

# Калибровка акселерометра

**Антохина К. Е.**  
**Бильданов Р. Р.**  
**Павлов М. О.**  
**Панов Н. В.**

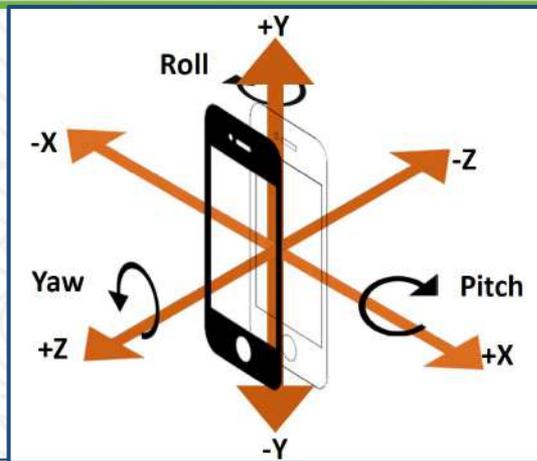
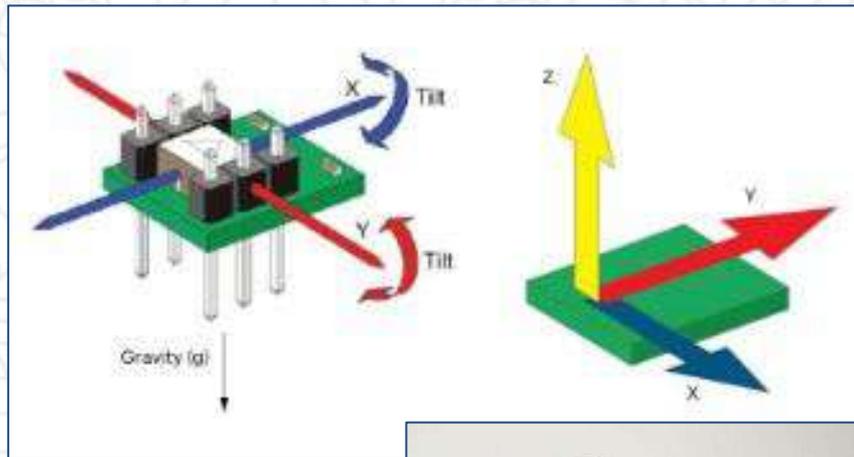


Научный руководитель:  
Давыдов М. Н.

