



**Токи смещения и резонансы  
в радиофотонных структурах:**

- парадоксы,**
- перспективы,**
- первые эксперименты**

*Шварцбург А.Б.*

**1. A.B. Shvartsburg, V. Ya. Pecherkin, L.M. Vasilyak,  
S.P. Vetchinin, V.E. Fortov**

**“Resonant microwave fields and negative magnetic response,  
induced by displacement currents in the dielectric rings:  
theory and the first experiments”**

*Scientific Reports* **7, 2180 (2017),**

**2. А.Б. Шварцбург, В.Я. Печёркин, Л.М. Василяк,  
С.П. Ветчинин, В.Е. Фортов**

**“Диэлектрические резонансные магнитные диполи”**

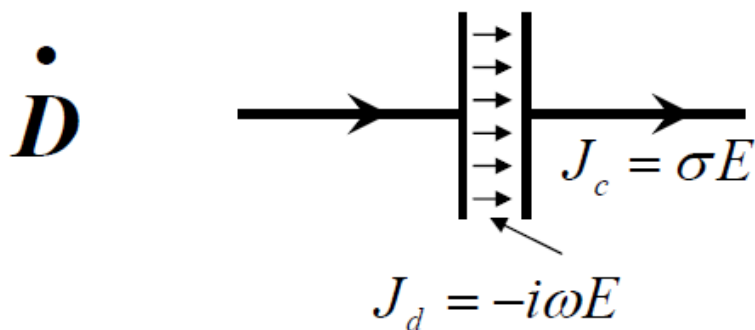
**УФН, принята к публикации  
(DOI: 10.3367/UFNr2017.03.038139)**

# Токи смещения в непроводящих средах

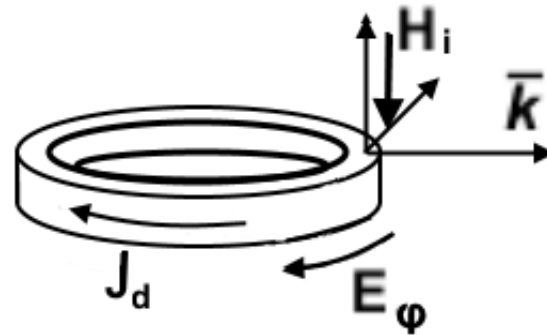
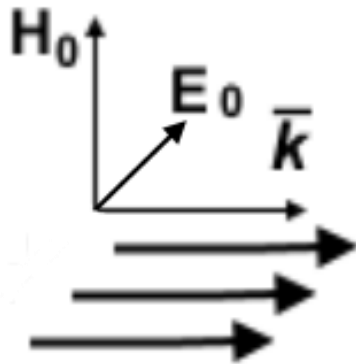
Колебательный контур Томсона ( 1853 г. )

