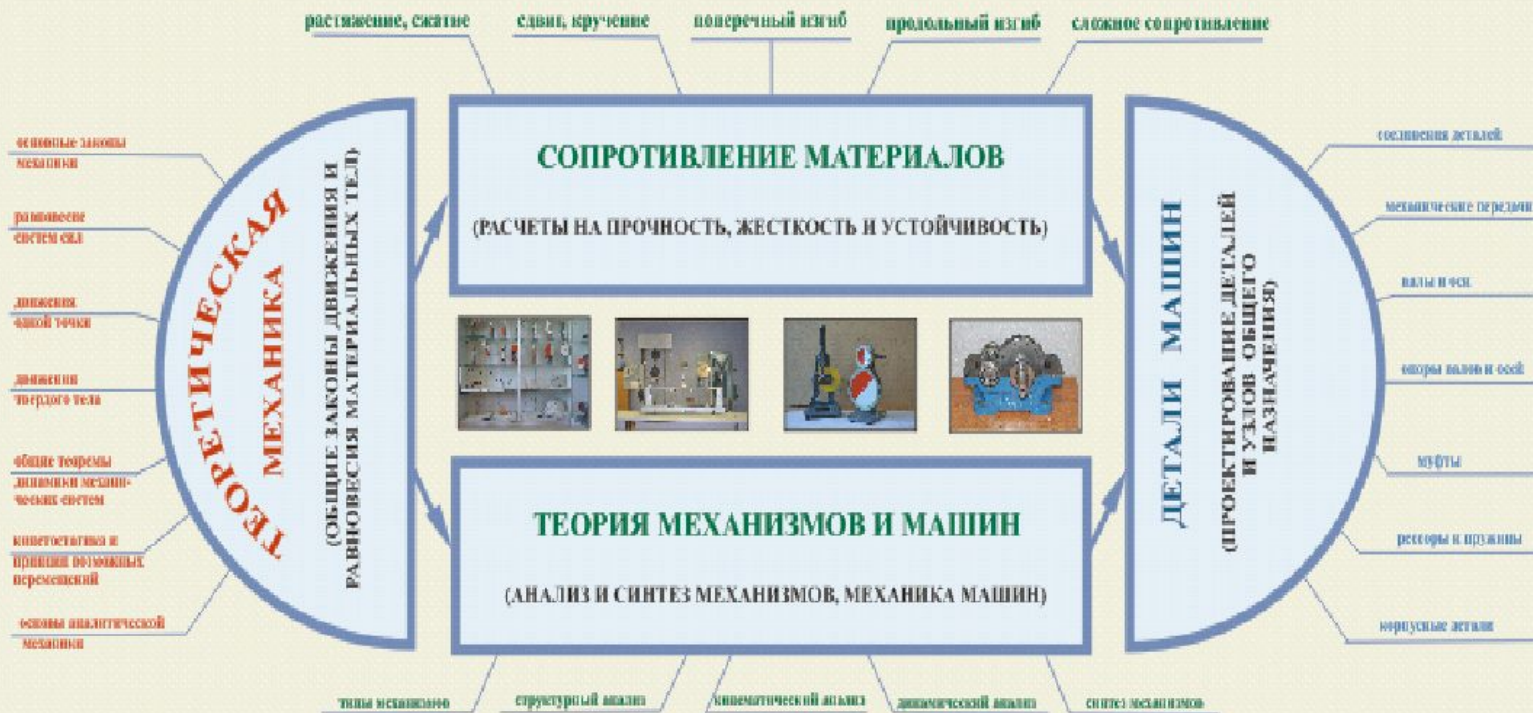


# Теория МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

# СТРУКТУРНО - ЛОГИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ ДИСЦИПЛИН



## ЛИТЕРАТУР

1. Артоболевский М.И. Теория механизмов и машин. - М.: Наука, 1988. - 632с.

2. Фролов К.В., Попов С.А., Мусатов А.К., Тимофеев Г.А. Теория механизмов и механика машин / Учебник для вузов. – М.: изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 688 с.

Дисциплина ТММ как и многие прикладные разделы механики возникла в начале 30-х г. Основоположниками являются Л.Эйлер, Леонардо де Винчи, Ш.Кулон, П.Чебышев. С19в.и по настоящее время приобрела глубокий научный подход в создании и изобретении большого количества машин и механизмов применяемых в различных отраслях промышленности, в том числе и в нефтегазовой отрасли.

ТММ - научная дисциплина об общих методах исследования, построения, кинематики и динамики механизмов.

При изучении дисциплины студенты должны знать термины, определения и обозначения различных параметров машин и механизмов, уметь выполнять структурный анализ конкретных механизмов и определять кинематические и динамические параметры.

Целью изучения дисциплины является научить будущего специалиста понимать и оценивать механические процессы и явления возникающие в типовых механизмах и применять их в практической деятельности.

**СТРУКТУРНЫЙ  
И КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ  
РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ.**

1. Основные понятия и определения
2. Структурный анализ рычажных механизмов
3. Кинематический анализ рычажных механизмов. Метод планов скоростей.

**Машина** – это техническая система, выполняющая механическое движение для преобразования энергии, материалов и информации. Все машины предназначены для облегчения физического и умственного труда человека, т. е. для повышения его качеств и производительности.



**МАШИНА**

```
graph TD; A[МАШИНА] --> B[РАБОЧАЯ]; A --> C[ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ]; A --> D[КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ]; A --> E[ИНФОРМАЦИОННАЯ];
```

**РАБОЧАЯ**

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ**

**КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ**

**ИНФОРМАЦИОННАЯ**

**Механизм** – это техническая система, состоящая из подвижных звеньев, стойки и кинематических пар, образующих кинематические цепи.

# МЕХАНИЗМ

ПОДВИЖНЫЕ

ЗВЕНЬЯ

НЕПОДВИЖНЫЕ

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ  
ПАРЫ

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

ПРОСТЫЕ

СЛОЖНЫЕ

ЗАМКНУТЫЕ

РАЗОМКНУТЫЕ

1 класс

2 класс

3 класс

4 класс

5 класс

Назначение механизмов преобразования перемещений входных звеньев и приложенных к ним силовых факторов в требуемые перемещения и силовые факторы выходных звеньев.

Любые механизмы должны удовлетворять требованиям, заданным в техническом задании на их проектирование, соответствие которым определяет качество механизмов. В общем случае качество структуры механизма определяется простотой конструкции, технологичностью звеньев, экономичностью, надежностью, долговечностью, габаритами и массой.

Оценка работоспособности механизма осуществляются по эксплуатационным факторам, к которым относятся: прочность, жесткость, износостойкость, виброустойчивость, теплостойкость

# Оценка работоспособности

**МЕХАНИЗМ**

**ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ**

**ПРОЧНОСТЬ**

**ЖЕСТКОСТЬ**

**ТЕПЛОСТОЙКОСТЬ**

**ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ**

**ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ**

Техническая система предназначена для выполнения определенных функций и имеет собственную структуру.

## СТРУКТУРА ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

ДЕТАЛИ

УЗЛЫ

**Деталь** – это элемент структуры технической системы, не имеющий внутренних связей.

**Узел** – это совокупность нескольких деталей конструктивно или функционально связанных между собой.

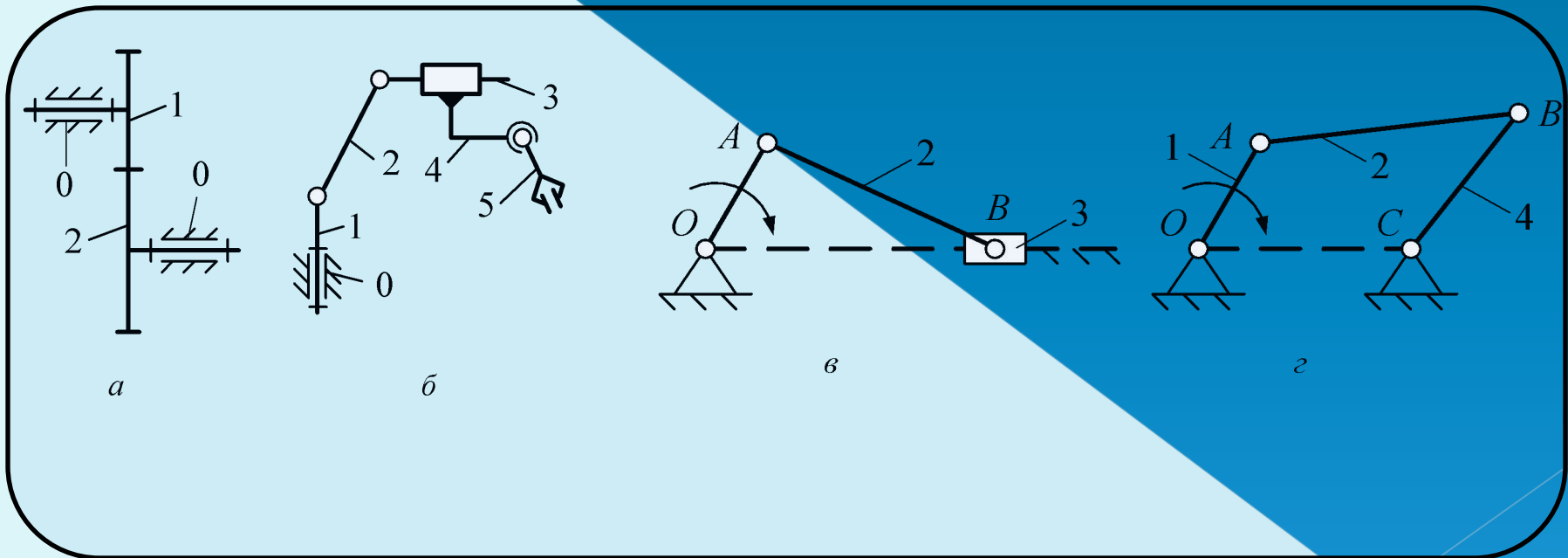
Механизмы предназначены для передачи и преобразования перемещений входных звеньев и приложенных к ним силовых факторов в требуемые перемещения и силовые факторы выходных звеньев.



# Механизмы классифицируются:

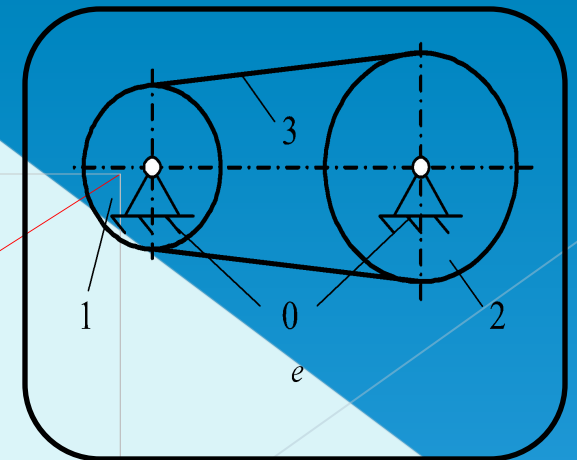
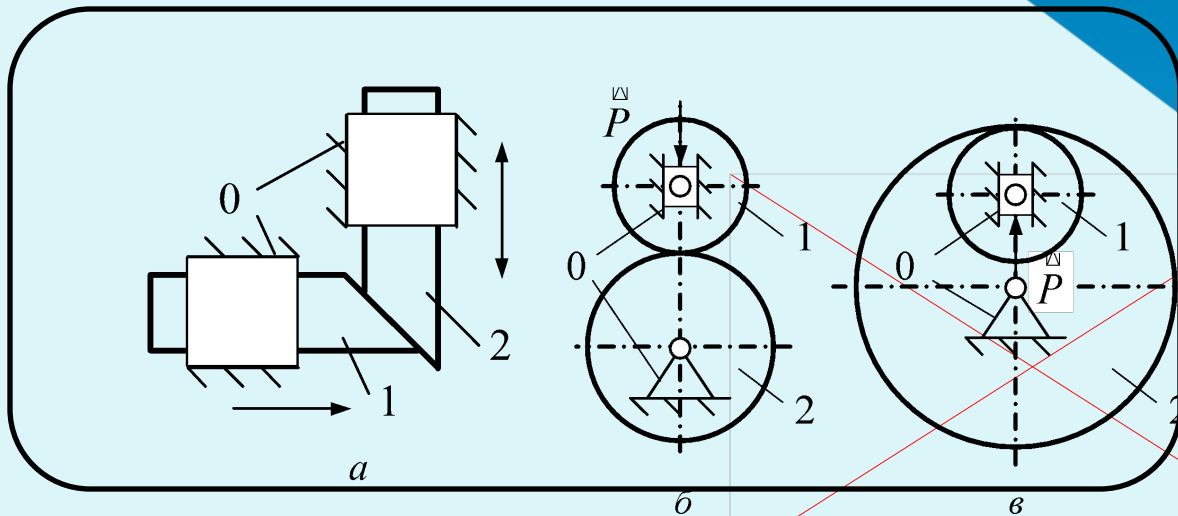
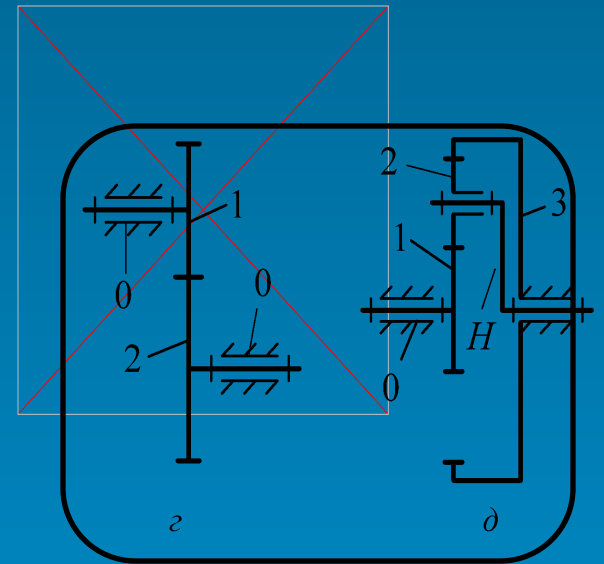
1) по числу подвижностей механизма

- механизмы с подвижностью равной единице (а, в, г);
- механизмы с подвижностью больше единицы (б).