Город: Новосибирск  
Школа: СУНЦ НГУ



# Акселерометр



# Введение

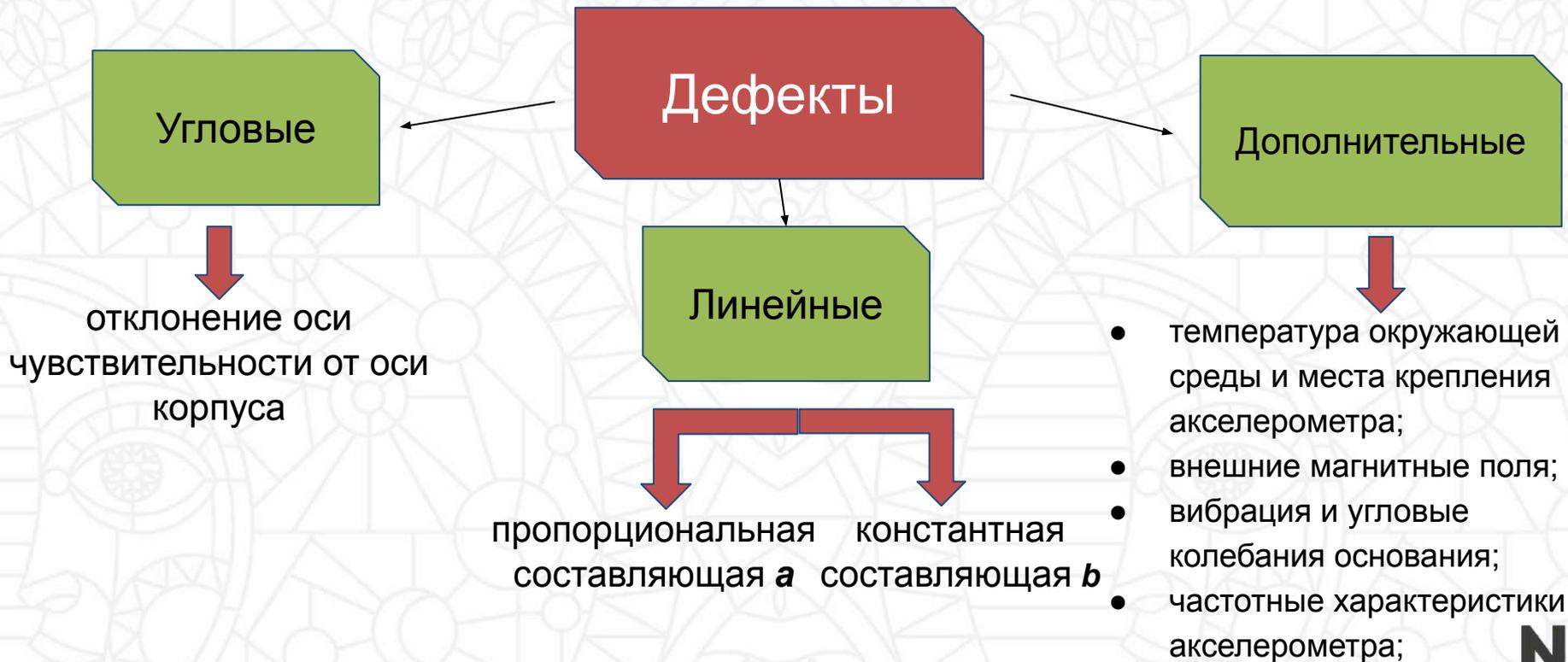
**Цель работы:** предложить и описать способ калибровки акселерометров, предполагающий считывание показаний устройства в нескольких точно зафиксированных положениях его корпуса и составление по этим данным формул, связывающих показания акселерометра с его положением. Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Рассмотреть **три модели**: одноканального, двухканального и трехканального акселерометров.
2. Найти функции, позволяющие вычислить показания реальных акселерометров с учётом дефектов. Расчеты производятся по реальным данным компании «Huawei».
3. Описать метод, который позволяет рассчитать пространственное положение акселерометра, если даны его показания.



**HUAWEI N\***

# Дефекты акселерометров



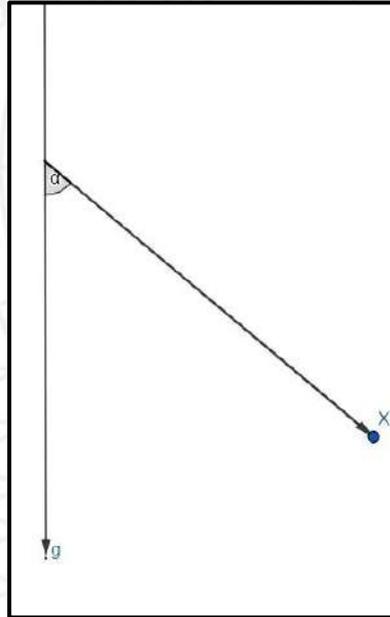
## Случай 1 Модель 1

Общая формула:  $X = a \cdot \cos(\alpha) + b$

$$X_1 = a + b; \quad X_{-1} = (-a) + b$$

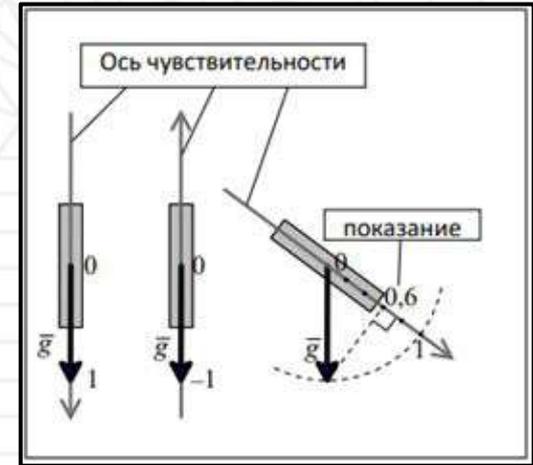
$$a = 1,00607; \quad b = -0,07524$$

$$X = 1,00607 \cdot \cos(\alpha) - 0,07524$$



Обратная задача:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{(X-b)}{a}\right)$$