$$J_d = \frac{1}{4\pi} \frac{\partial \mathcal{D}}{\partial t}$$

$$\operatorname{rot} H = \frac{1}{c} \frac{\partial \mathcal{D}}{\partial t}$$

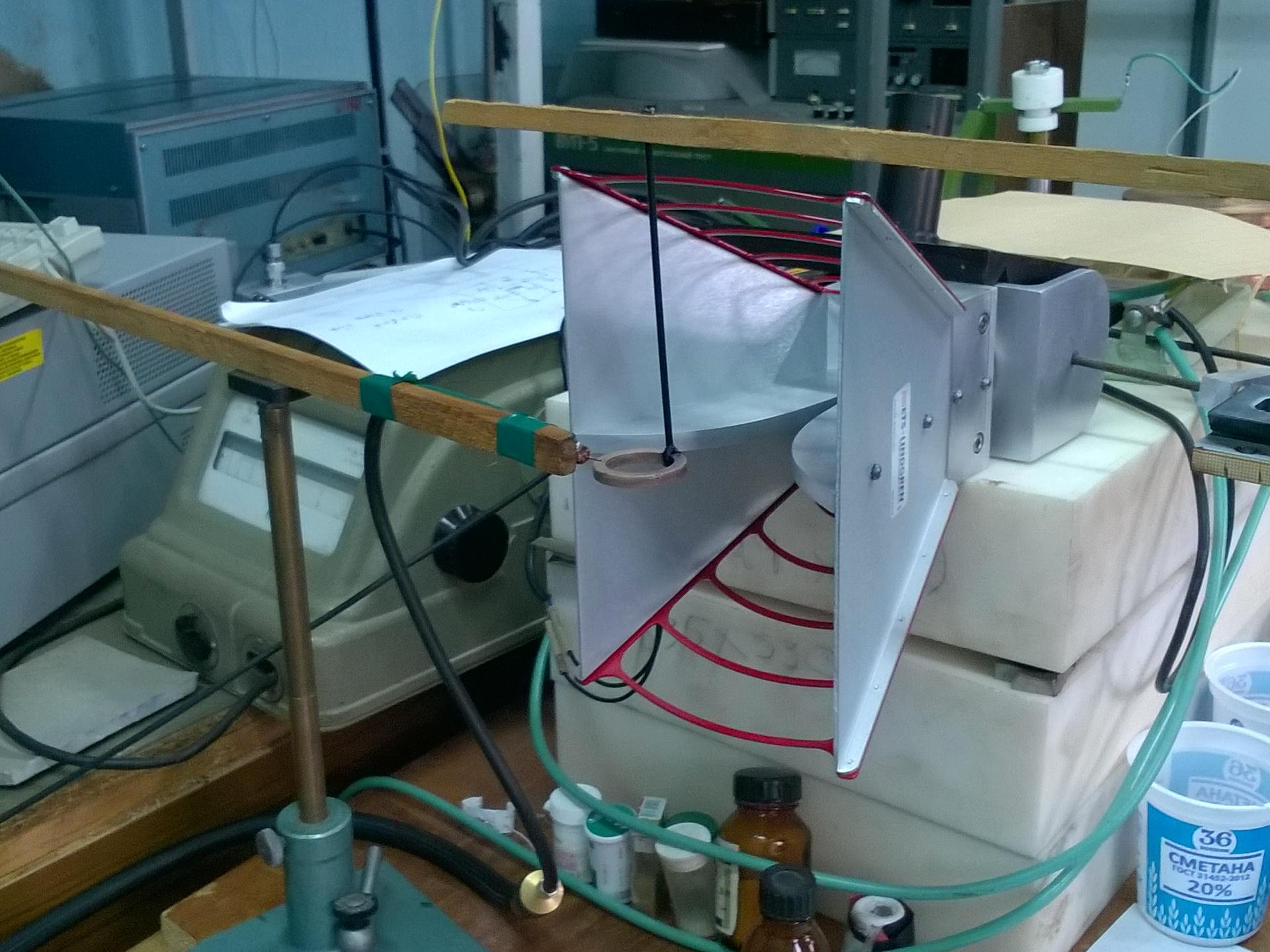


# Диэлектрический резонансный колебательный контур СВЧ диапазона

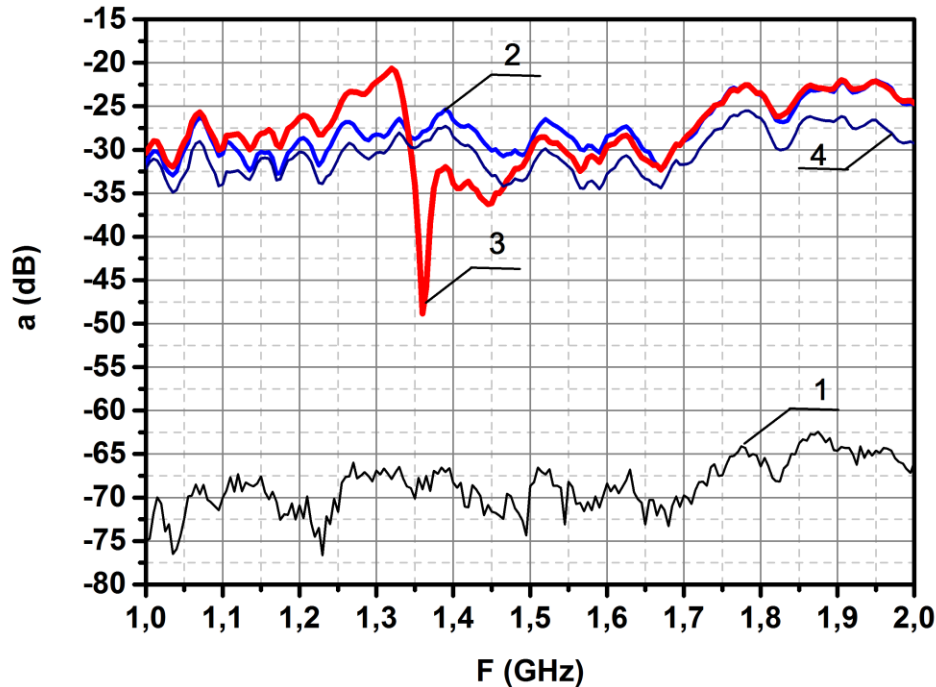


$$j_d = \frac{1}{4\pi} \frac{\partial(\epsilon E_\varphi)}{\partial t}$$

$$j_c = \sigma E_\varphi \quad \frac{r}{R} \ll 1$$



# Спектр кольцевого резонансного диэлектрического магнитного диполя, возбуждаемого токами смещения (основная мода)

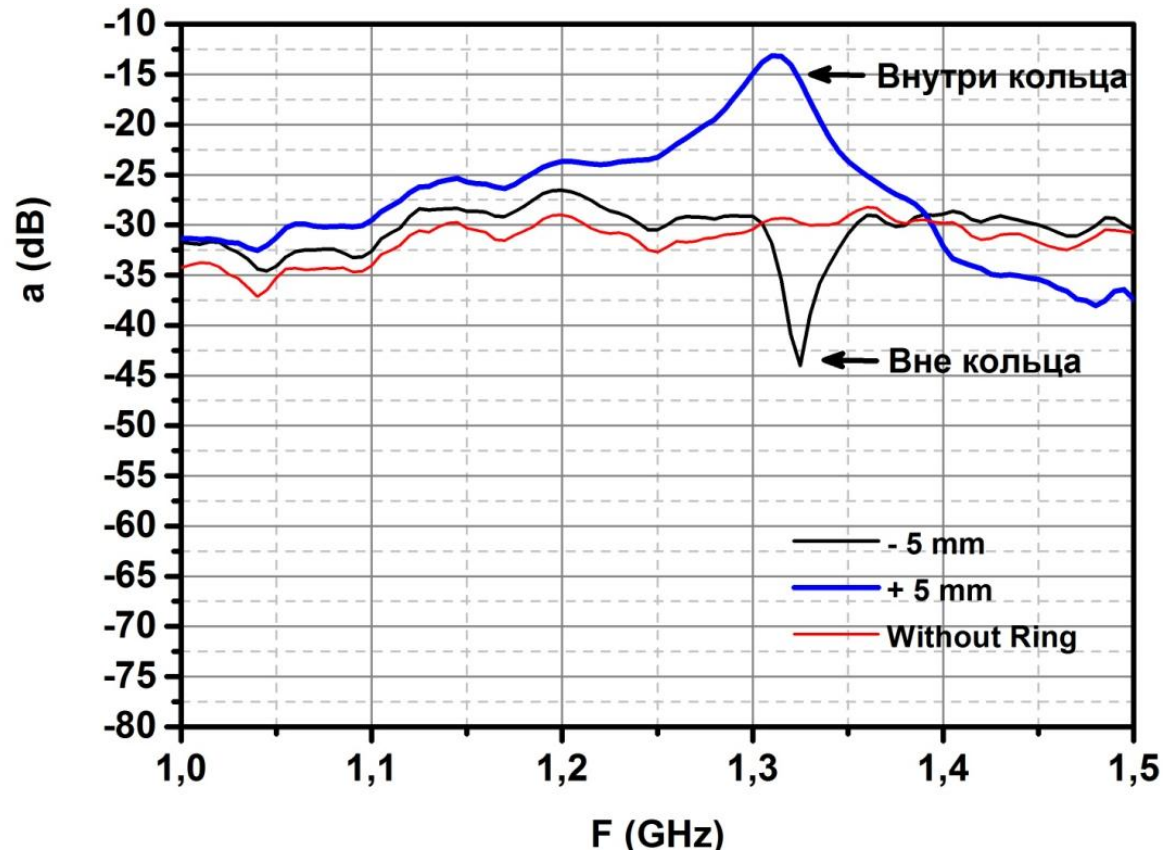


$$\omega_0^2 = \frac{2c^2}{r^2 \epsilon l_1}$$

$$\Lambda(\omega) = \frac{\omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2 - i\omega\gamma}$$