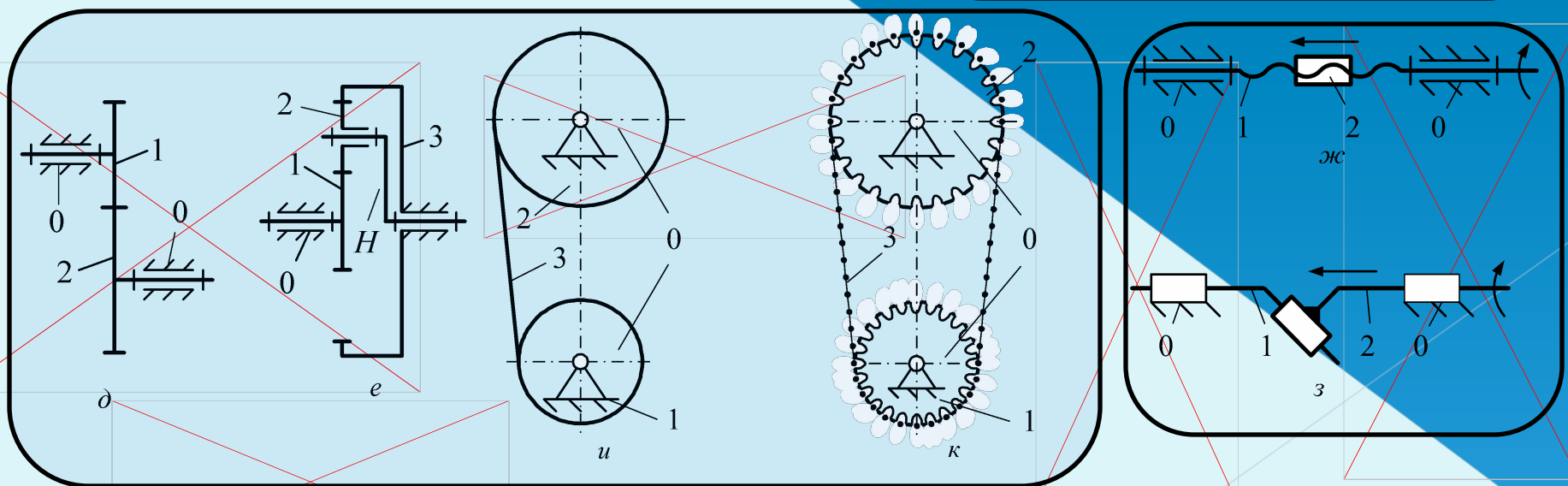
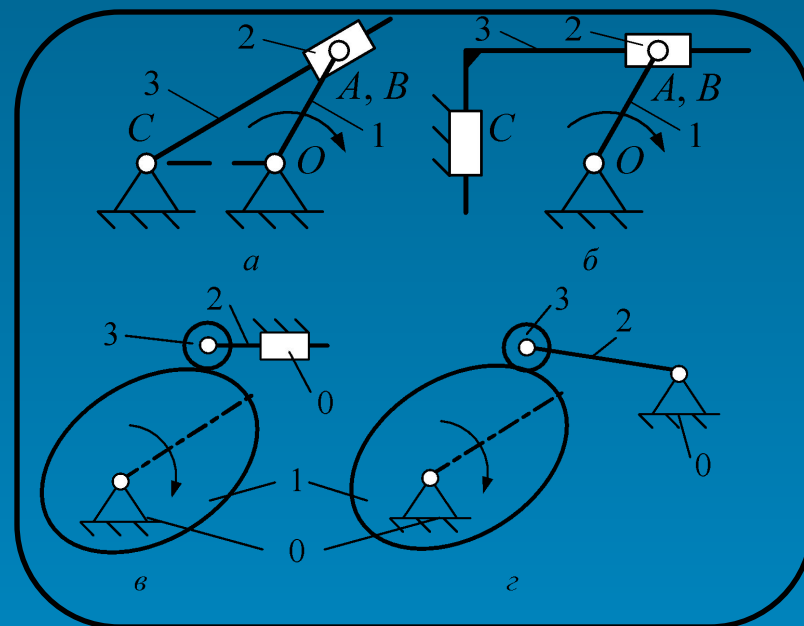
## 2) по способу передачи и преобразования потока механической энергии

- механизмы фрикционные (а, б, в);
- механизмы зацепления (г, д)
- механизмы с гибкой связью (е).



### 3) по конструктивному исполнению звеньев:

- механизмы рычажные (а, б);
- механизмы кулачковые (в, г);
- механизмы зубчатые (д, е);
- механизмы винтовые (ж);
- механизмы клиновые (з);
- механизмы ременные (и);
- механизмы цепные (к).



Типовой механизм – это простой механизм, имеющий при различном функциональном назначении широкое применение в машинах разных видов.

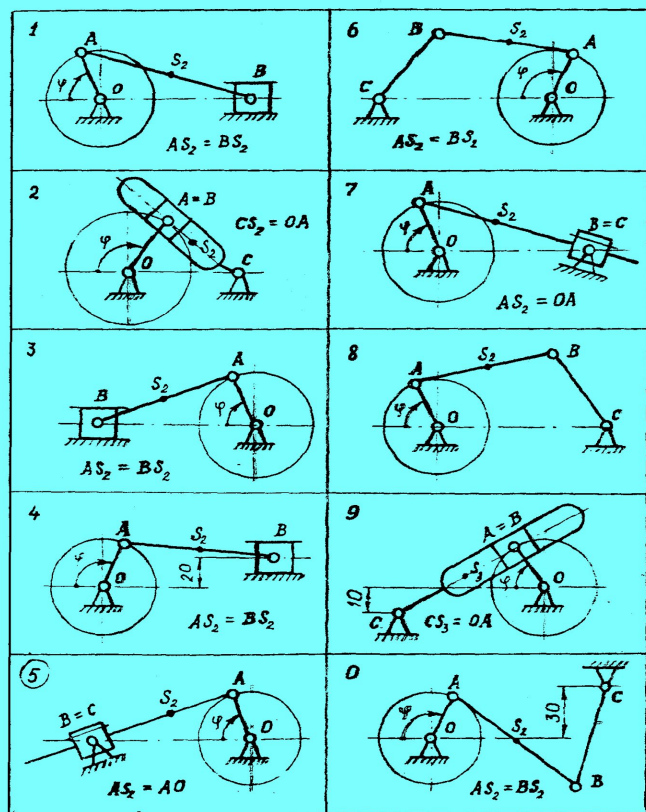


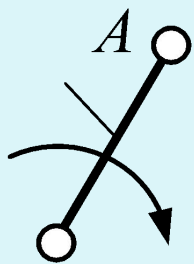
Рис. 5

14

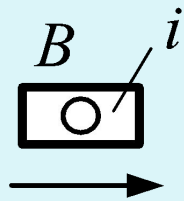
# КЛАССИФИКАЦИЯ ЗВЕНЬЕВ

-простое звено (одно или двух вершинное) – это звено, входящее в состав двух и более кинематических пар, через геометрические центры которых возможно провести одну прямую (а, б, в);

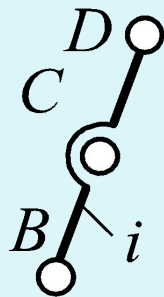
-сложное или составное звено (трех и более вершинное) – это звено, входящее в состав трех и более кинематических пар, через геометрические центры которых невозможно провести одну прямую (г, д).



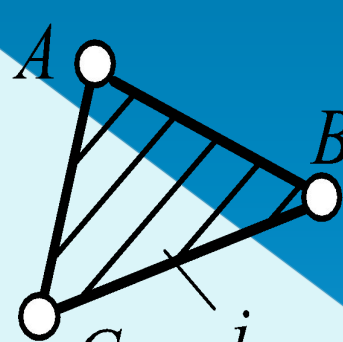
а



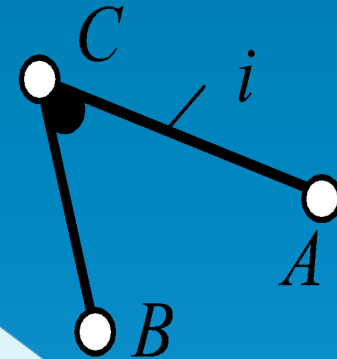
б



в



г



д

Простые звенья - а,б,в, сложные или составные звенья – г,д.

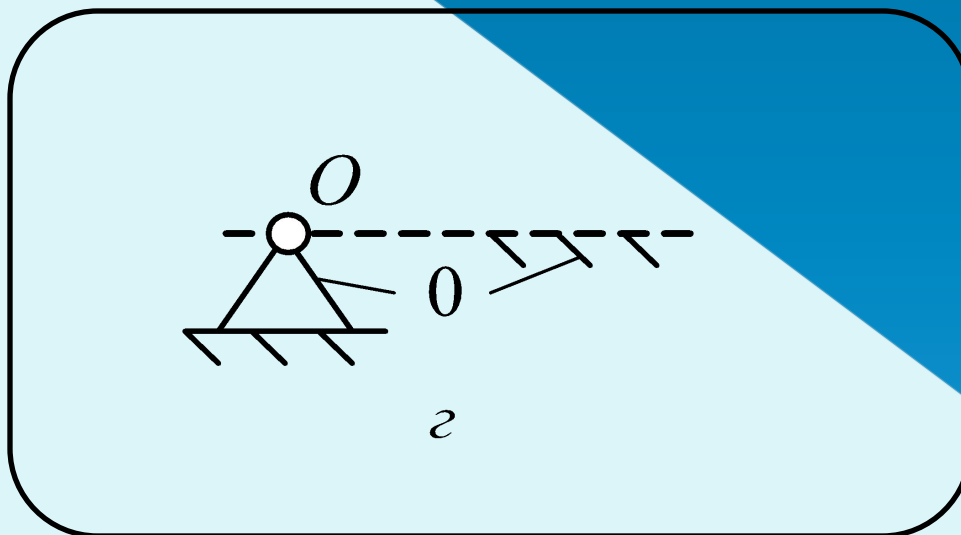
по служебному назначению звенья классифицируются:

*-входное или ведущее звено* – это звено механизма, которому сообщается заданное движение и соответствующие силовые факторы (силы и моменты пар сил);

*-выходное звено* – это звено механизма, на котором получают требуемое движение и требуемые силовые факторы;

*-промежуточное звено* – это звено механизма, расположенное между входным и выходным звеньями и предназначенное для передачи движения и преобразования силовых факторов.

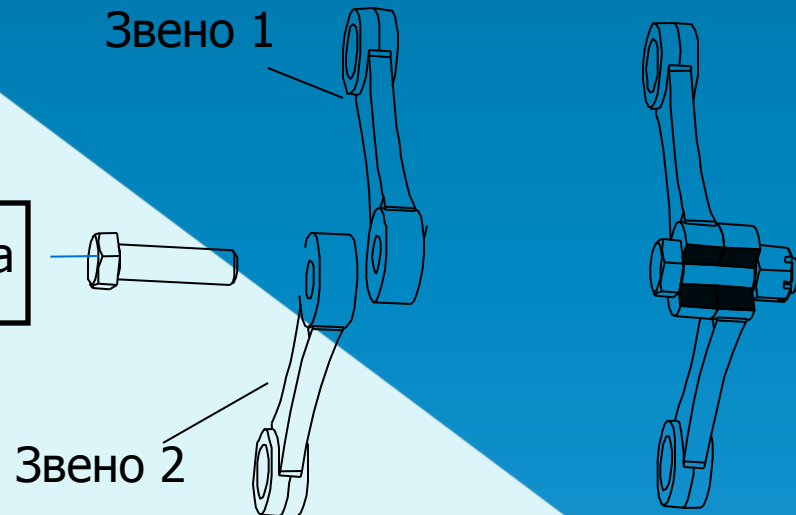
Неподвижное звено называют стойкой. За стойку принимают то звено, относительно которого изучают законы движения всех других звеньев. Например, в станках это станина, в редукторах – корпус, в автомобилях – шасси или кузов и т.п. Стойка в исследуемом механизме одна, а соединений к стойке может быть сколько угодно.



# КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ПАРА

1. Соединение 2-х звеньев
2. Относительное движение звеньев.

Вращательная кинематическая пара



Две подвижно соединенные детали образуют *кинематическую пару*.



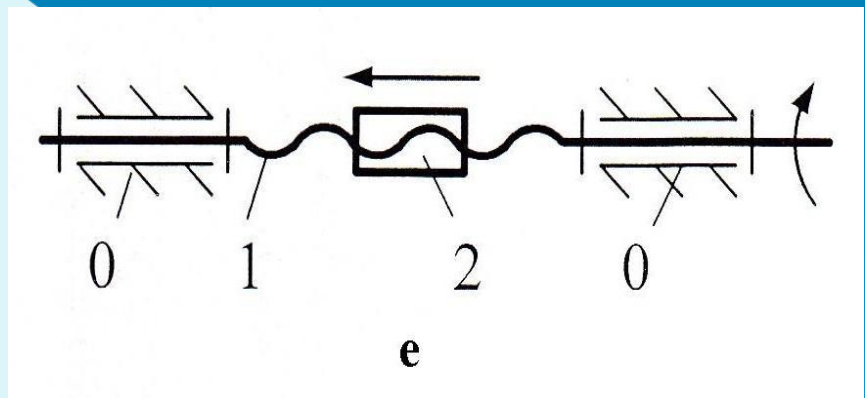
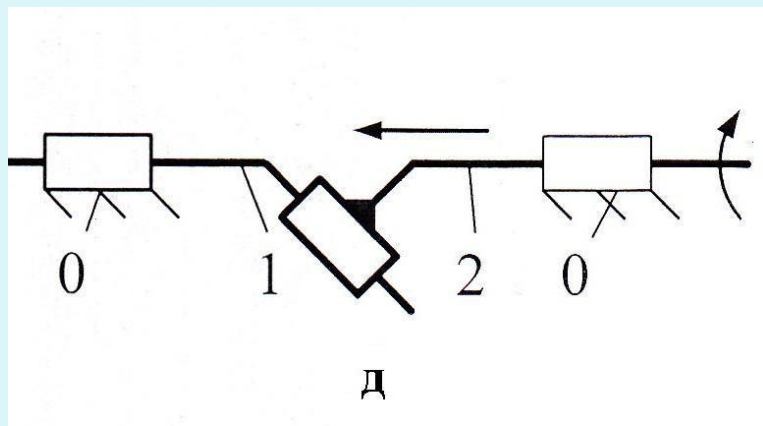
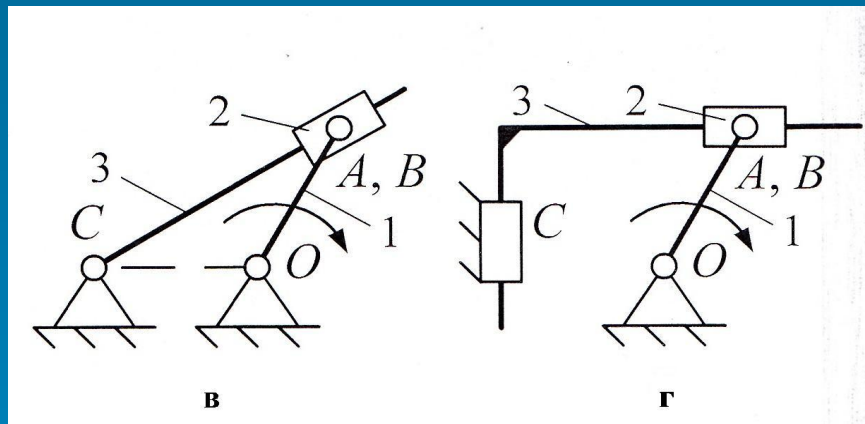
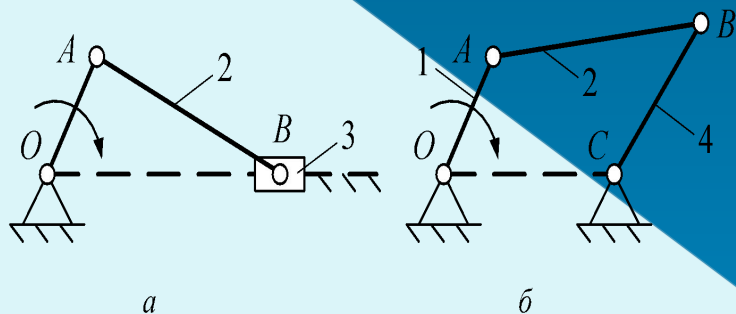
Кинематические пары классифицируются

1) по относительному движению звеньев:  
вращательные; поступательные, винтовые,  
плоскостные, сферические

2) по виду контакта звеньев:

- низшие кинематические пары – это кинематические пары, в которых контакт звеньев их образующих осуществляется по плоскости или по поверхности

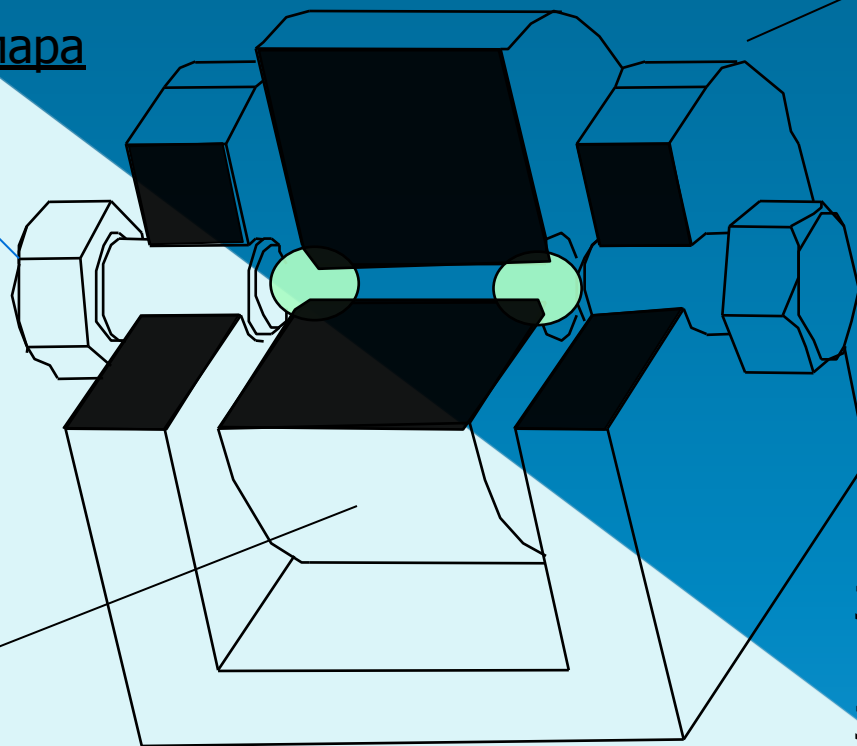
# НИЗШИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРЫ



а, б, в, г- рычажные  
 д - клиновые  
 е - винтовые механизмы

Звено 1

Вращательная  
кинематическая пара



Звено 2

Звено 1-корпус

Звено 2- колесо

В.К.П.- винт

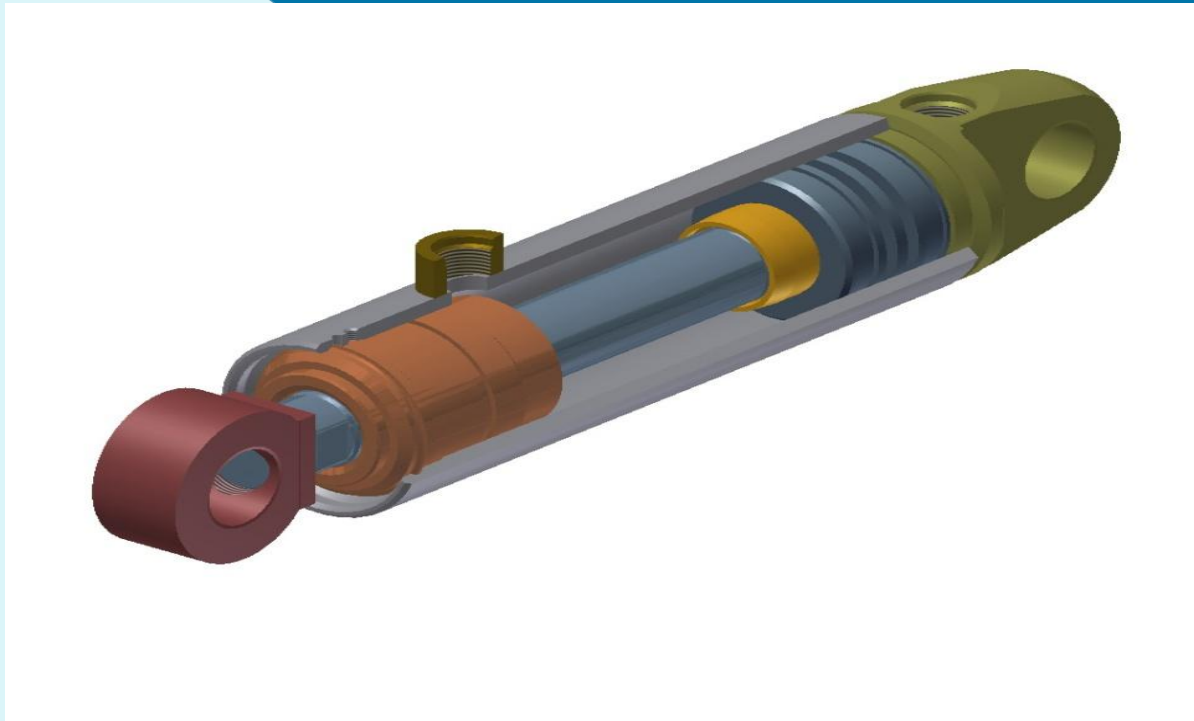
Поступательная  
кинематическая пара

Звено 1

Звено 2

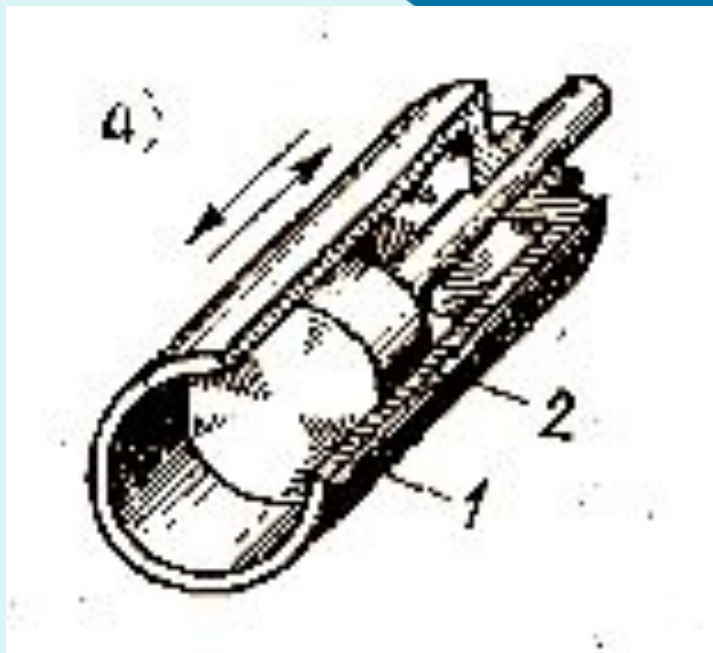
Звено 1- направляющие  
Звено 2- ползун (П.К.П.)

## Поступательная кинематическая пара

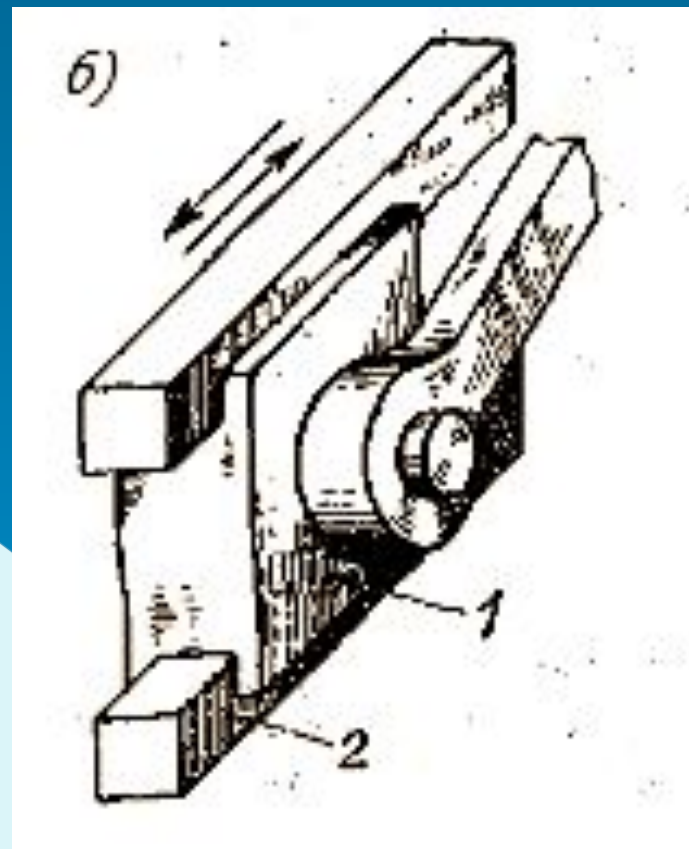


Цилиндр и поршень со  
штоком .

