В титул впечатать .

Для 5 сема что не нужно удалять. Лишние сроки убирать. Инд задание не писать. График посещений, в конце список исп источников. Приложение 2. Отчёт сшивается. Сшить и сдать. Заключение делать не обязательно. Минимум 20 страниц

Понамарёв Юрий Анатольевич (где Авионика). Начала гироскопической техники. Экзамен. 3 рк, 1 часть курса матрицы, сисьемы кординат, на экзамене этого не будет, но будет на рк. На экзамене по лекциям объяснить рнадомный рисунок. Что такое из чего состоит как работает?
Есть 4 специализации

1. Чувств элемент и гир стабилизаторы (разработка гир стабилизаторов и чувст элементы: аклерометры и гироскопы)
2. Автопилоты (системы управления подвижных объектов). Потребители "1". Чаще всего в авионику.
3. Новигац системы (основная задача - решает задачу новигации, выдаёт углы ориентации). Потребитель "1" и "2"
4. Технологическая. "1"+"2"+"3"

мало отличаются друг от друга
Литература: основная: гироскопические системы, учебное пособие ч.1 "Теория гироскопов и гироскопических стабилизаторов" д.с. Пельпор Матвеев В. а. " гироскоп это просто - 2 издание"
Дополнительная: гироскопические системы. Гироскопические приборы и системы. Пельпор д.с. 1988. Раскопов В Я " микромеханические приборы (не читать) , Матвеев В.А. Подчезерцев В. П. Фатеев в.в. " Гироскопические стабилизаторы на динамически настраевамых инерционных гироскопах" . "Теория гироскопических приборов" учебное пособие Винниченко. Прикладная теория гироскопов Лысов АН, " прикладная теория гироскопов" и другие книги Булгаков. Курт Магнус "Гироскоп и его применение" . Шестов "гироскоп на земле на море и в воздухе". Павлов "Гироскопический эффект".
Не читать просто в интернете и видео не смотреть!

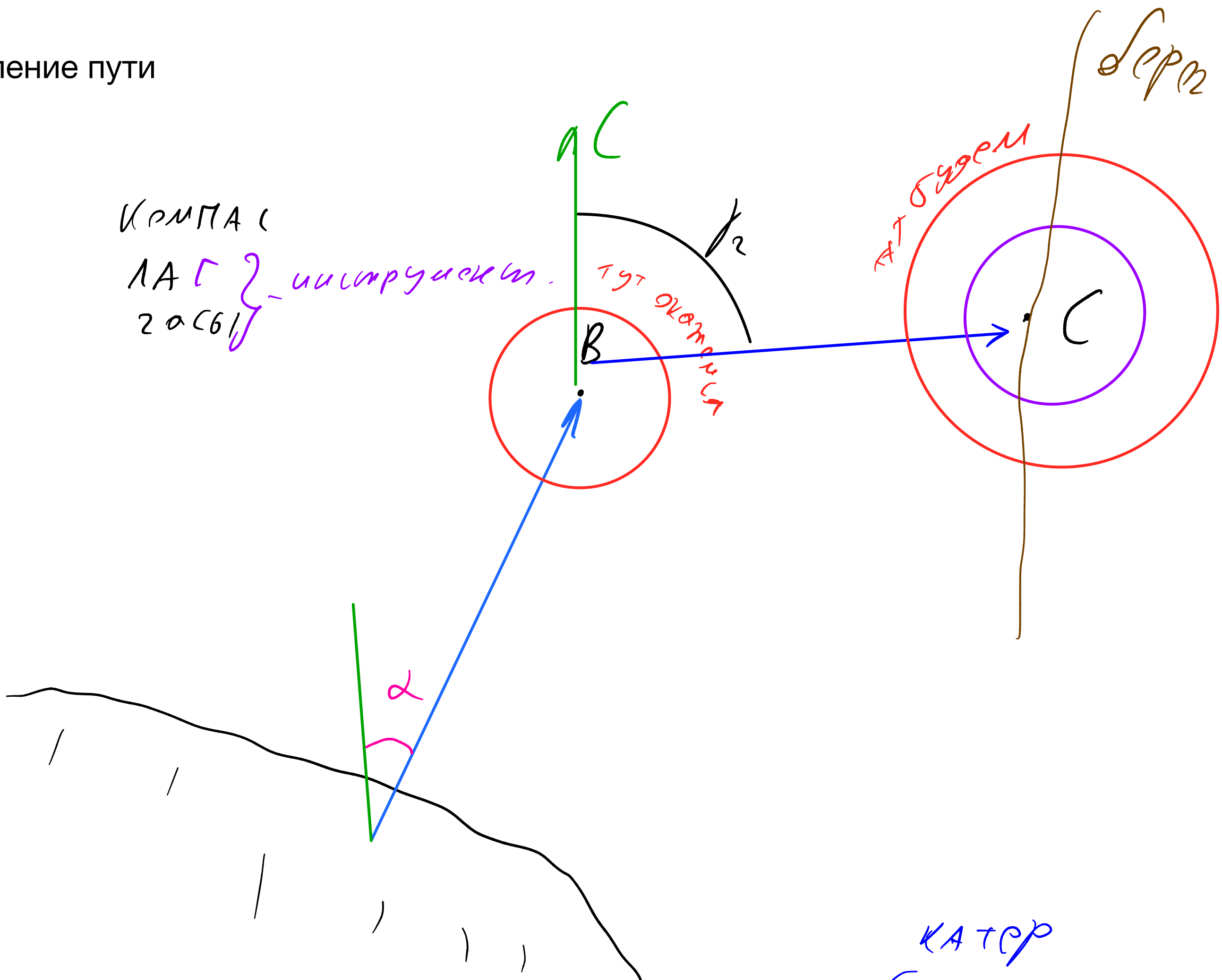
4 сентября
Лекция 1

Ориентация - определение углового положения объекта в пространстве
Навигация - определение кардинат объекта как материальной точки
Стабилизация - удержание объекта в каком то определённом положении (угловом или линейном) и управления им

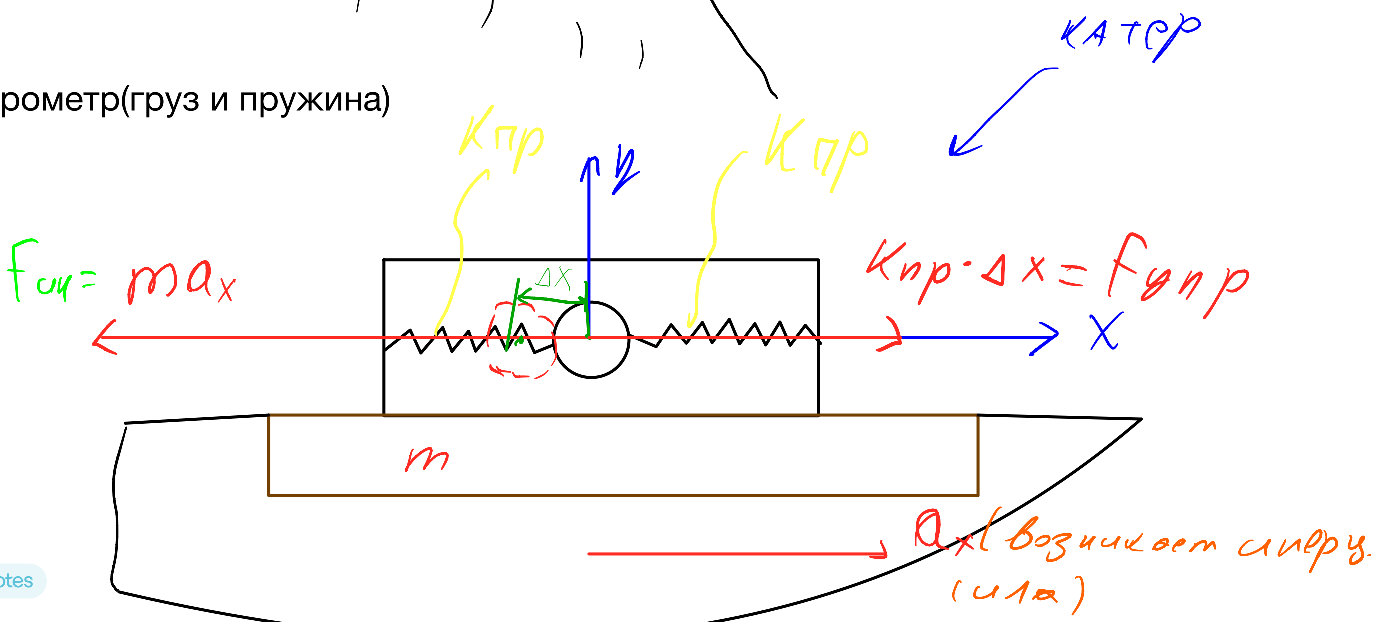
Инерционный момент- момент от несуществующих сил инерции

Лекция 2
12 сентября

Исчисление пути



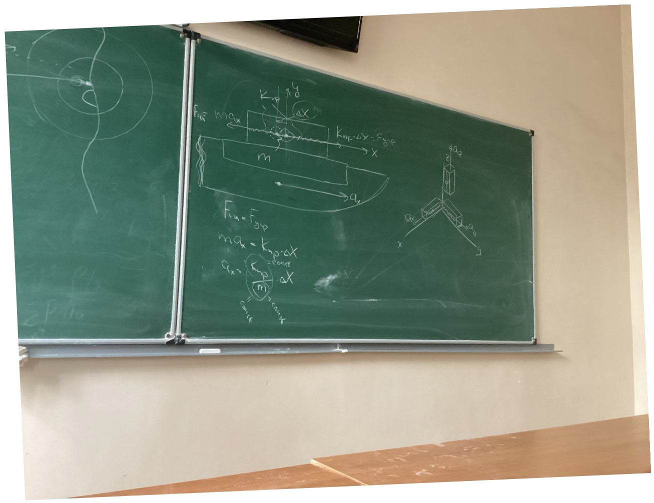
Акселерометр(груз и пружина)



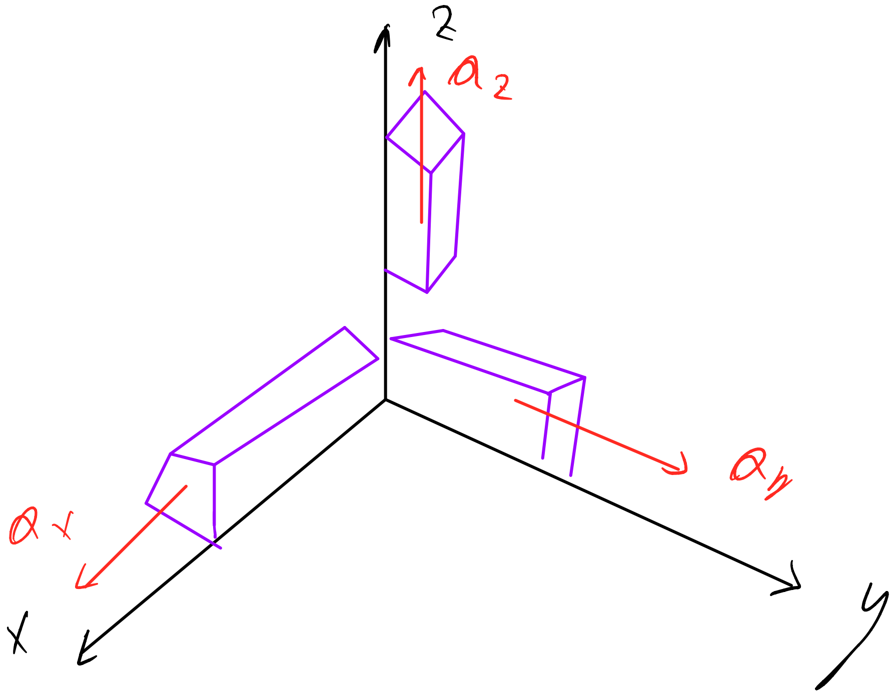
$$F_{\text{инерции}} = F_{\text{упр}}$$

$$m a_x = k_{\text{пр}} \cdot \Delta x$$

$$a_x = \underbrace{\frac{\overset{\text{const}}{k_{\text{пр}}}}{\underset{\text{const}}{m}}}_{\text{const}} \cdot \Delta x$$



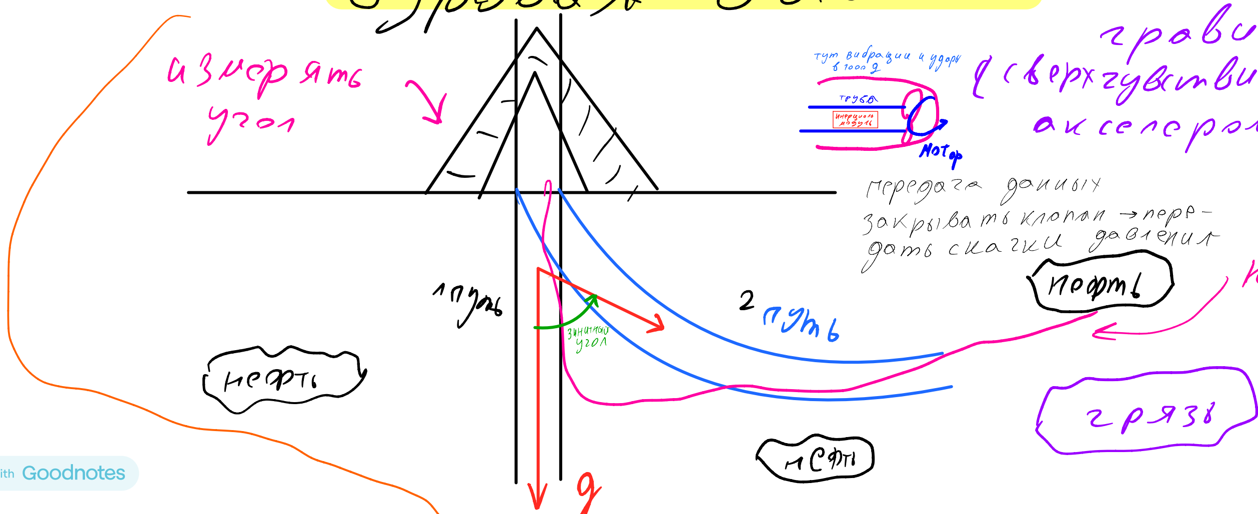
Ставят 3 акселерометра:



Проблема также неопр из-за погр. акселерометра

Нужно обнулять ошибки

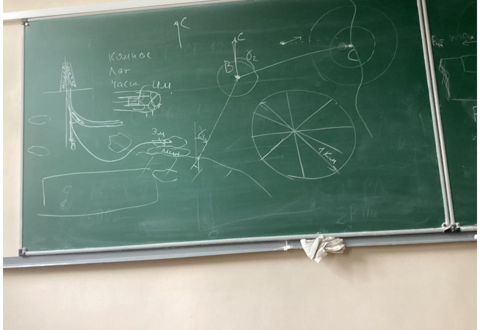
Буровая вышка

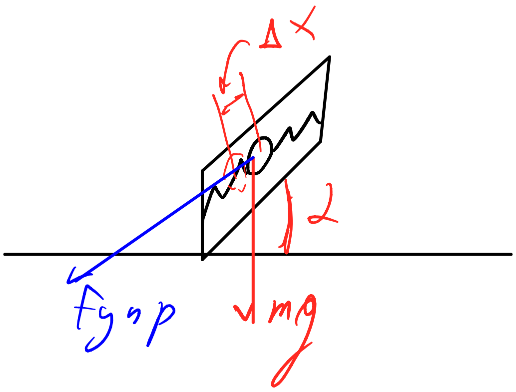


гравиметр (сверхчувствительный акселерометр)

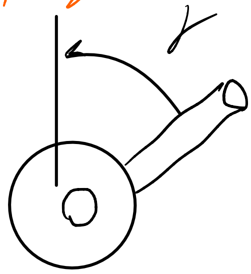
передача данных

закрывать клапан → передать скачки давления

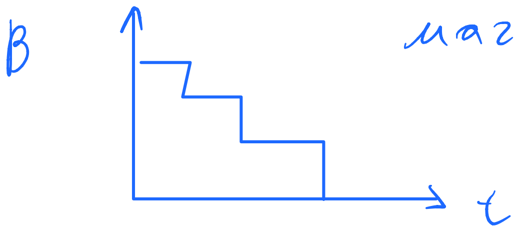




Вид сверху



ppm — 1% = 10000 ppm



магн. поле падает

---

19 сентября
3 лекция

Задание углового положения тела в пространстве. Определение направляющих косинусов