# Случай 1



## Случай 1 Модель 2

Затухающие колебания маятника

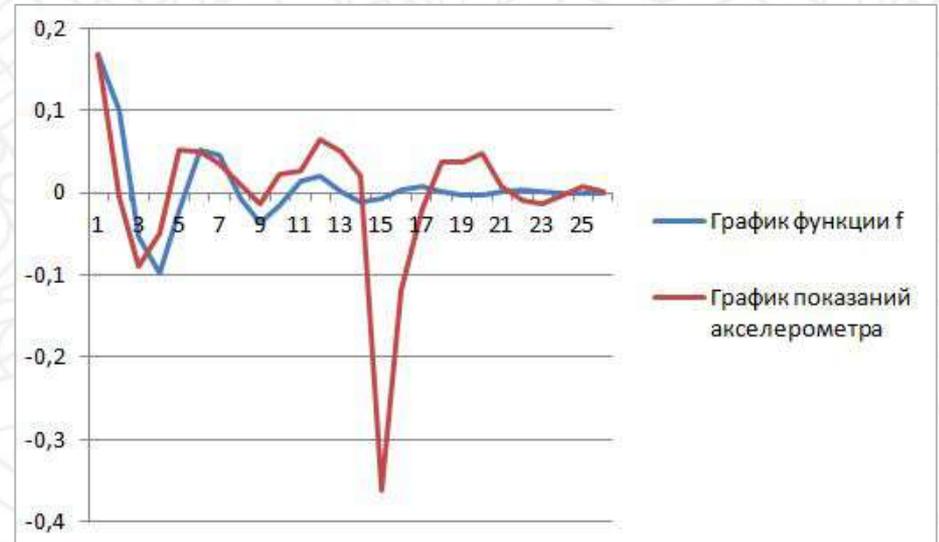
$$F(t) = A \cdot e^{-\sigma t} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0),$$

где  $A \cdot e^{-\sigma t}$  - амплитуда затухающих колебаний,  $\omega$  - частота этих колебаний,

$\sigma$  - некоторая постоянная,

$t$  - время, а  $\varphi_0$  - начальная фаза колебаний

$$X = a \cdot \cos(a) + b - A \cdot e^{-\sigma t} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$$