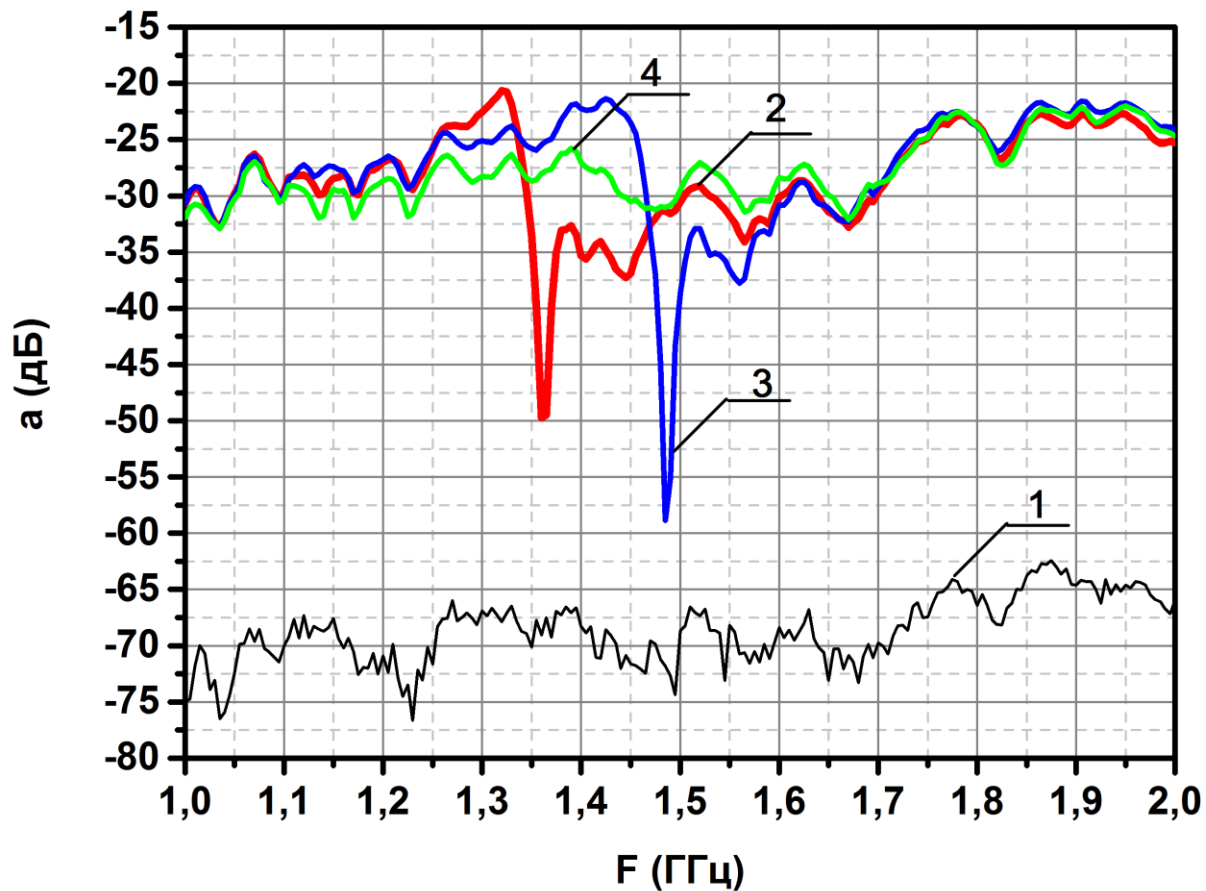
$$I_d = \frac{\epsilon \omega^2 r^2}{8\pi R c} \Lambda(\omega) \Phi_0 \exp(-i\omega t)$$