η - эта
ξ - кси
ζ - зета

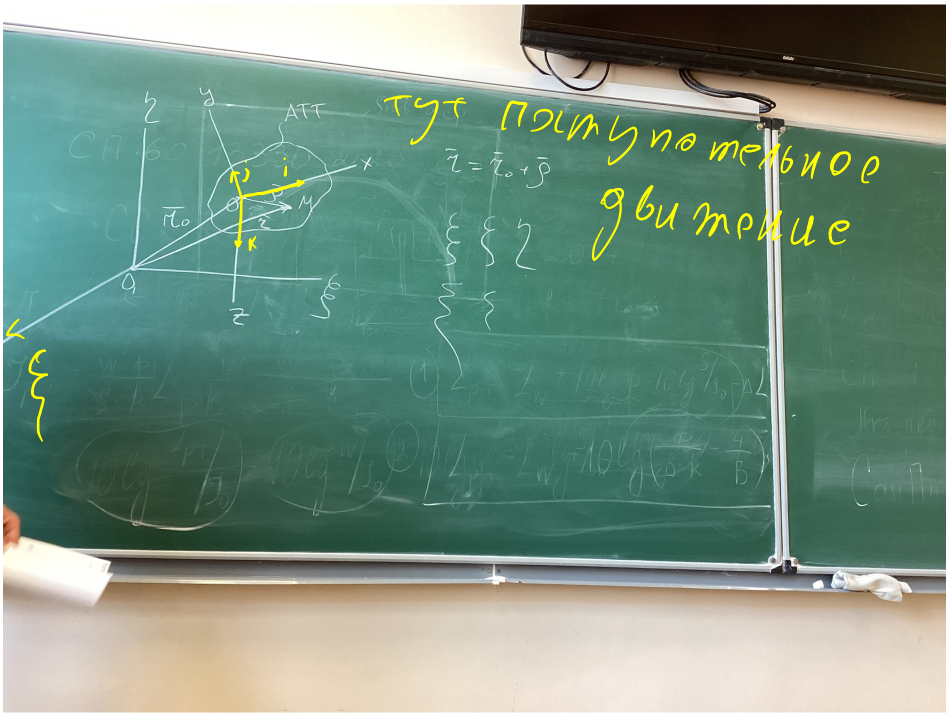
Система. $\eta\ \xi\ \zeta$ Это обсалютная система координат (условно неподвижная)

Точка O - произвольная точка твёрдого тела, ск xyz - ск жёстко связанная с телом.

Движение АТТ является известным, если в любой момент времени известны координаты любой его точки в ск кси, эта , зета

Точка М - произвольная точка твёрдого тела

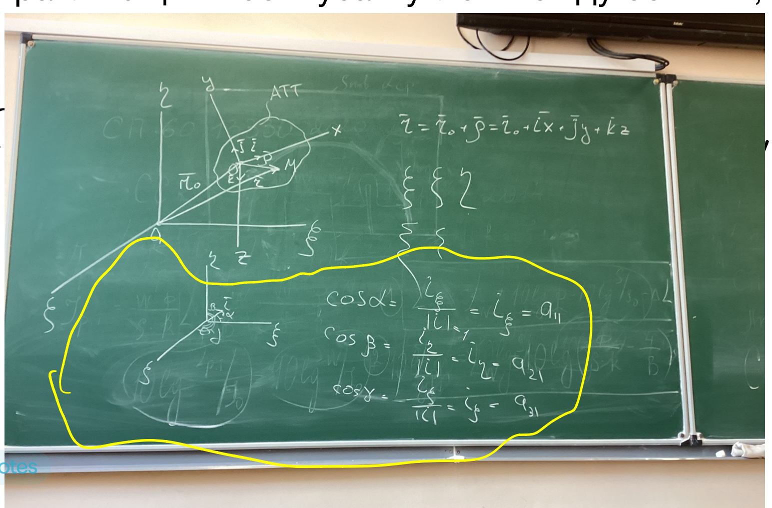
Ро - радиус вектор точки О в ск кси, эта , зета
Ро - это радиус вектор точки М в система координат xyz
R - радиус вектор точки М в ск кси эта зета



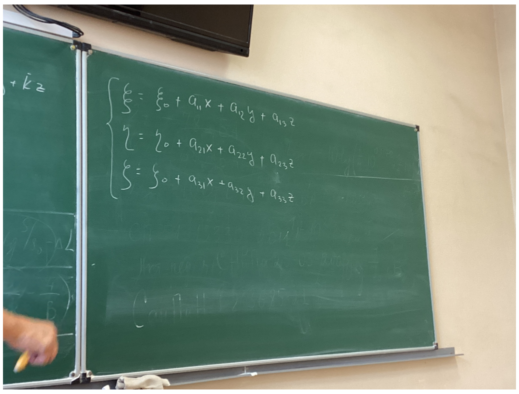
раскладываем радиус

$$\bar{r} = \bar{r}_0 + \bar{\rho} = \bar{r}_0 + \bar{i}x + \bar{j}y + \bar{k}z$$

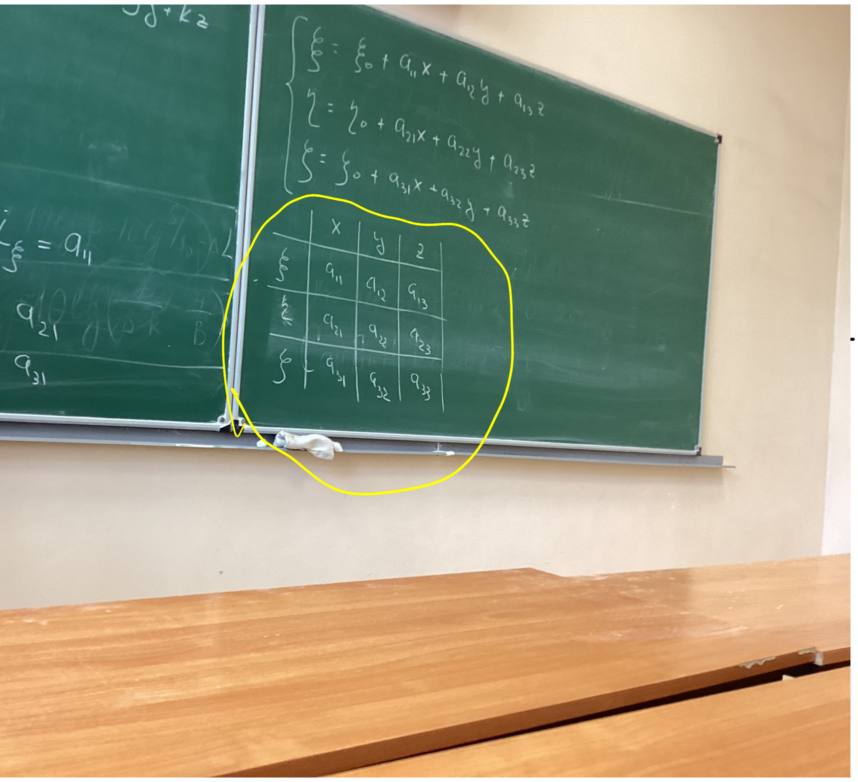
Проекция каждого из векторов i j k на каждую из осей кси , эта, зета равна направляющим косинусам углов между осями x, y, z, и кси, эта, зета.



$$
\begin{cases}
\xi = \xi_0 + a_{11}x + a_{12}y + a_{13}z \\
\eta = \eta_0 + a_{21}x + a_{22}y + a_{23}z \\
\zeta = \zeta_0 + a_{31}x + a_{32}y + a_{33}z
\end{cases}
$$



Чтобы узнать направление Ц.М



Задаём угл. положение

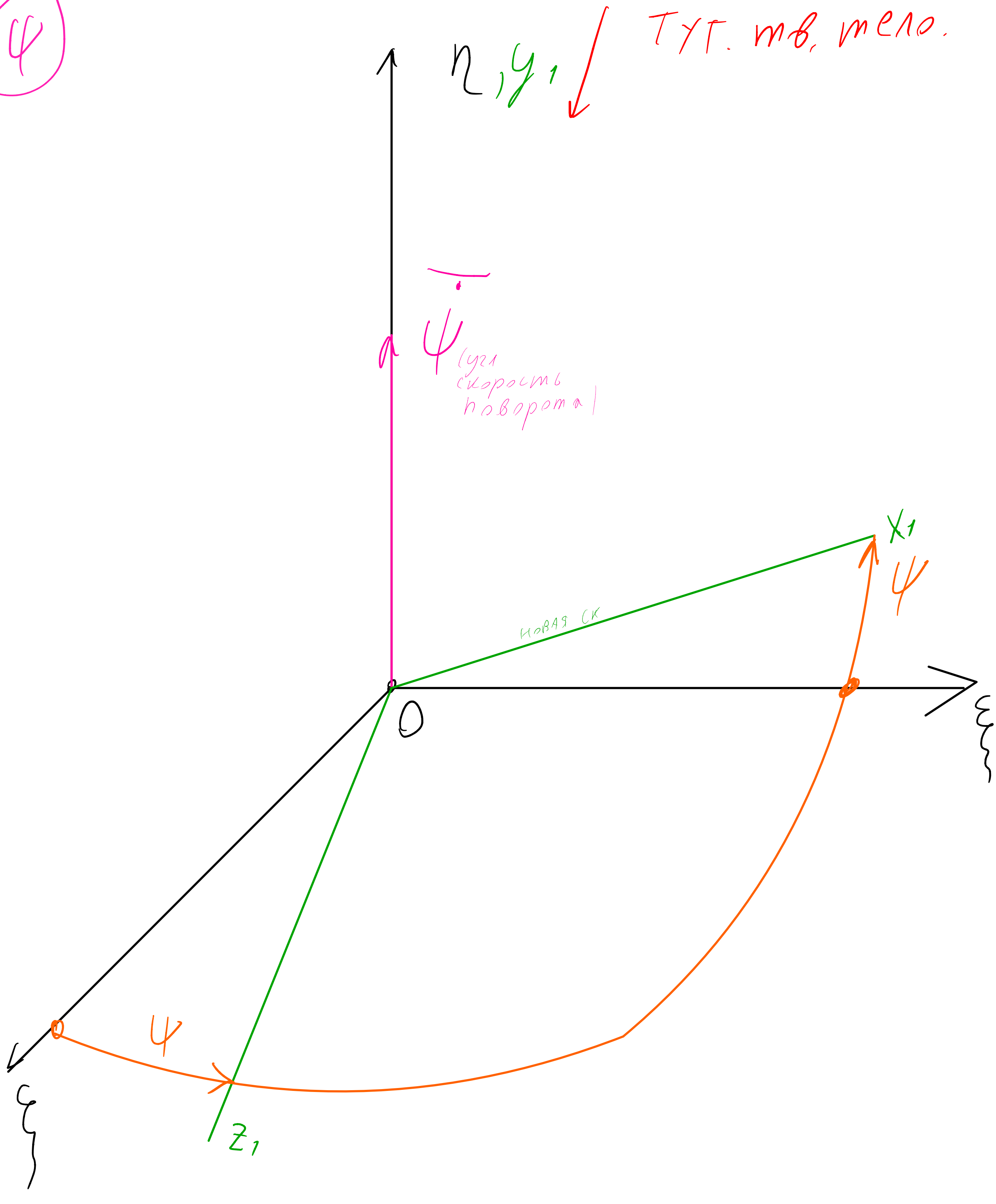
Независимыми являются только 3 коэф-а. Для удобства аналитических выводов и из соображений геометрической наглядности Эйлером предложено в качестве характеристик поворота АТТ относительно полюса вводить не три направляющих косинуса, а три угла через тригонометрические фуекции которых выражаются все 9 направляющих косинусов. Эти независимые между собой углы получили название Эйлеровы (Углы Эйлера).

К завтраму повторить как матрицы перемножвются, тройки векторов

1) Поворот на ψ

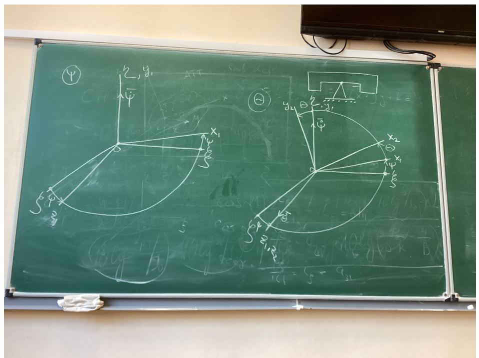
2) Поворот на θ

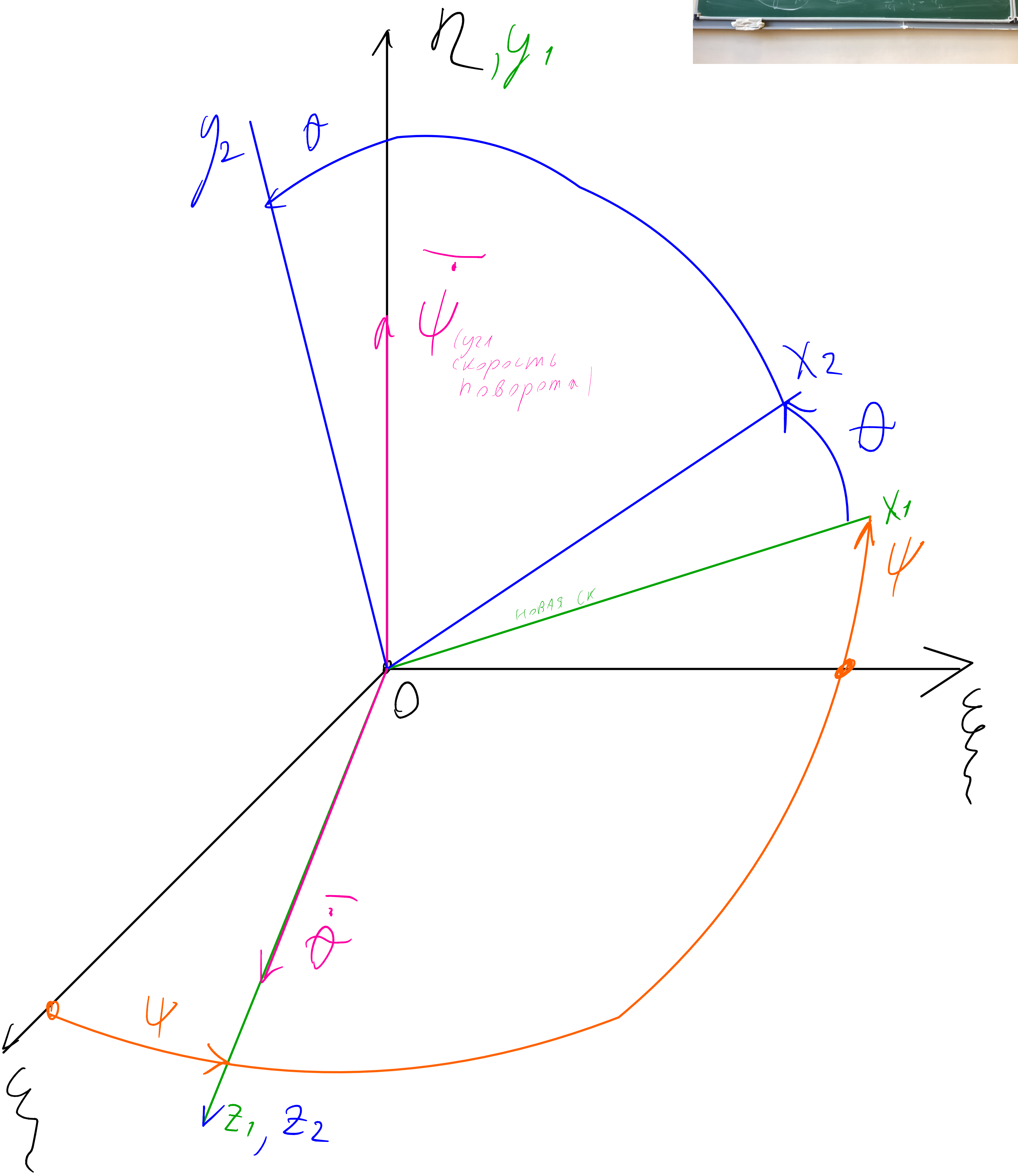
ψ



Тут тв. тело.
η, y_1
$\bar{\dot{\psi}}$
(угл скорость поворота)
x_1
ψ
новая СК
O
ξ
ζ
ψ
z_1