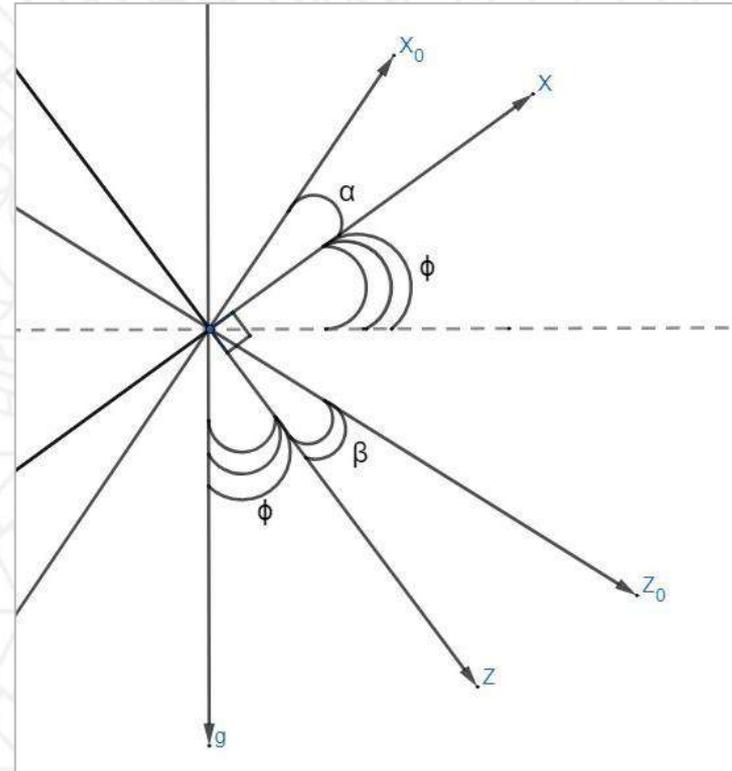
$$f_1 = -0,22e^{-0,2t} \sin(1,2t)$$

## Случай 2 Модель 1

Прямая задача:

$$X_i = -a_x \cdot \sin(\varphi + \alpha) + b_x$$

$$Z_i = a_z \cdot \cos(\varphi + \beta) + b_z$$



## Случай 2 Модель 1

$$1) X_{0;1} = -1a_x \sin(\alpha) + b_x$$

$$2) Z_{0;1} = a_z \cos(\beta) + b_z$$

$$3) X_{0;-1} = -1a_x \sin(180^\circ + \alpha) + b_x = a_x \sin(\alpha) + b_x$$

$$4) Z_{0;-1} = a_z \cos(180^\circ + \beta) + b_z = -a_z \cos(\beta) + b_z$$

$$5) X_{-1;0} = -1a_x \sin(90^\circ + \alpha) + b_x = -a_x \cos(\alpha) + b_x$$

$$6) Z_{-1;0} = a_z \cos(90^\circ + \beta) + b_z = -a_z \sin(\beta) + b_z$$

$$7) X_{1;0} = -1a_x \sin(270^\circ + \alpha) + b_x = a_x \cos(\alpha) + b_x$$

$$8) Z_{1;0} = a_z \cos(270^\circ + \beta) + b_z = a_z \sin(\beta) + b_z$$

$$b_x = \frac{(X_{0;1} + X_{0;-1})}{2}$$

$$b_z = \frac{(Z_{0;1} + Z_{0;-1})}{2}$$

$$a_x \sin(\alpha) = \frac{(X_{0;-1} - X_{0;1})}{2}$$

$$a_z \cos(\beta) = \frac{(Z_{0;1} - Z_{0;-1})}{2}$$

$$a_x \cos(\alpha) = \frac{(X_{1;0} - X_{-1;0})}{2}$$

$$a_z \cos(\beta) = \frac{(Z_{1;0} - Z_{-1;0})}{2}$$

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{X_{0;-1} - b_x}{a_x}\right)$$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{Z_{1;0} - b_z}{a_z}\right)$$

## Случай 2



## Случай 2

Мы получили следующие значения для экспериментальных данных:

$$a_x = 0,998446$$

$$b_x = -0,130315$$

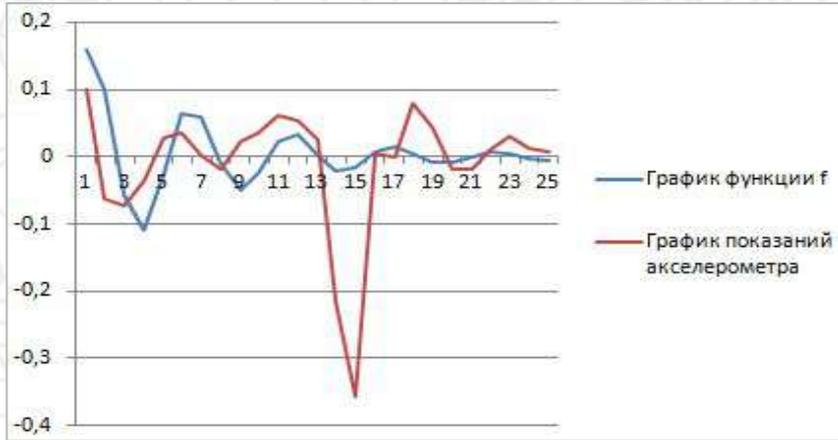
$$\alpha = -3,051616^\circ$$

$$\beta = 7,633132^\circ$$

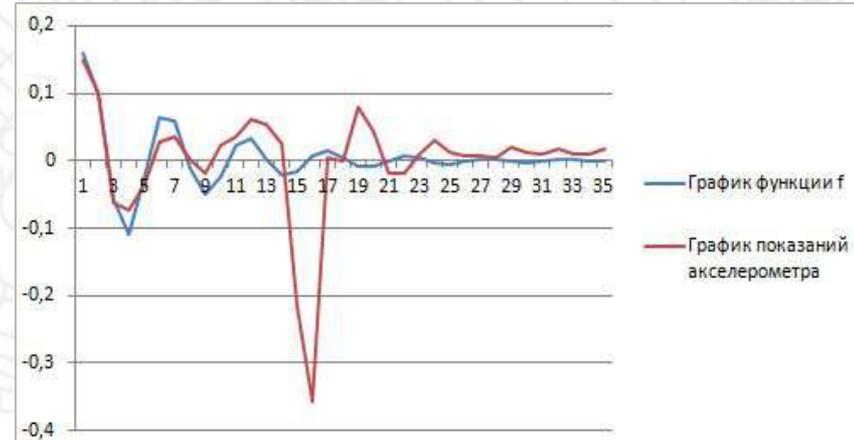
$$a_z = 1,005995$$

$$b_z = -0,066487$$

## Случай 2 Модель 2



$$f_1 = -0,2e^{-0,15t} \sin(1,2t)$$



$$f_2 = 0,2e^{-0,15t} \sin(1,2t)$$

Формула второй модели:

$$X_1 = X_0 - A \cdot e^{-\sigma t} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$Z_1 = Z_0 - A \cdot e^{-\sigma t} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$$

## Случай 3

$$x_0 = a_x * \cos \alpha + b_x$$

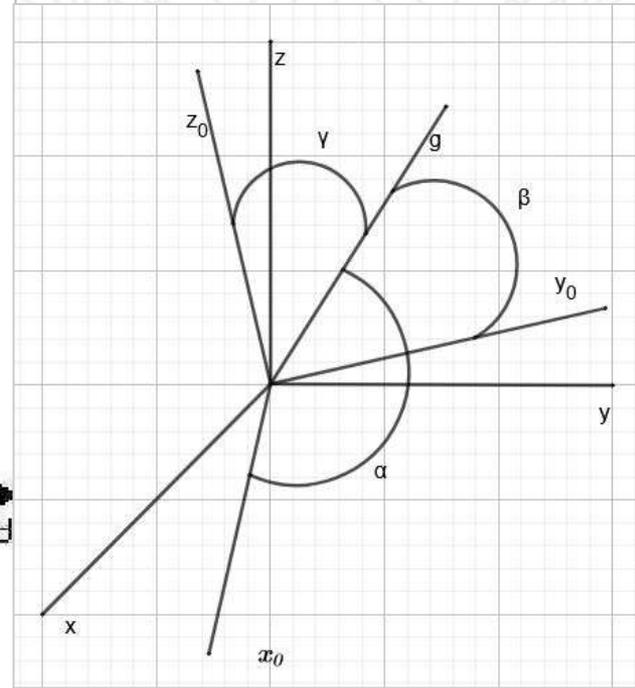
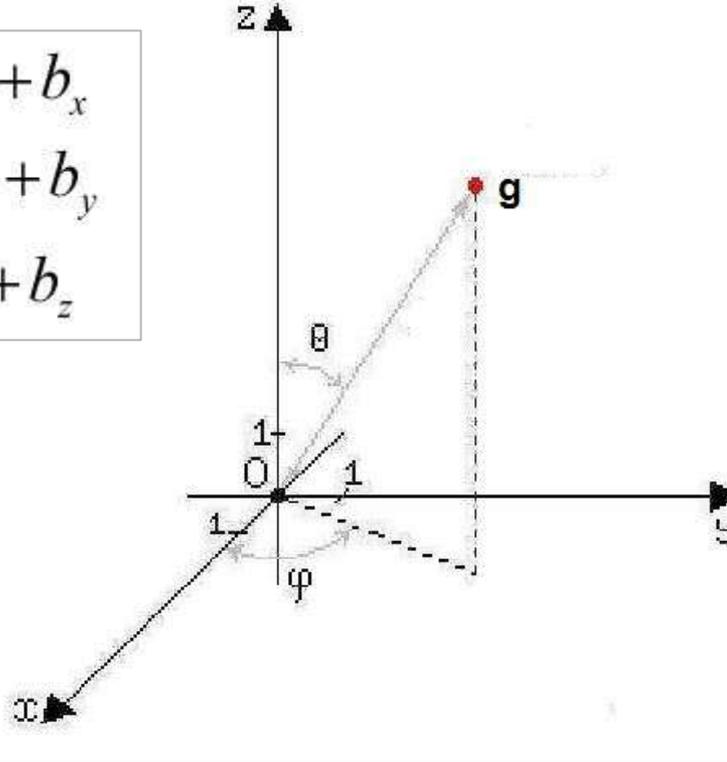
$$y_0 = a_y * \cos \beta + b_y$$