# Отрицательная магнитная индукция резонансного диэлектрического магнитного диполя (ДМД)



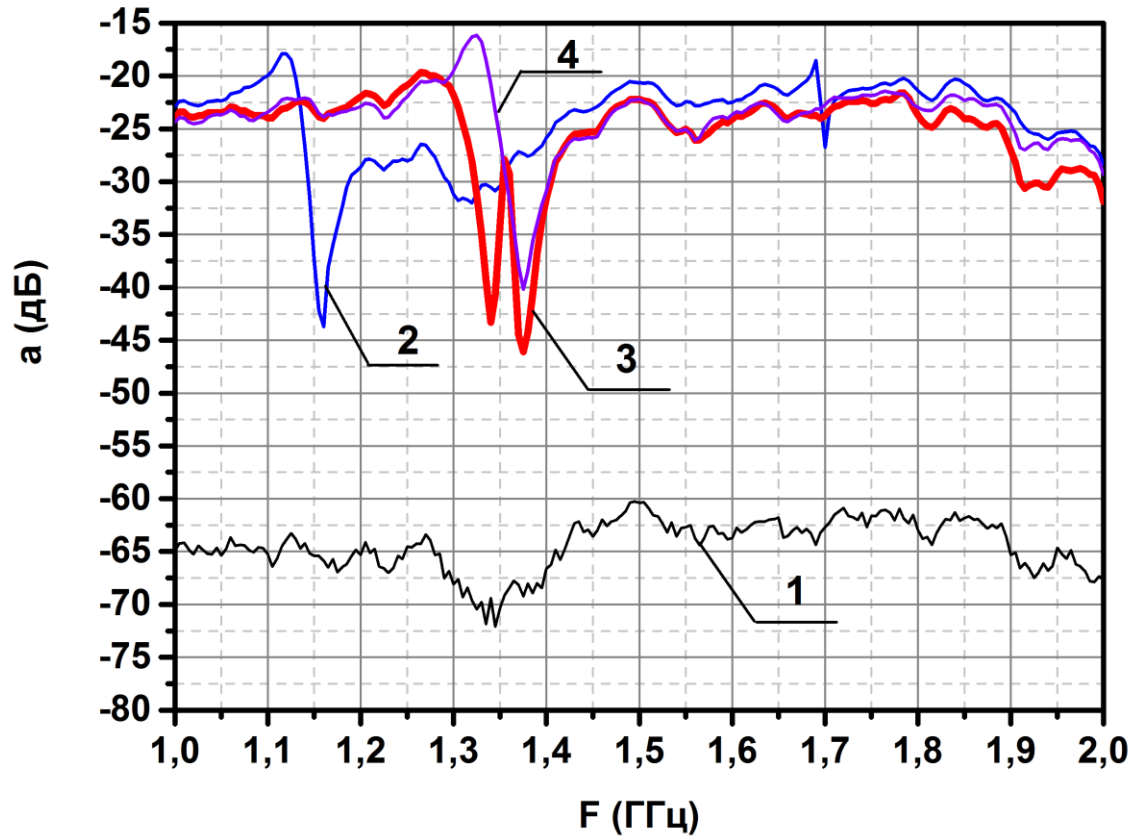
$$B = \mu H \quad (\mu < 0)$$

# Сдвиг резонанса расщеплённого кольцевого ДМД



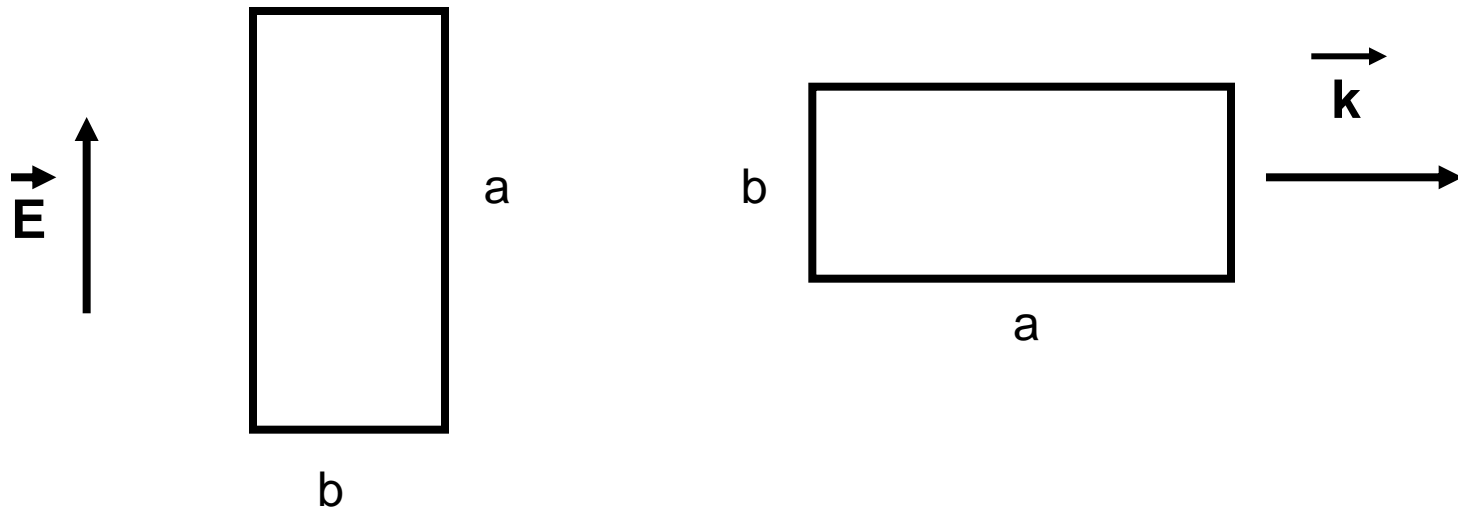


# Резонансное взаимодействие соосных ДМД: расщепление спектра основной магнитной моды



$$f_1 = 1.36 \text{ GHz}$$