θ

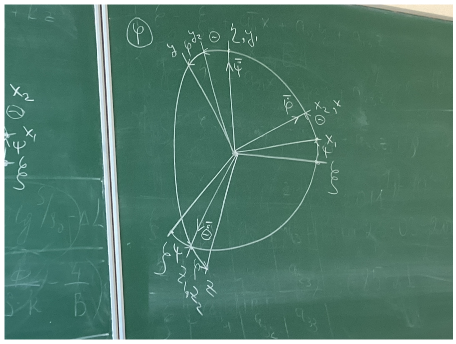


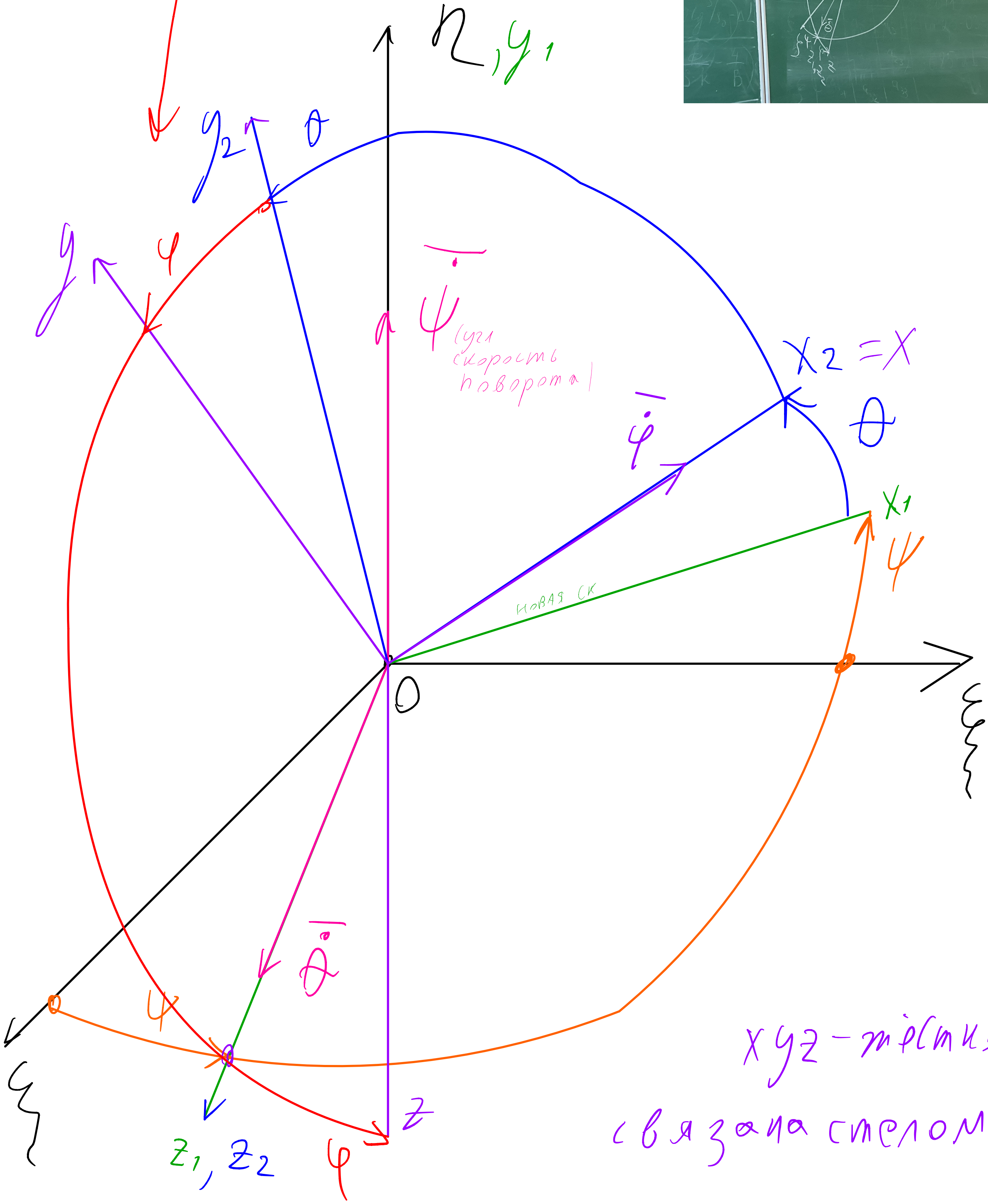


η, y_1
y_2
θ
$\dot{\bar{\psi}}$
(угл скорость поворота)
X_2
θ
X_1
ψ
новая СК
O
ξ
$\dot{\bar{\theta}}$
ψ
ζ
z_1, z_2

φ

В РК нарисовать





xyz – жёстко связана с телом

Made with Goodnotes

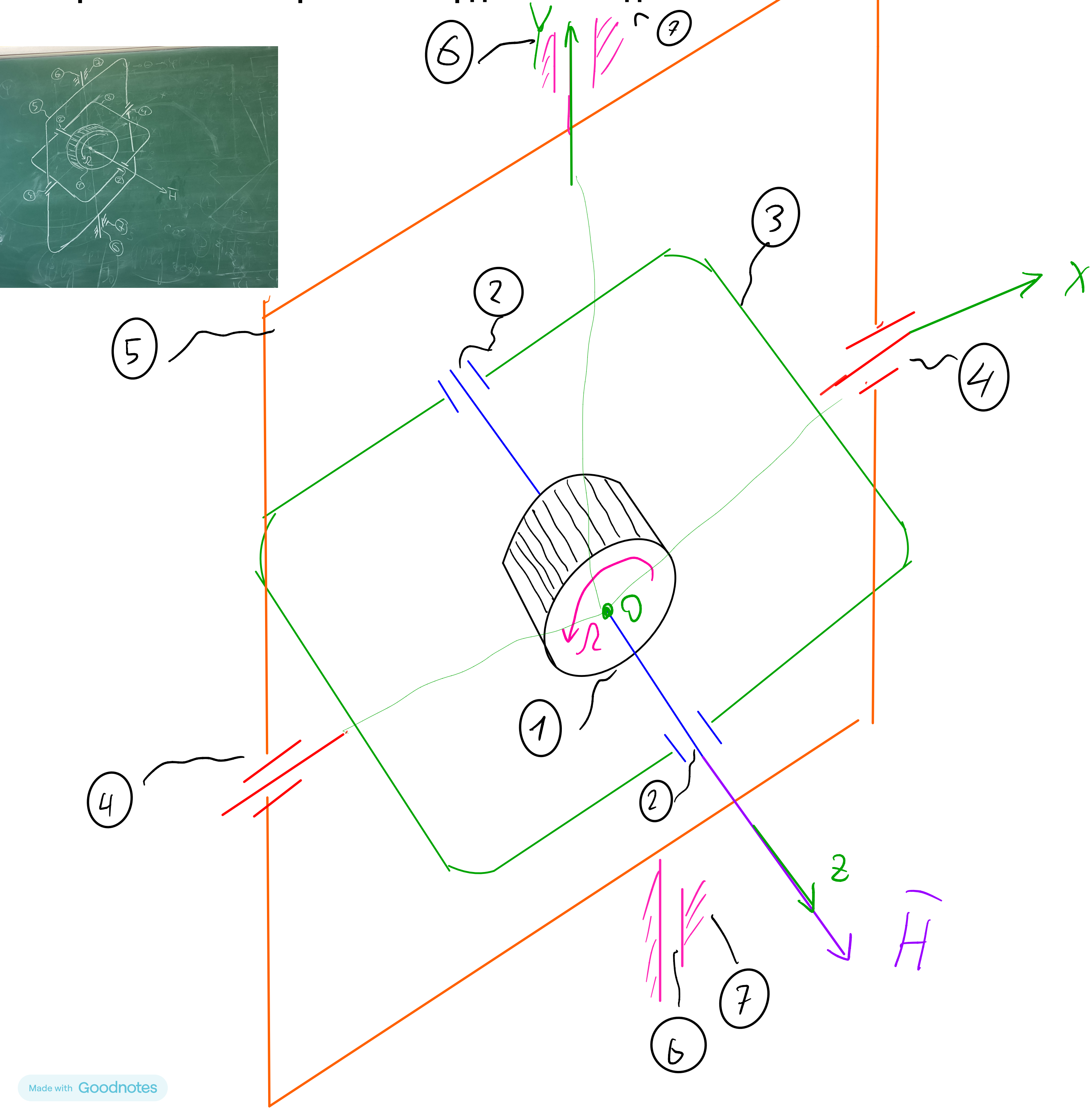
Указаная ск получила широкое распространение при исследовании динамики в гироскопии. Ось x - это продольная ось Ла, ось z - поперечная ось в правое крыло , ось y - вертикальная ось ЛА. Пси в этом случае - угол курса (рыскания) ЛА. Угол тета - угол тонгажа ЛА (диферента если корабль), угол фи - это угол крена. Эти определения неправильные, они для наглядности.

Угол курса - угол между двумя плоскостями: 1) плоскостью, образованной продольной осью ЛА и её проекцией на плоскость местного горизонта, и 2) плоскостью мередина.

Угол тонгажа - это угол между продольной осью ЛА и её проекцией на плоскость местного горизонта

Угол крена - угол между поперечной осью ЛА и её проекцией на плоскость местного горизонта

Трёхстепенной гироскоп в кордановом подвесе



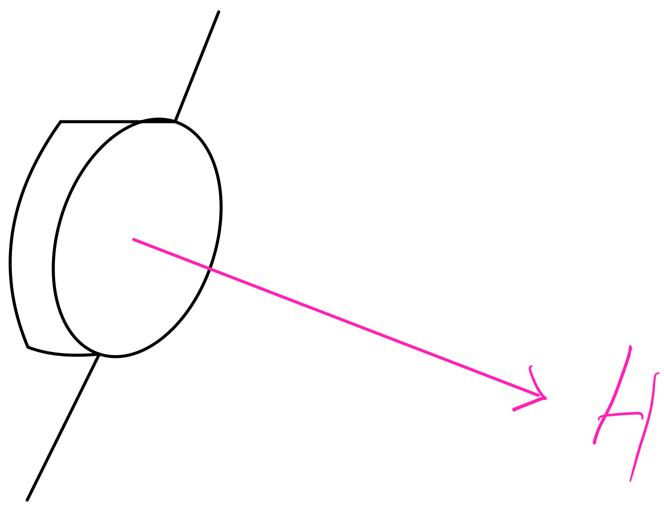
1- ротор (маховик)
2 - опоры ротора
3 - внутрення рамка
4 - опоры внутренней рамки. Крепиться к наружной рамке
5. Наружная рамка
6 - опоры наружной рамки
7 - основание (база)

$\}$ + двигатель – это кожух (гиродвигатель)

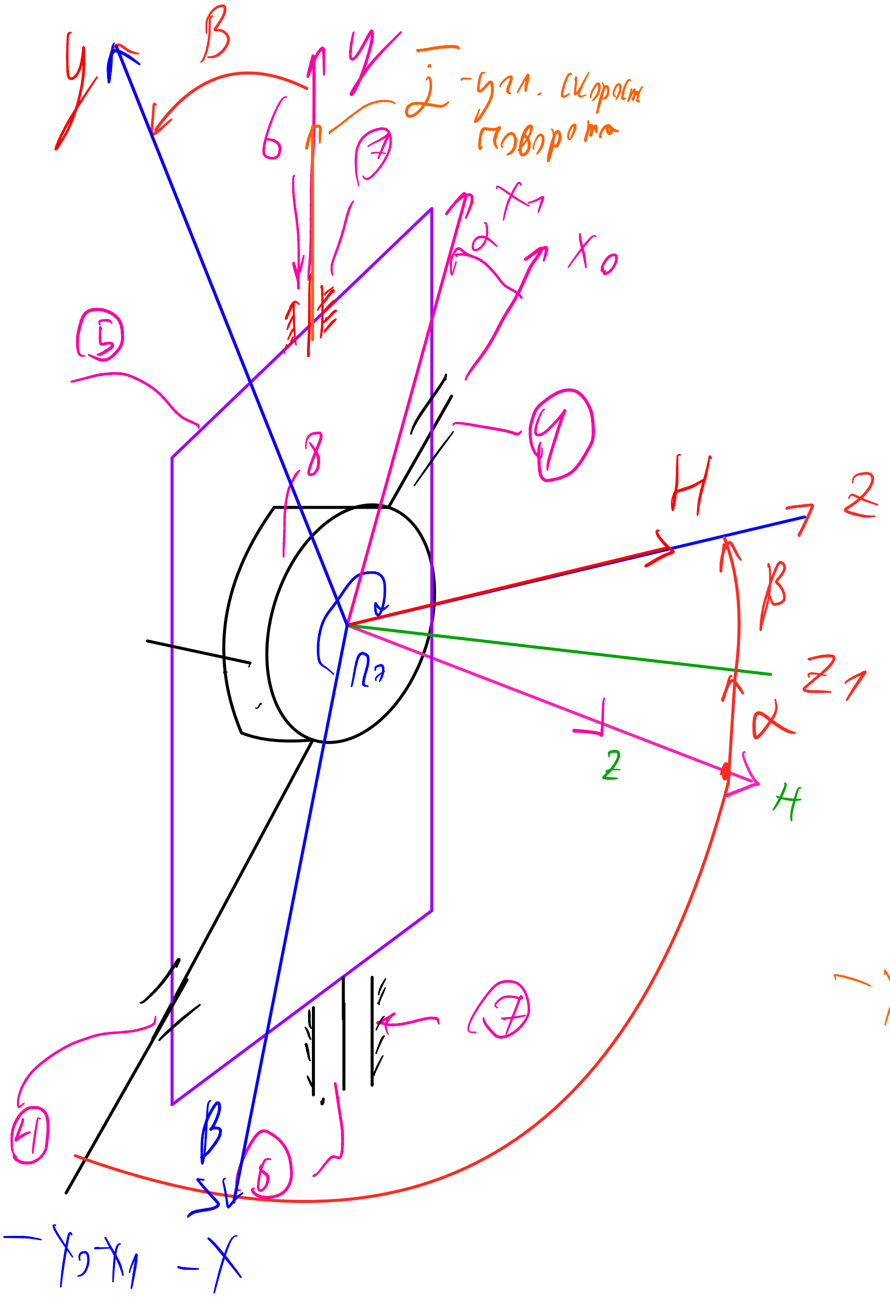
Система рамок, которая обеспечивает маховику 3 угловые степени свободы относительно неподвижной точки О , лежащей на пересечении осей xyz- это кардановый подвес