Поступательные  
кинематические пары

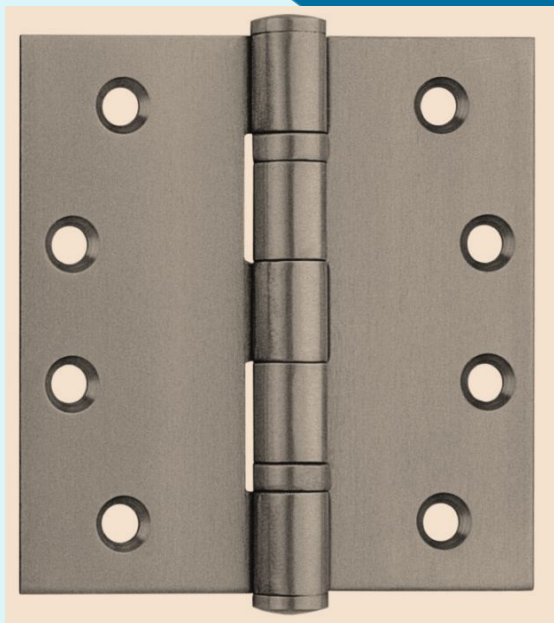


а — цилиндр 1 и поршень со штоком 2.



б — ползун 1 и прямолинейные направляющие 2.

Вращательные  
Кинематические пары

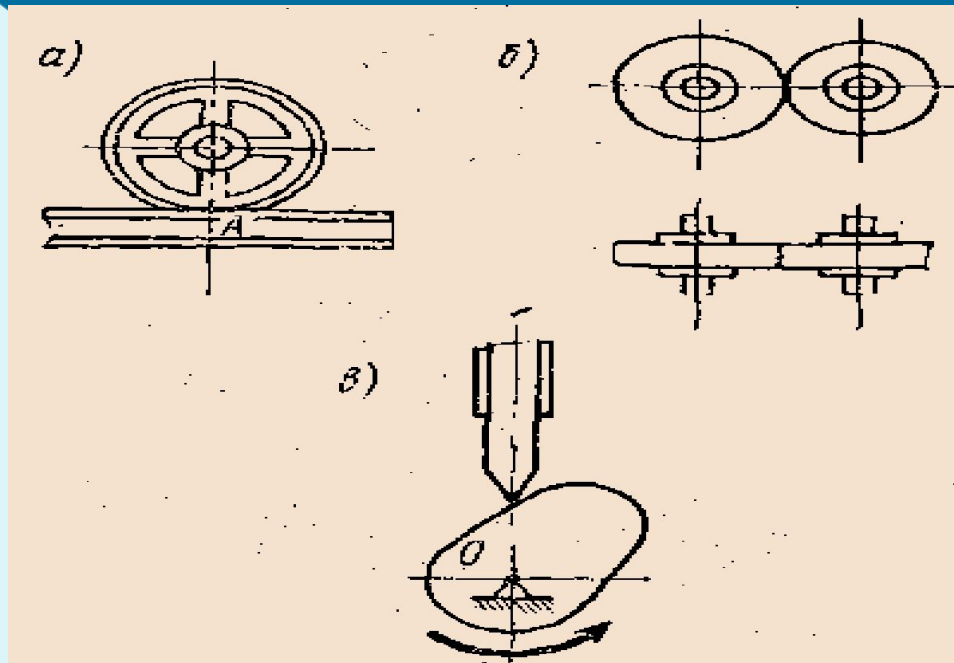


Плоский шарнир



Вал и подшипник

# ВЫСШИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРЫ



- а) Колесо и рельсы
- б) Фрикционные катки
- в) Кулачковая пара с острым толкателем

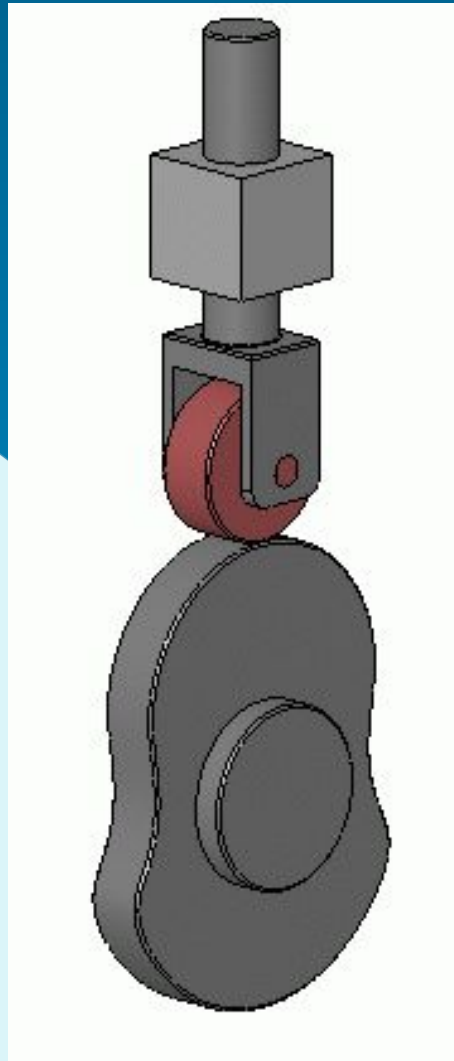




Колесо и рельсы



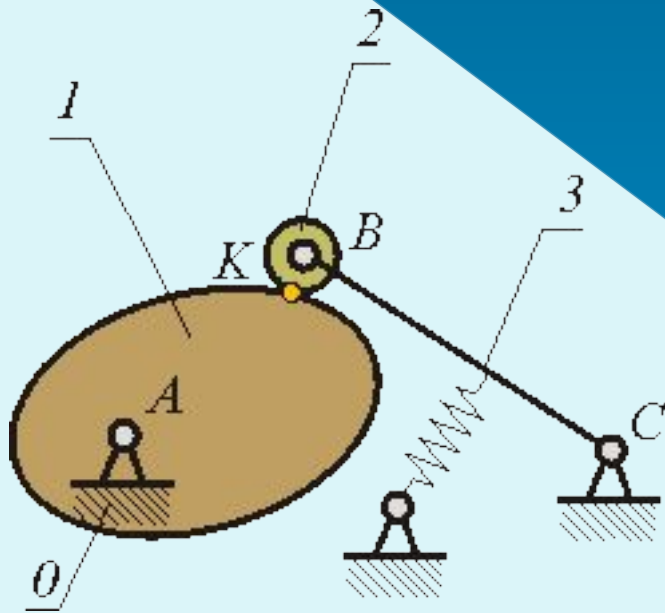
Фрикционные катки



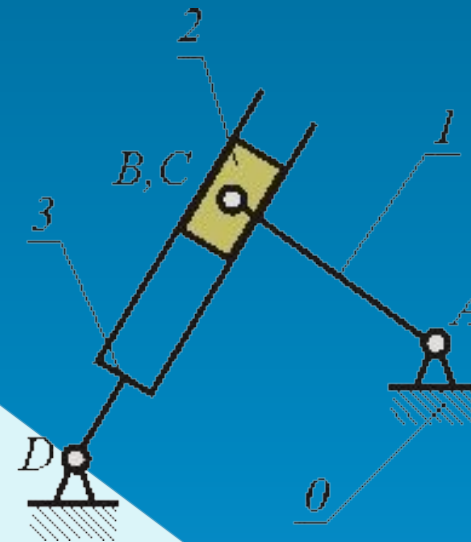
кулачковая пара с толкателем

### 3) по способу замыкания звеньев:

- силовое
- геометрическое.



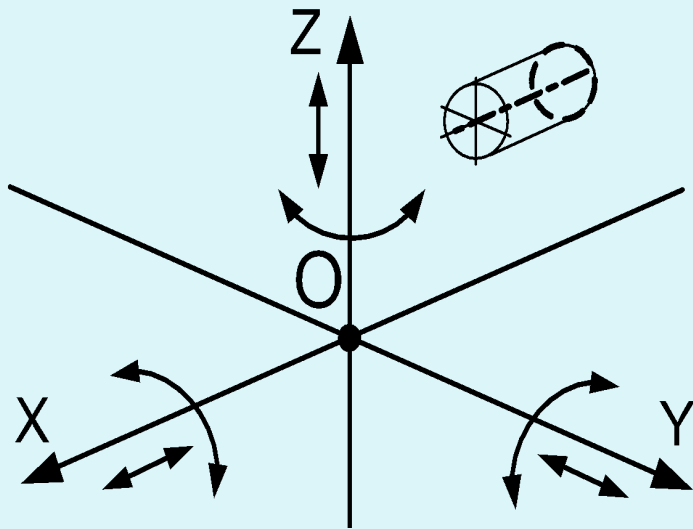
а) Силовое замыкание



б) Геометрическое замыкание

Известно, что человечество в силу специфики своего организма воспринимает окружающий мир только в трехмерном пространстве. Следовательно, в общем случае абсолютно свободное твердое тело (звено), находясь в трехмерном пространстве, может максимально совершать шесть независимых движений:

три вращательных движения –  $X, Y, Z$ ;  
три поступательных движения –  $X, Y, Z$ .



Движения звеньев в пространстве или на плоскости ограничиваются конструктивными особенностями кинематической пары, образованной этими звеньями. Конструктивные ограничения, наложенные на перемещения звеньев кинематической пары, называются условиями связей или связями.

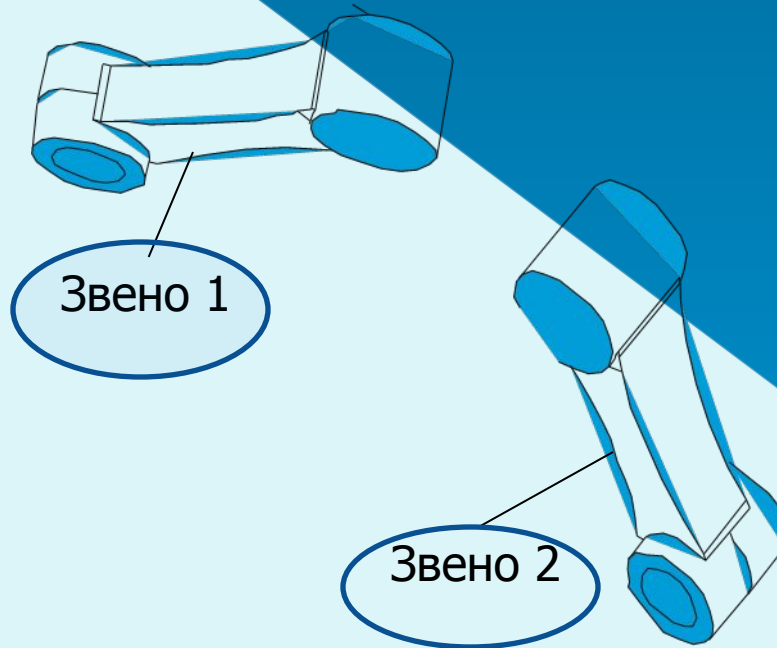
СВЯЗИ — это ограничения наложенные на движения звеньев кинематических пар.

.

Для существования к.п. необходимо наличие хотя бы одной связи.

При  $S = 0$  - к.п. не существует - два тела имеют определенные движения в пространстве.

