

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА**

**им. МИРЗО УЛУГБЕКА**

**Научная лаборатория «Астрофизических исследований»**

**ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ АНАЛИЗА  
ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ФАЗОВОГО  
ПЕРЕМЕШИВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИИ  
ЕГО В КОСМОГОНИИ  
СВЕРХСКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК**

**А.А. Муминов, С.Н. Нуритдинов**

**Фазовое перемешивание** – нелинейно нестационарная релаксация в фазовом пространстве , которая стремится приблизить неравновесную гравитационную систему к квазиравновесному состоянию в регулярном поле ( Binney and Tremaine, 2008).

Antonov, Nuritdinov, Osipkov, 1973, Dyn of gal, Alma –ata, Nauka

Nuritdinov, 1993, IAU, Coll.-132, 39-43,

Antonov, Nuritdinov, Ossipkov, AATr, 1995, 7, 177-182

1).  $(2T / U)_0 \ll 1$  : **Принудительное ФП**

2).  $\left| \left( \frac{2T}{|U|} \right)_0 - 1 \right| \ll 1$  : **Квазидиффузионное ФП**

# Модель принудительного ФП

$$t=0: \vec{R}^2 = 1, \text{ где } \vec{R} = \vec{R}(x_i, v_i)$$

$$\text{Первый толчок } \vec{R}_1 = M_1 \vec{R}, \text{ т.е. } \vec{R} = M_1^{-1} \vec{R}_1$$

$$M_1 = \begin{cases} A(k_i), & \text{с вероятностью } p \\ B(\alpha), & \text{с вероятностью } 1-p \end{cases}$$

$$\vec{R}_1 (M_1 M_1^T)^{-1} \vec{R}_1 = 1 \quad \text{уравнение эллипсоида}$$

$$\text{Второй толчок: } \vec{R}_2 = M_2 \vec{R}_1, \text{ т.е. } \vec{R}_1 = M_2^{-1} \vec{R}_2$$

$$\text{Третий толчок: } \vec{R}_3 = M_3 \vec{R}_2, \text{ т.е. } \vec{R}_2 = M_3^{-1} \vec{R}_3 \text{ и т.д.}$$

Собственные значения  $K_n = M_n M_{n-1} \dots M_1$  – полуоси эллипсоида  $\lambda_i$

$$\text{Степень растяжения: } \eta_{ni} = \frac{1}{n} \ln (\lambda_{ni} / \lambda_{n(i+1)})$$

# 4x- и 6-мерные фазовые пространства

$$A = \begin{pmatrix} k_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_1^{-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_2^{-1} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} \cos\alpha & 0 & 0 & -\sin\alpha \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \sin\alpha & 0 & 0 & \cos\alpha \end{pmatrix}$$