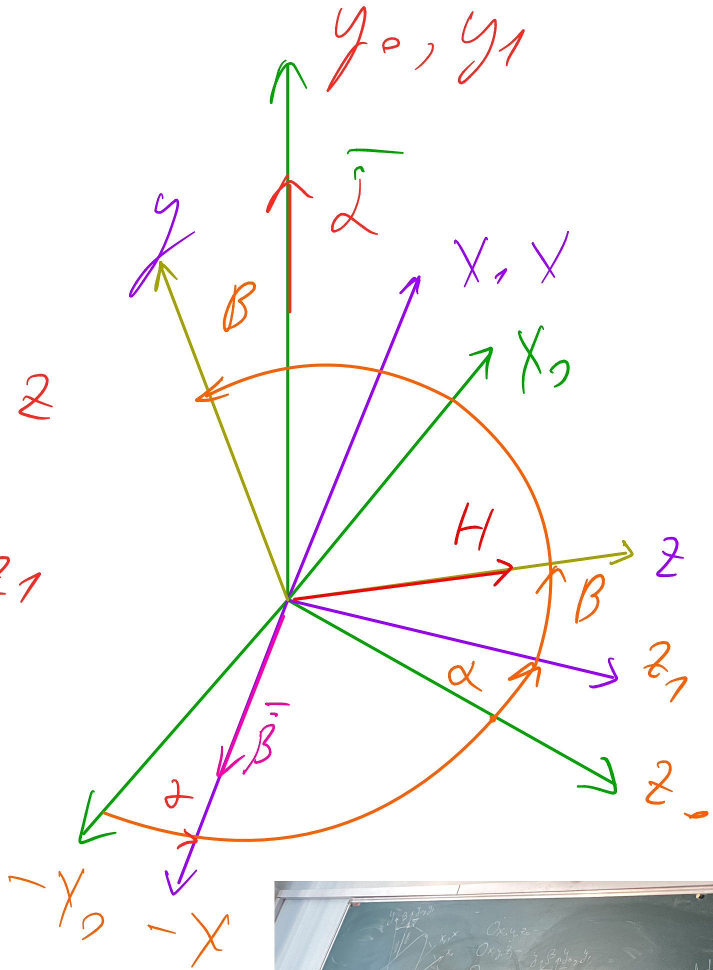
20 сентября
4 лекция

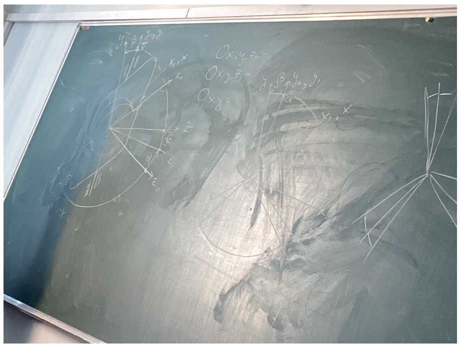
(1)+(2)+(3)+двигатель = Гиромотор (гиродвигатель)



$Ox_1 z_1 y_1$ – СК связанная с наружной рамки

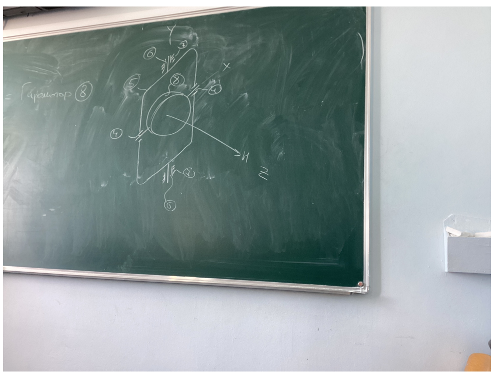






Задание углового положения главной оси трёхстепенного гироскопа относительно ск связанной с основанием

Ск связанная с кожухом гиромотора $OXYZ$

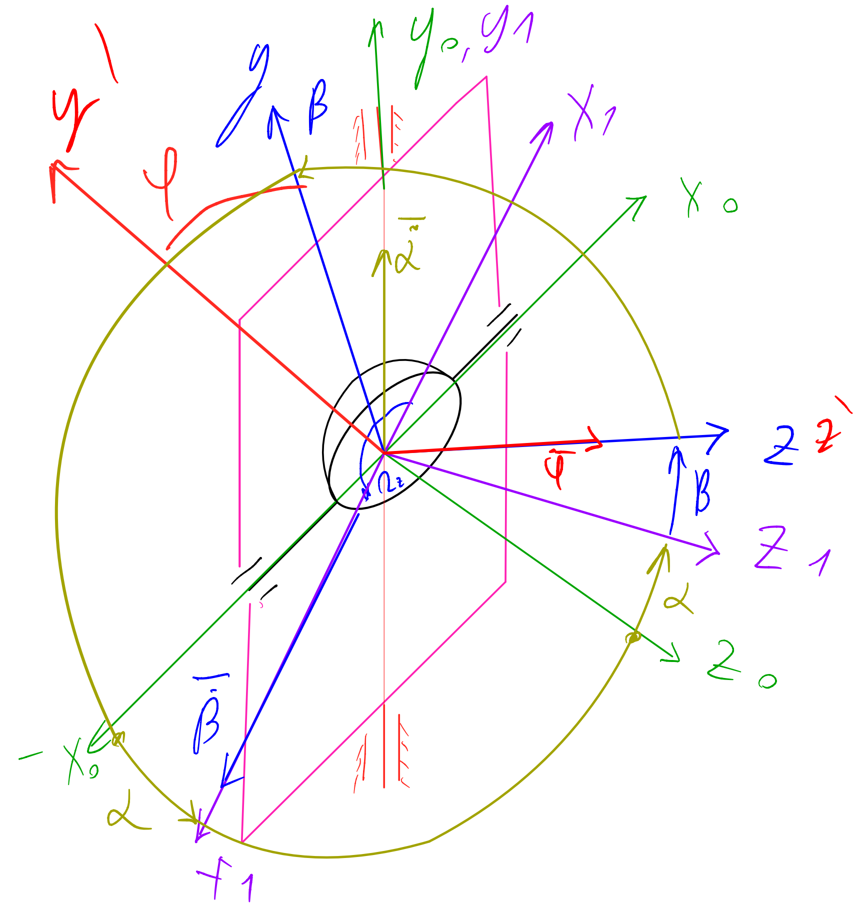


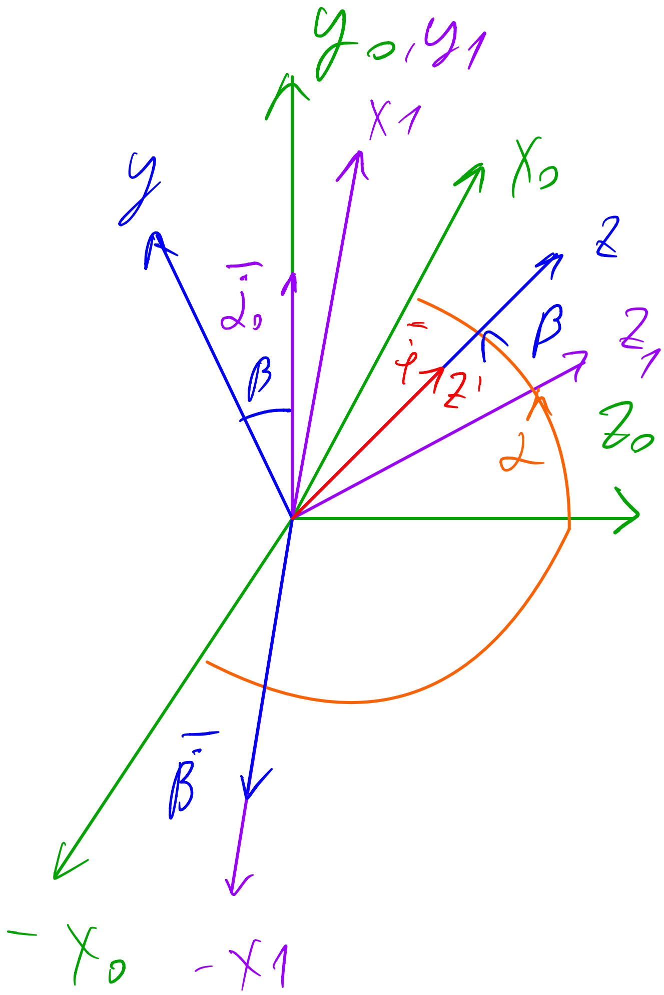
H - собственный кинетичсекий момент гироскопа

$OX_0Y_0Z_0$ - СК связанная с основанием

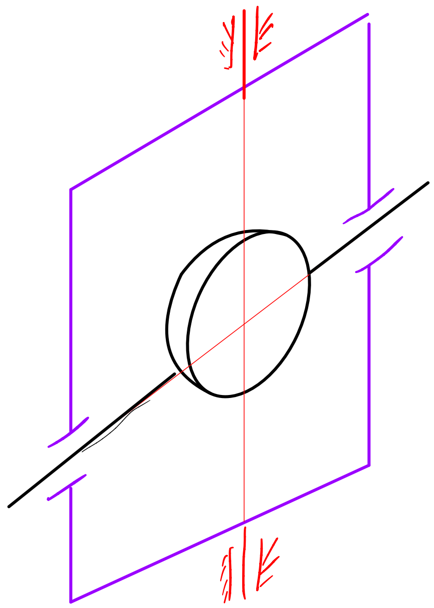
$H = C\Omega_z$ (момент инерции маховика на угловую скорость вращения)

φ - угл. скорость маховика отн кожух

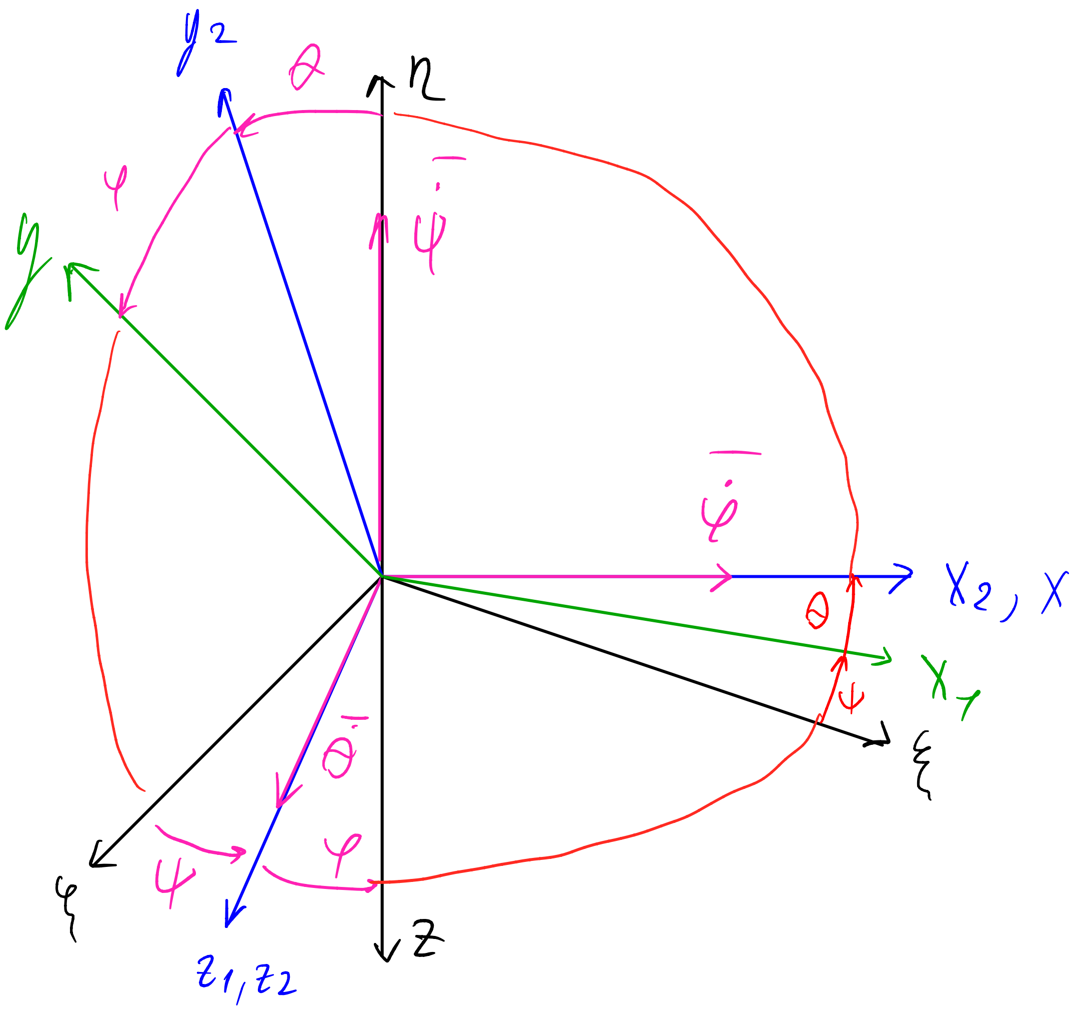




Задать угловое положение маховика

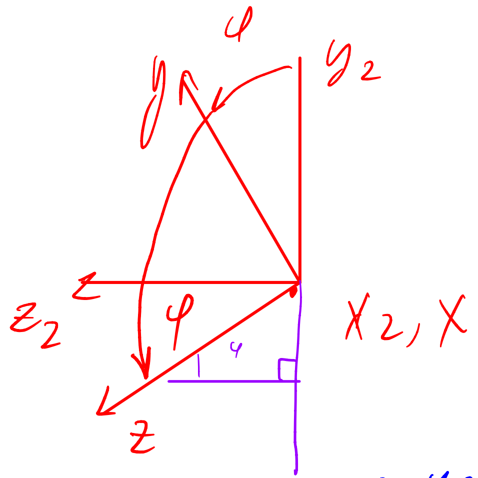


Лекция 5
26 сентября



Задача: найти таблицу (матрицу) направляющих косинусов между осями связанной ск x,y,z и опорной ск ξ, η, ζ

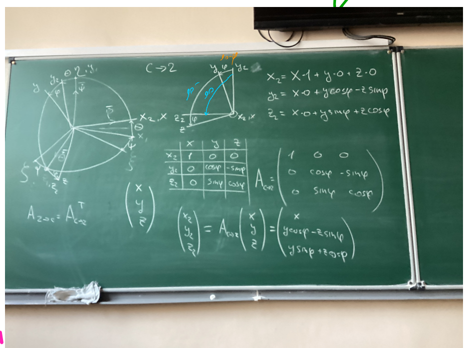
В соотвествии с рисунком выше



$$x_2 = x\cdot 1 + y\cdot 0 + z\cdot 0$$

$$y_2 = x\cdot 0 + y\cdot \cos\varphi - z\cdot \sin\varphi$$

$$z_2 = x\cdot 0 + y\cdot \sin\varphi + z\cdot \cos\varphi$$



матр напр косинусов

	x	y	z
x_2	1	0	0
y_2	0	$\cos\varphi$	$-\sin\varphi$
z_2	0	$\sin\varphi$	$\cos\varphi$

МАТР напровл косинусов

$$A_{c\to 2} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix}$$

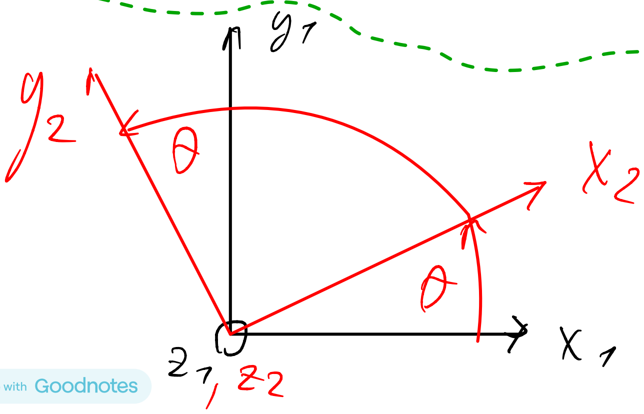
из связанной во 2 ск (индекс 2)

4.30

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} = A_{c\to 2} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y\cos\varphi - z\sin\varphi \\ y\sin\varphi + z\cos\varphi \end{pmatrix}$$

