

# ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Группы СПД 21, 22

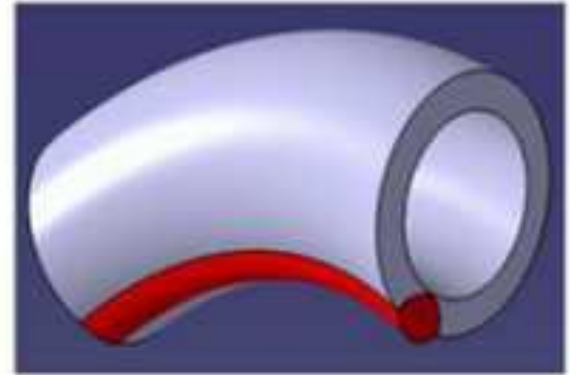
Лектор: Царьков Андрей Васильевич

## Литература:

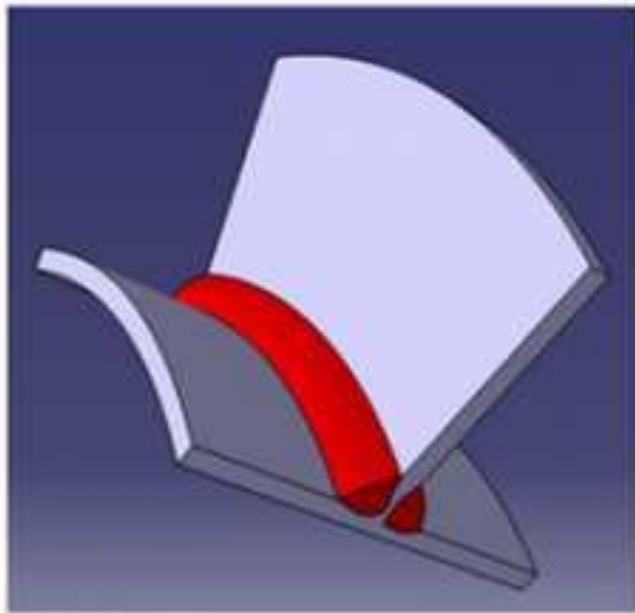
1. Рыкалин Н.Н. Расчет тепловых процессов при сварке. – М. Машгиз, 1951. – 296 с.
2. Теоретические основы сварки/ под ред. В.В. Фролов. – М.: Высш. шк., 1970. – 592 с.
3. Теория сварочных процессов: учеб. для вузов / под ред. В.В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1988 – 559 с.
4. Кархин В.А. Тепловые процессы при сварке. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015 – 572 с.



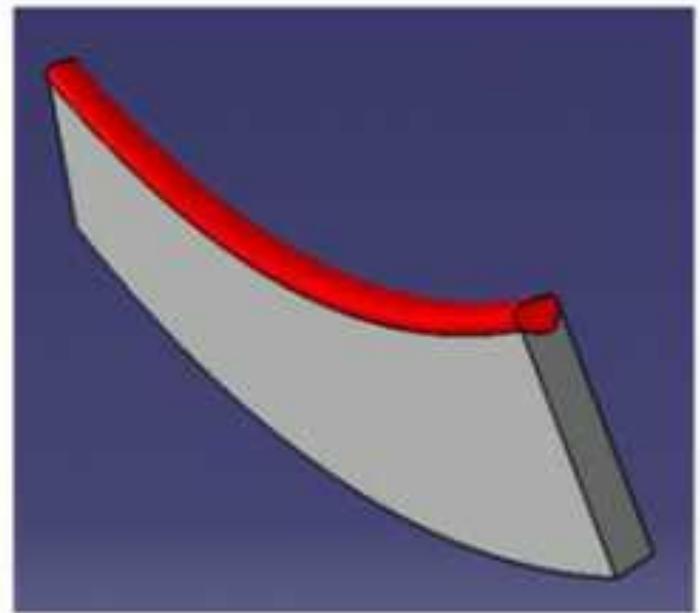
a)



b)

