

ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова  
Кафедра МиУС

Коротков Б.П.

Теория судна. Статика

Лекция № 7



Остойчивость на больших  
наклонениях

# Вопросы лекции

1. Диаграммы статической остойчивости
2. Связь диаграммы статической остойчивости с мерами начальной остойчивости и метацентрическими формулами
3. Определение равновесных положений судна по ДСО
4. Пределы статической остойчивости

# Знание, понимание и профессиональные навыки в соответствии с минимальным стандартом компетентности для вахтенных помощников капитана судов (в соответствии с ПДНВ)

1. Знание влияния груза, включая тяжеловесные грузы, на мореходность и остойчивость судна
2. Рабочее знание и применение информации об остойчивости, посадке и напряжениях, диаграмм и устройств для расчета напряжений в корпусе

# Знание, понимание и профессиональные навыки в соответствии с минимальным стандартом компетентности для капитанов и старших помощников капитана (в соответствии с ПДНВ)

1. Понимание основных принципов устройства судна, теорий и факторов, влияющих на посадку и остойчивость, а также мер, необходимых для обеспечения безопасной посадки и остойчивости
2. Использование диаграмм остойчивости и дифферента и устройств для расчета напряжений в корпусе, включая автоматическое оборудование, использующее базу данных, и знание правил погрузки и балластировки, для того чтобы удерживать напряжения в корпусе в приемлемых пределах

# 1. Диаграммы статической ОСТОЙЧИВОСТИ

# Общие понятия устойчивости на больших наклонениях

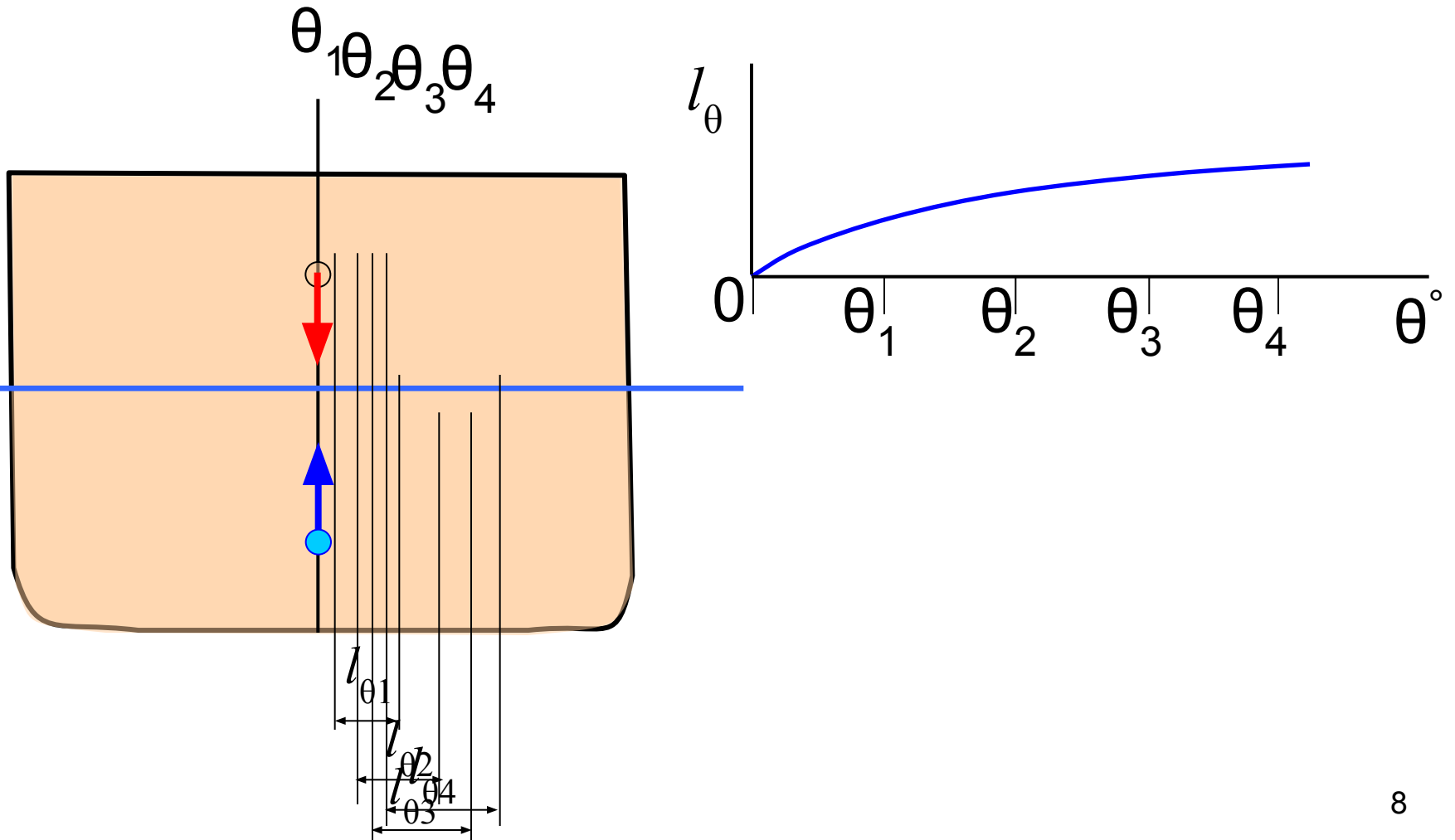
- Восстанавливающие моменты при больших наклонениях нельзя определять по метацентрическим формулам
- Результаты точных расчетов восстанавливающих моментов (плеч статической устойчивости) представляют в виде диаграмм статической устойчивости

# Диаграммы статической остойчивости (ДСО):

- Это зависимость восстанавливающего момента (плеча статической устойчивости) от угла наклона при постоянной нагрузке