# Анизотропные прямоугольные резонансные ДМД

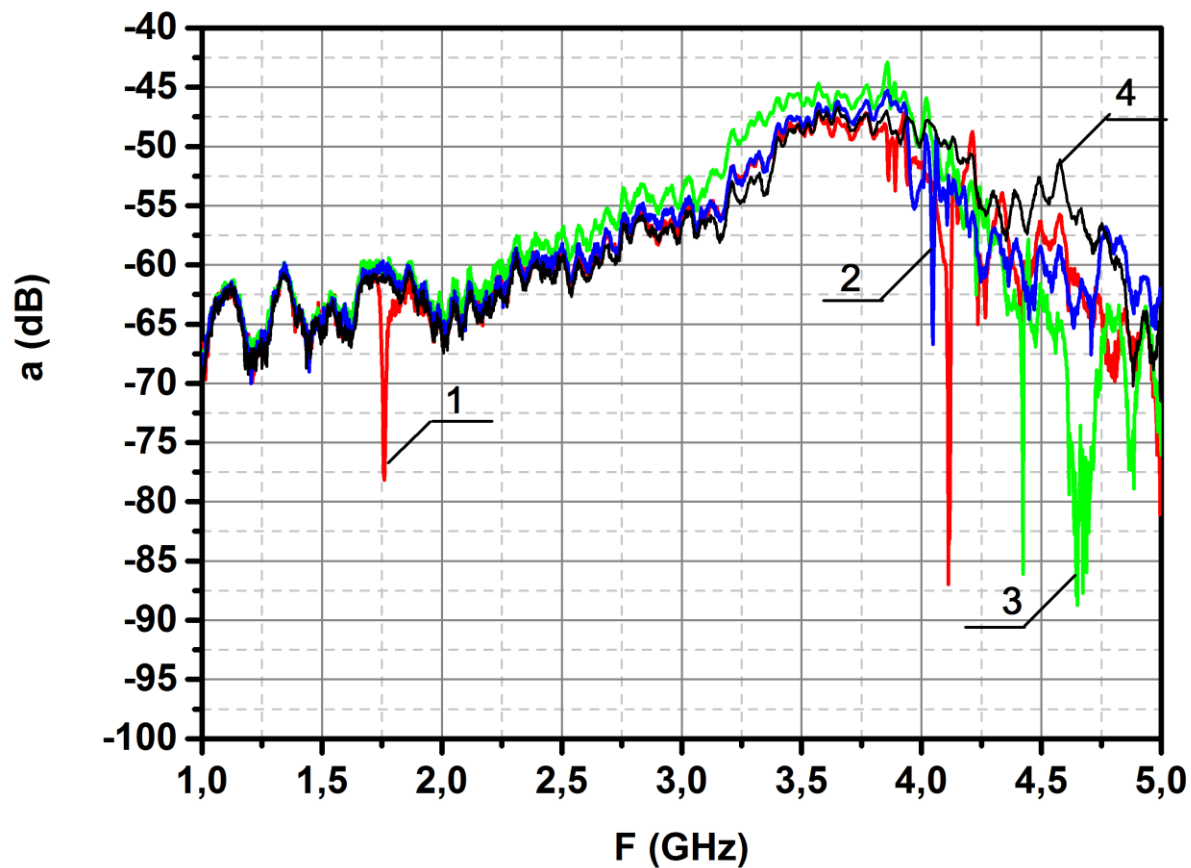


Положение А

Положение В

$$p = \frac{b}{a} \leq 1$$

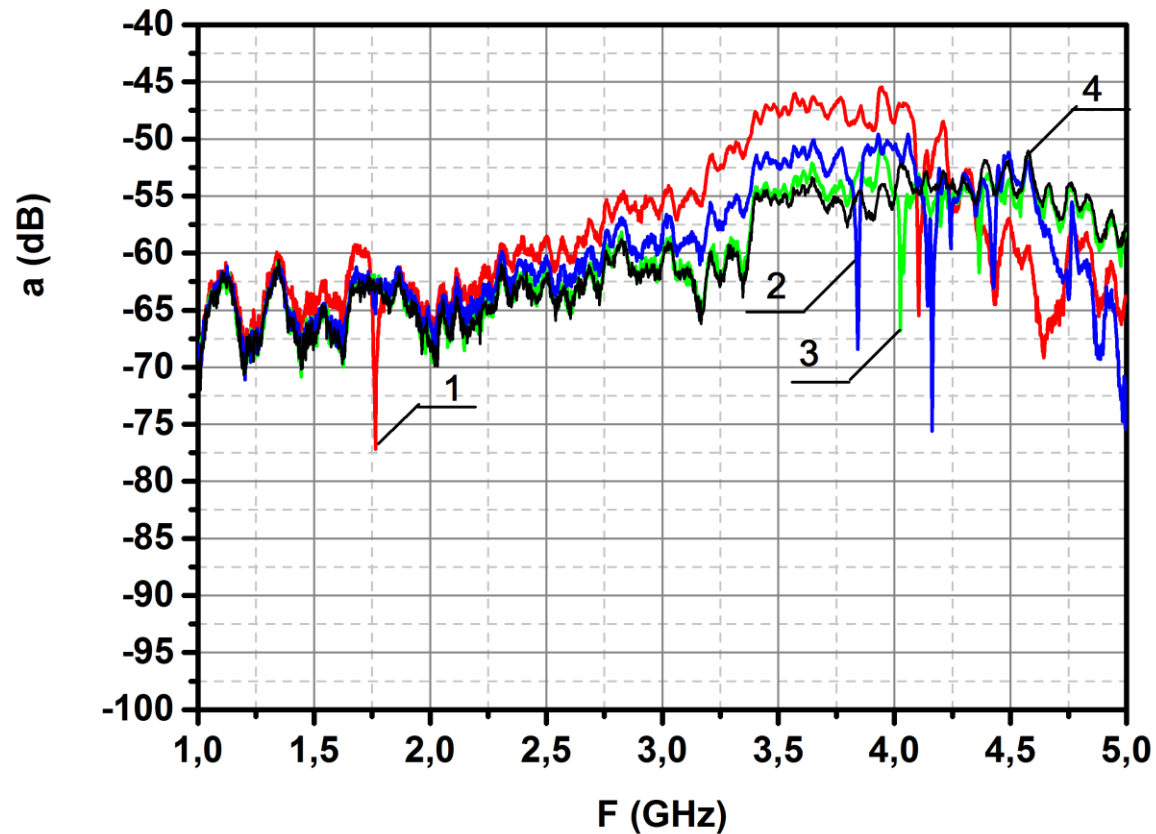
# Угловая анизотропия прямоугольного резонансного ДМД ( положение А )



$$f_1 = 1,78 \text{ GHz}$$

$$f_2 = 4.1 \text{ GHz}$$

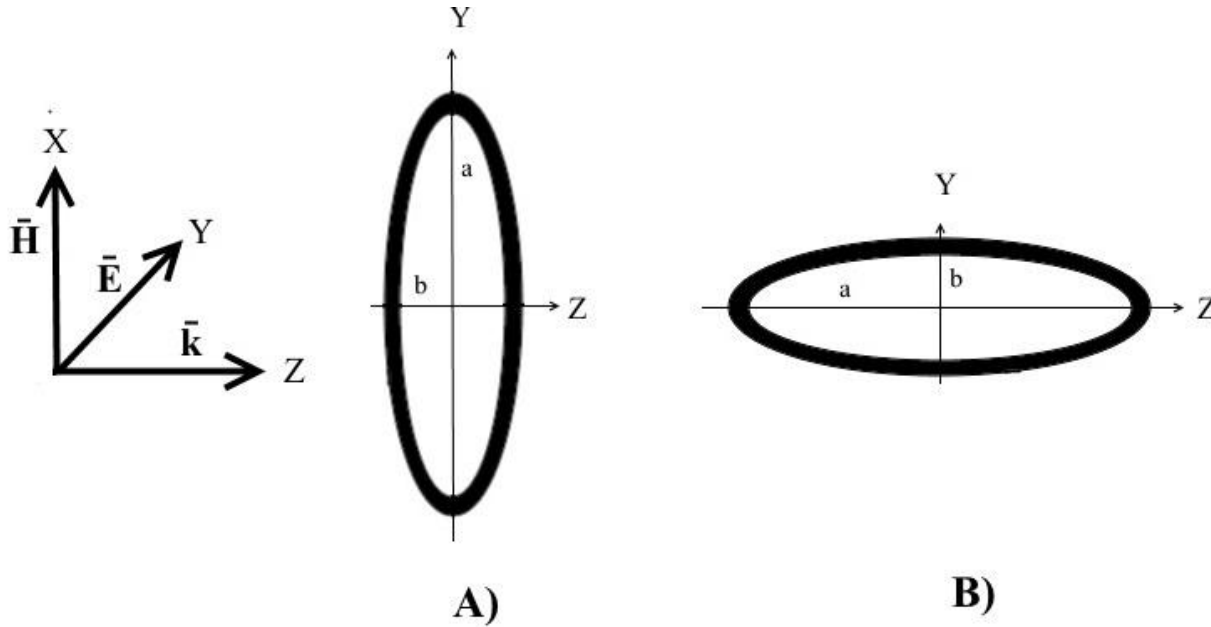
# Угловая анизотропия прямоугольного резонансного ДМД ( положение В )