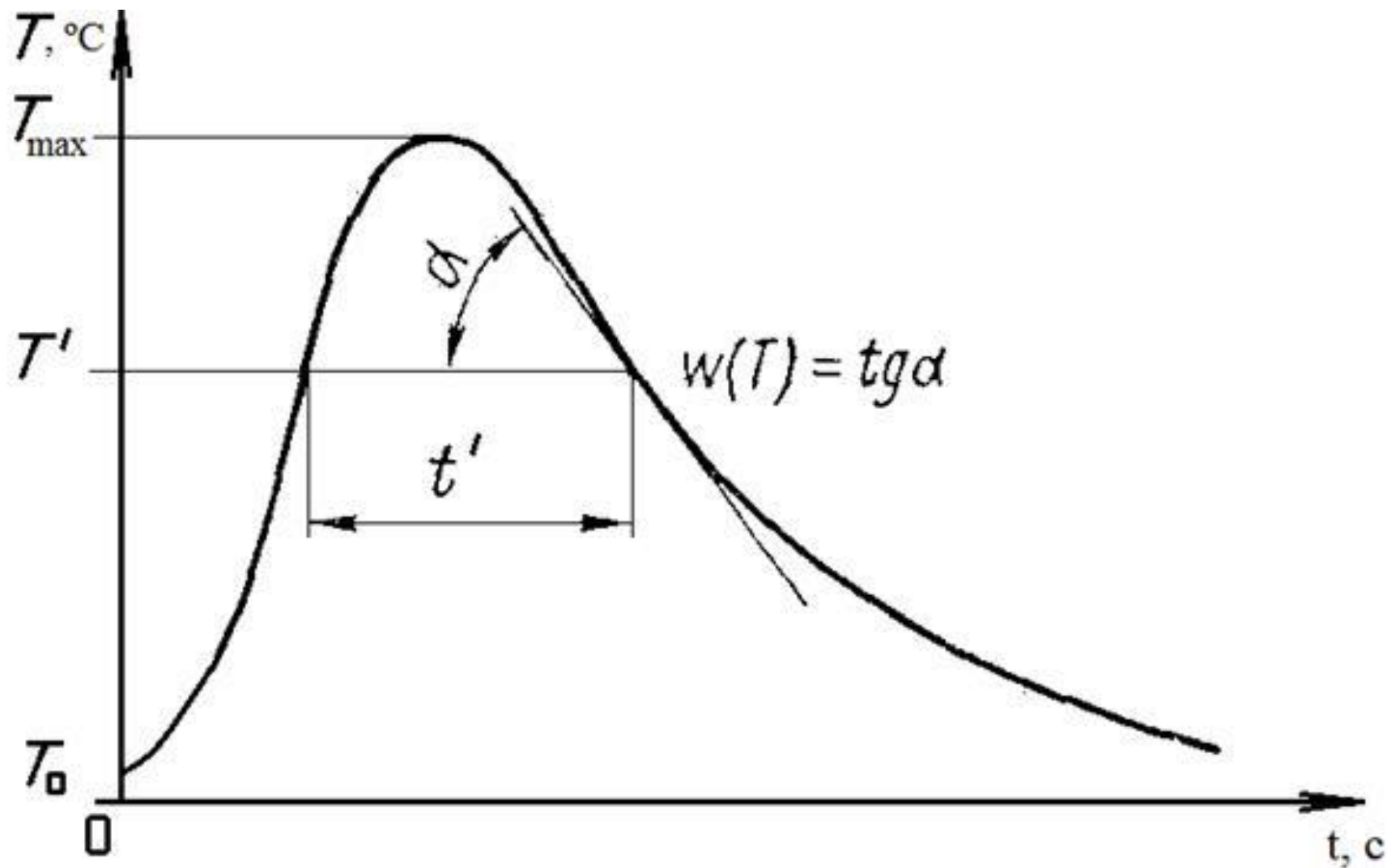


c)

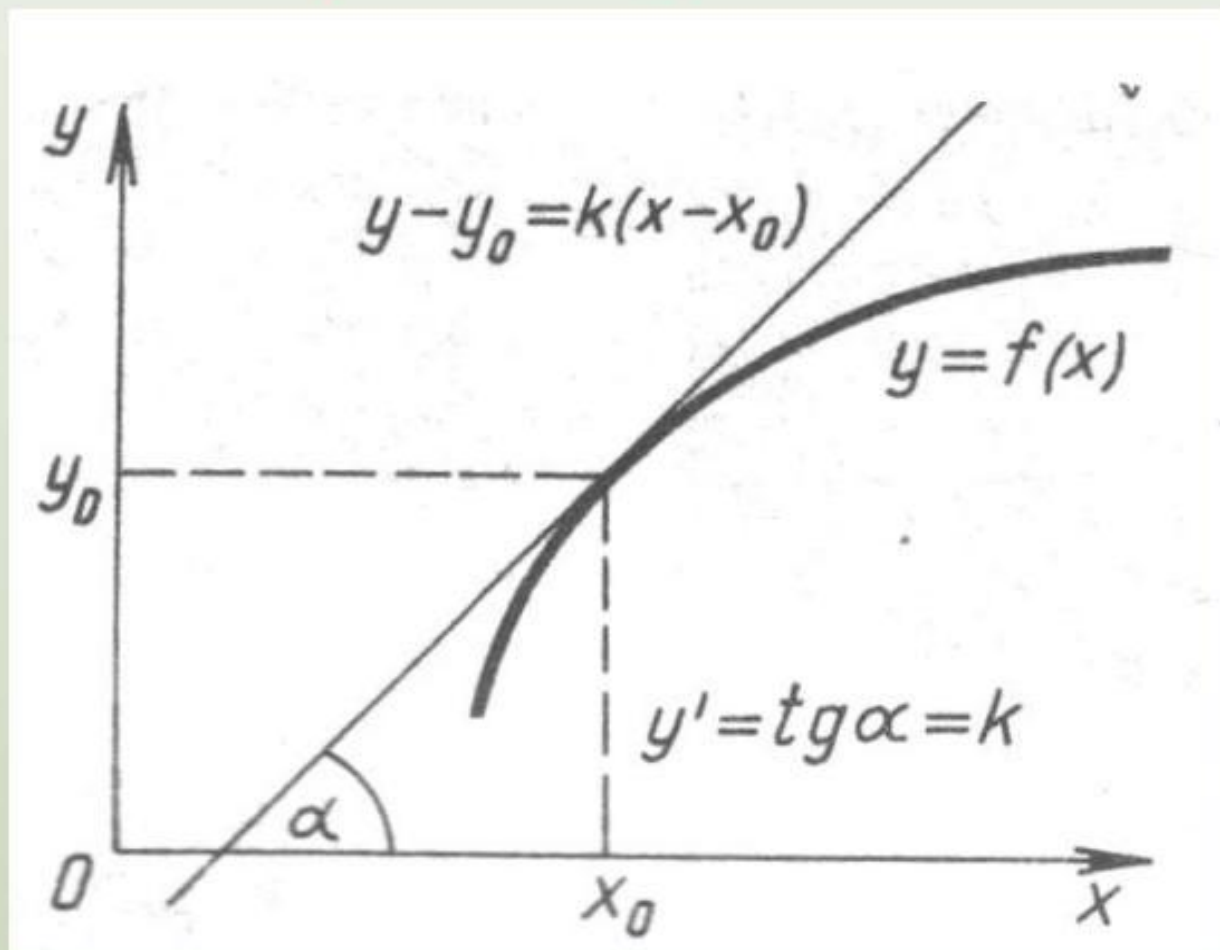


d)