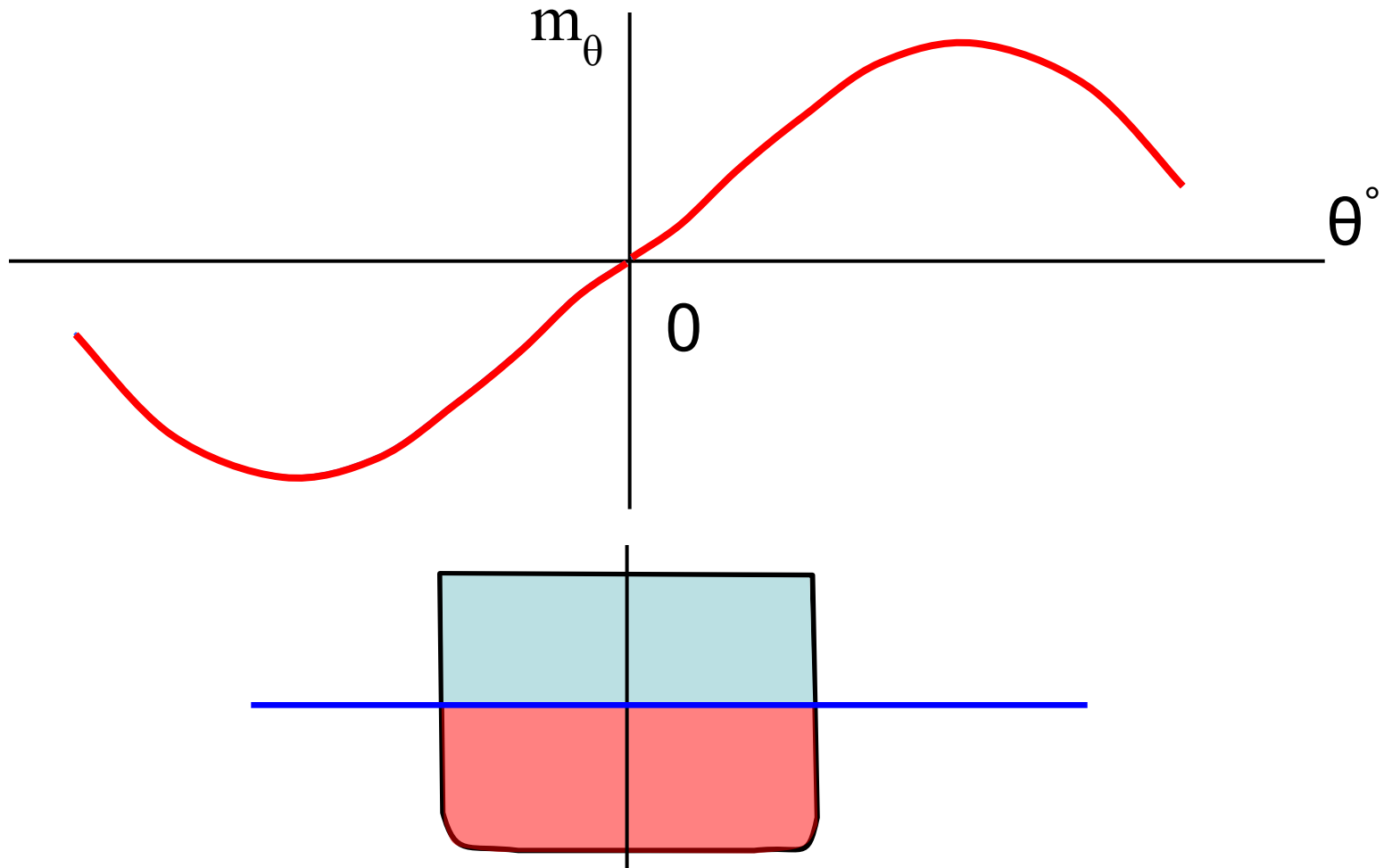
$$\left. \begin{array}{l} -l_{\theta}(\theta) \text{ и } m_{\theta}(\theta) \\ -l_{\psi}(\psi) \text{ и } M_{\psi}(\psi) \end{array} \right\} \text{При } \Delta, z_g = \text{const}$$