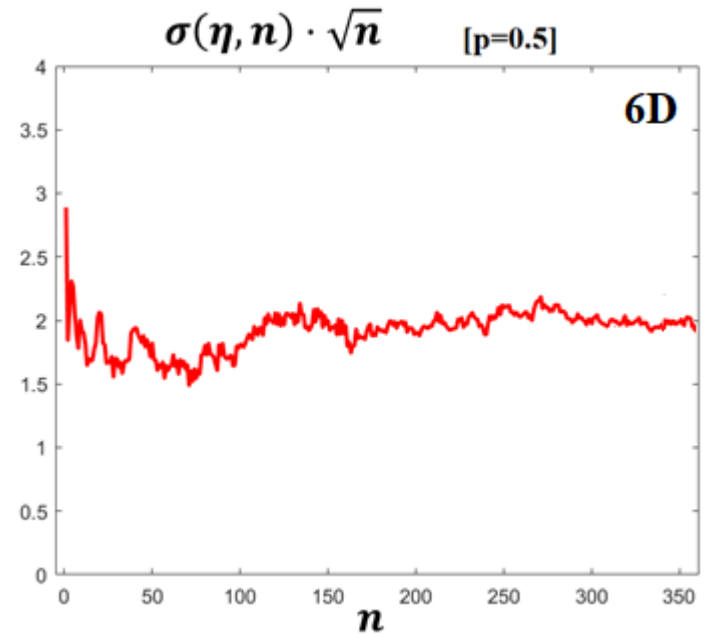
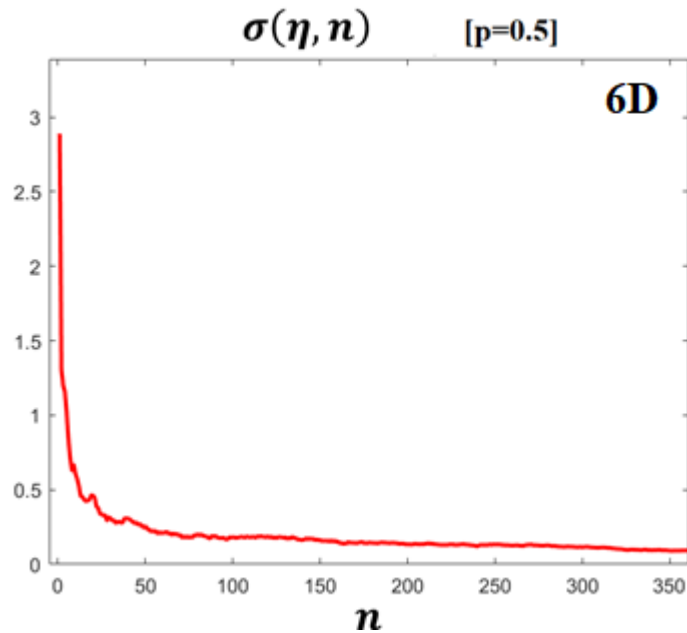
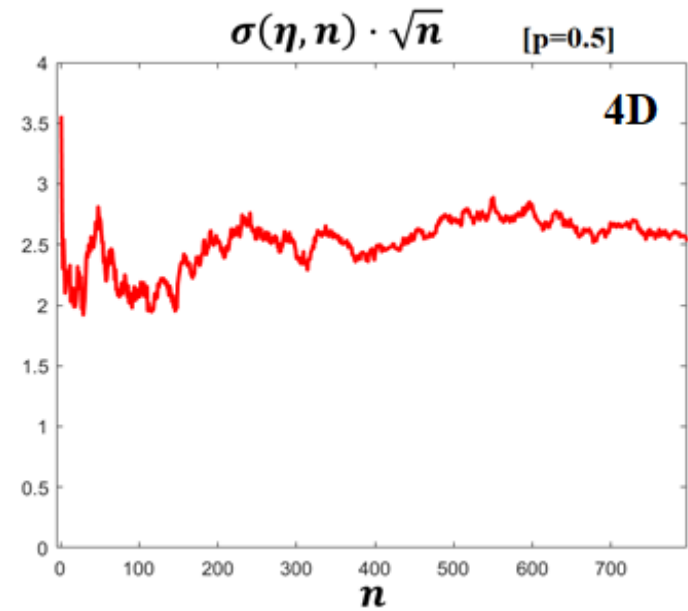
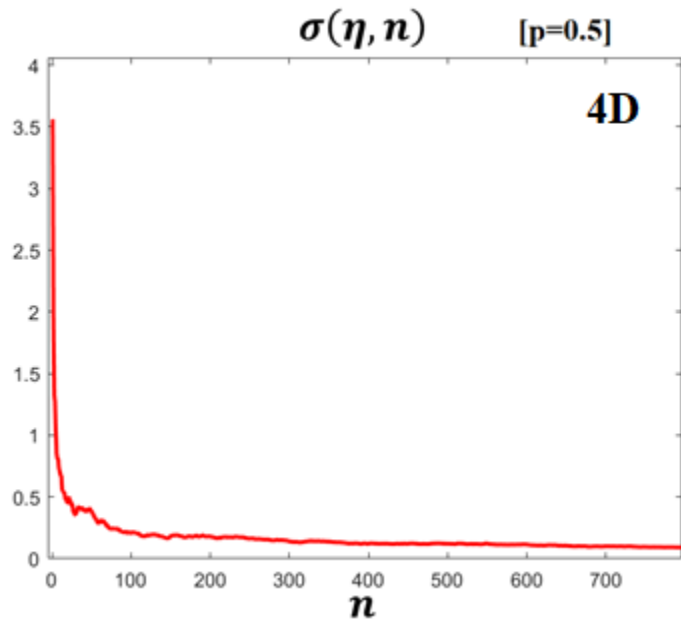
$$A = \begin{pmatrix} k_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (k_1 k_2)^{-1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_1^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_2^{-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_1 k_2 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & 0 & 0 & \sin(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\sin(\alpha) & 0 & 0 & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$AB \neq BA, \quad A\vec{R} \neq B\vec{R} \neq \vec{R}, \quad |\det A| = |\det B| = 1.$$