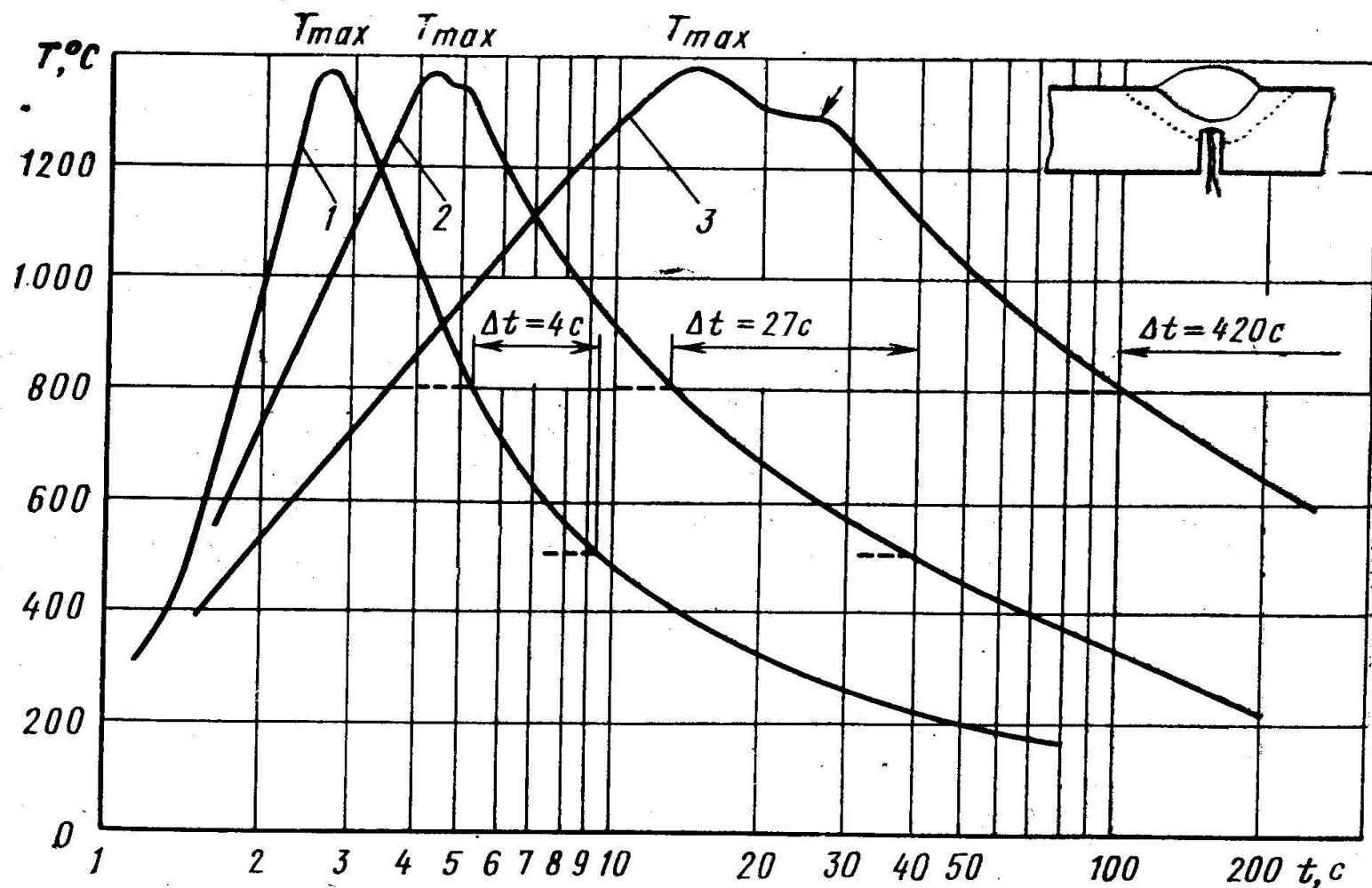
# Термический цикл

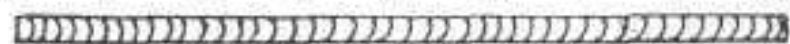