# Диаграмма поперечной статической остойчивости (ДСО)



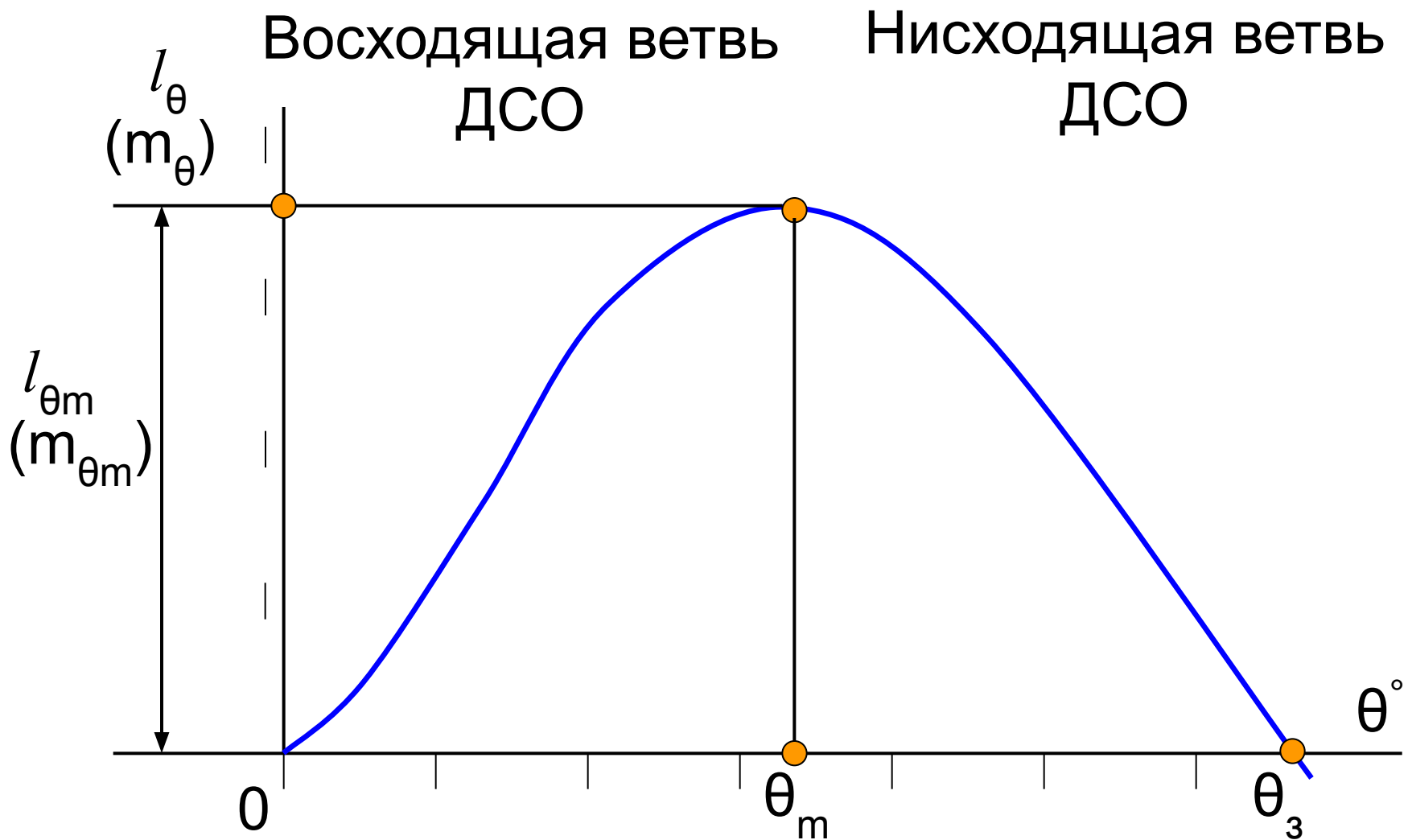


# ДСО в масштабе момента, соответствующая наклонениям на оба борта



# Диаграммы поперечной статической остойчивости

- В морской практике используют поперечную ДСО в масштабе плеч остойчивости  $I_{\theta}(\theta)$
- Поперечную ДСО неповрежденного судна изображают в виде одной ветви, соответствующей наклонению на ПБ



## Общие характеристики ДСО

# Общие характеристики ДСО

- $\theta_m$  – угол максимума ДСО
- $\theta_z$  – угол заката ДСО
- $l_{\theta_m}$  ( $m_{\theta_m}$ ) – максимальное плечо статической остойчивости (максимальный восстанавливающий момент)

$l_{\theta_m}$  и  $m_{\theta_m}$  называют запасом статической остойчивости судна

# Общие характеристики ДСО грузовых судов в полном грузу

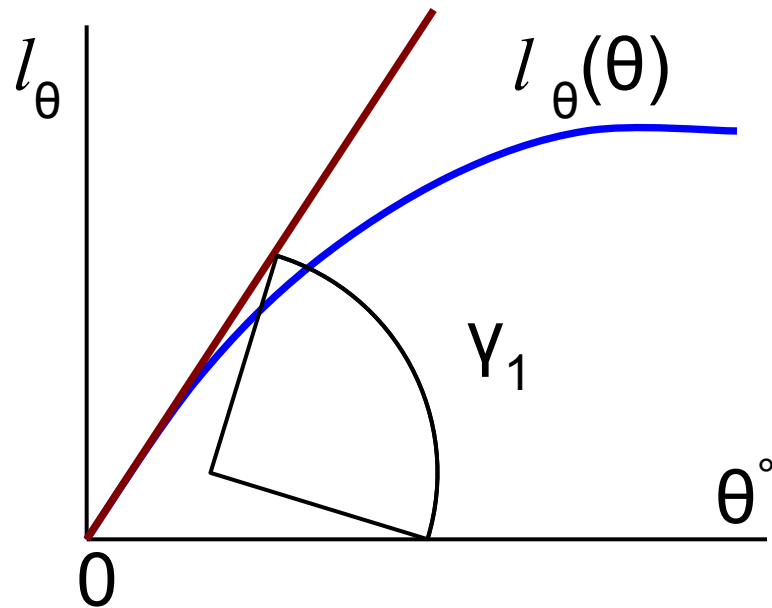
- Углы максимума и заката поперечной ДСО:
  - $|\theta_m| = 25 \div 50^\circ$ ;
  - $|\theta_3| = 60 \div 100^\circ$
- Угол максимума ДСО обычно близок к углу входа в воду кромки верхней палубы при наклонении