$$z_0 = a_z * \cos \gamma + b_z$$

$$x = g \sin \theta \cos \varphi$$

$$y = g \sin \theta \sin \varphi$$

$$z = g \cos \theta$$

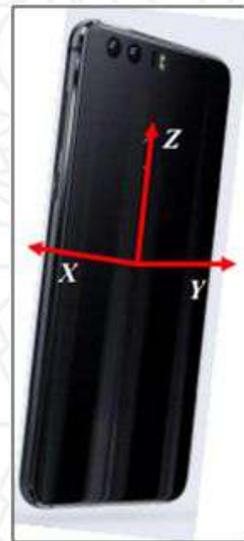
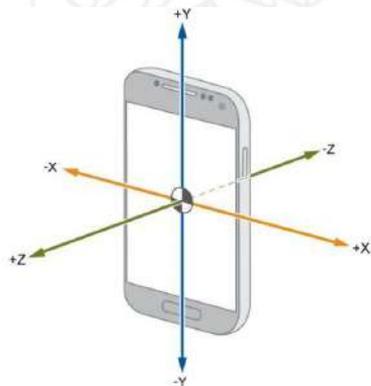


## Итоги работы

В ходе исследования был описан метод калибровки одноканального, двухканального, трехканального акселерометров. Для первых двух этот метод был протестирован. Помимо этого были описаны способы позволяющие определить их пространственное положение.

## Планы на будущее

Придумать, описать и проверить более оптимальный способ калибровки трехканального акселерометра, чем прямое решение системы из 60 уравнений.



# Информационные материалы

- [http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/u\\_course/Lec/Part1/Glava6/6.17.htm](http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/u_course/Lec/Part1/Glava6/6.17.htm);
- <http://sverh-zadacha.ucoz.ru/lessons/Contents/koleb/mechk/pm.html>
- <https://ru.wikipedia.org/wiki/Акселерометр#Погрешности>
- <https://ru.wikipedia.org/wiki/Гистерезис>
- С.Л.Лакоза, В.В.Мелешко, «Калибровка акселерометров низкой и средней точности», 2017.



**N\*** Novosibirsk  
State  
University  
\*THE REAL SCIENCE

RUSSIA, 630090, NOVOSIBIRSK, PIROGOVA STR., 11/1  
RUSSIA, 630090, NOVOSIBIRSK, PIROGOVA STR., 2



NovosibirskUniversity



nsu24  
sescnsu



@nsuniversity  
@sesc\_nsu



[WWW.NSU.RU](http://WWW.NSU.RU)

[WWW.SESC.NSU.RU](http://WWW.SESC.NSU.RU)

**N\***