$$f_1 = 1,78 \text{ GHz}$$

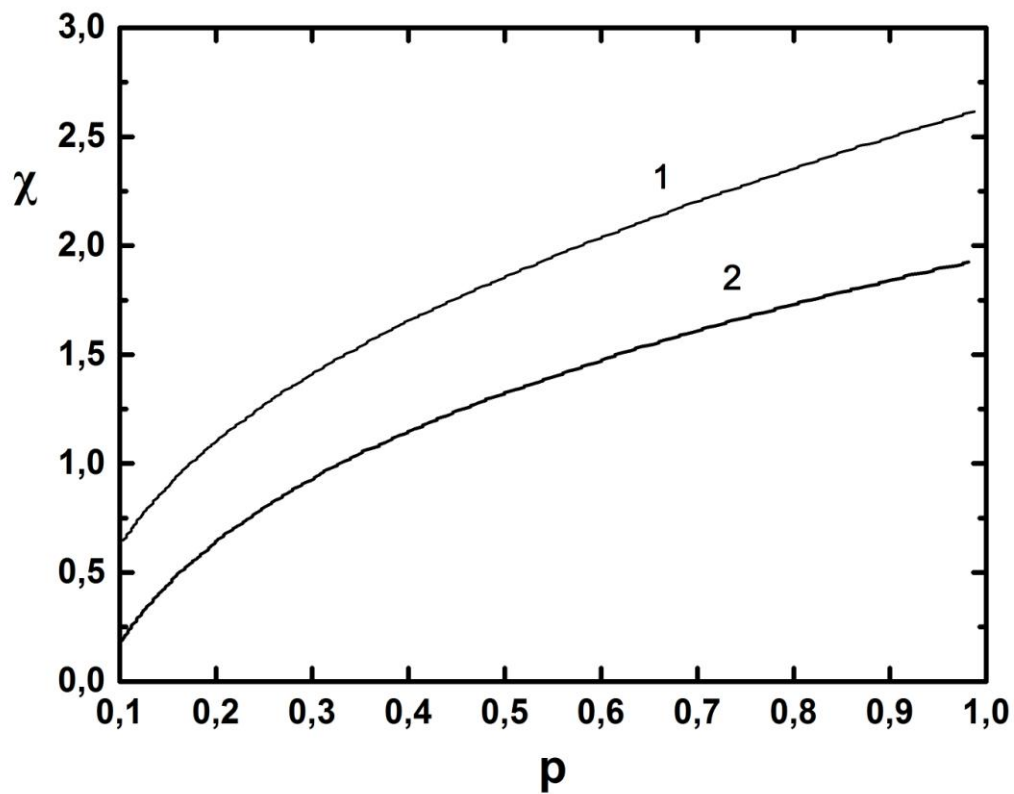
$$f_2 = 3.85 \text{ GHz}$$

# Анизотропные эллиптические магнитные диполи



$$p = \frac{b}{a} \leq 1$$

# Самоиндукция тонкого эллиптического контура

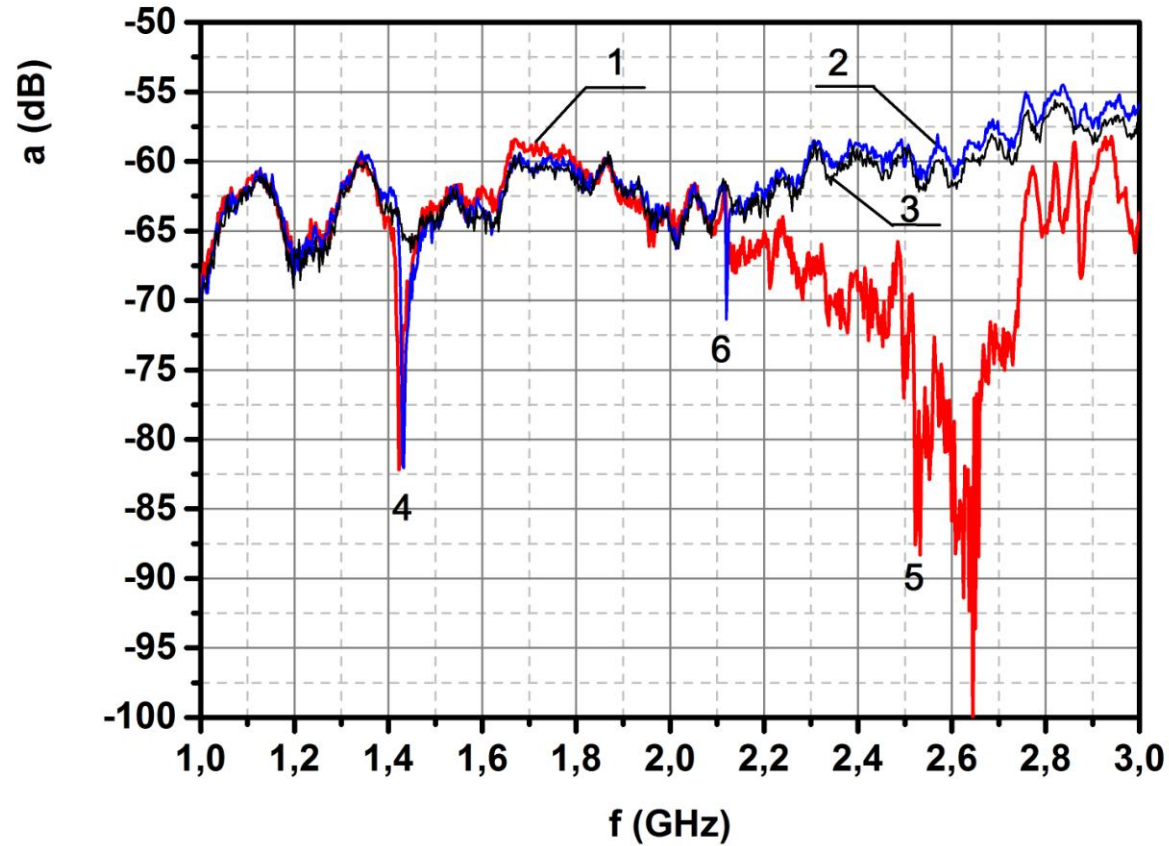


$$L = 4\pi a \chi$$

1)  $\frac{r}{R} = 0.05$