7:48

это был φ



$$\boxed{\begin{aligned} A_{2\to c} &= A_{c\to 2}^{T} \\ A_{c\to 1} &= A_{2\to 1}\cdot A_{c\to 2} \end{aligned}}$$

$$x_1 = x_2 \cdot \cos\theta - y_2 \sin\theta + z_2 \cdot 0$$ 9:20

$$y_1 = x_2 \cdot \sin\theta + y_2 \cdot \cos\theta + z_2 \cdot 0,$$

$$z_1 = x_2 \cdot 0 + y_2 \cdot 0 + z_2 \cdot 1$$

$$A_{2\to1} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$ ✓

10:32 2 вариант

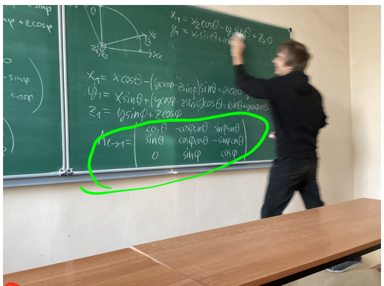
тут вместо $x_2 y_2 z_2$ подставляем

2 способ Нужно из связной вторую →
нужно из связной в первую $A\, c\to1$

$$x_1 = x\cdot\cos\theta - (y\cos\varphi - z\sin\varphi)\sin\theta = x\cos\theta - y\cos\varphi\sin\theta + z\sin\varphi\sin\theta$$

$$y_1 = x\cdot\sin\theta + (y\cos\theta - z\sin\varphi)\cos\theta = x\sin\theta + y\cos\varphi\cos\theta - z\sin\varphi\cos\theta$$

$$z_2 = y\sin\varphi + z\cos\varphi$$

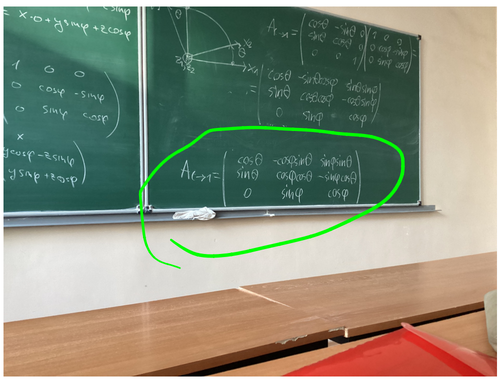


16:08

1 способ

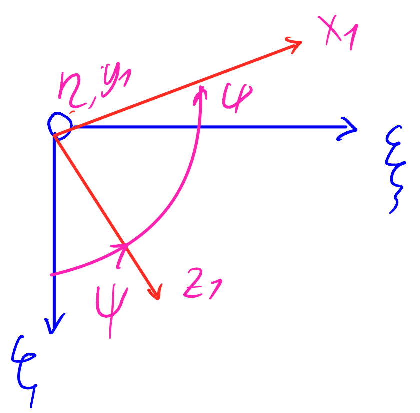
$$A_{c\to1} = \underbrace{\begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{A_{2\to1}} \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix}}_{A_{c\to2}} =$$

$$= \cos\theta \qquad -\sin\theta\cos\varphi$$



Получилось то же самое

1 угол поворота ψ 21:40



25

Проекции

$$\xi = x_1 \cdot \cos\psi + 0 \cdot y_1 + z_1 \sin\psi$$

$$\eta = 0 \cdot x_1 + y_1 \cdot 1 + z_1 \cdot 0$$

$$\zeta = -x_1 \cdot \sin\psi + y_1 \cdot 0 + z_1 \cos\psi$$

МАТРИЦА

$$A_{1\to 0} = \begin{pmatrix} \cos\psi & 0 & \sin\psi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\psi & 0 & \cos\psi \end{pmatrix}$$

из 1 в исходную

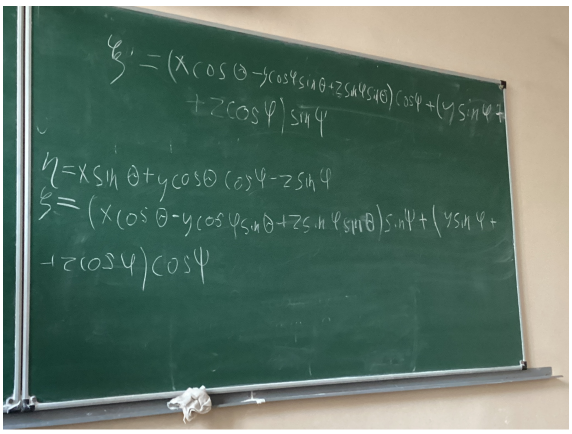
$$A_{c\to 0} = A_{1\to 0}$$

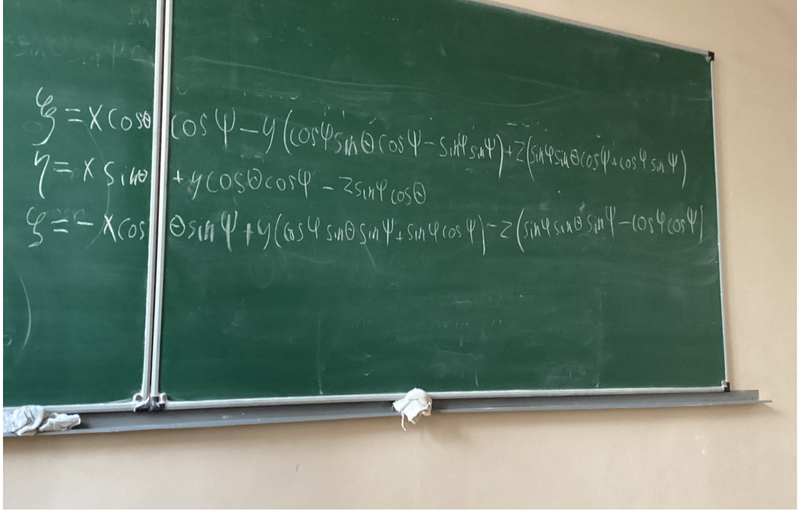
$$\boxed{\begin{aligned} A_{2\to c} &= A_{c\to 2}^{T} \\ A_{c\to 0} &= A_{1\to 0} A_{0\to 1} \end{aligned}}$$

$$\xi = x_1 \cdot \cos\psi + 0 \cdot y_1 + z_1 \sin\psi = x \cdot \cos\theta - y$$

$$\eta = 0 \cdot x_1 + y_1 \cdot 1 + z_1 \cdot 0$$

$$\zeta = -x_1 \cdot \sin\psi + y_1 \cdot 0 + z_1 \cos\psi$$





$$\begin{pmatrix} \cos\theta & -\cos\psi\sin\theta & \sin\varphi\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\psi\cos\theta & -\sin\varphi\cos\theta \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix}$$

$$A_{1-0} = \begin{pmatrix} \cos\theta\cos\psi & \sin\varphi\sin\psi - \cos\varphi\sin\psi & \sin\varphi\sin\theta\cos\psi + \cos\varphi\sin\psi \\ \sin\theta & \cos\theta\cos\psi & -\sin\varphi\cos\theta \\ -\cos\theta\sin\psi & \cos\varphi\sin\theta\sin\psi + \sin\varphi\cos\psi & \cos\varphi\cos\psi - \sin\varphi\sin\theta\sin\psi \end{pmatrix}$$

транспонирую

$$\begin{pmatrix} \cos\theta\cos\psi & \sin\theta & -\cos\theta\sin\psi \\ \sin\varphi\sin\psi - \cos\varphi\sin\psi & \cos\theta\cos\psi & \cos\varphi\sin\theta\sin\psi + \sin\varphi\cos\psi \\ \sin\psi\sin\theta\cos\psi + \cos\varphi\sin\psi & -\sin\varphi\cos\psi & \cos\varphi\cos\psi - \sin\varphi\sin\theta\sin\psi \end{pmatrix}$$

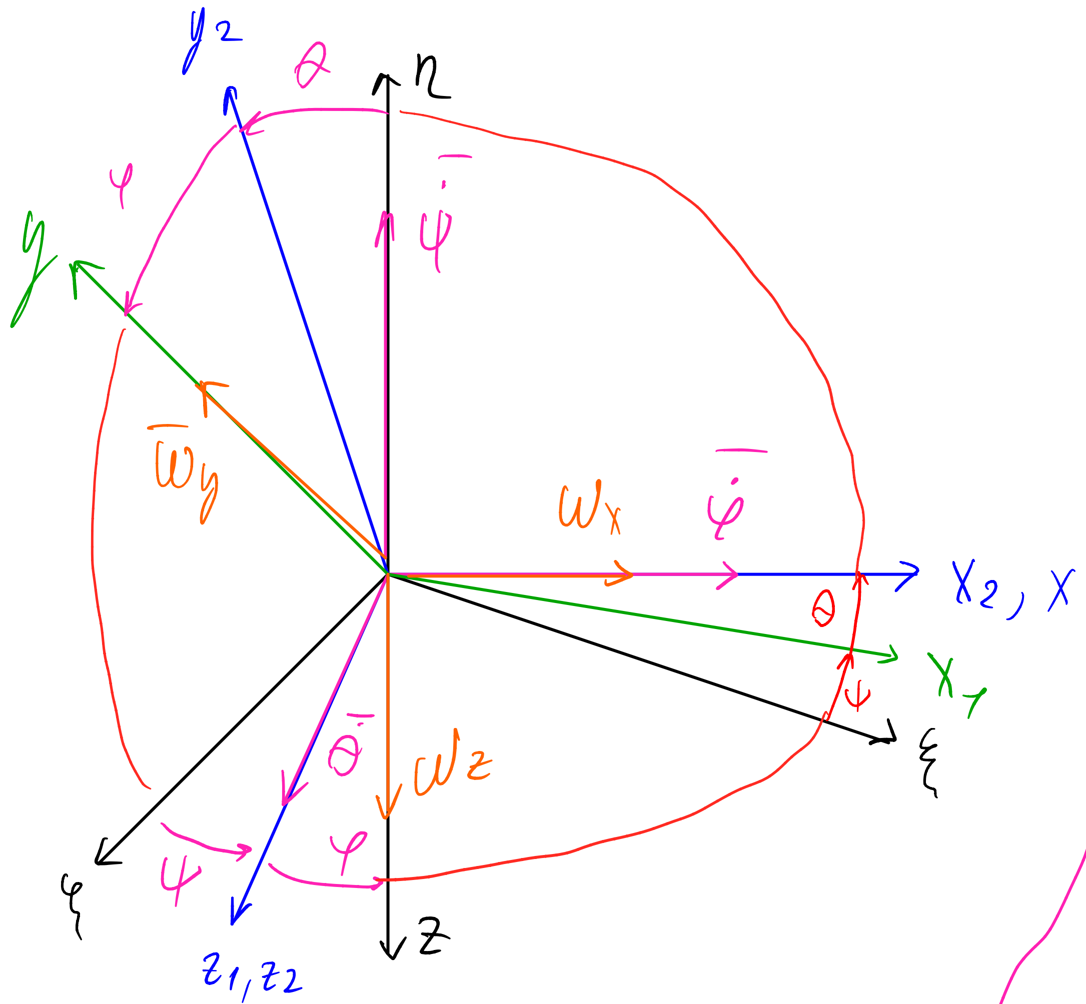
53

$\dot\psi\ \dot\theta\ \dot\varphi$ — отн угловые скорости тв. тела относительно основания

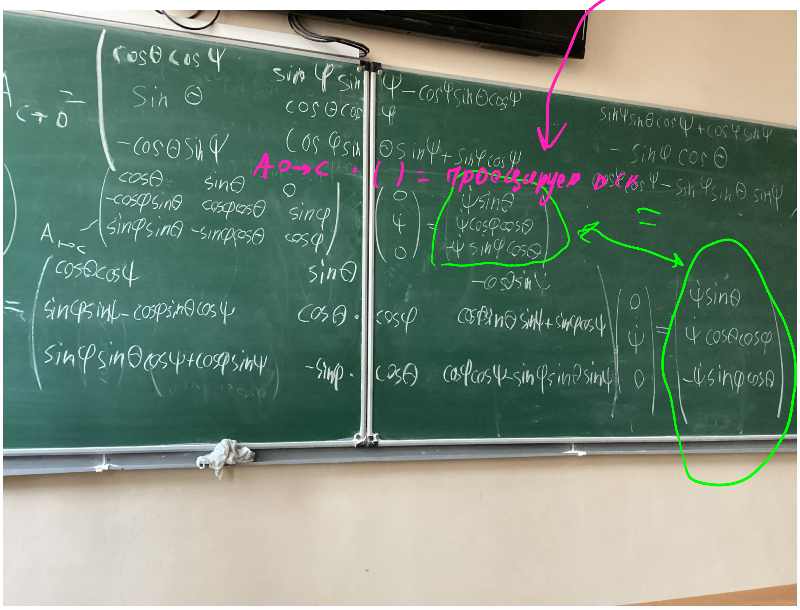
$$A_{1\to C} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\cos\psi\sin\theta & \sin\varphi\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\psi\cos\theta & -\sin\varphi\cos\theta \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\cos\psi\sin\theta & \cos\psi\cos\theta & \sin\varphi \\ \sin\varphi\sin\theta & -\sin\varphi\cos\theta & \cos\varphi \end{pmatrix}$$

Проецируем ss

$\xi\eta\zeta$ – опорная СК

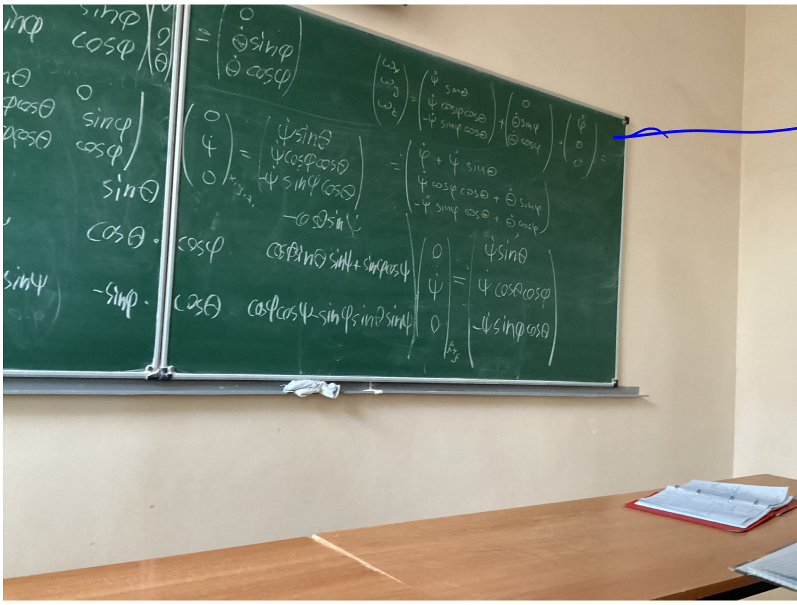


$$\begin{array}{c} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{array}\begin{pmatrix} 0 \\ \dot\psi \\ 0 \end{pmatrix}$$



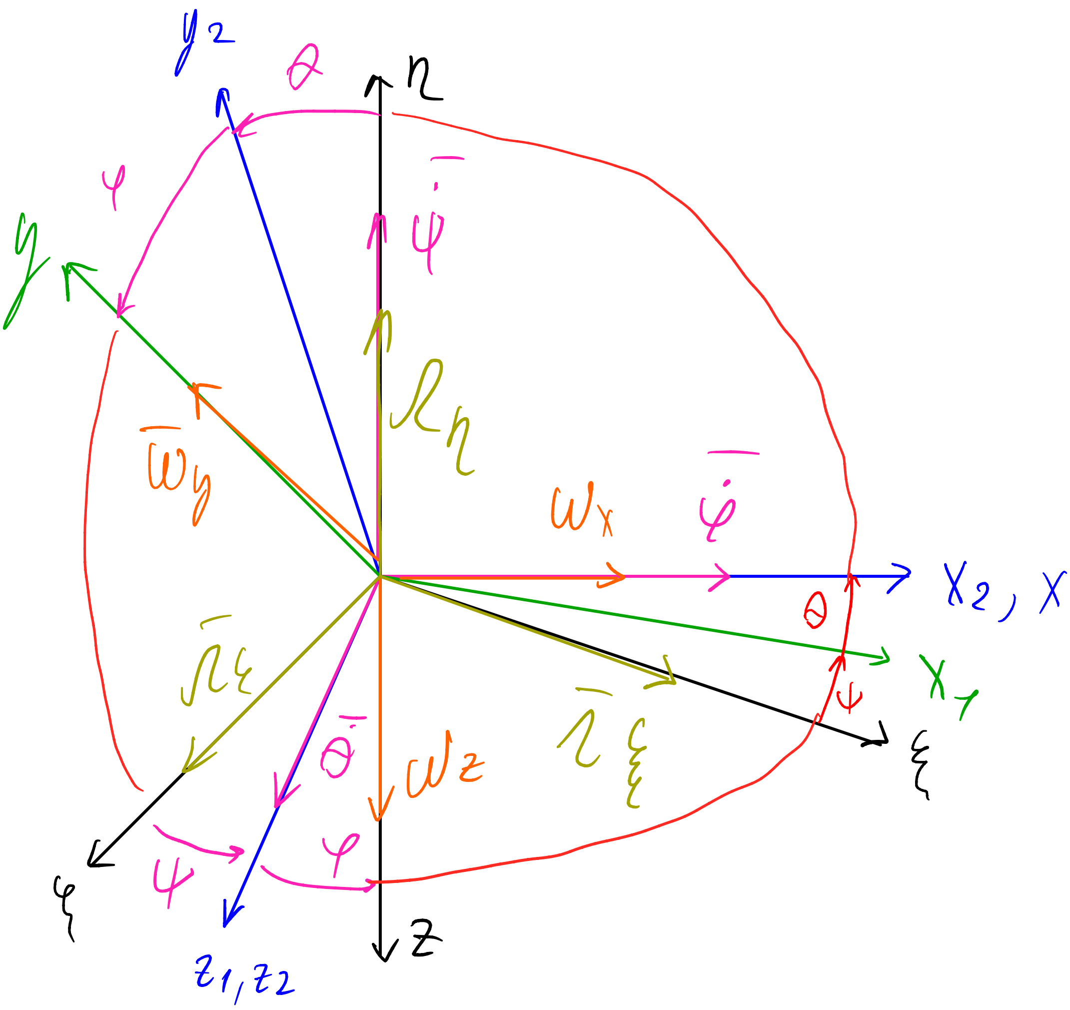
$$A_{0\to c}\begin{pmatrix} 0 \\ \dot\psi \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$A_{2\to c}\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot\theta \end{pmatrix}_{x_2 y_2 z_1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & \sin\varphi \\ 0 & -\sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot\theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \dot\theta\sin\varphi \\ \dot\theta\cos\varphi \end{pmatrix}$$