Дисперсия параметра степени растяжения в случае N испытаний

$$\sigma_{\eta}(n) = \sqrt{N^{-1} \sum_{m=1}^N \eta_{nm}^2 - \left( N^{-1} \sum_{m=1}^N \eta_{nm} \right)^2}$$

# Результаты расчета



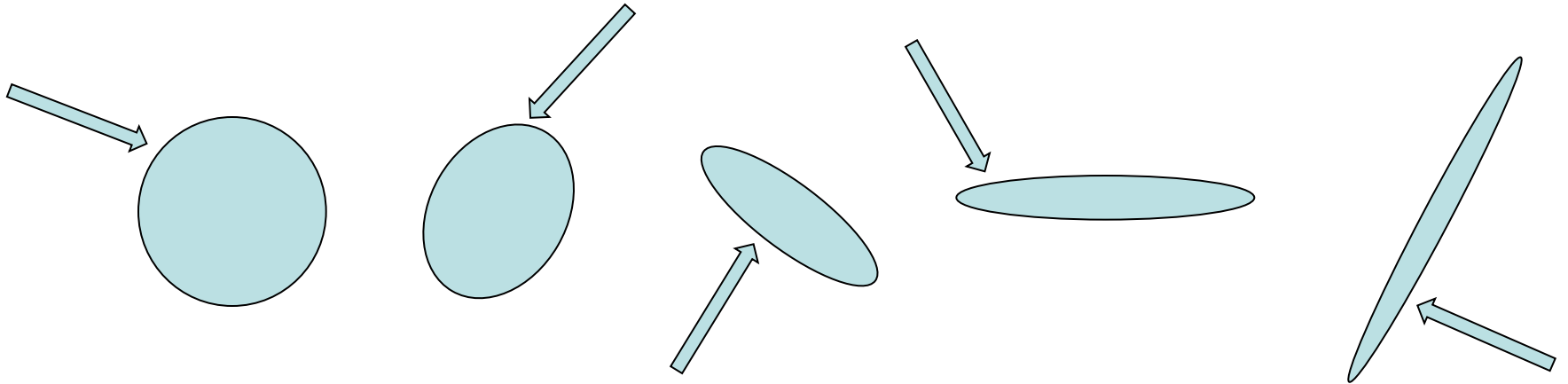
# Значения осей четырехосного эллипсоида

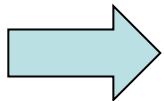
№	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$\prod x_i$
0	1,000000E+00	1,000000E+00	1,000000E+00	1,000000E+00	1,000000E+00
50	1,551483E-02	1,975451E-02	1,305507E+00	2,499237E+03	9,999998E-01
100	1,032368E-03	4,318547E-03	4,353986E+00	5,151583E+04	9,999998E-01
150	3,855151E-05	1,079697E-04	3,226389E+01	7,446289E+06	9,999998E-01
200	4,618622E-06	9,329112E-04	4,879001E-01	4,756815E+08	9,999998E-01
250	3,482343E-07	9,658971E-05	3,308011E+00	8,987327E+09	9,999998E-01
300	1,263265E-06	7,588518E-05	3,937584E-01	2,649224E+10	9,999999E-01
350	5,771813E-07	9,210374E-05	8,421346E-02	2,233721E+11	9,999999E-01
400	9,739415E-07	1,002217E-06	1,124628E-03	9,109539E+13	9,999998E-02
450	6,095982E-07	1,152812E-06	4,126609E-03	3,448295E+14	9,999998E-01
500	2,589513E-07	6,800890E-07	3,253393E-02	1,745338E+14	9,999998E-01
550	1,099800E-07	4,531247E-07	9,423132E-03	2,129478E+15	9,999997E-01
600	1,711438E-08	2,676885E-06	3,301689E-03	6,611087E+15	9,999998E-01
650	6,352942E-08	6,158173E-08	2,917673E-02	8,760654E+15	9,999998E-01
700	4,267265E-09	6,803217E-07	3,503584E-03	9,831583E+16	9,999998E-01