## 2. Связь ДСО с мерами начальной остойчивости и метацентрическими формулами

# Поперечная метацентрическая высота:

$$h = \left. \frac{\partial l_{\theta}}{\partial \theta} \right|_{\theta=0}$$

- $h$  равна тангенсу угла наклона начальной касательной к функции  $l(\theta)$
- Поперечная метацентрическая высота равна тангенсу угла наклона начальной касательной к ДСО



$$h = \mu_1 \operatorname{tg} \gamma_1$$

$\mu_1$  [м/град] – масштабный коэффициент

Пояснения – см. учебник «Статика судна», 2009г,

стр. 69



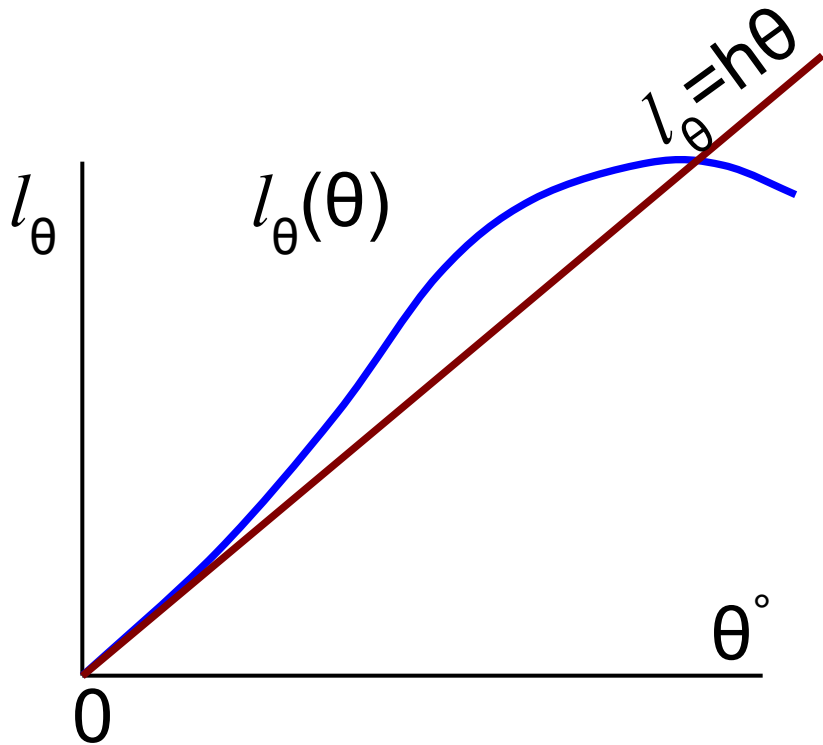
# Связь ДСО с метацентрическими формулами

- Уравнение начальной касательной к ДСО имеет вид:

$$l_{\theta} = h \theta$$

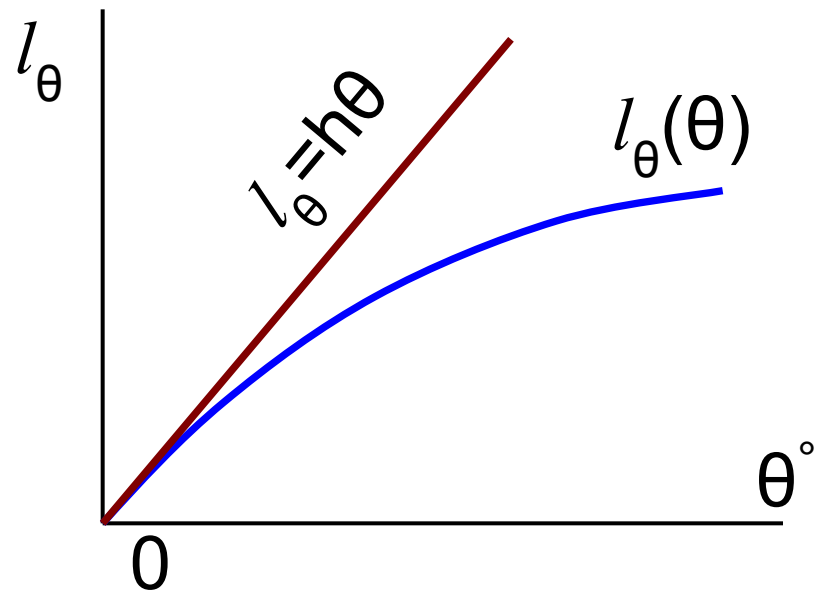
- Это метацентрическая формула
- Начальная касательная к ДСО – это график, изображающий метацентрическую формулу