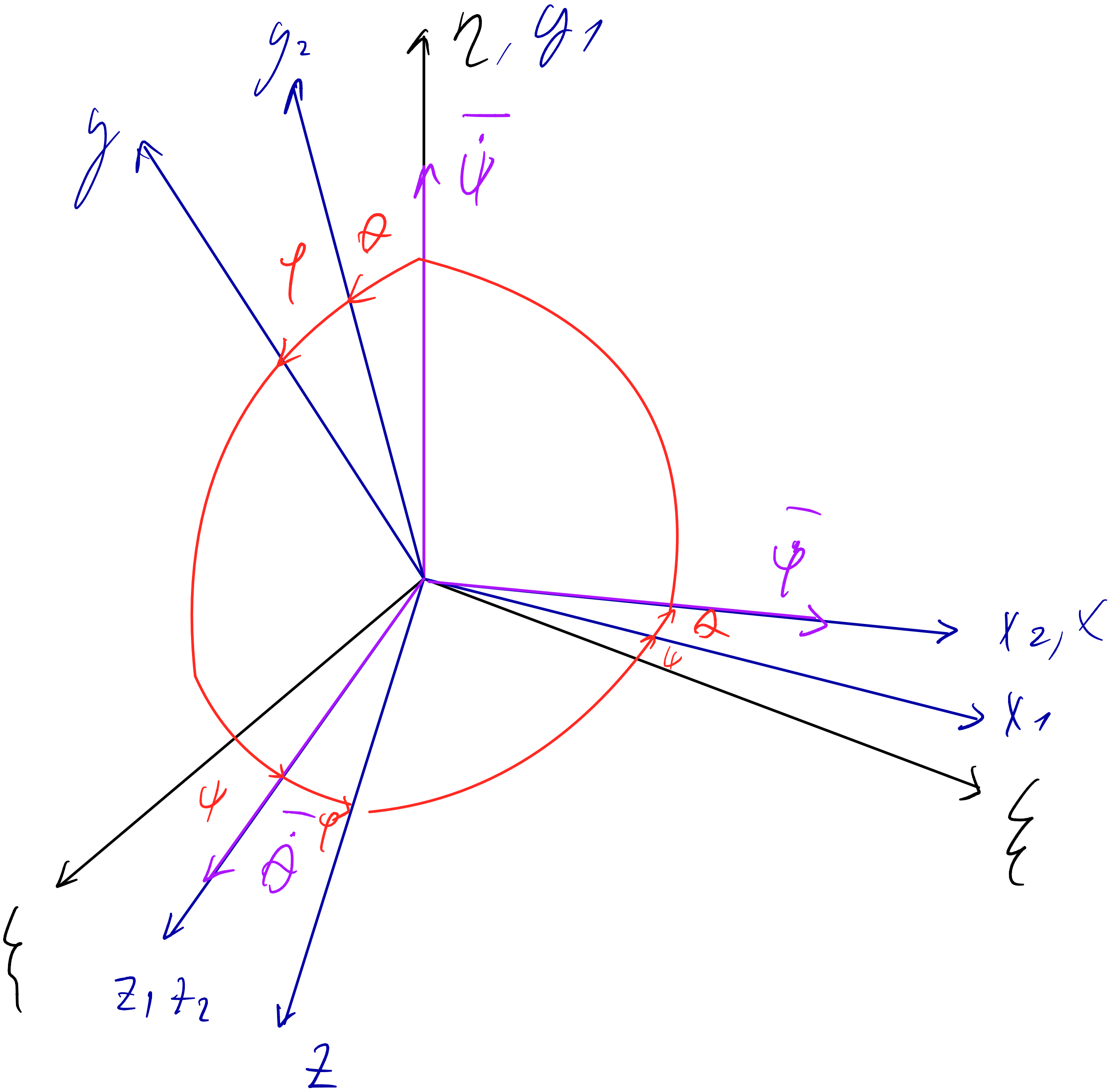
вектор относительной угловой скорости

Задача (теперь основание движется)



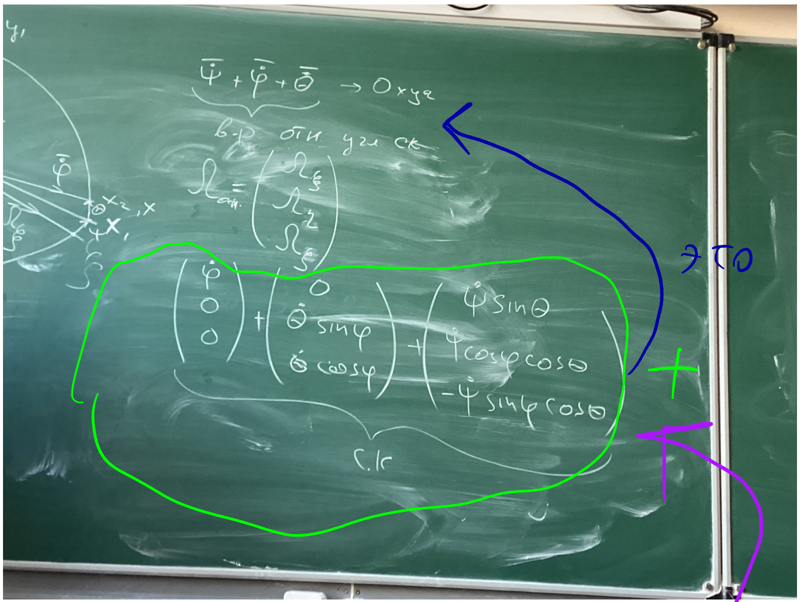
3 октября
6 лекция

Спроецировать вектор абсолютной угловой скорости на оси связанной с ним системы координат



$$\underbrace{\bar{\dot{\psi}} + \bar{\dot{\varphi}} + \bar{\dot{\theta}}}_{\text{вектор относительной угловой скорости}} \longrightarrow Oxyz$$

$$\Omega_{оси} = \begin{pmatrix} \Omega_\xi \\ \Omega_\eta \\ \Omega_\zeta \end{pmatrix}$$

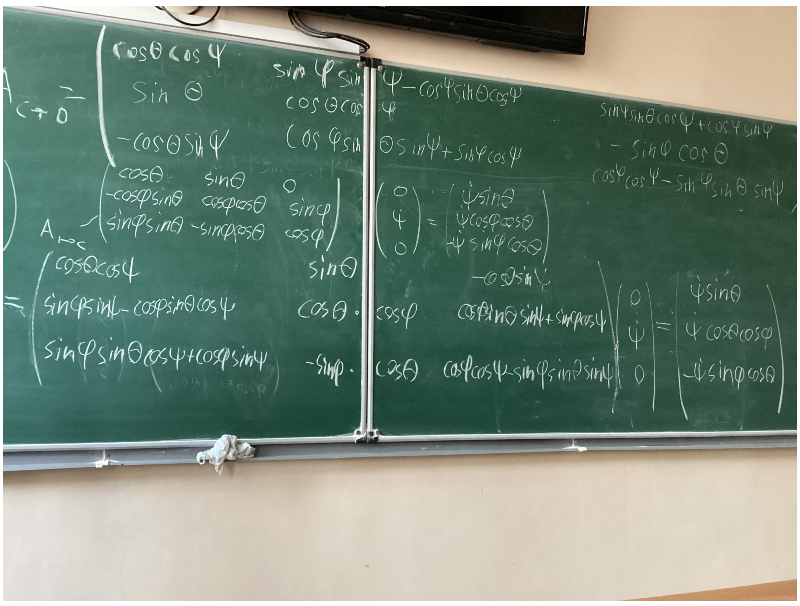


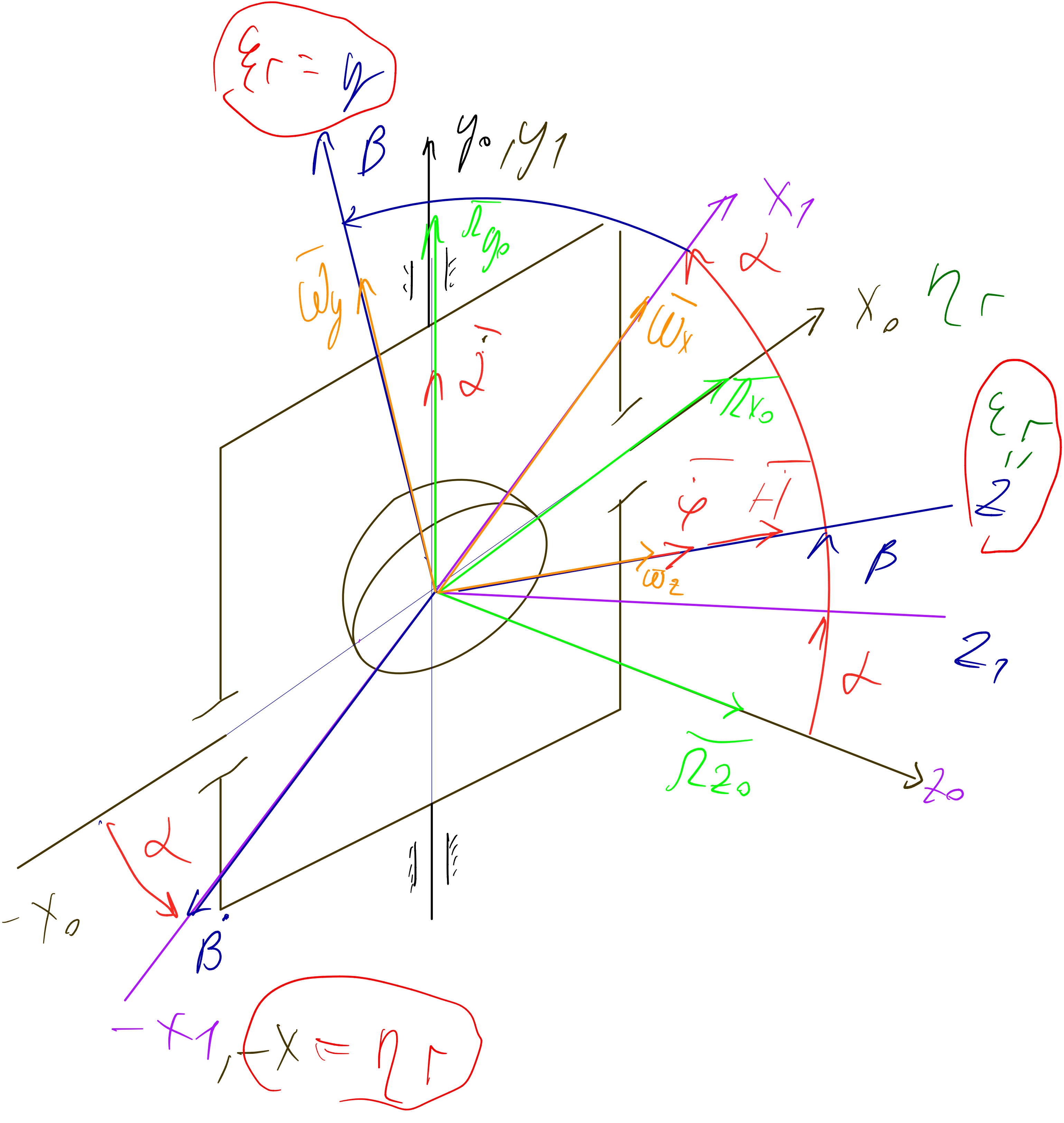
это проекции

$$A_{OC}\cdot\begin{pmatrix}\Omega_\zeta\\ \Omega_\eta\\ \Omega_\xi\end{pmatrix}+$$

$$+$$

$$\begin{pmatrix}
\cos\theta\cdot\cos\psi\cdot\Omega_\xi+\sin\theta\cdot\Omega_\eta+(-\cos\theta\cdot\sin\psi\cdot\Omega_\zeta)\\
\sin\varphi\cdot\sin\psi\cdot\Omega_\xi-\cos\varphi\cdot\sin\theta\cdot\cos\psi\cdot\Omega_\xi+\cos\theta\cdot\cos\varphi\cdot\Omega_\eta+\cos\varphi\cdot\cos\psi\cdot\Omega_\zeta-\sin\varphi\sin\theta\sin\psi\,\Omega_\zeta\\
\sin\varphi\sin\theta\cos\psi\cdot\Omega_\xi+\cos\varphi\sin\psi\cdot\Omega_\xi+(-\sin\varphi\cos\theta\cdot\Omega_\eta)+\Omega_\zeta\cos\varphi\cos\psi-\sin\varphi\sin\theta\sin\psi\,\Omega_\zeta
\end{pmatrix}$$





1 поворот угол альфа поворот корданного подвеса
2 поворот кожуха воуркг наружной рамки

Задача спроецировать вектор абсолютной угловой скорости на оси связанные с кожухом xyz

Найти ω_x -? ω_y -? ω_z -? (найти проекц. по x, y, z)

α не дорёт т.1 1

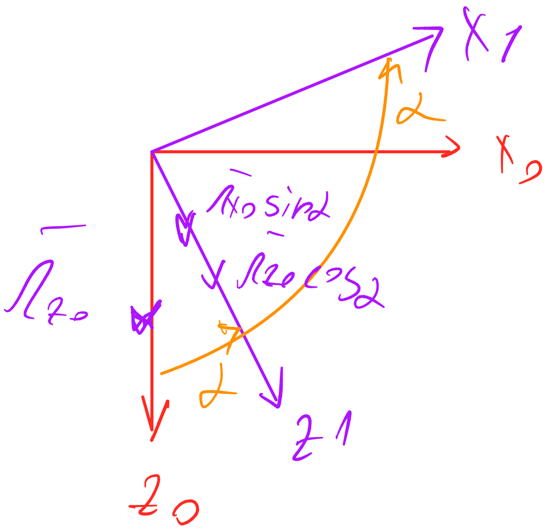
$$\omega_x = -\dot\beta + \Omega_{x_0}\cos\alpha - \Omega_{z_0}\sin\alpha$$

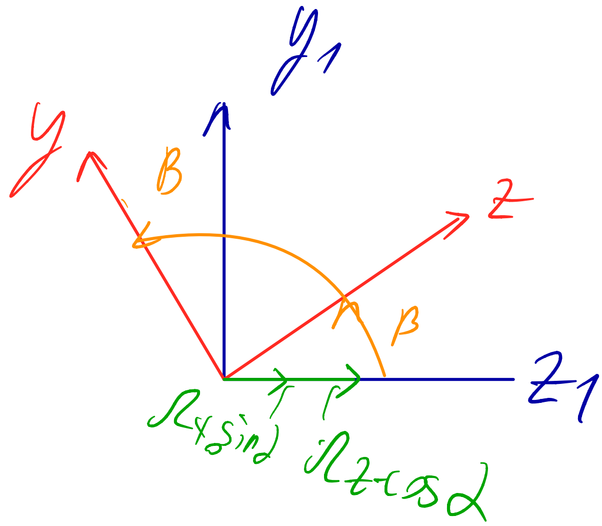
$$\omega_y = \dot\alpha\cdot\cos\beta + \Omega_{y_0}\cdot\cos\beta - \Omega_{x_0}\sin\alpha\sin\beta - \Omega_{z_0}\cos\alpha\cdot\sin\beta$$