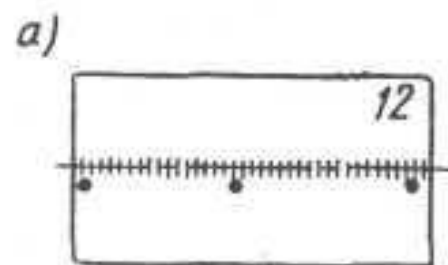
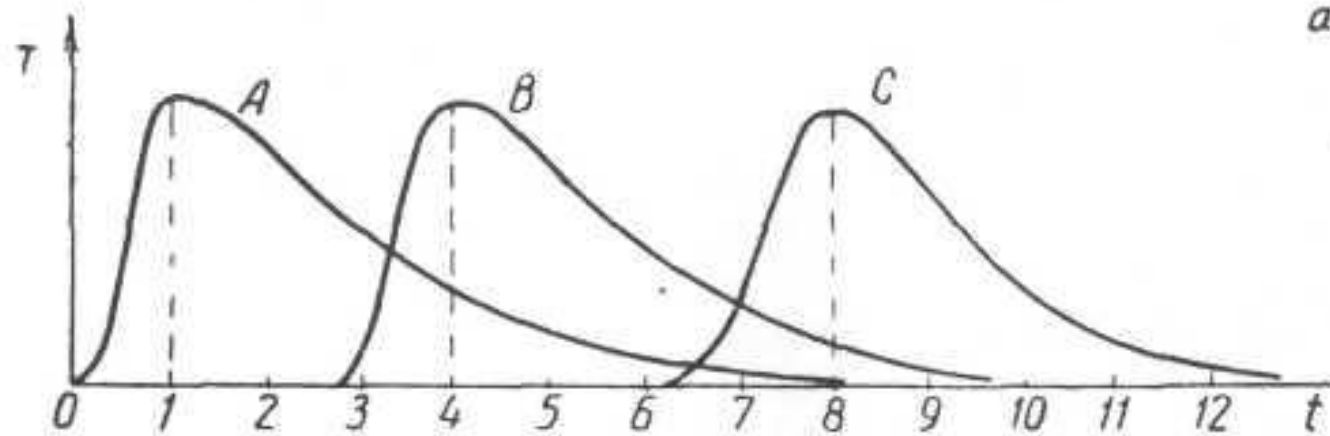
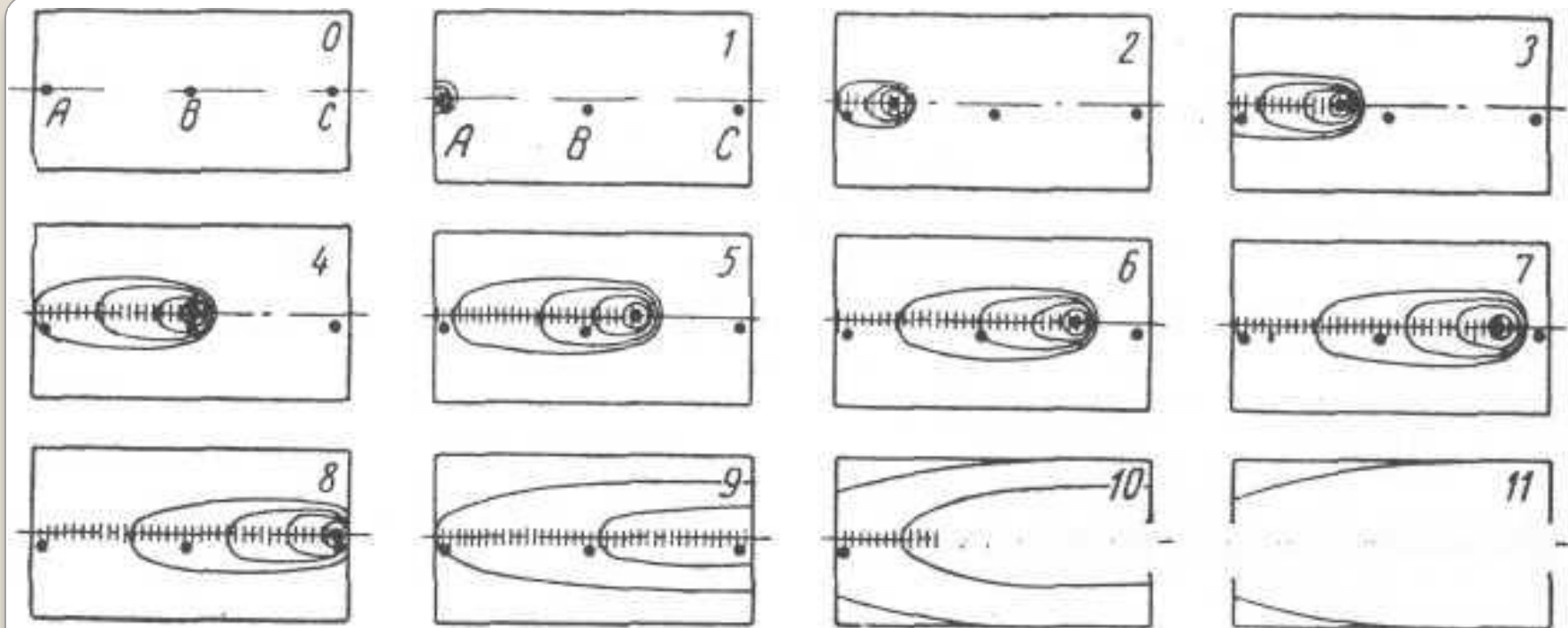