# Значения осей шести основного эллипсоида

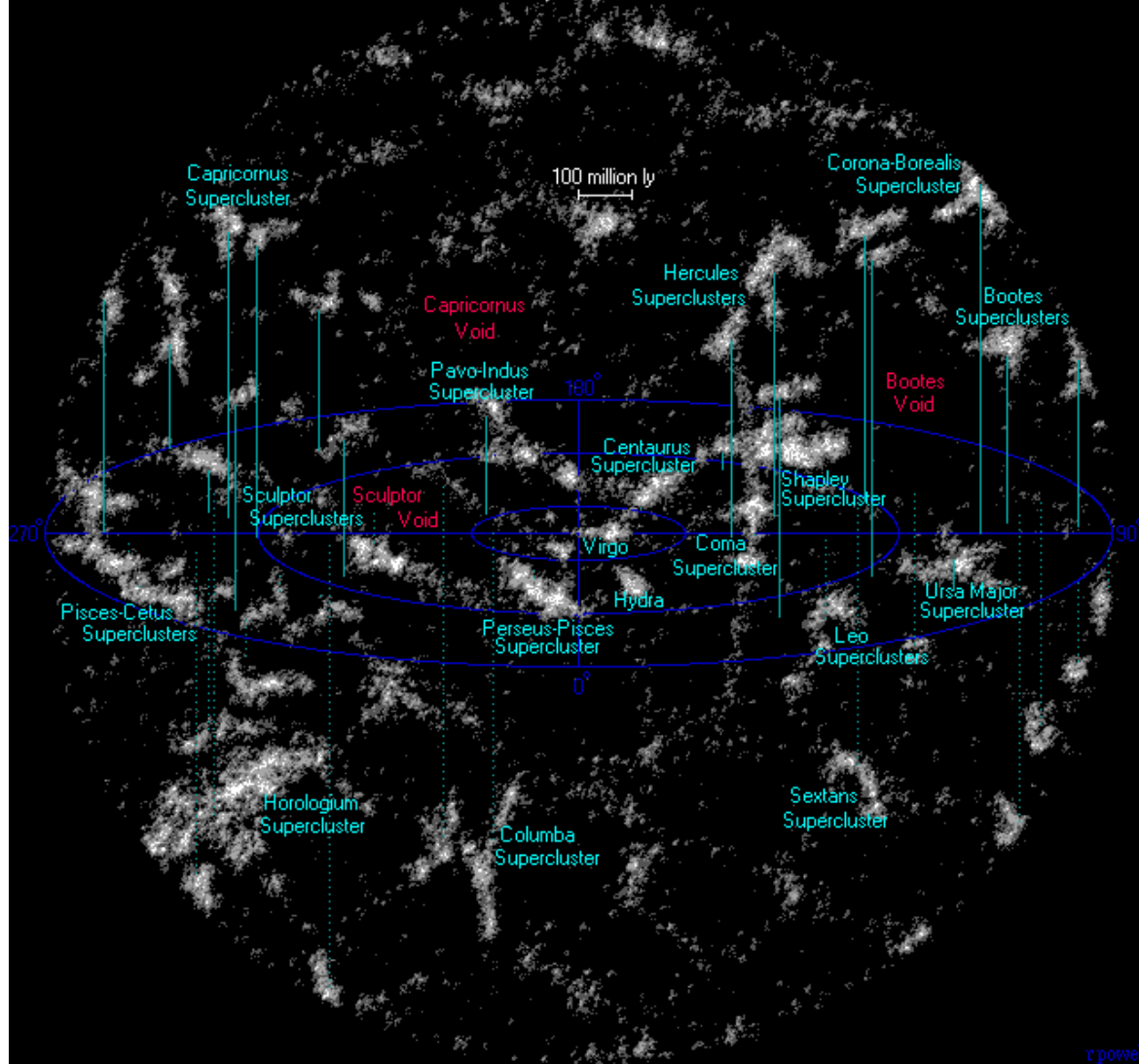
№	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$\prod x_i$
0	1,000000E+00	1,000000E+00	1,000000E+00	1,000000E+00	1,000000E+00	1,000000E+00	1,000000E+00
25	2,573603E-02	2,208767E-01	7,878898E-01	3,229621E-01	3,654352E+00	1,891824E+02	9,999991E-01
50	3,504457E-02	2,211668E-01	2,770707E-01	3,150159E-01	3,540426E+00	4,175229E+02	9,999990E-01
75	1,281909E-02	1,517360E-01	1,365135E+00	1,975674E-01	5,128346E-01	3,716940E+03	9,999990E-01
100	1,252384E-03	1,517099E-02	5,510276E-01	1,347722E+00	1,467229E+00	4,830327E+04	9,999989E-01
125	9,019340E-03	1,097930E-01	9,689376E+00	1,806612E+00	1,518300E-03	3,799547E+04	9,999989E-01
150	6,630619E-03	1,275954E-03	2,226664E+00	3,340242E-02	3,288059E+00	4,833239E+05	9,999990E-01
175	3,190547E-04	9,711694E-04	7,619428E-01	2,227688E-01	2,185083E-01	8,701513E+07	9,999990E-01
200	3,557515E-04	1,477686E-03	5,212564E-02	1,460545E-01	3,070081E-01	8,138690E+08	9,999990E-01
225	1,222761E-04	1,474297E-02	2,367607E-02	1,352517E-03	1,401596E+01	1,235941E+09	9,999988E-01
250	1,522264E-04	1,230098E-04	1,683714E+00	7,301024E-02	5,228508E-02	8,308832E+09	9,999989E-01
275	1,434300E-05	6,742020E-04	5,850469E-01	1,303407E-03	3,269869E+00	4,147327E+10	9,999986E-01
300	4,145941E-04	2,536122E-04	1,304580E-01	8,320967E-02	4,314028E-01	2,030855E+09	9,999992E-01
325	5,059216E-05	9,407080E-05	8,378906E+00	7,786648E-03	6,270004E-02	5,136364E+10	9,999989E-01
350	7,400642E-06	3,750027E-04	6,815787E-01	2,202673E-02	3,894494E-02	6,162809E+11	9,999990E-01