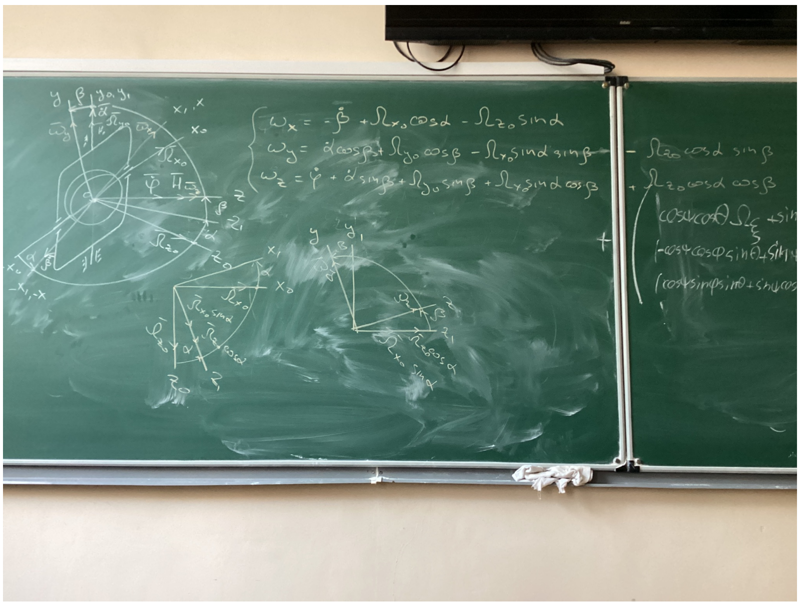
$$\omega_z = \dot\varphi + \dot\alpha\sin\beta + \Omega_{y}\sin\beta + \Omega_{x_0}\sin\alpha\cdot\cos\beta + \Omega_{z_0}\cos\alpha\cos\beta$$

$\beta \perp$ нет и φ

Сложное проецирование







Нашли вектор сумму проекций всех угловых скоростей на xyz

1.0.1

Это можно получить с помощью направляющих косинусов.

В РК 3 задачи 1) нарисовать углы поворота

2) исп 1 рис. найти матрицу напр. косинусов из связанной в базовую.

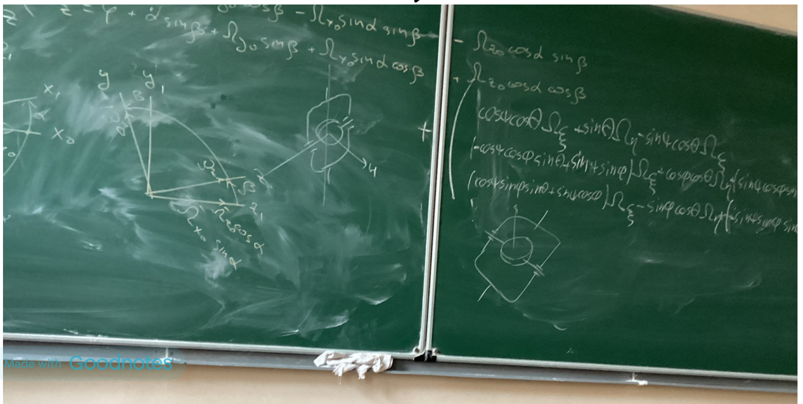
Важен ход решения (как оранжевые рисунки)

Найти 1, 2, 3, матр и в конце не выгишать ответ с cos. и sin.

тетрадкой можно пользоваться.

3 задание нарисовать гироскоп

Пример (в-ор И вертикально) ось наружной рамы верт, и найти



$\omega_x =$

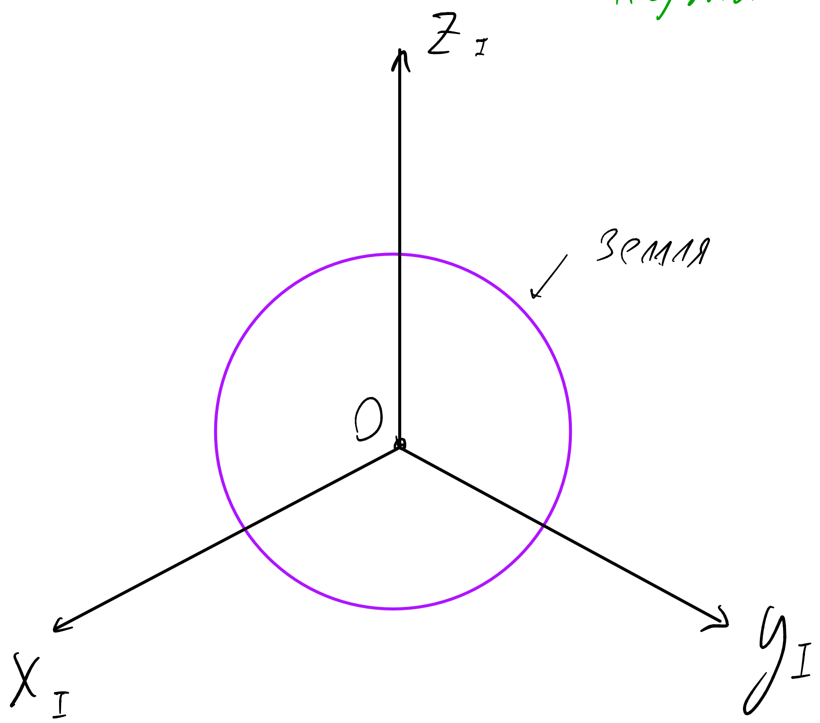
$\omega_y =$

$\omega_z =$

Нужно всегда правая ск!!!

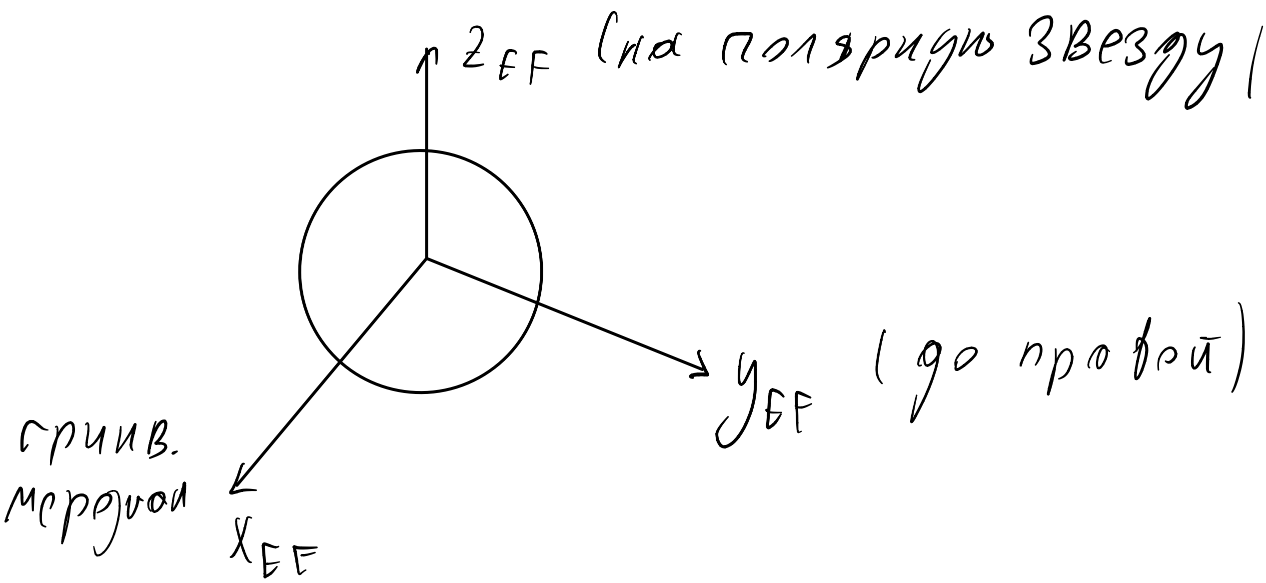
Ищем матр напр cos между $x_0 y_0 z_0$ и xyz,
$x_1 y_1 z_1 \to xyz$
нужно 2 матр напр косинусов

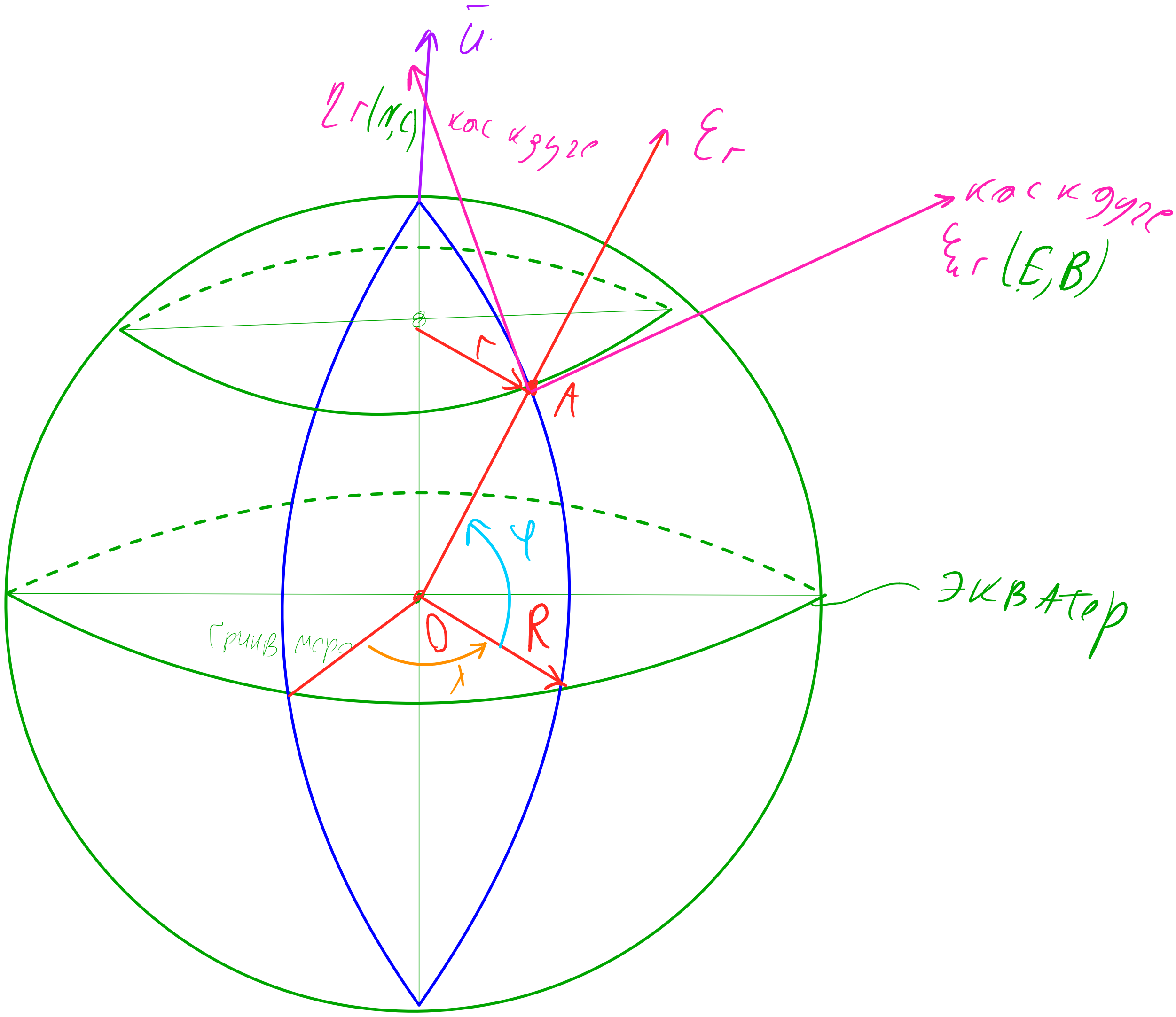
Системы координат.
Инерциальная система координат



O совпадает с центром Земли
ZI направлена на полярную звезду
XI направлена в точку весеннего равноденствия
Ось У і дополняет ск до правой

2) Ск связанная с Землёй. Earth Fixed frame





R – радиус Земли

A – (·) на пов-сти Земли

λ – угол долготы

φ – угол широты

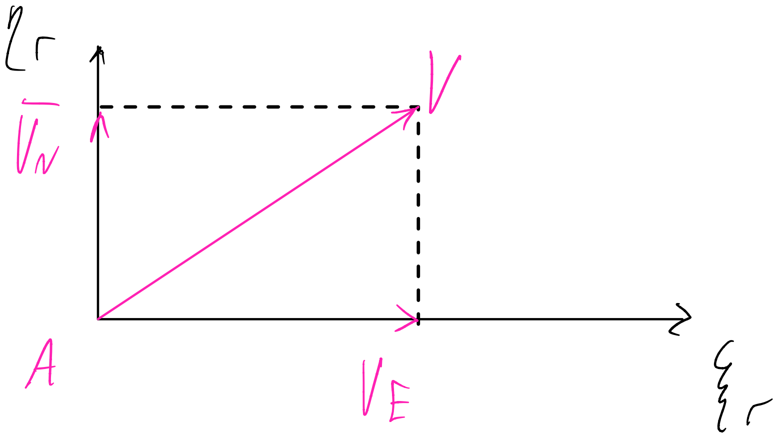
$\varepsilon \eta \xi$ – географическая СК

17 октября
Лекция 7

η геогр – направлена на север по касательной к меридиану

$\xi_г$ – на восток

$\zeta_г$ – вертикально по местной вертикали.

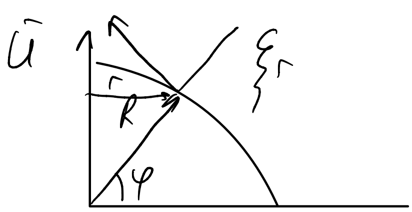


Задача: определить угловые скорости

$$\dot{\varphi} = \frac{V_N}{R \text{ (радиус Земли)}}$$

$$\dot{\lambda} = \frac{V_E}{r} = \frac{V_E}{r \cdot \cos\varphi}$$

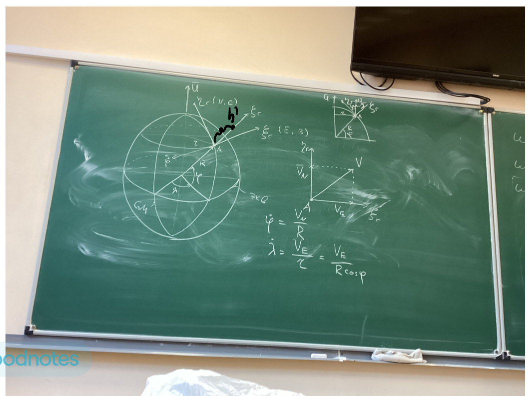
почему cos?



Задача: нацти $\omega_{\xi_г}$ – ? $\omega_{\eta_г}$ – ? $\omega_{\zeta_г}$ – ?