ДСО с выраженной  
“S” - образностью



Высокобортные суда

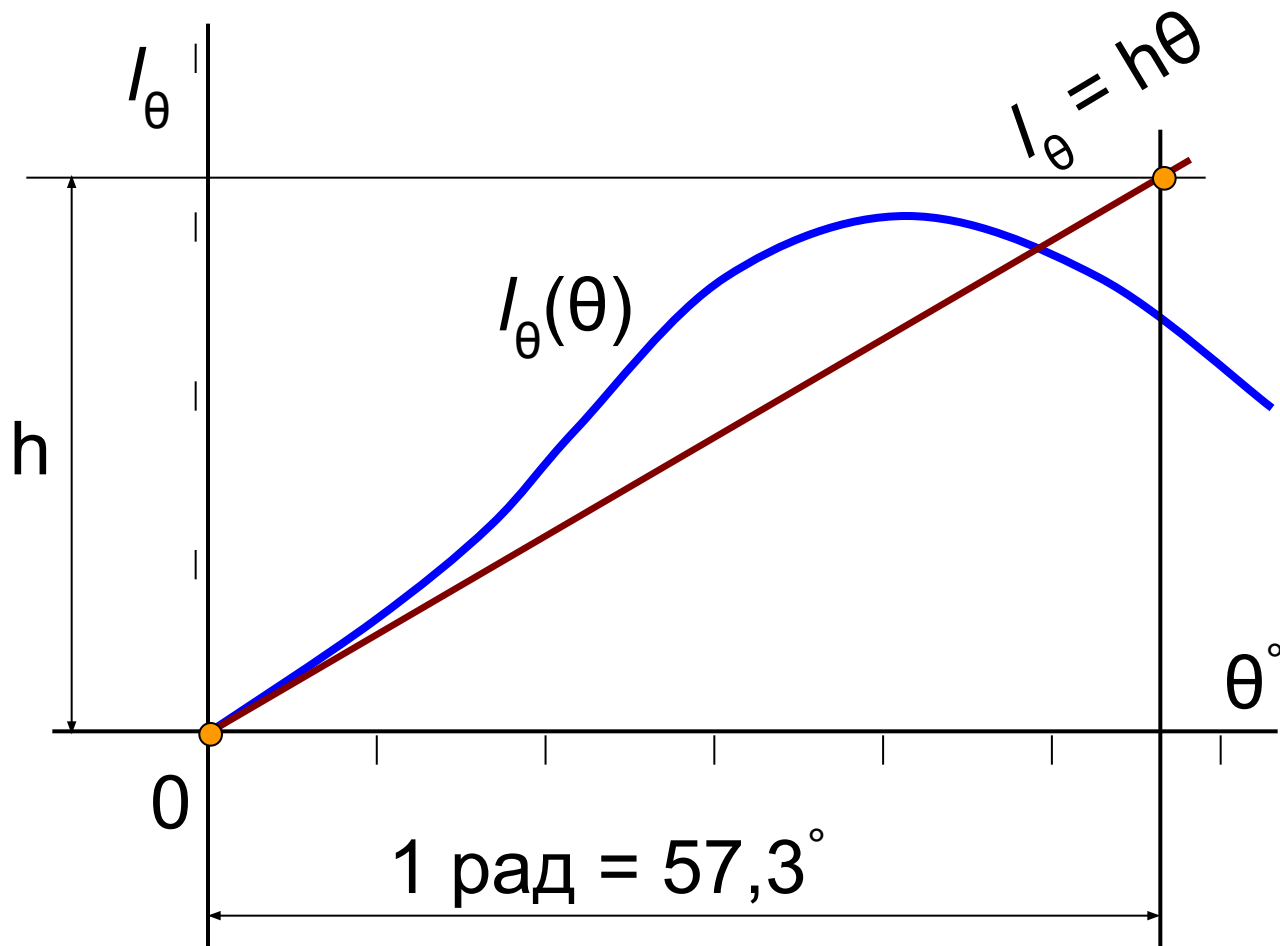
ДСО без  
“S” - образности



Наливные суда  
в полном грузу

# Построение начальной касательной к ДСО

- Цели построения:
  - Проверка правильности выполненного расчета и построения ДСО
  - Уточнение вида начального участка ДСО



В т.  $\theta=0$ ,  $l_{\theta}=0$ . В т.  $\theta = 1$  ( $57,3^{\circ}$ ),  $l_{\theta} = h \cdot 1 = h$   
 Есть 2 точки прямой:  $(0;0)$  и  $(57,3;h)$

### 3. Определение равновесных положений судна по ДСО

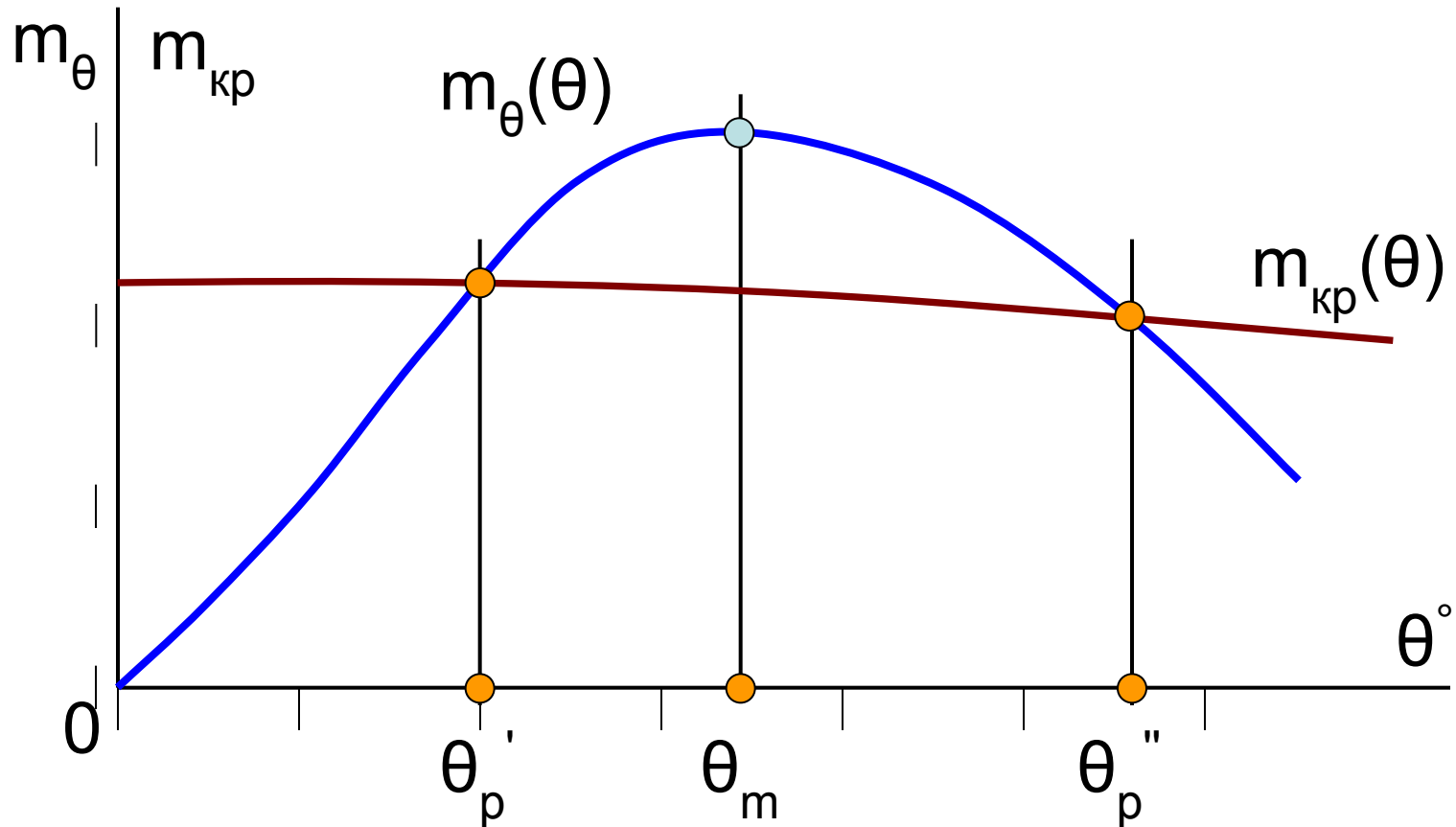
# На судно действует кренящий момент $m_{кр}$