# Геометрический смысл производной

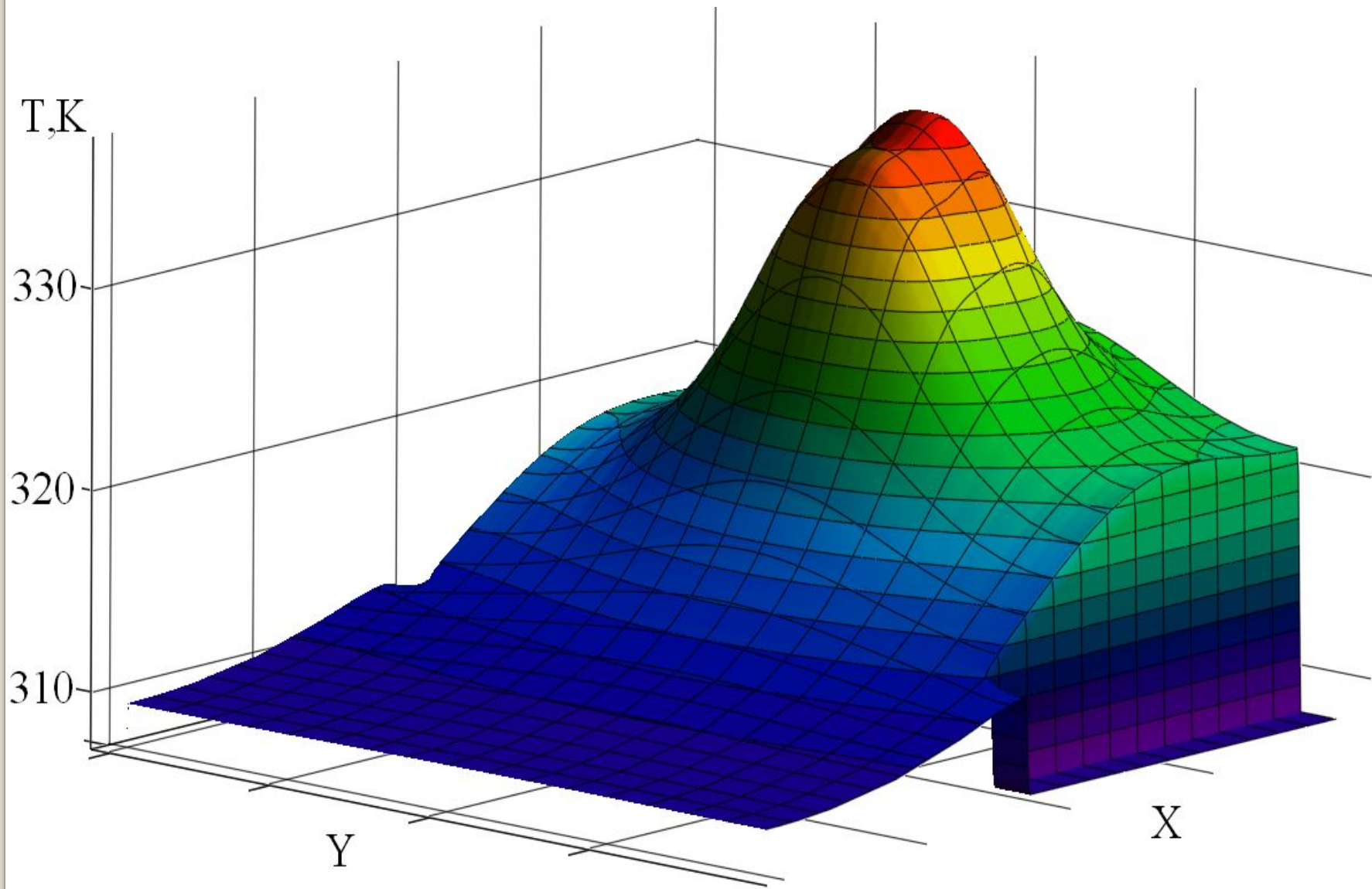


Типичные термические циклы для ручной дуговой сварке (1), сварке под флюсом (2) и электрошлаковой сварке (3).





b)

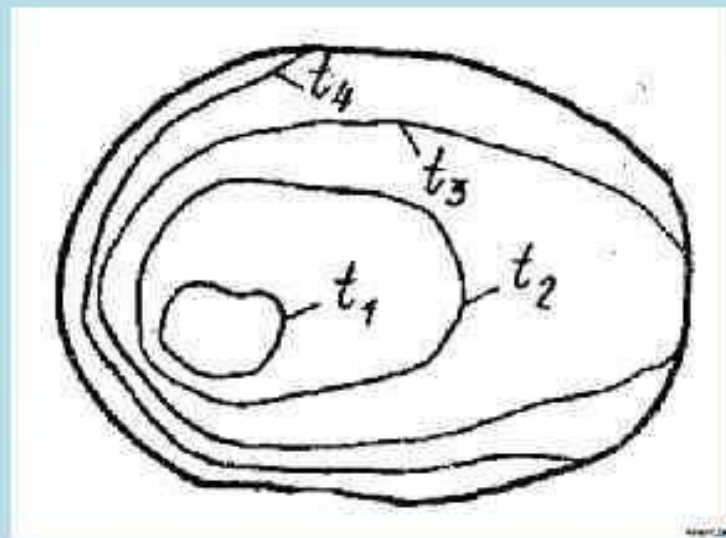




- При любом температурном поле в теле всегда имеются «частицы» с одинаковой температурой. Если такие частицы мысленно соединить, то получим **изотермические поверхности**.
- **Изотермическая поверхность** – это геометрическое место точек с одинаковой температурой.

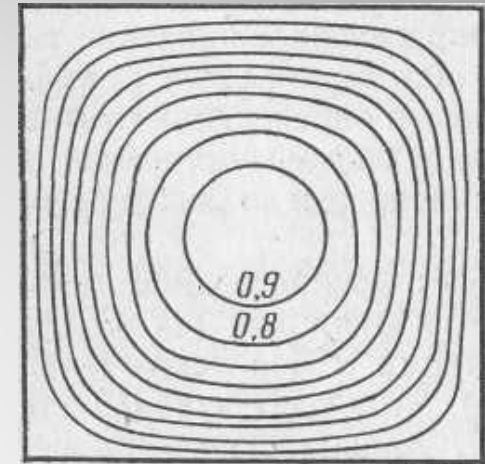
**Изотермические поверхности** (изотермы) могут замыкаться на себя или выходить на границу тела.

**Изотермические поверхности** между собой никогда не пересекаются.

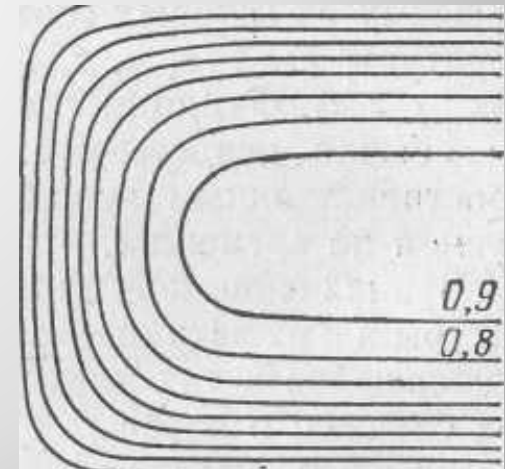
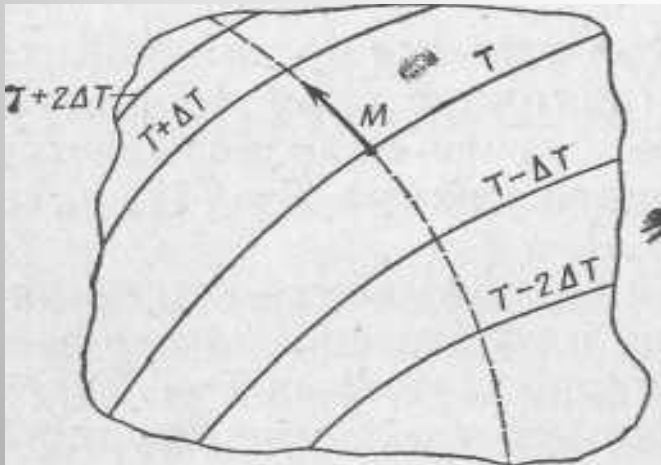