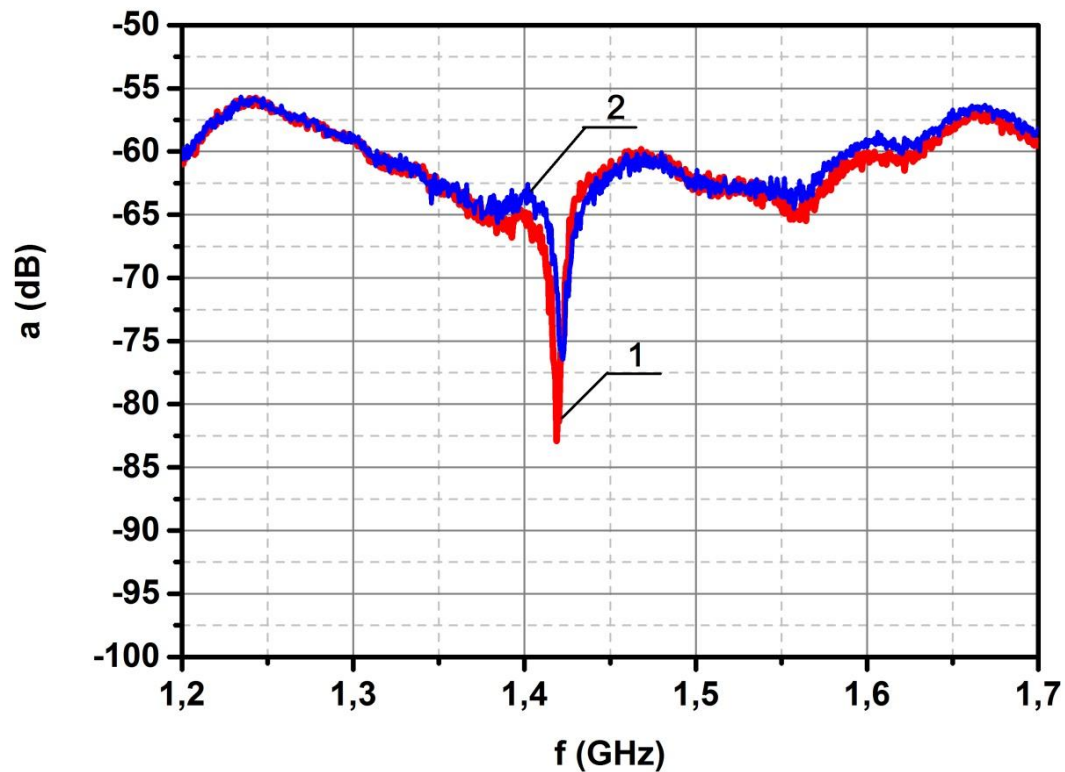
2)  $\frac{r}{R} = 0.1$

# Угловая анизотропия магнитного отклика эллиптического диполя



1 – A; 2 – B

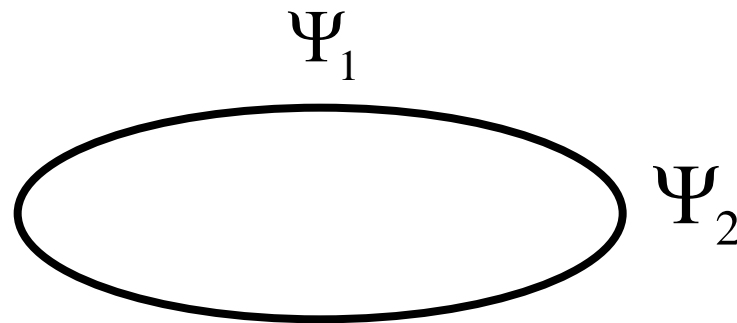
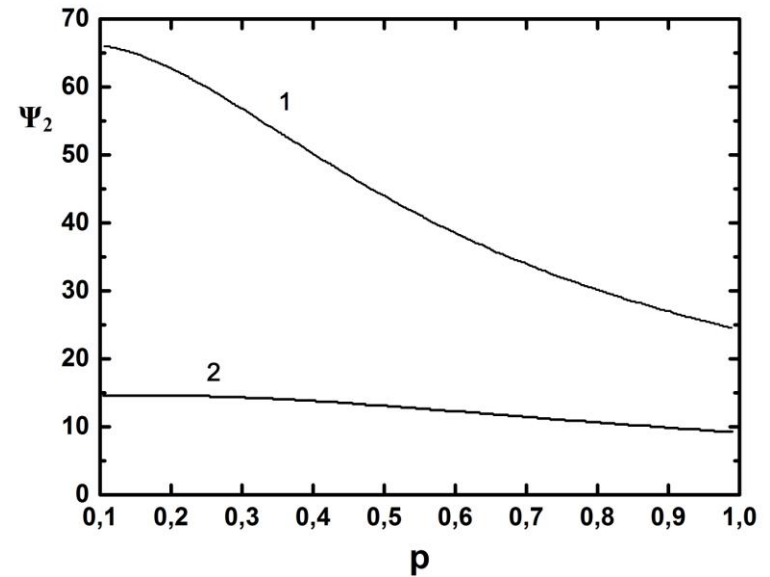
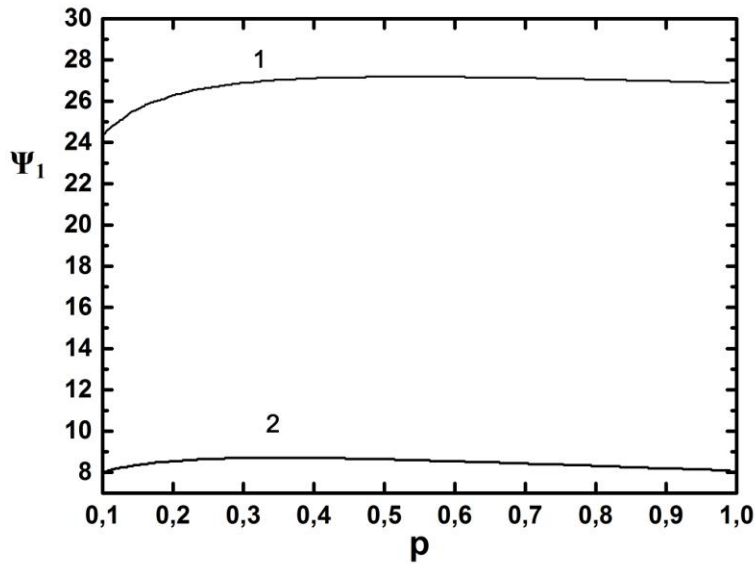
# Угловая анизотропия магнитного отклика эллиптического диполя в основной моде