- В новом равновесном положении

$$m_{кр} = m_{\theta}$$

- Углы, при которых ДСО пересекается с графиком кренящего момента  $m_{кр}(\theta)$  - это равновесные углы крена  $\theta_p$

$m_{кр} = m_{\theta}$  при углах  $\theta_p'$  и  $\theta_p''$



На восходящей ветви ДСО  $\theta_p' < \theta_m$

На нисходящей ветви ДСО  $\theta_p'' > \theta_m$

## Два вопроса:

1. Может ли судно иметь сразу два равновесных положения при действии статического кренящего момента?

Ответ: Да!

2. Может ли судно плавать неограниченно долго с любым из этих углов крена?

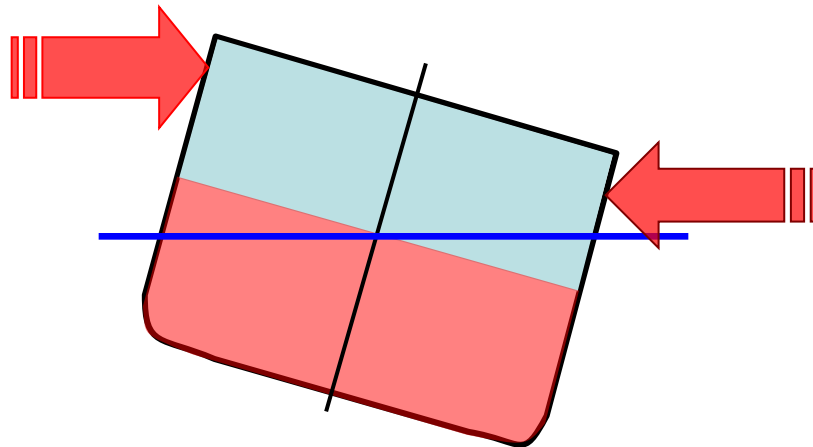
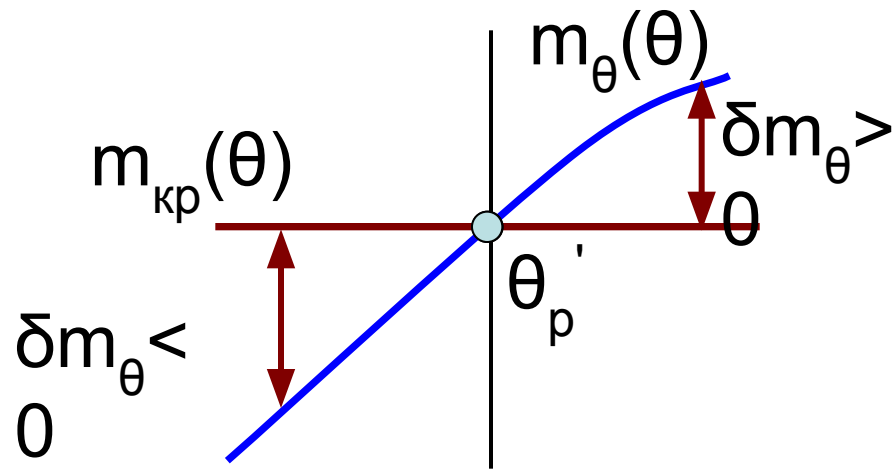
Ответ: Нет!