При  $S = 6$  - к.п. не существует - соединение неподвижное.



$$H = 6 - S$$

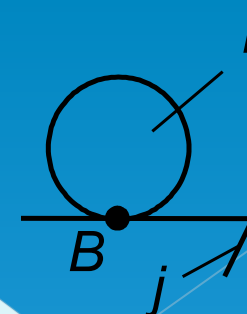
*H*- подвижность к.п.

$$S = 1-5$$

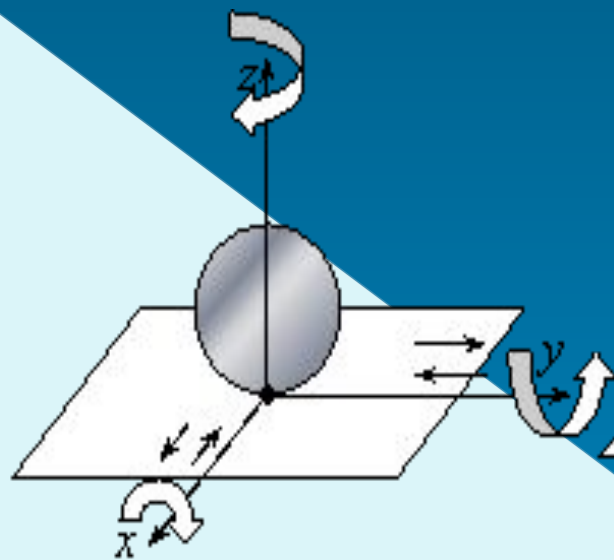
# КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ПАРА I КЛАССА

Класс	Число связей	Подвижность	Пространственная схема	Вид контакта
1	1	5		<p><u>Точка</u> пара высшая</p>

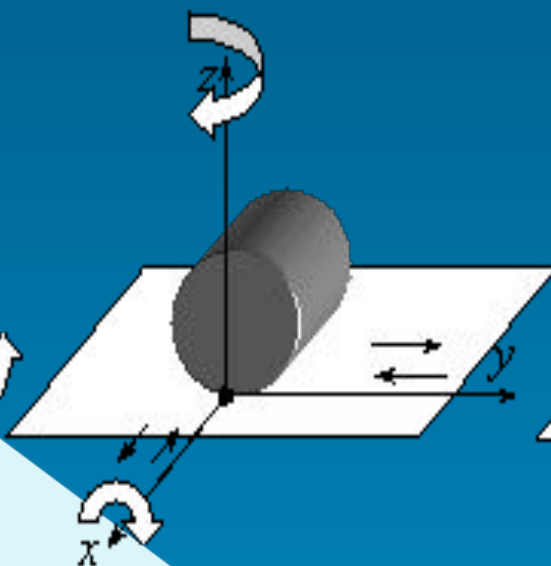
Условное обозначение



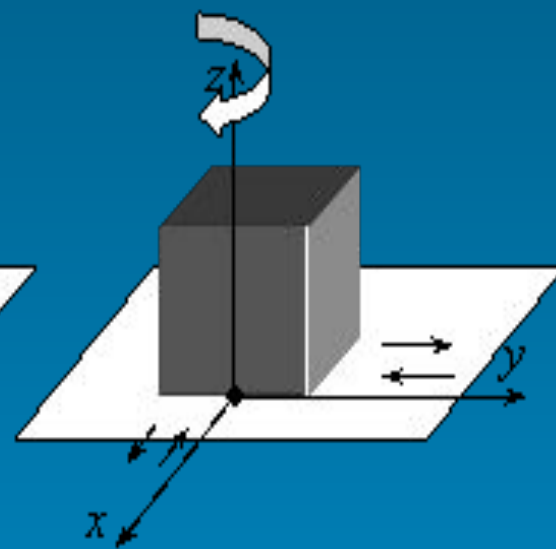




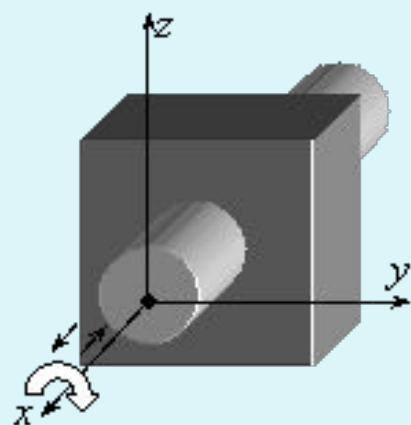
Пара первого класса



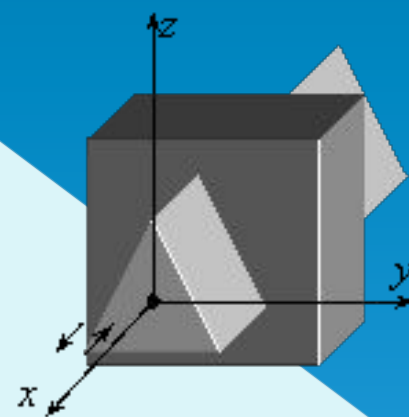
Пара второго класса



Пара третьего класса






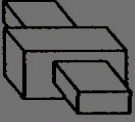



Пара четвертого класса



Пара пятого класса

# Классификация кинематических пар

Класс пары	Число условий связи	Число степеней свободы	Название кинематической пары	Рисунок	Условное обозначение
1	1	5	Шар – плоскость		
2	2	4	Шар – цилиндр		
3	3	3	Сферическая		
3	3	3	Плоскостная		
4	4	2	Цилиндрическая		
4	4	2	Сферическая с пальцем		
5	5	1	Поступательная		
5	2	1	Вращательная		

# Звенья шарнирно-рычажных механизмов

Кривошип – вращающееся звено механизма, которое совершает полный оборот вокруг оси, связанной со стойкой.


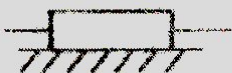
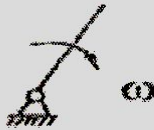




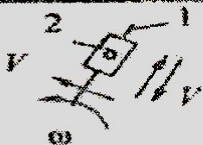
Шатун – звено механизма, образующее кинематические пары только с подвижными звеньями.

Коромысло – звено механизма, которое совершает только колебательные движения при неполном вращении вокруг неподвижной оси, связанной со стойкой.

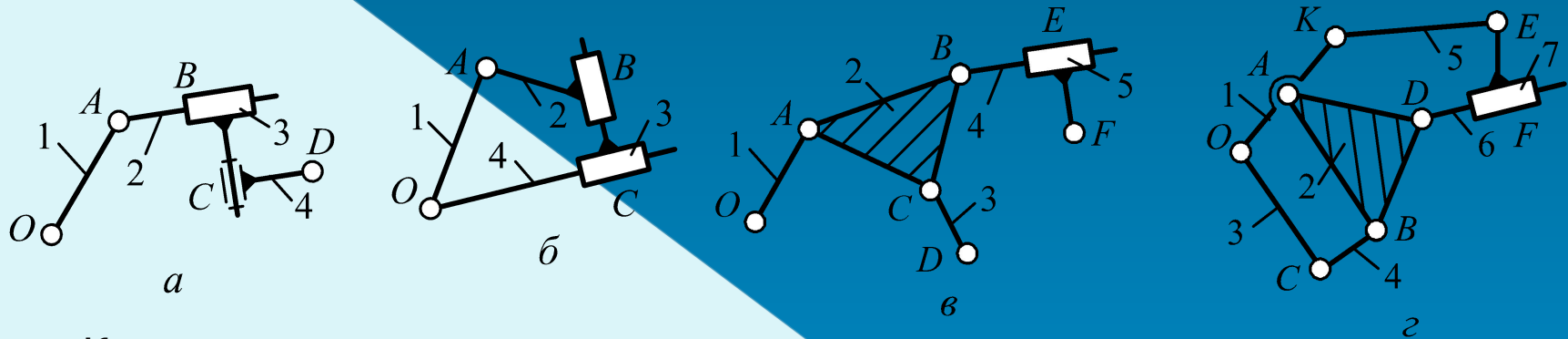
Кулиса – подвижное звено механизма, являющееся направляющей для камня.

Ползун – звено, образующее поступательную пару со стойкой.

Камень – звено, образующее поступательную пару с кулисой

Название	Условное обозначение	Движение	Особенности
Стойка		Отсутствует	
Стойка		Отсутствует	
Кривошип		Вращательное	Полный оборот
Шатун		Сложное	Нет пар, связанных со стойкой
Коромысло		Качательное	Неполный оборот
Ползун		Возвратно-поступательное	Направляющая неподвижна
1 Кулиса 2 Камень		Вращательное, колебательное	Направляющая подвижна
1 Кулиса 2 Камень		Сложное	Направляющая подвижна

**Кинематическая цепь** – это система звеньев, образующих между собой кинематические пары (а,б,в,г).



Кинематические цепи подразделяются:

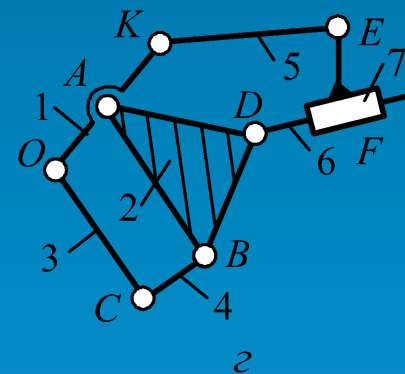
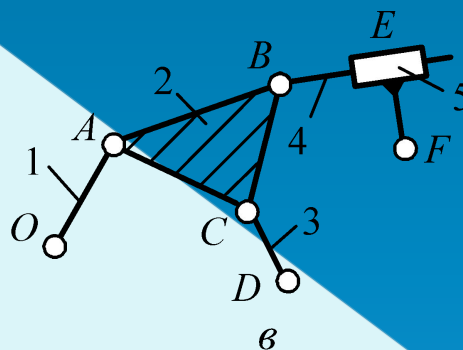
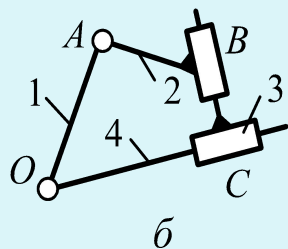
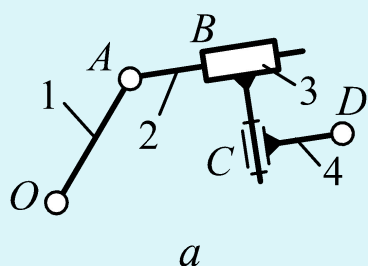
1) по конструктивному исполнению:

-простая кинематическая цепь – это кинематическая цепь, каждое звено которой входит в состав не более двух кинематических пар, т. е. содержит только одно звено с двумя вершинами (а, б);

-сложная кинематическая цепь – это кинематическая цепь, имеющая хотя бы одно звено, входящее в состав трех и более кинематических пар, т. е. содержит хотя бы одно звено с тремя или более вершинами (в, г);

## 2) по взаимодействию звеньев:

- *незамкнутая или разомкнутая кинематическая цепь* – это кинематическая цепь, в которой хотя бы одно звено имеет свободный элемент, не взаимодействующий с другими звеньями и не образующий с ними кинематических пар (а, в);
- *замкнутая кинематическая цепь* – это кинематическая цепь, каждое звено которой входит в состав как минимум двух кинематических пар (б, г).



## ВЫВОД

Соединения кинематических цепей со стойкой образуют механизмы.

Изучение механизмов начинается с анализа их структуры.

Структура механизма – это совокупность звеньев, образующих подвижные и неподвижные соединения.

Структурная схема – это графическое изображение механизма, выполненное без соблюдения масштабов с использованием условных обозначений, рекомендованных ГОСТом.

Структурная схема механизма содержит информацию о числе звеньев и виде движений ими совершаемых, о числе, подвижности и классе кинематических пар, о числе и виде кинематических цепей.

# **СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ**



Назначение структурного анализа –  
выявления и устранения дефектов  
их структуры.

# Задача структурного анализа

- 1) Анализ структуры механизма
- 2) Разложение на группы Ассура
- 3) Определение степени подвижности механизма.

Для решения задач анализа и синтеза рычажных механизмов профессором Л. В. Ассуром была предложена структурная классификация, согласно которой механизмы, состоят из первичных (элементарных) механизмов и структурных групп.

**Степень подвижности механизма** – это число независимых обобщенных координат определяющих положения звеньев механизма на плоскости в рассматриваемый момент времени.

Степень подвижность механизма -  $W$

## Структурная формула П.Л.Чебышева для плоских механизмов

$$W = 3n - 2p_5 - p_4$$

$n$  - число подвижных звеньев,

$p_5$  - число кинематических пар 5-го класса,

$p_4$  - число кинематических пар 4-ого класса.

Структурный синтез



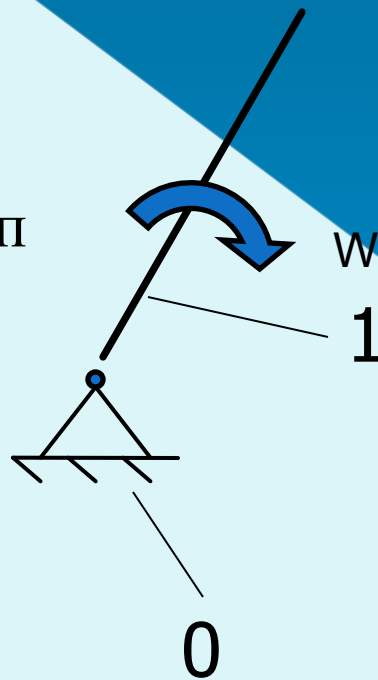
Механизм = ПМ + СГ .....+СГ.



Структурный анализ

**Первичный механизм (ПМ)** – это элементарный механизм, состоящий из двух звеньев, одно из которых неподвижное, которые образуют кинематическую пару с одной или несколькими подвижностями.