# Случай $i=3$ : Блины Зельдовича – наиболее крупномасштабные образования Вселенной



 {  
Дискообразный объект (Зельдович)  
Вытянутый цилиндроподобный об-т





Weizsäcker, C. F. von: 1951, *Astrophys. J.* **114**, 165.

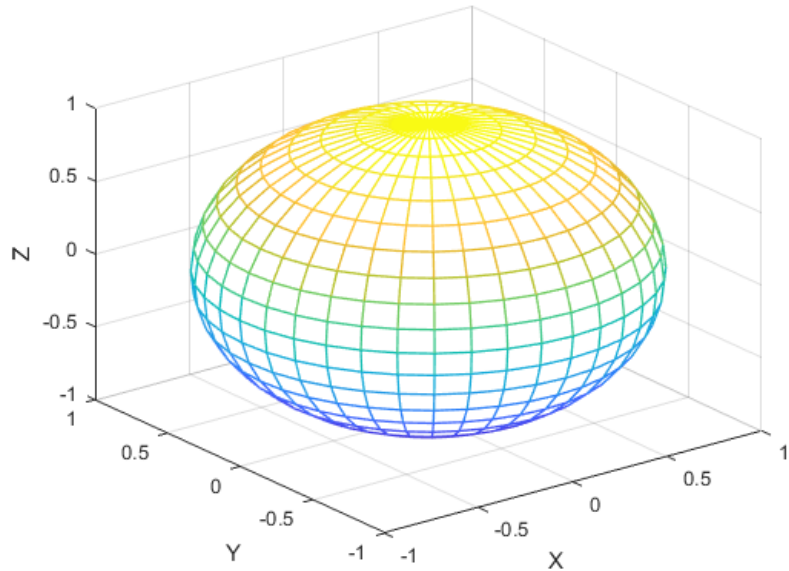
Gamow, G.: 1952, *Phys. Rev.* **86**, 251.

Gamow, G.: 1954, *Proc. NAS* **40**, 480.

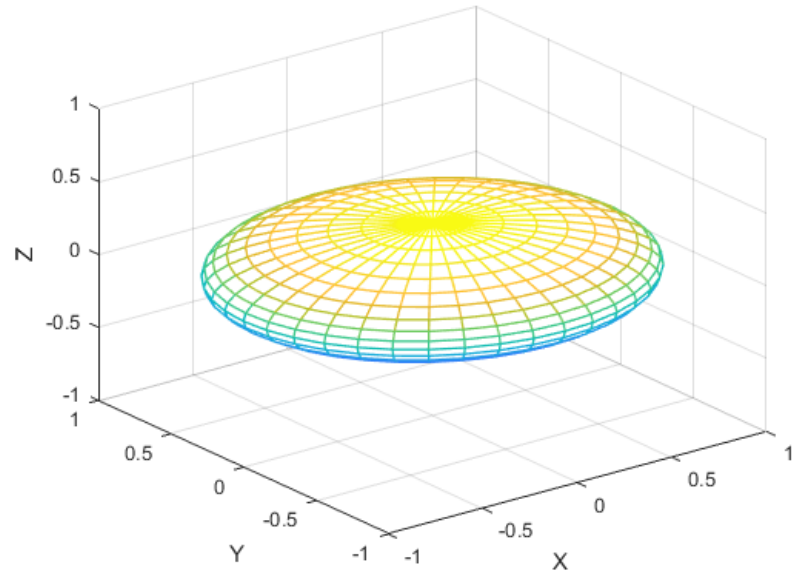
Ozernoi, L. M. and Chernin, A. D.: 1968, *Astron. Zh.* **45**, 1137; Engl. transl. in *Soviet Phys.-A.J.* **12**, (1969) 901.

<b>№</b>	<b><math>x_1</math></b>	<b><math>x_2</math></b>	<b><math>x_3</math></b>	<b><math>\prod x_i</math></b>
<b>0</b>	1,000000E+00	1,000000E+00	1,000000E+00	1,000000E+00
<b>25</b>	1,570114E+00	3,448831E-01	1,846702E+01	9,999998E+00
<b>50</b>	2,743116E-01	8,329900E-03	4,376389E+03	9,999997E+00
<b>75</b>	3,013577E-02	1,287543E-02	2,577246E+04	9,999998E+00
<b>100</b>	8,127917E-02	1,070346E-01	1,149467E+03	9,999999E+00
<b>125</b>	4,546432E-03	5,068681E-01	4,339446E+03	9,999999E+00
<b>150</b>	6,096942E-03	1,015239E-03	1,615547E+06	9,999999E+00
<b>175</b>	9,852854E-03	2,608927E-02	3,890236E+04	9,999998E+00
<b>200</b>	9,926032E-04	1,331391E-01	7,566911E+04	9,999998E+00
<b>225</b>	8,859705E-04	1,347771E+00	8,374609E+03	9,999998E+00
<b>250</b>	9,438948E-04	2,897748E-02	3,656080E+05	9,999998E+00
<b>275</b>	3,381403E-05	1,192965E-03	2,478993E+08	9,999999E+00
<b>300</b>	9,128226E-05	1,143396E-02	9,581133E+06	9,999998E+00
<b>325</b>	4,720037E-05	9,591903E-03	2,208766E+07	9,999997E+00
<b>350</b>	2,512834E-06	2,790431E-03	1,426149E+09	1,000000E+01
<b>375</b>	7,563379E-06	1,309031E-03	1,010030E+09	1,000000E+01
<b>400</b>	3,594681E-07	7,041281E-03	3,950826E+09	9,999999E+00