# Температурное поле

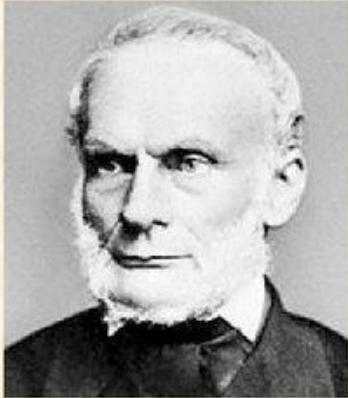
$$T = T(x, y, z),$$
$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0$$



$$T(x, y, z, t) = C \text{ или } T = C, \text{ где } C = \text{const}$$



# ***Второй закон термодинамики***



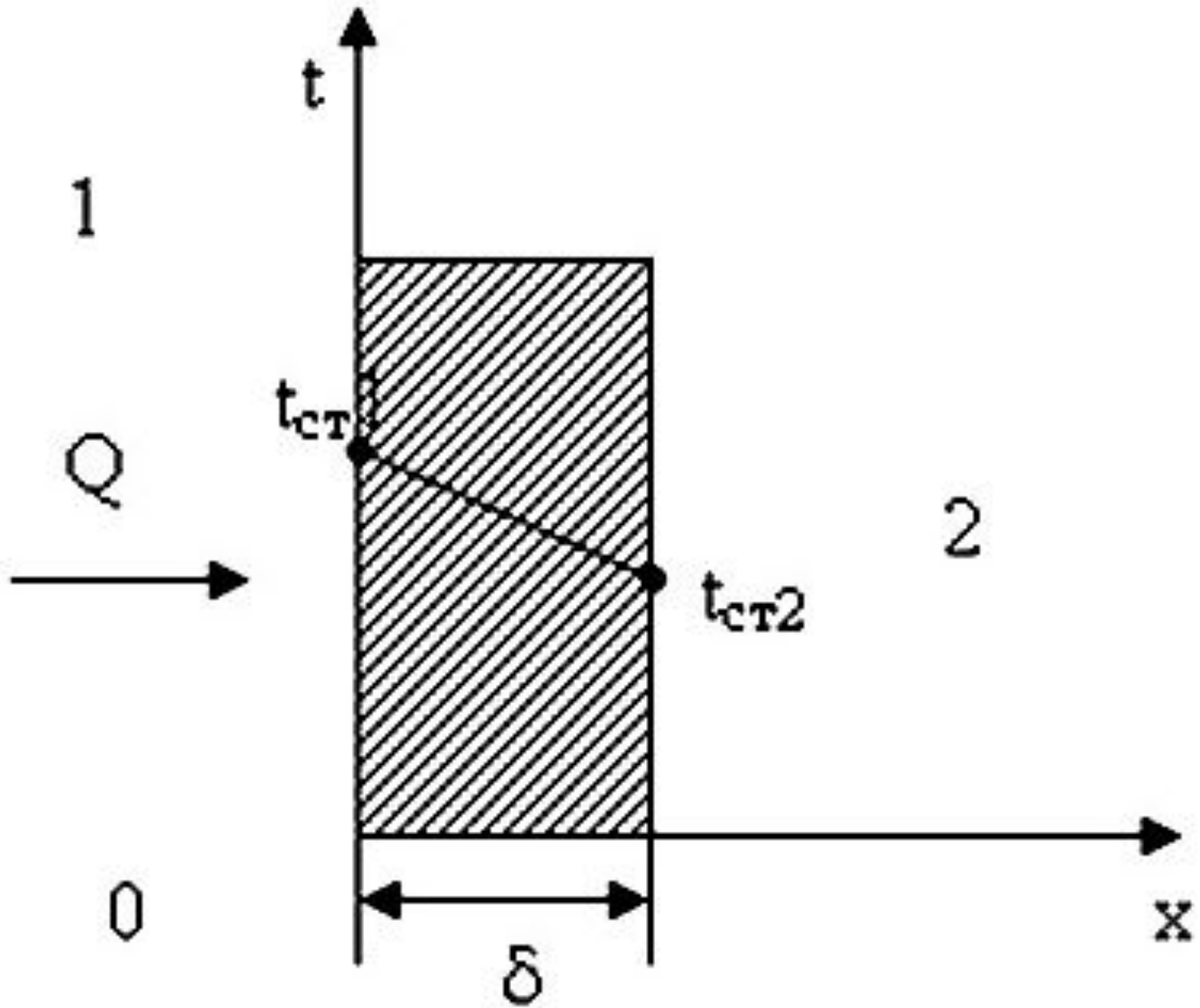
**Рудольф Клаузиус**  
1822-1888

Невозможен самопроизвольный перенос тепла от более холодного тела к более горячему

Природа стремится перейти из менее вероятного состояния в более вероятное



**Людвиг Больцман**  
1844-1906



# Градиент температуры

- Градиент температуры - это вектор, нормальный к изотермической поверхности и направленный в сторону возрастания температуры. Численно градиент температуры равен производной от температуры по нормали к поверхности:

$$\text{grad}t = \lim\left(\frac{\Delta t}{\Delta n}\right) = \frac{dt}{dn}$$

# Градиент температуры

**Градиентом температурного поля** в данной точке, называется вектор, проекциями которого на координатные оси, являются частные производные от температуры в данной точке.

$$\overline{gradt} = \vec{i} \frac{\partial t}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial t}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial t}{\partial z}$$

Модуль градиента:

$$|\overline{gradt}| = \sqrt{\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial z}\right)^2}$$

- Тепловой поток – количество теплоты переносимое за единицу времени

$Q, \text{Вт}$

- Плотность теплового потока – количество теплоты, переносимое за единицу времени через единицу площади

$q, \text{Вт/м}^2$



# Фурье, Жан Батист (1768-1830)

Выдающийся французский  
математик.