1 - кривошип  
0 - стойка



$W$  –угловая скорость

-Первичный механизм

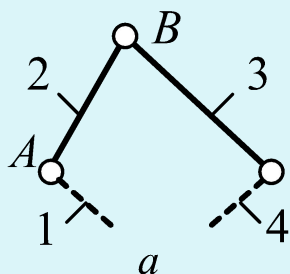
**Структурная группа звеньев (СГ)** – это кинематическая цепь, образованная подвижными звеньями, подвижность которой равна нулю в любой момент времени.

**Структурная классификация** по Ассуру представляет собой плоские рычажные механизмы с вращательными кинематическими парами.

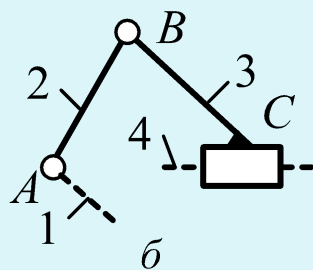


В настоящее время наибольшее распространение получили структурные группы II класса второго порядка, характерной особенностью которых является наличие пяти видов.

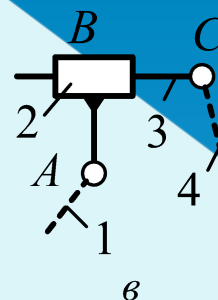
Структурные группы 2-го класса образованы двумя звеньями, двумя поводками и содержит три вращательных кинематические пары пятого класса.



BVB

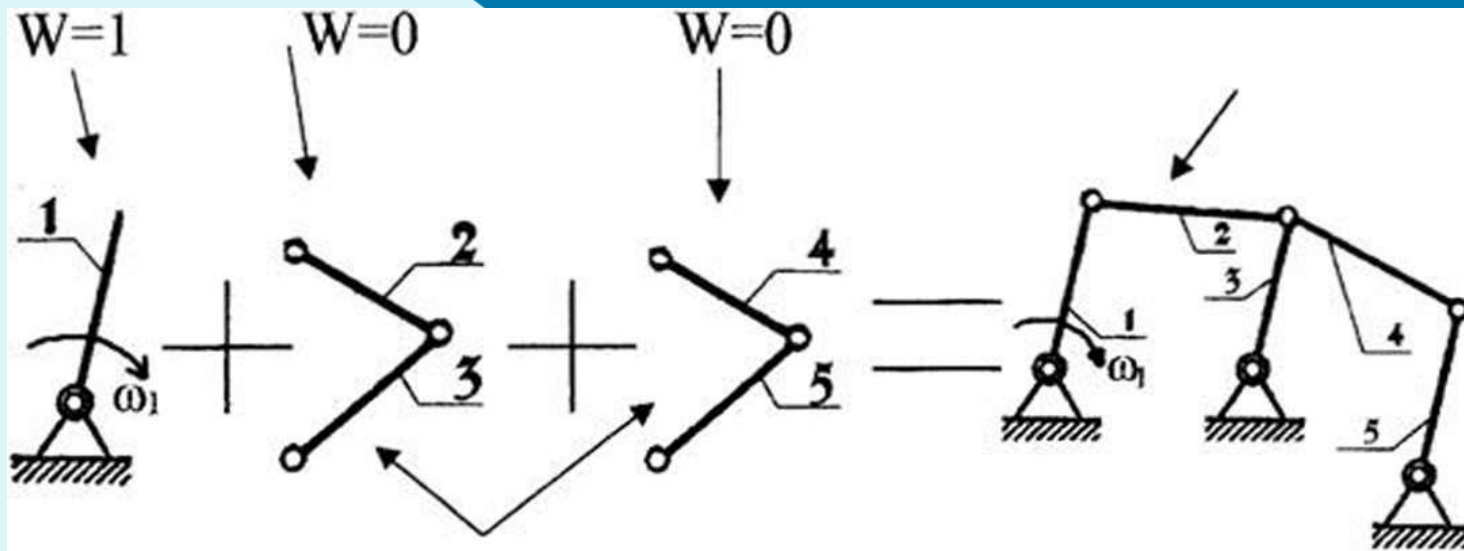


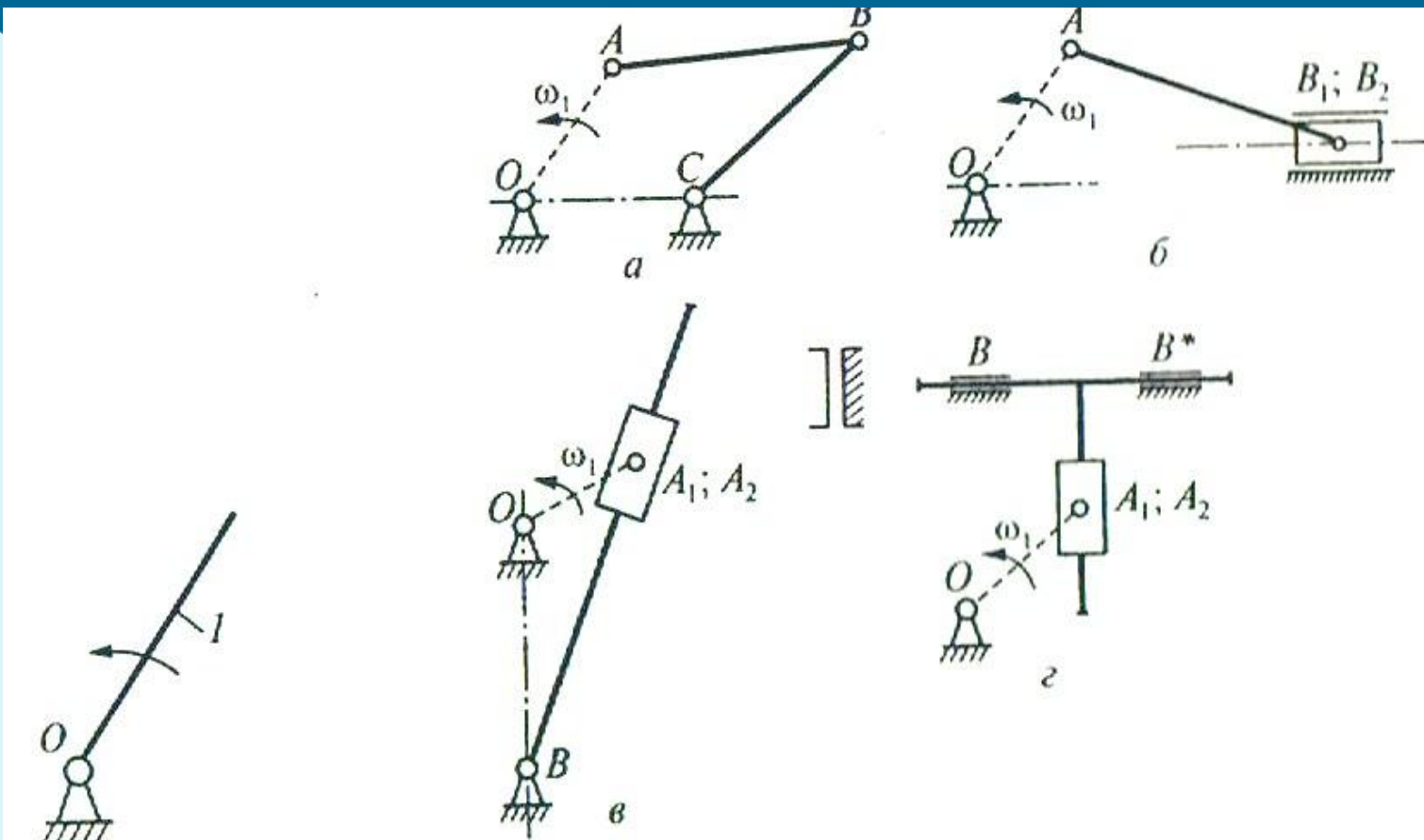
BVP



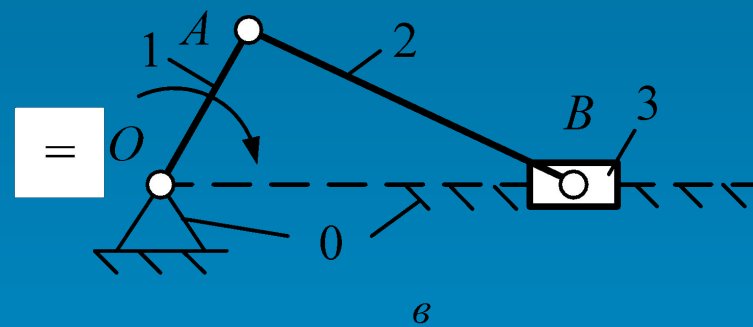
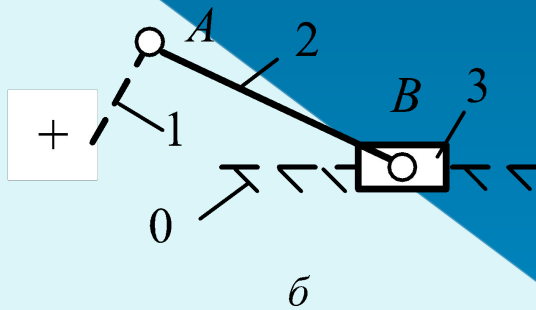
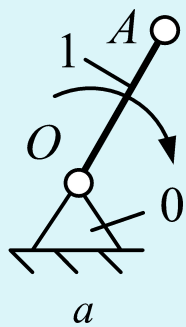
BVP

# Принцип образования плоских механизмов по Л. В. Ассуре

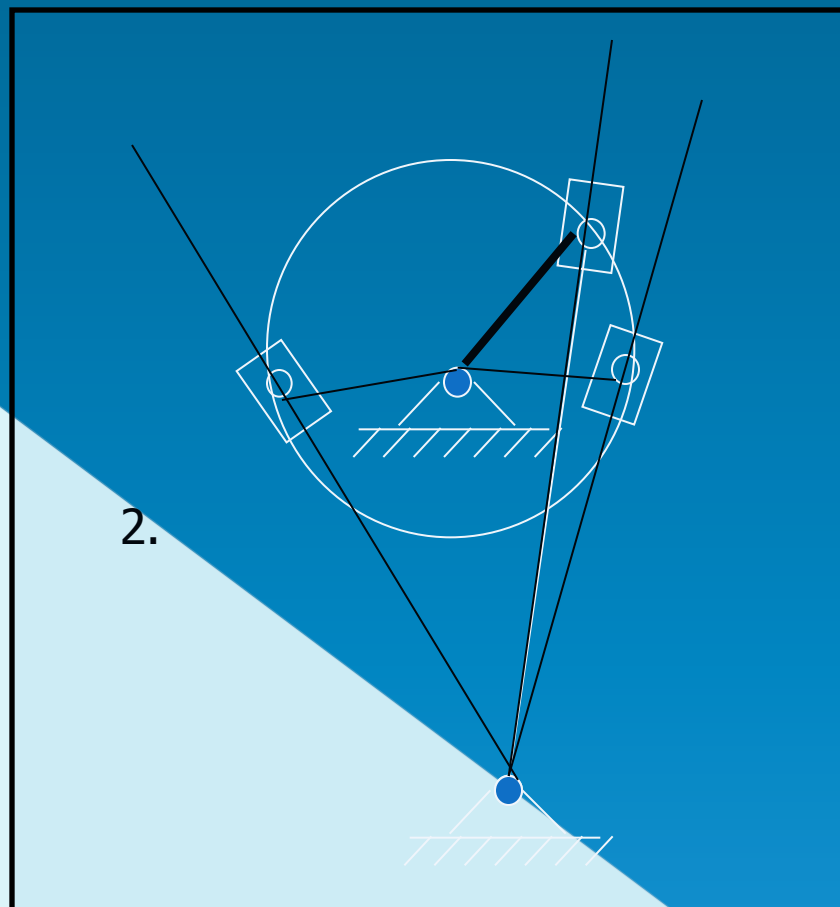
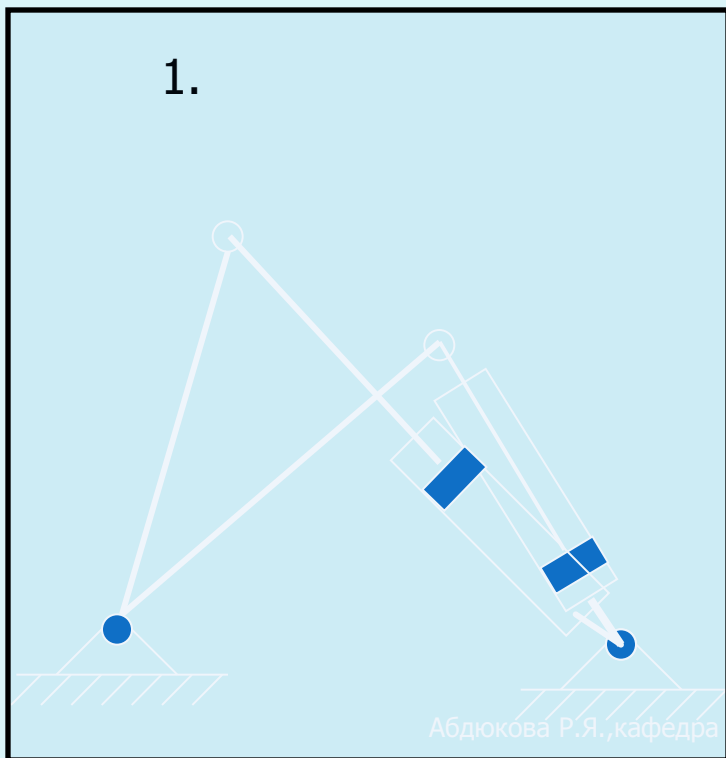