Углы  $\theta_p'$  и  $\theta_p''$  равновесны

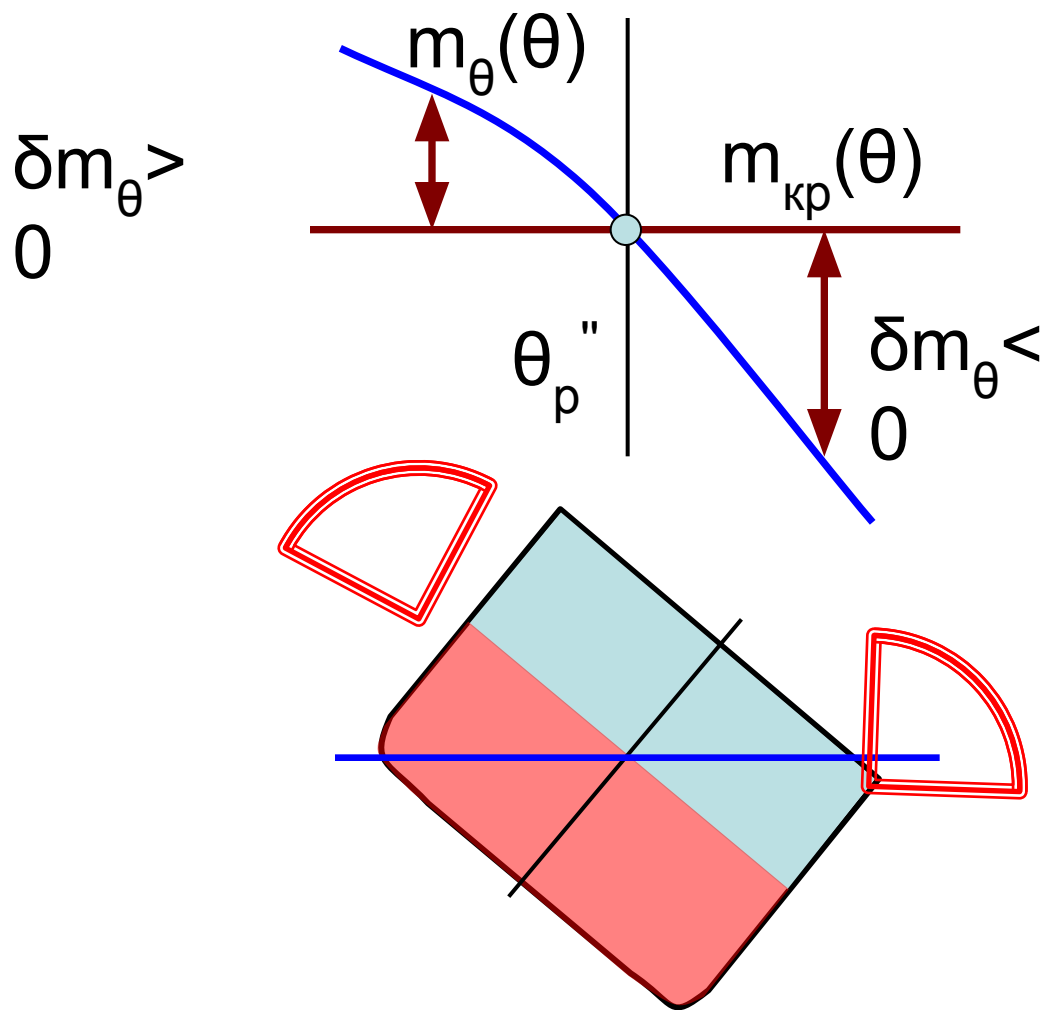
Но оба ли они устойчивы?