Дал четкое определение  
понятию функция.



## Основной закон теплопроводности

Численно коэффициент теплопроводности равен количеству тепла, проходящего в единицу времени через единицу площади изотермической поверхности при условии, что градиент температур в рассматриваемой точке равен единице

Закон Фурье (1822 г.): **Элементарное количество тепла  $dQ$ , проходящее через элемент изотермической поверхности  $dS$  за время  $dt$ , пропорционально температурному градиенту.**

$$\text{grad}T = \frac{\partial T}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial T}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial T}{\partial z} \vec{k}$$

$$dQ = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} dS dt$$

Теплопроводность можно определить из закона Фурье:

$$\lambda = \frac{|q|}{\left| \frac{\partial t}{\partial n} \right|} = \frac{|q|}{|\text{grad } t|},$$

$$[\lambda] = 1 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$$

Числовое значение теплопроводности определяет количество теплоты  $Q_T$ , проходящей через единицу изотермической поверхности в единицу времени, при условии, что градиент температуры равен единице ( $\text{grad } t = 1$ ).

# ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

**Коэффициент теплопроводности** - величина, численно равная плотности теплового потока, проходящего через изотермическую поверхность при температурном градиенте, равном единице:

$$\lambda = q/\text{grad } T, [\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})].$$

Коэффициент теплопроводности определяется уравнением Фурье:

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } T$$

Теплопроводность  $\lambda$  зависит от агрегатного состояния вещества, его состава, чистоты, температуры, давления и других характеристик.

## Коэффициент теплопроводности

⊕

Вещество	Коэффициент теплопроводности Вт/(м*град)
Алюминий	209,3
Железо	74,4
Золото	312,8
Латунь	85,5
Медь	389,6
Ртуть	29,1
Серебро	418,7
Сталь	45,4
Чугун	62,8

## Коэффициенты теплопроводности (при комн. температуре)

<b>Металлы и сплавы</b>	
<b>Материал</b>	<b><math>\lambda</math> Вт/(м·К)</b>
Алюминий	204
Бронза (Cu + Sn)	64
Латунь (Cu + Zn)	93
Медь	384
Серебро	458
Сталь: углеродистая	45
нержавеющая	18
Титан	15
Чугун	90

## Порядок коэффициента теплопроводности

газов:

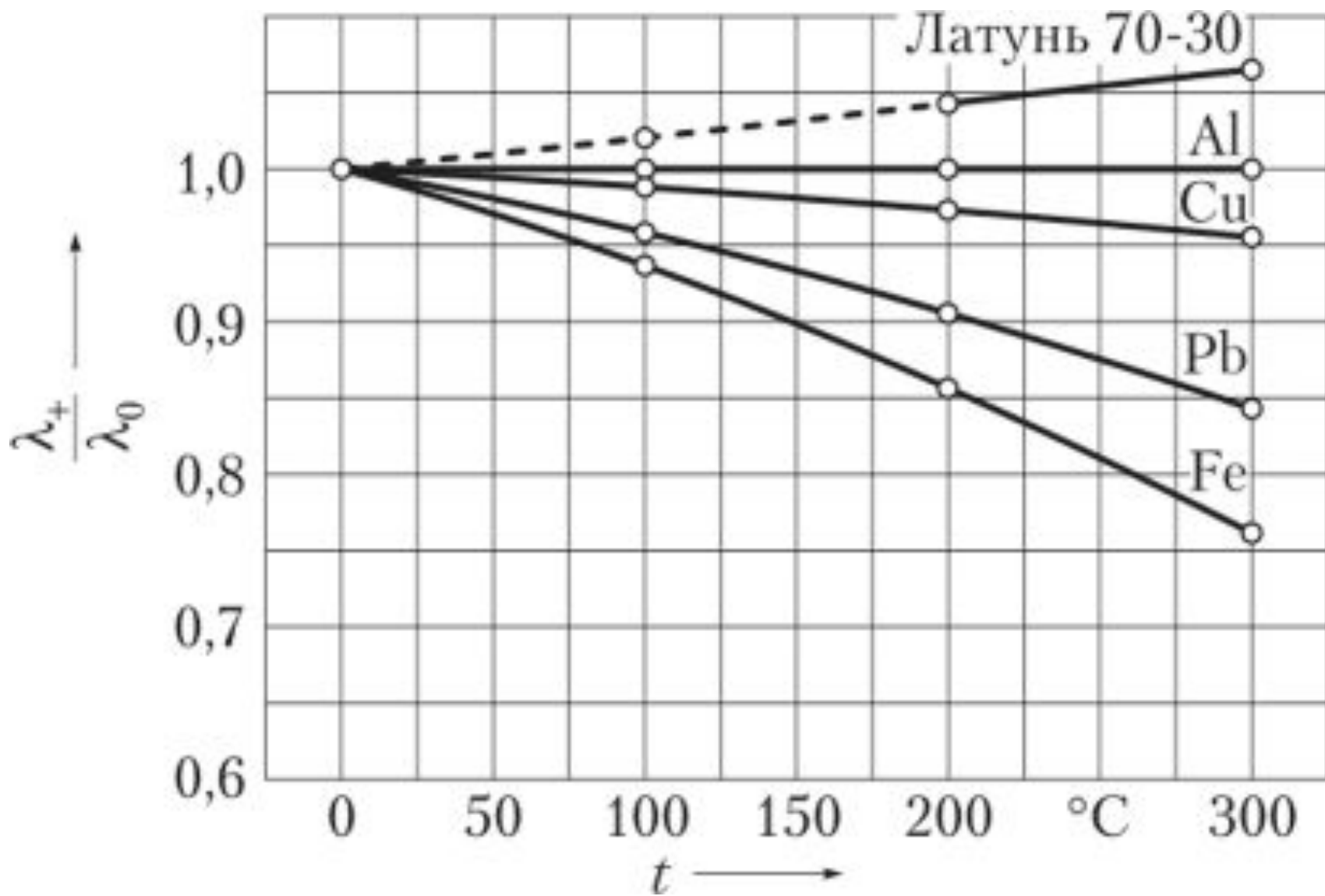
$$\lambda_{\text{Г}} \approx 10^{-3} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}},$$