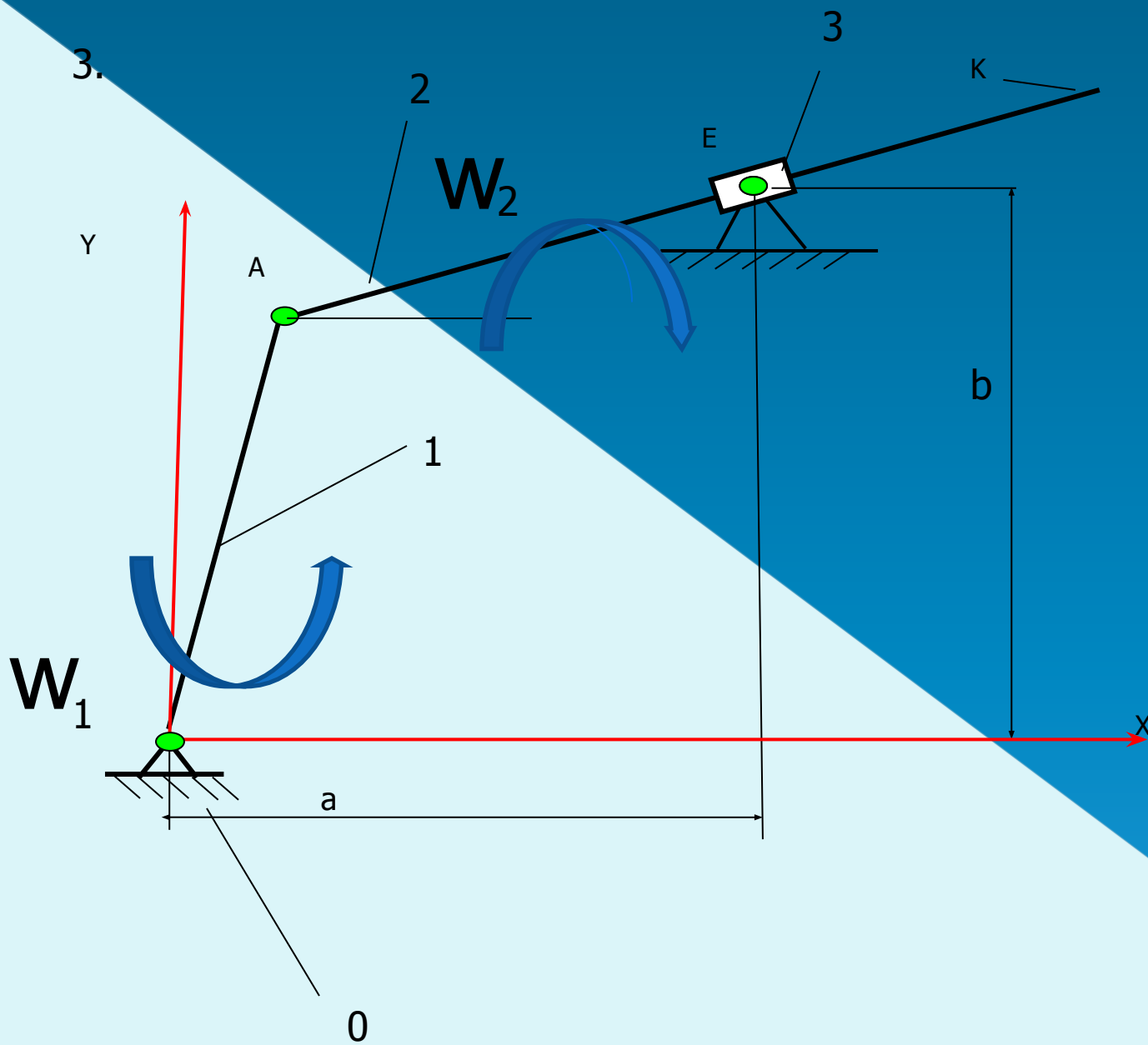


Присоединения к первичным  
механизмам структурных групп II класса:  
а) 1 вида, б) 2 вида, в) 3 вида, г) 4 вида.

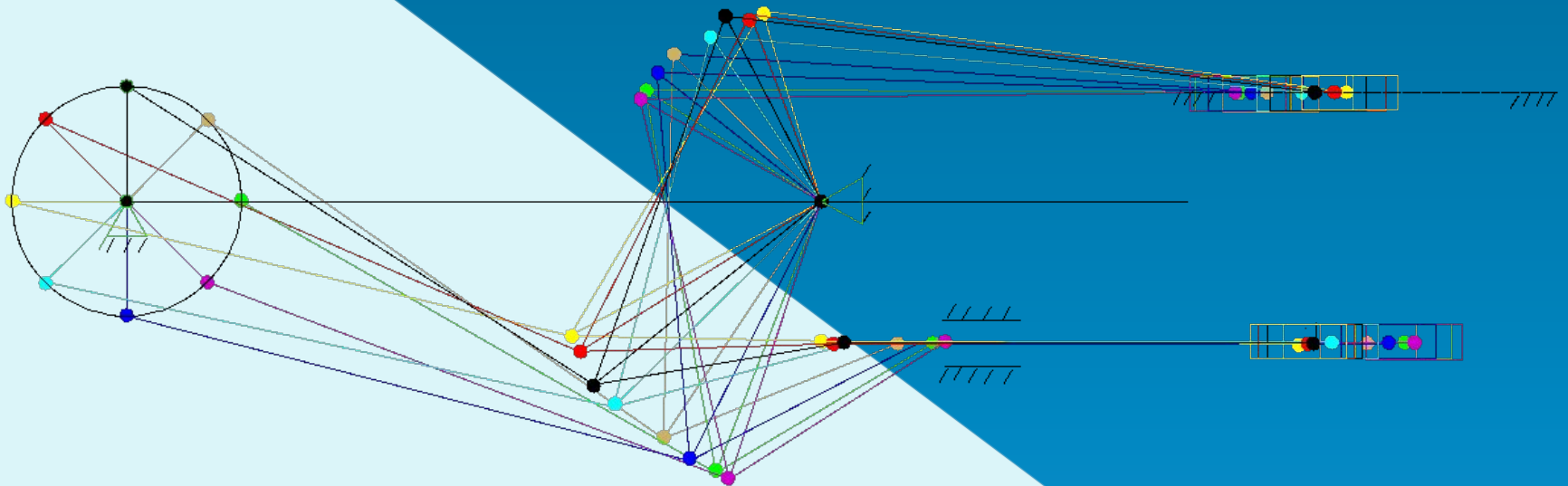


# Крайние положения механизмов



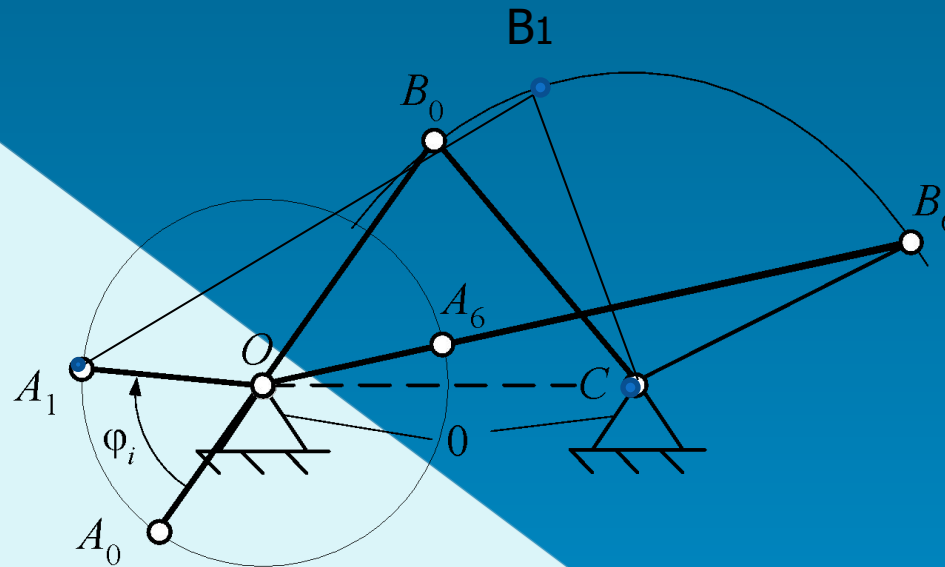


# План положений глубинного насоса.



Для выбора допустимых соотношений расстояний между осями шарниров, обеспечивающих работоспособность механизма при полном обороте кривошипа, начертить механизм при 8 его положениях.

# План положений шарнирного четырехзвенника



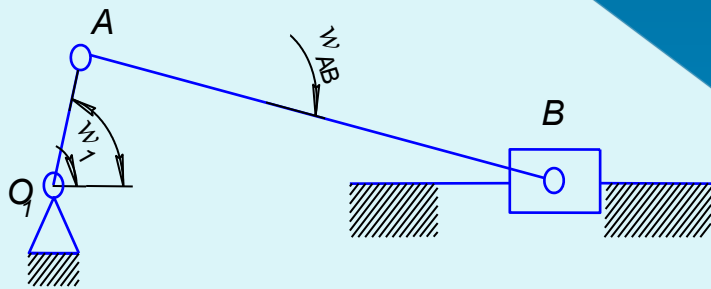
$$\mu_l = \frac{l_{OA}}{|OA|},$$

$l_{OA}$  – действительная длина кривошипа, м;  
 $|OA|$  – отрезок изображающий действительную длину кривошипа в принятом масштабном коэффициенте длин, мм.



## Построение кинематической схемы кривошипно-ползунного механизма

Изображение кинематической схемы механизма соответствующее определенному положению механизма называется планом механизма



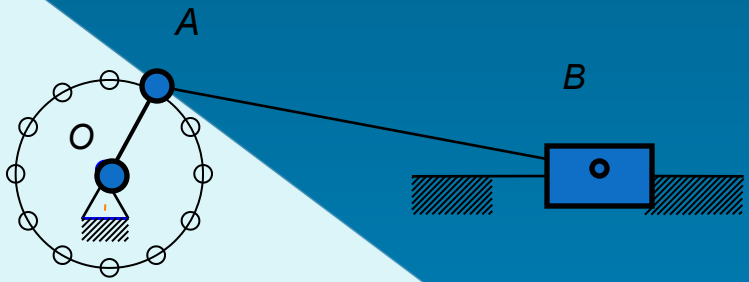
Планы строятся в заданном масштабе. Различают понятие масштаба и масштабного коэффициента

$$\mu_l = \frac{l_{OA}}{OA}$$

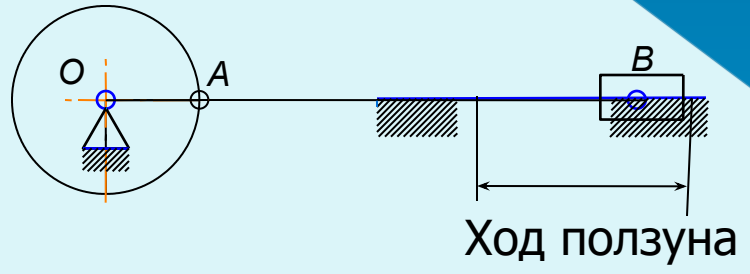
Для определения длины отрезков других звеньев механизма, предположим шатуна АВ используют выражение

$$AB = \frac{l_{AB}}{\mu_l}$$

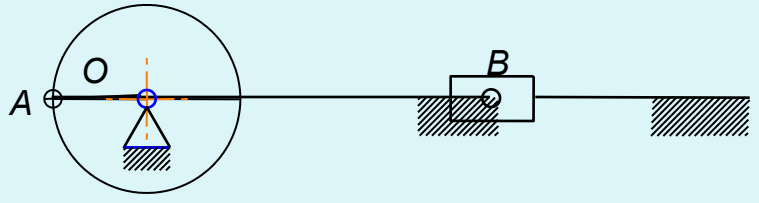
Масштабным коэффициентом длины называется отношение натуральной длины звена в метрах к длине отрезка изображающего это звено на чертеже в миллиметрах



а.