# Положение устойчиво



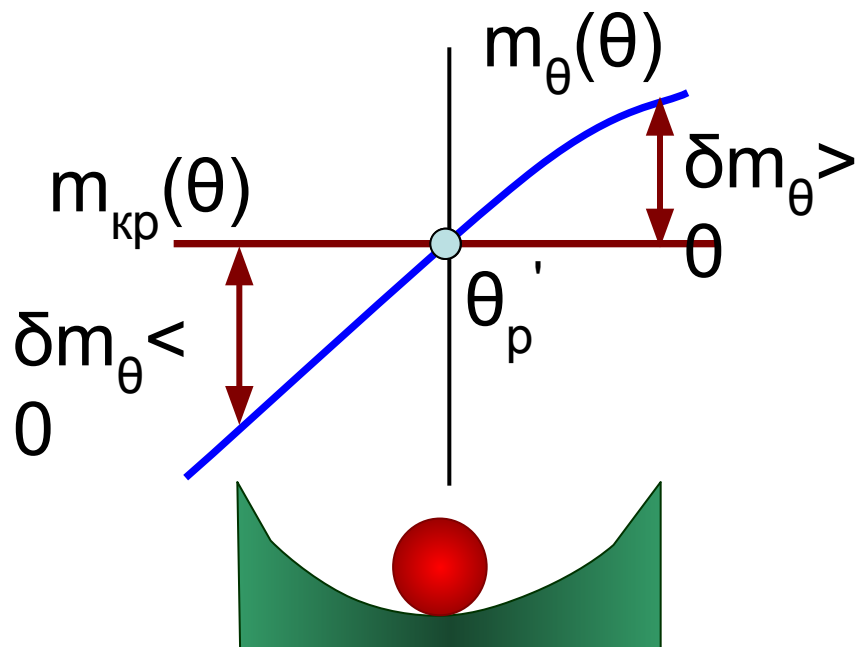
Восходящая ветвь ДСО

# Положение неустойчиво

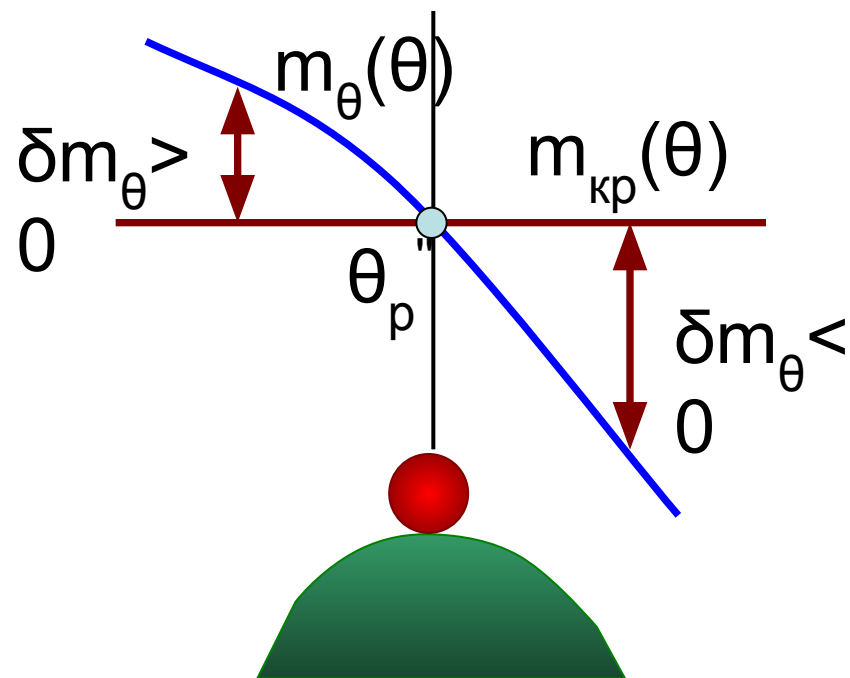


Нисходящая ветвь ДСО

## Восходящая ветвь ДСО



## Нисходящая ветвь ДСО



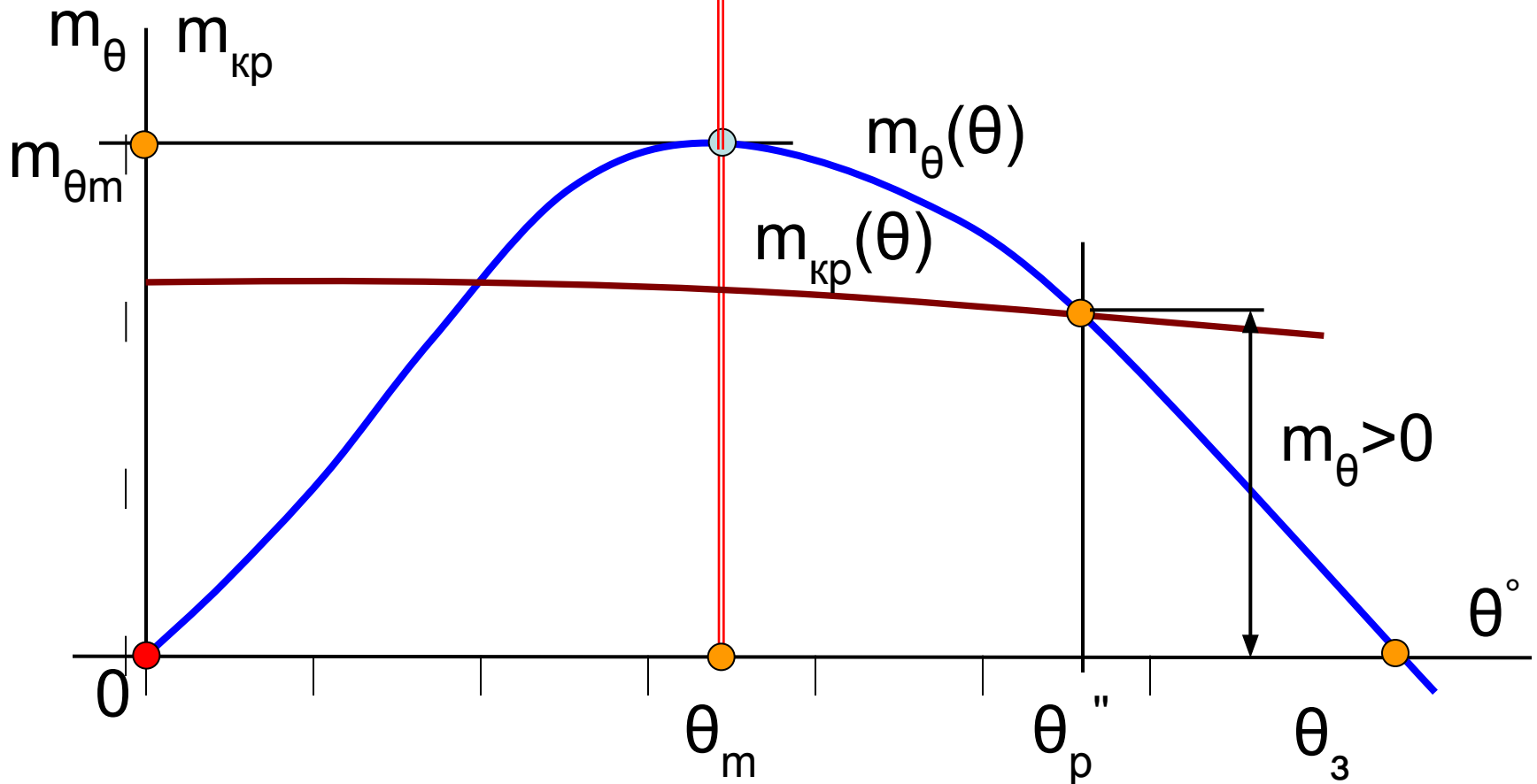
**Положение устойчиво**

**Положение не устойчиво**

# 4. Пределы статической ОСТОЙЧИВОСТИ

Область возможных  
устойчивых положений  
равновесия

Область неустойчивых  
положений равновесия



# Возможности наклона судна

- При действии на судно постоянных или мало меняющихся кренящих моментов устойчивые положения возможны только при углах, не превышающих  $\theta_m$
- Кратковременные наклоны судно может выдержать до углов, не превышающих угла заката ДСО  $\theta_3$

# Запас статической остойчивости

- Максимальный восстанавливающий момент  $m_{\theta m}$  равен величине предельного постоянного кренящего момента, который может выдержать судно
- Момент  $m_{\theta m}$  и плечо  $l_{\theta m}$  называют «Запасом статической остойчивости»



# Угол максимума ДСО

- Угол максимума ДСО  $\theta_m$  близок к углу входа в воду кромки верхней палубы судна
- При небольших осадках угол  $\theta_m$  примерно соответствует углу оголения скулы судна при крене

# Опасность ухода в воду верхней палубы

- Уход в воду кромки верхней палубы судна или оголение скулы при крене – признаки возможной близкой потери устойчивости судном, что очень опасно
- Наибольший допустимый крен судна на практике – меньший из двух: угол ухода в воду кромки ВП, либо угол заливания водой внутренних помещений судна

- Сохранение непроницаемости надводного борта судна необходимо не только для поддержания запаса плавучести, но и запаса статической устойчивости

# Задание для СМЗ

- Учебник стр. стр. 65-77 внимательно изучить, законспектировать