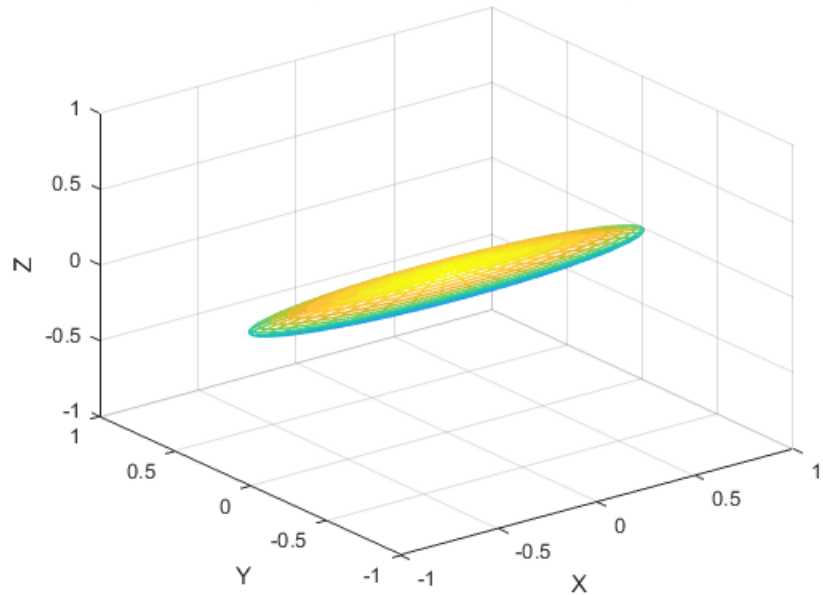
**a = 1; b = 1; c = 1;**



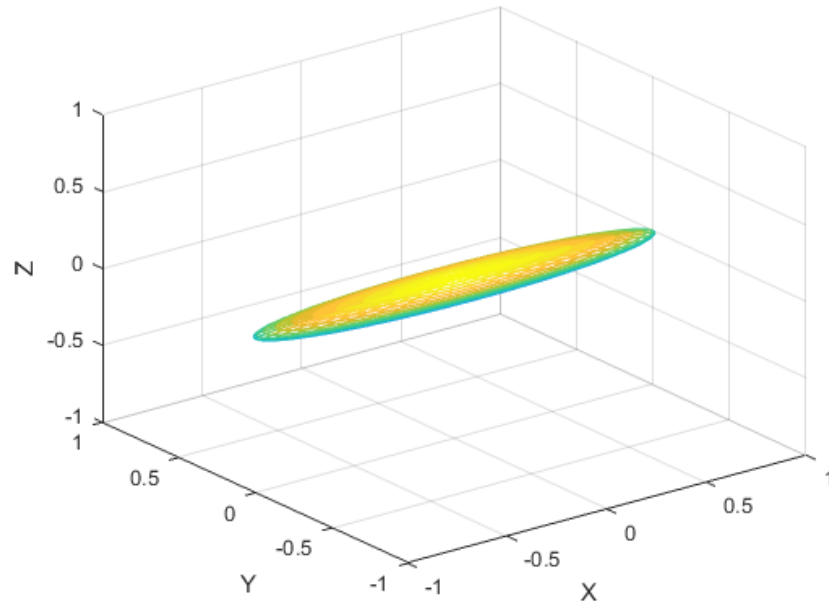
**a = 1; b = 0.91528; c = 0.31945;**



**a = 1; b = 0.17046; c = 0.074849;**



**a = 1; b = 0.17046; c = 0.051228;**



**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!**