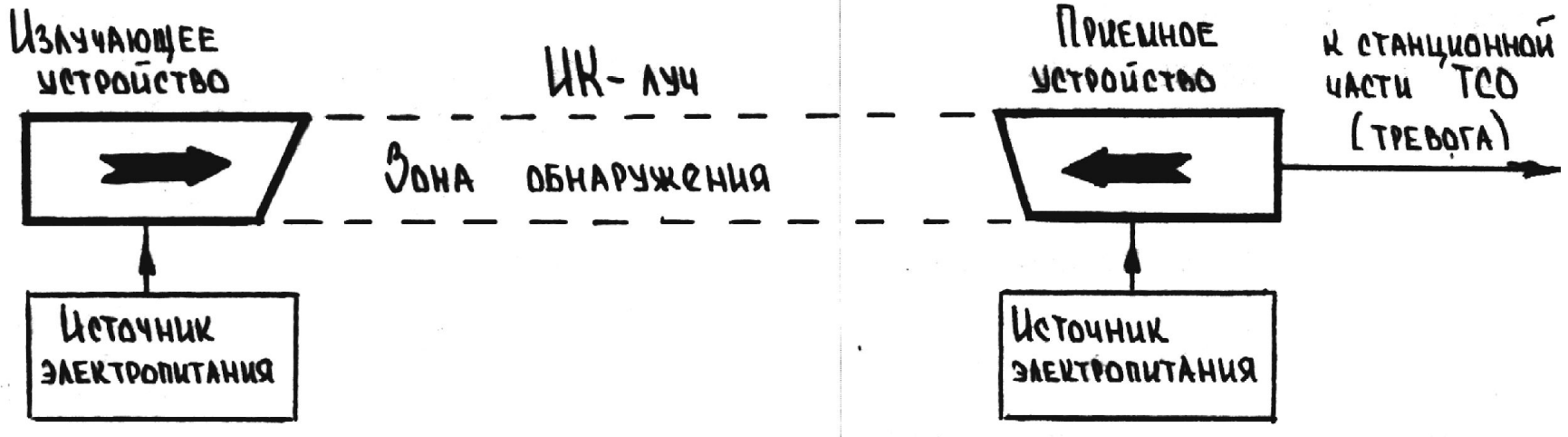
# ИК - средства для охраны подразделяют на активные и пассивные.

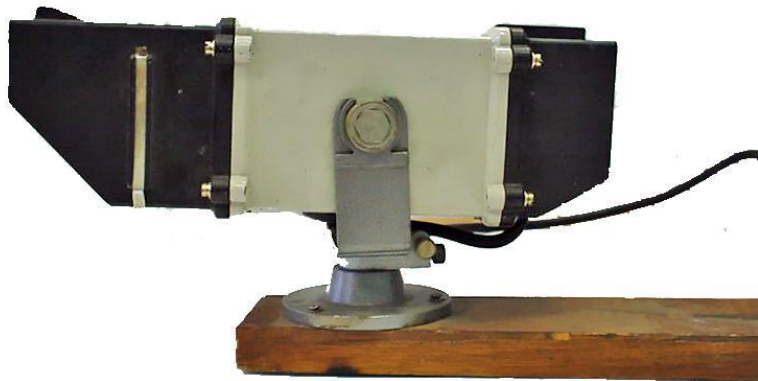
- *Активные* средства предпочтительнее для применения на открытом воздухе. Их принцип действия основан на облучении объекта обнаружения направленным лучом ИК - излучения и контроле изменения его интенсивности в результате воздействия нарушителя.
- *Пассивные ИК - средства* в основном применяются для охраны режимных помещений, зданий и сооружений закрытого типа. Их работа основана на контроле тепловых излучений тела человека на фоне ИК - излучений окружающей среды закрытого помещения, здания.



- Тепловизоры - устройства, предназначенные для наблюдения нагретых объектов по их собственному тепловому излучению даже в условиях полной темноты. Они преобразуют невидимое глазом человека ИК - излучение в электрические сигналы которые после усиления и обработки вновь преобразуются в видимое изображение объектов. С помощью этих приборов наблюдатель имеет возможность в темное время суток "видеть" на достаточно большом удалении (до 2 км.) живую силу и технику противника.

# Структура фотолучевого (активного) ИК - датчика обнаружения





# Схема оптического устройства пассивного ИК - датчика обнаружения "КРУШИНА".