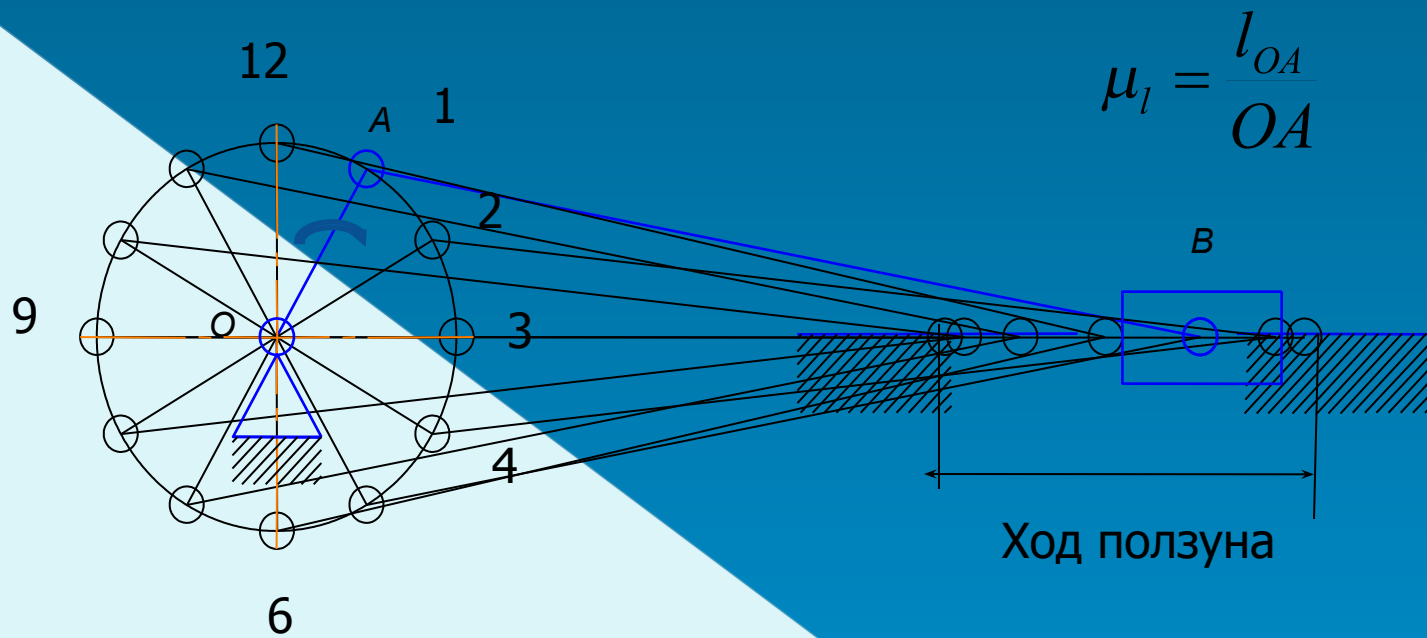


б



в

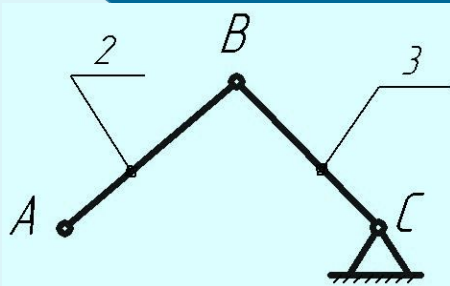
# План положений кривошипно-ползунного механизма



## Метод планов скоростей и ускорений

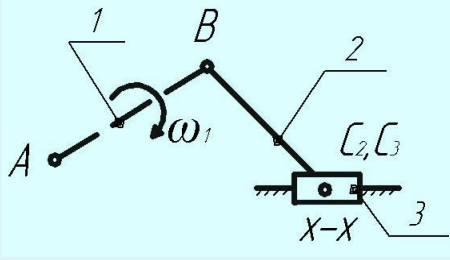
Основан на графическом решении векторных уравнений распределения величин скоростей и ускорений между характерными точками механизма.

Векторные уравнения составляются по структурным группам.



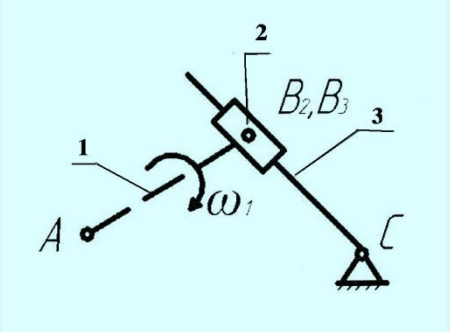
$$\begin{cases} \vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_{BA}, \\ \vec{V}_A = \vec{V}_N + \vec{V}_{AN}, \end{cases}$$

$$\begin{cases} \vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA} + \vec{a}_{BA} \\ \vec{a}_B = \vec{a}_c + \vec{a}_{BC} + \vec{a}_{BC} \end{cases}$$



$$\begin{cases} \vec{V}_{C_3} = \vec{V}_B + \vec{V}_{C_3B}, \\ \vec{V}_{C_3} = \vec{V}_{C_2} + \vec{V}_{C_3C_2}, \end{cases}$$

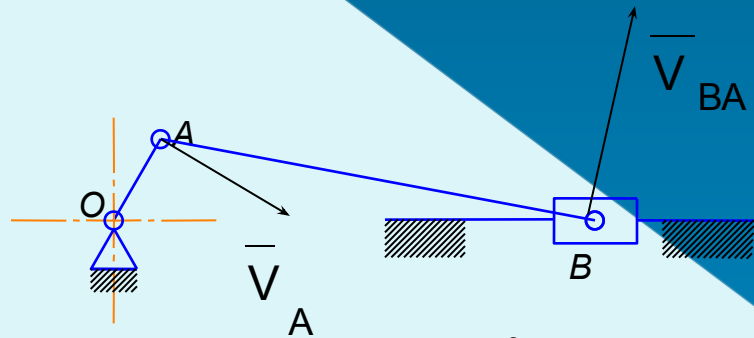
$$\begin{cases} \vec{a}_{c_3} = \vec{a}_B + \vec{a}_{C_3B} + \vec{a}_{C_3B} \\ \vec{a}_{c_3} = \vec{a}_{c_2} + \vec{a}_{C_3C_2} \end{cases}$$



$$\begin{cases} \vec{V}_{B_3} = \vec{V}_{B_2} + \vec{V}_{B_2B_2}, \\ \vec{V}_{B_3} = \vec{V}_C + \vec{V}_{B_3C}, \end{cases}$$

$$\begin{cases} \vec{a}_{B_3} = \vec{a}_{B_2} + \vec{a}_{B_3B_2}^{kop} + \vec{a}_{B_3B_2} \\ \vec{a}_{B_3} = \vec{a}_c + \vec{a}_{B_3C} + \vec{a}_{B_3C} \end{cases}$$

## Построение плана скоростей кривошипно-ползунного механизма



$$V_A = \omega_1 \cdot OA$$

$$\vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_{BA}$$



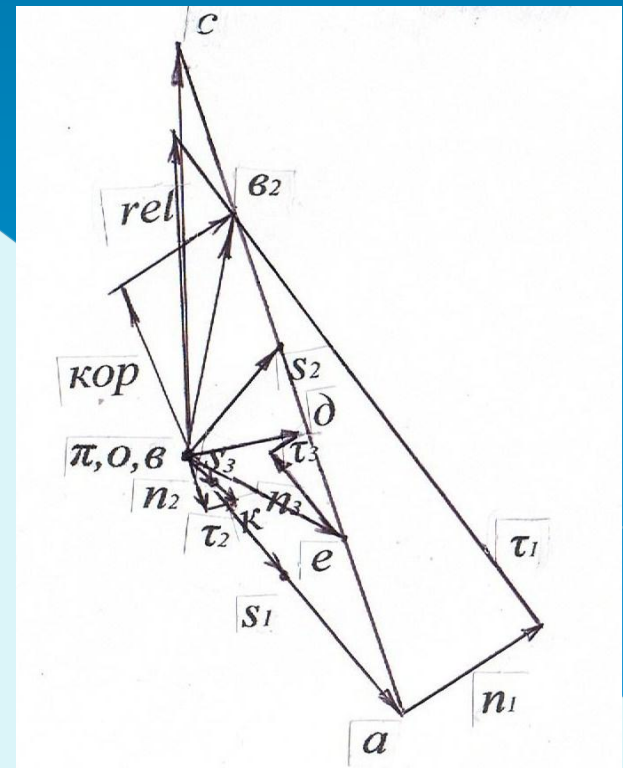
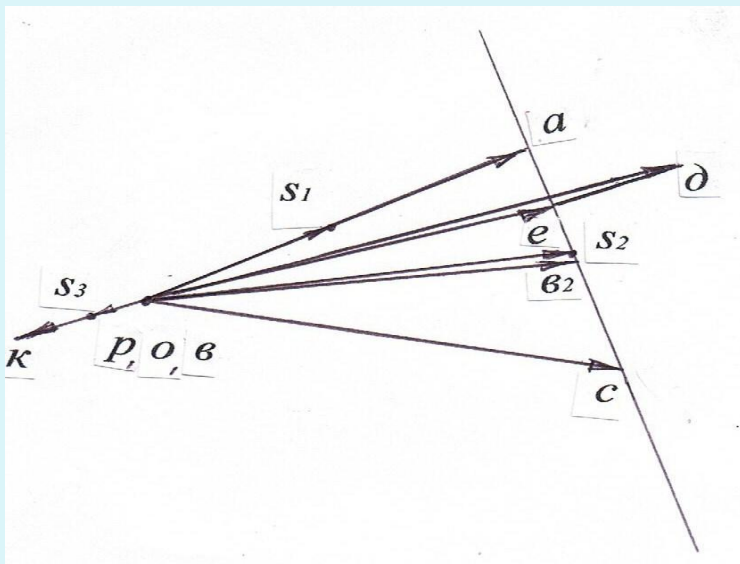
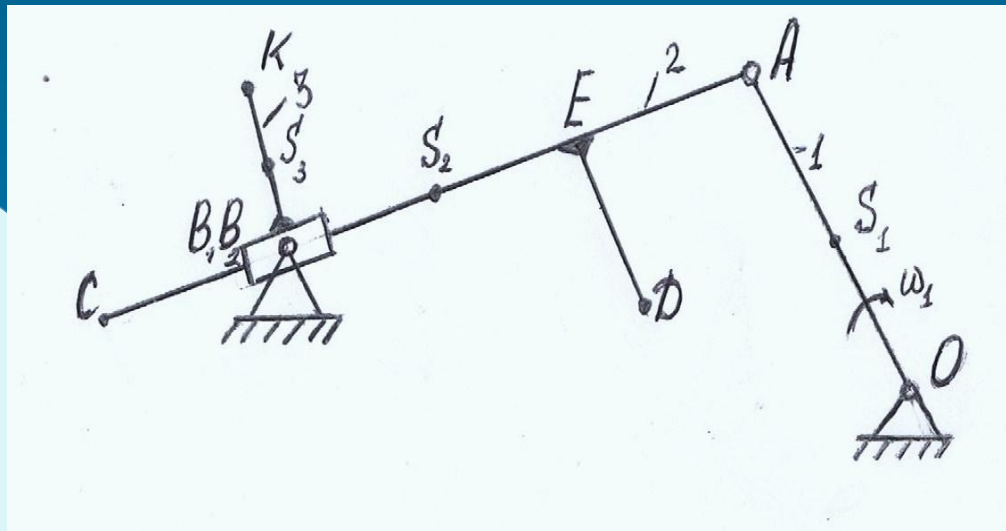
$$k_V = \frac{V_A}{p_V a}$$

Масштабом скорости называется отношение окружной скорости ведущего звена  $V_A$  в м/с к длине отрезка  $pVa$  изображающего данную скорость на плане скоростей в мм

Имея план скоростей легко определить скорости звеньев

P- полюс плана скоростей

*Планом скоростей (ускорений) механизма называют чертеж, построенный в масштабе  $\mu a$  ( $\mu v$ ), на котором скорости (ускорения) различных точек изображены в виде векторов показывающих направления и величины этих скоростей (ускорений) в данный момент времени.*





## Свойства плана скоростей

1. Отрезки плана скоростей, проходящие через полюс, изображают абсолютные скорости. Направление абсолютных скоростей всегда получается от полюса. В конце векторов абсолютных скоростей принято ставить малую букву той буквы, которой обозначается соответствующая точка на плане механизма;
2. Отрезки плана скоростей, не проходящие через полюс, обозначают относительные скорости;
3. Концы векторов абсолютных скоростей точек механизма жестко связанных между собой, на плане скоростей образуют фигуры, подобные сходственно расположенные и повернутые на 90 градусов относительно фигур, образуемых этими точками на плане механизма
4. Неподвижные точки механизма имеют соответствующие им точки на плане скоростей расположенные в полюсе
5. План скоростей дает возможность находить нормали и касательные к траектории точки без построения самих траекторий