Твердых тел:

$$\lambda_{\text{Т}} \approx 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}},$$



**Теплопроводность твердых тел в миллион раз выше, чем теплопроводность газов!**



# ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ МЕТАЛЛОВ

Тепло в металлах передается в основном теми же свободными электронами, которые определяют электропроводность

## Закон ВИДЕМАНА-ФРАНЦА-ЛОРЕНЦА

$$\frac{\lambda}{\gamma} = L_0 \cdot T$$

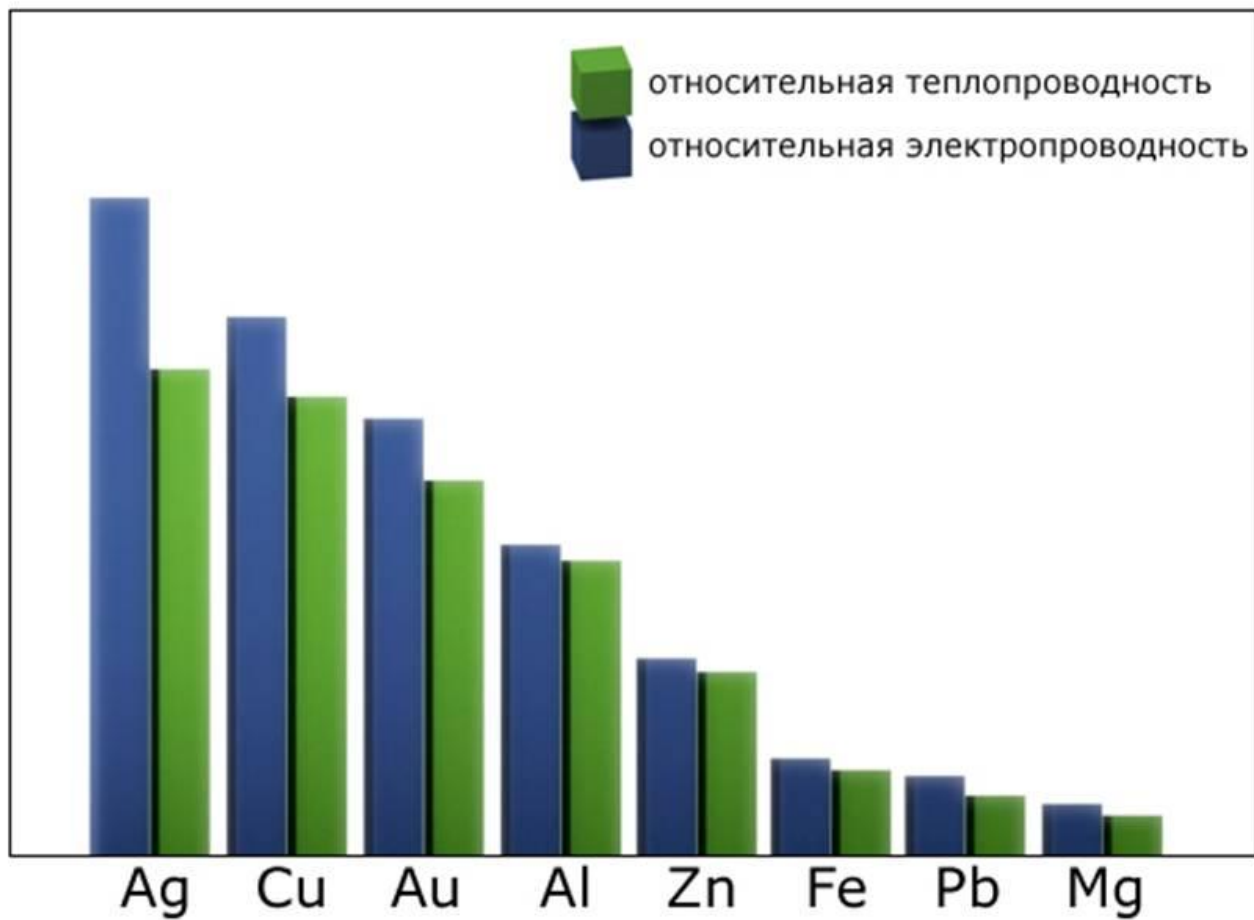
где  $T$  - абсолютная температура,  $K$ ;  
 $L_0$  - число Лоренца, равное

$$L_0 = \frac{\pi^2}{3} \cdot \frac{k}{e^2}$$

$k$  – постоянная Больцмана;  
 $e$  – заряд электрона.



# Электро- и теплопроводность



welding		сварка
temperature		температура
temperature field		температурное поле
thermal cycle		термический цикл
heat		тепло
heat flow		тепловой поток
specific heat flow		удельный тепловой поток
gradient		градиент
thermal conductivity		теплопроводность
thermal conductivity coefficient		коэффициент теплопроводности