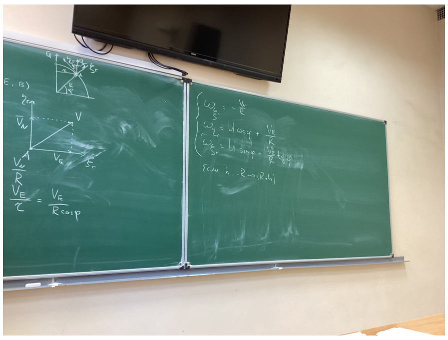
10 $$\omega_{\zeta_г} = -\frac{V_N}{R}$$

$$\omega_{\eta_г} = U\cos\varphi + \frac{V_E}{R}$$



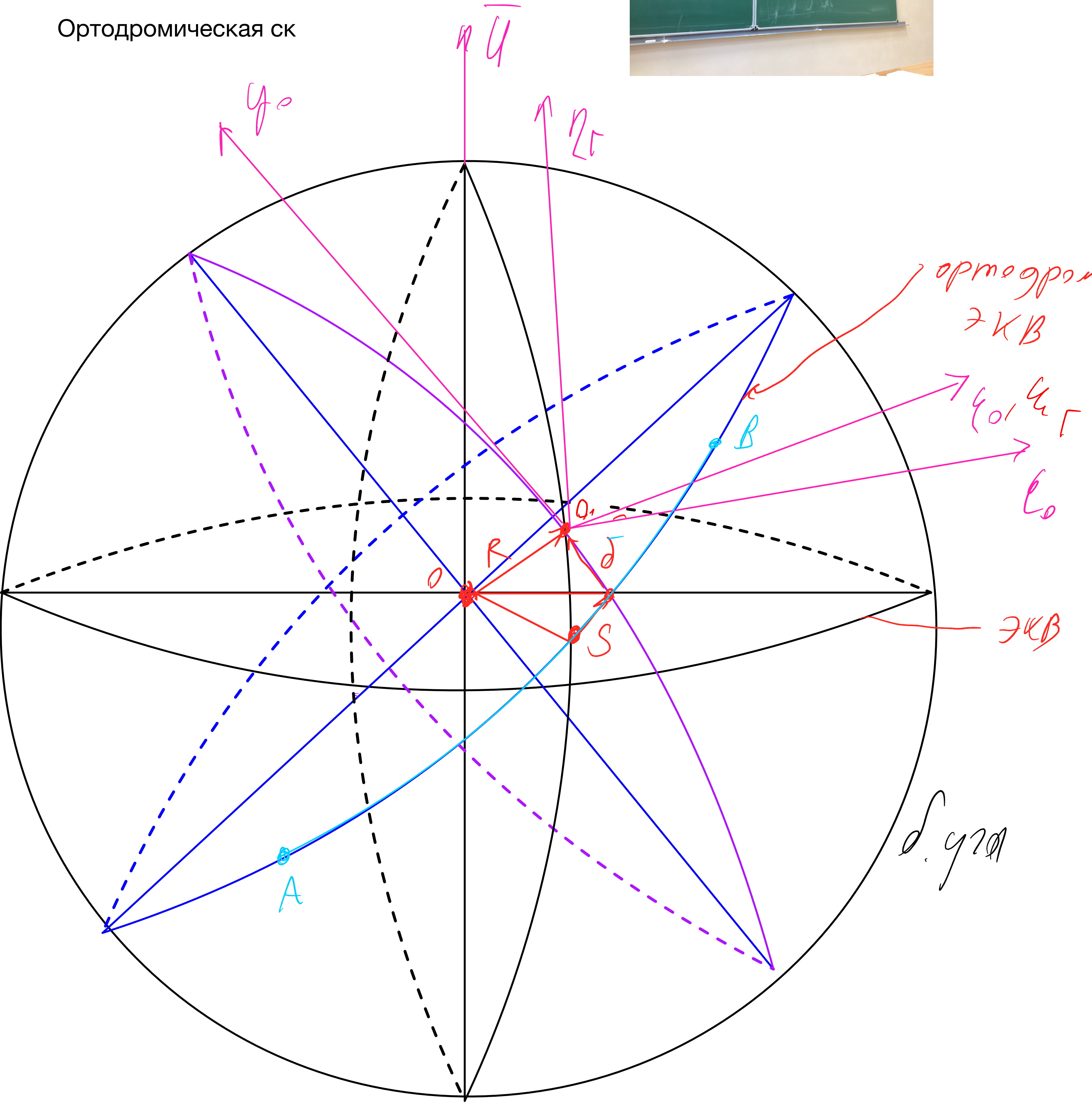
$$\omega_{\xi_\Gamma} = U \sin\varphi + \frac{V_E}{R} \operatorname{tg}\varphi$$

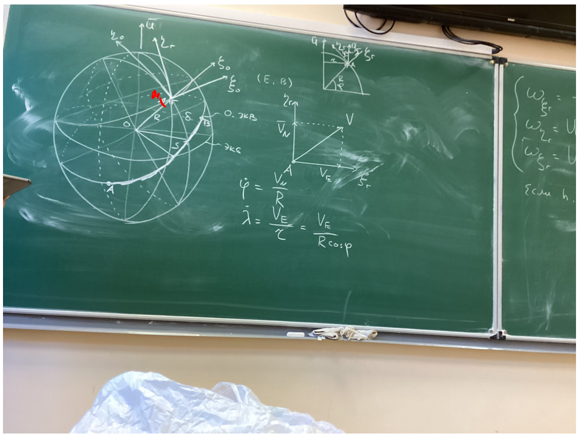
Если есть h то R=R+h (h если (·) на высоте)

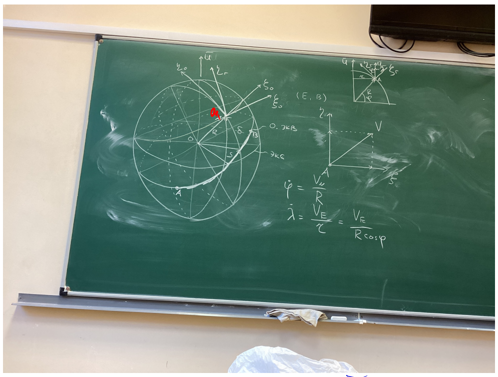


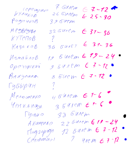
Свободная в азимуте СК

Ортодромическая ск

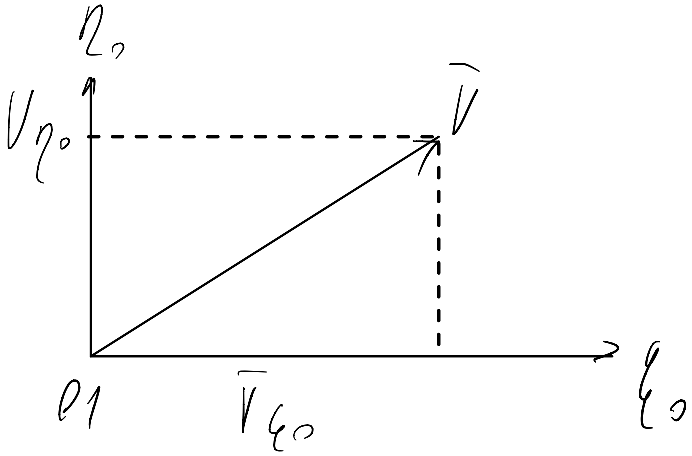








Ортодрамия - дуга большого круга
S аналог лямда (ортодромическая долгота)
Дельта - ортодромическая широта



11, б

формула для φ превращается:

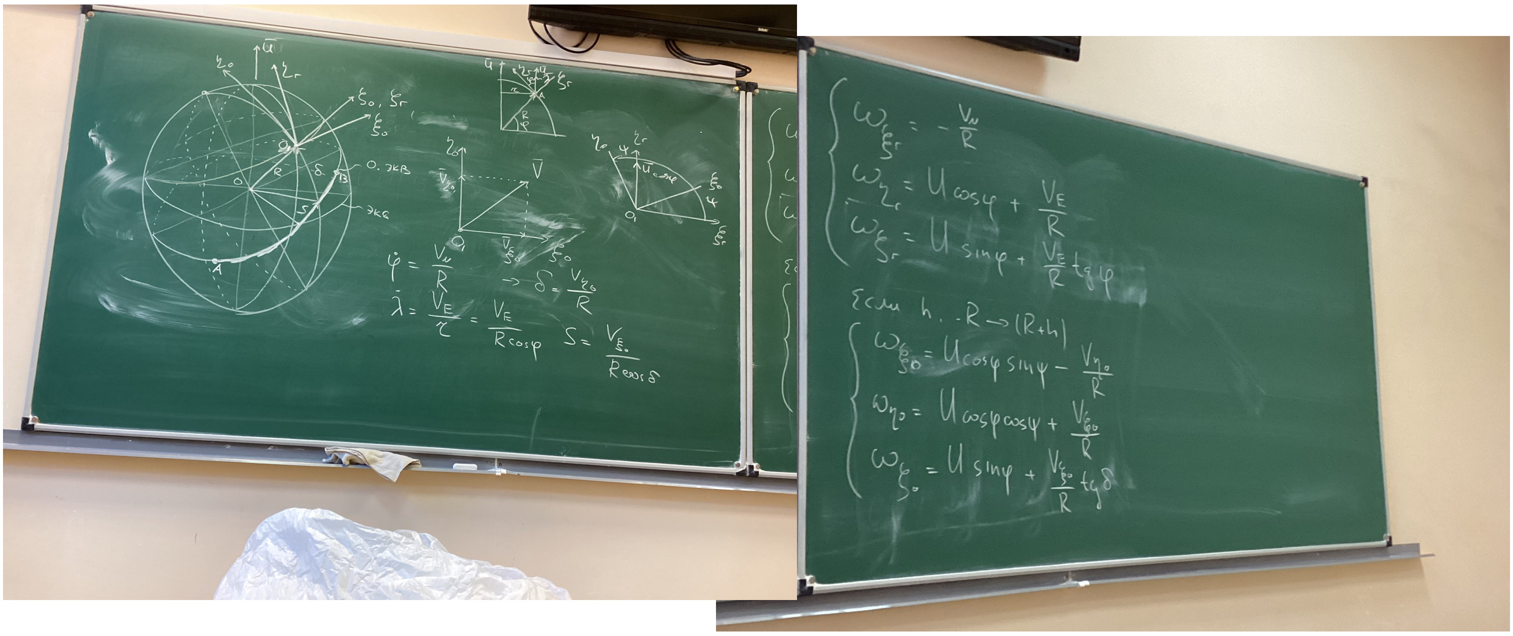
$$\dot{\varphi} = \frac{V_N}{R} \rightarrow \delta = \frac{V_{\eta_0}}{R}$$ δ – угол

$$\dot{\lambda} = \frac{V_E}{r} = \frac{V_E}{R\cos\varphi} \qquad S = \frac{V_{\xi_0}}{R\cos\delta}$$

$$W_{\xi_0} = U\cos\varphi\sin\varphi - \frac{V_{\eta_0}}{R}$$

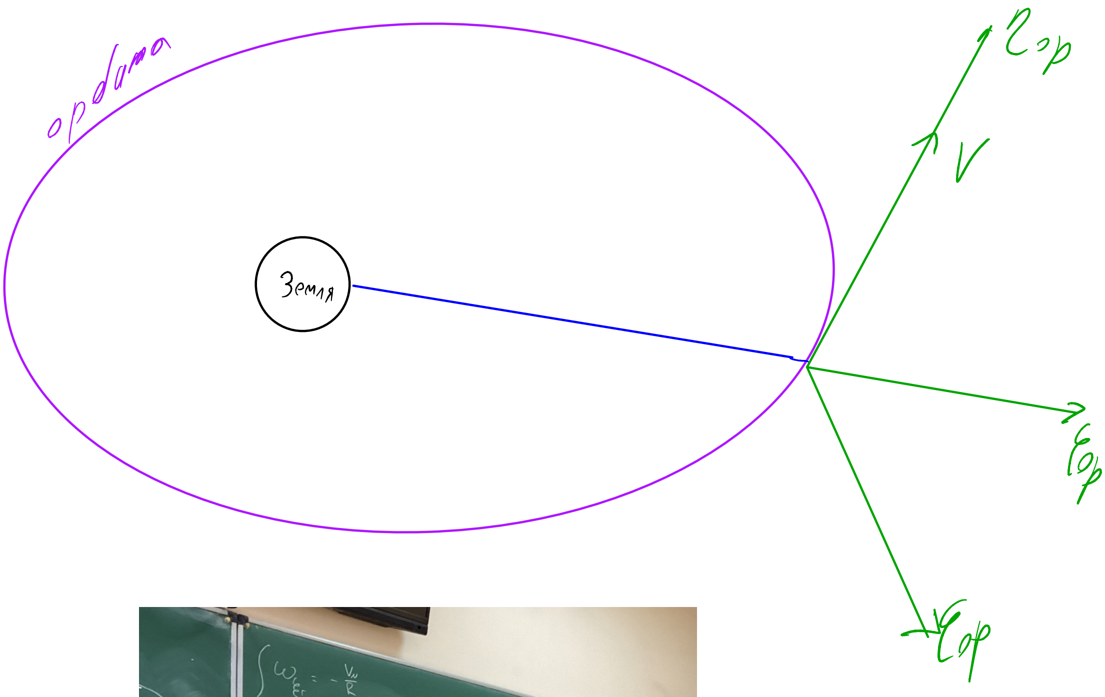
$$W_{\eta_0} = U\cos\varphi\cdot\cos\varphi + \frac{V_{\xi_0}}{R}$$

$$W_{\xi_0} = U\sin\varphi + \frac{V_{\xi_0}}{R}\,tg\,\delta$$



Локсодрамическая ск

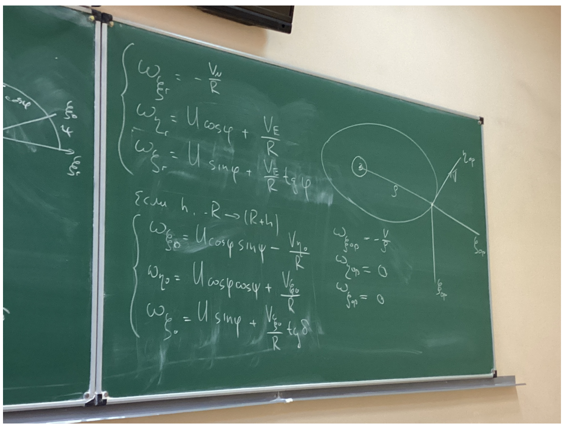
Орбитальная ск



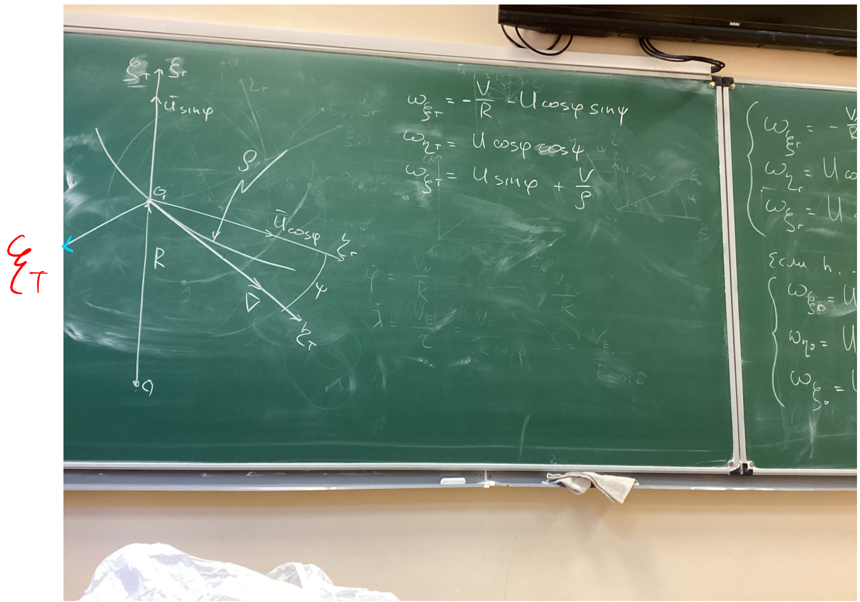
$\omega_{\xi op} = -\frac{V}{\rho}$

$\omega_{\eta\, op} = 0$

$\omega_{\zeta op} = 0$



Траекторная ск. Ск для траектории по поверхности Земли



Связная ск

РК 1 задание лекциями польз

гироск в одной из этих СК

либо геогр, либо бортовой, либо траекторная.

задать положение углов α и β

Если

гир рисуем находим Ω

ω_x – ?

ω_y – ?

ω_z – ?

– (1–7) не будет на экзам

РК не на следующей недели

Со следующей лекции – мат для экза