1 – А; 2 – В



# Закон Био – Савара для эллиптического контура

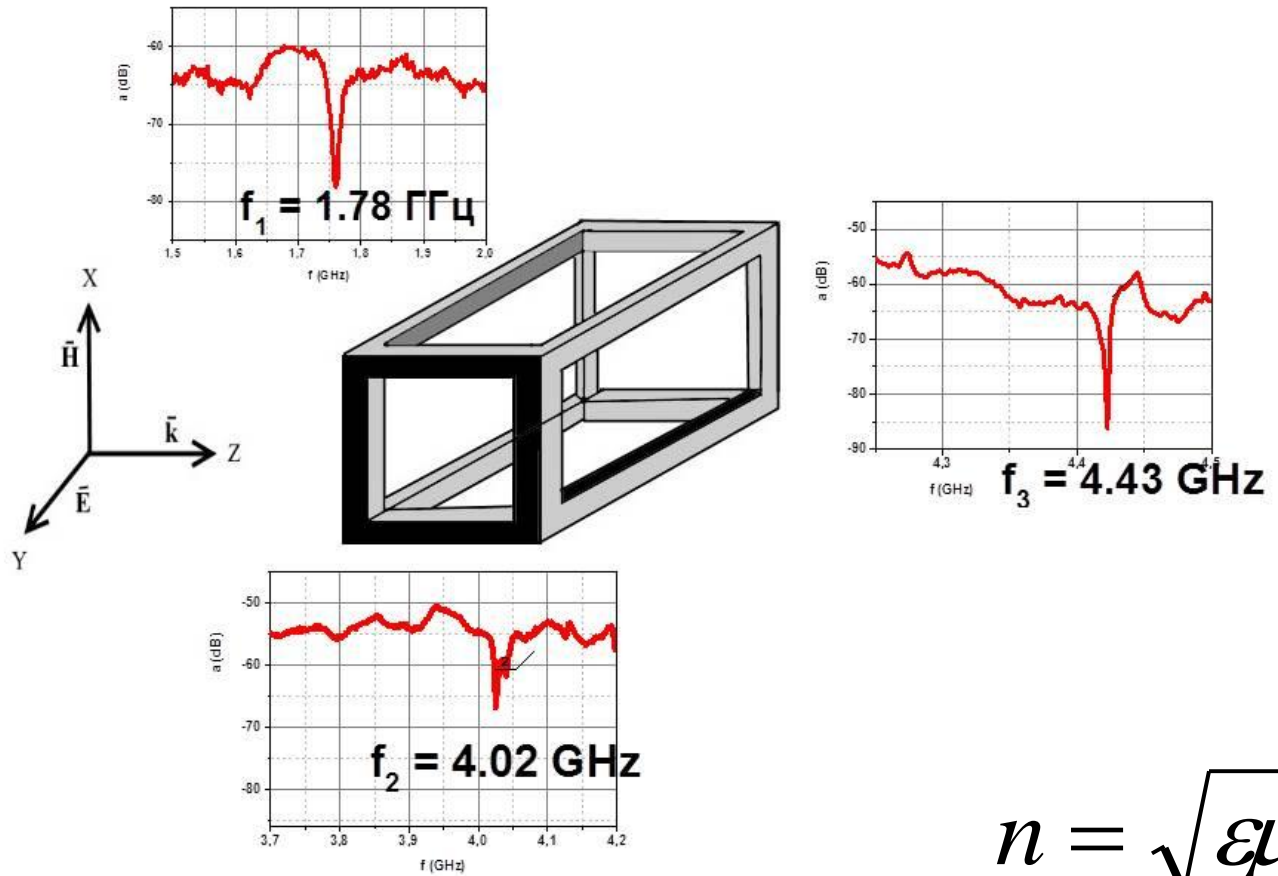


$$(H_{\perp})_{1,2} = \frac{2\pi I}{ac} \Psi_{1,2}$$

$$\frac{\Delta_1}{a} = 0.1$$

$$\frac{\Delta_2}{a} = 0.3$$

# Ячейка трёхмерного анизотропного метакристалла



$$n = \sqrt{\epsilon\mu}$$

## **Заключение**

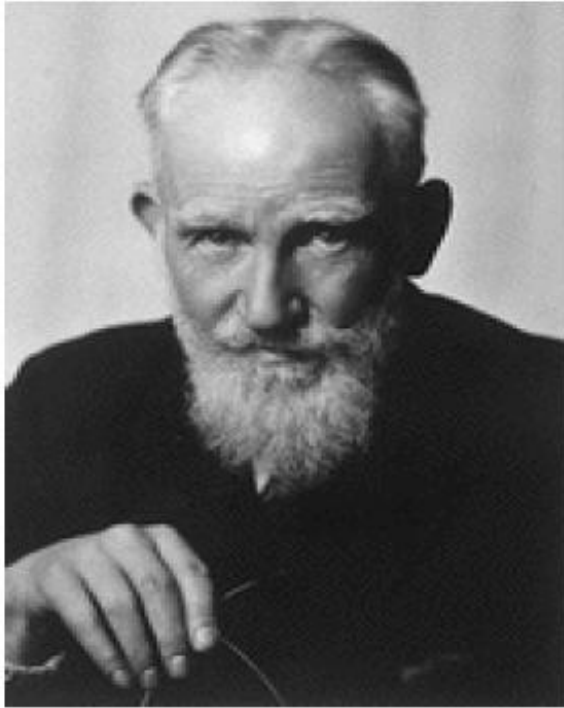
- 1. Разработаны и изготовлены резонансные круговые, прямоугольные и эллиптические диэлектрические магнитные диполи ГГц диапазона, возбуждаемые токами смещения;**
- 2. Рассчитаны и измерены собственные частоты мультрезонансных анизотропных магнитных диполей и показано контролируемое формирование зон отрицательной магнитной индукции ( $\mu < 0$ );**
- 3. Показан знакопеременный магнитный отклик трёхмерной ячейки анизотропного метакристалла, содержащего некруговые магнитные диэлектрические диполи.**

## **Ближайшие задачи**

- 1. Анизотропные диэлектрические метаповерхности и метакристаллы - субволновые элементы ГГц систем;**
- 2. Импульсные режимы в ДМД;**
- 3. Резонансные ДМД – перспективные элементы нанофотоники.**

*“Science never solves a problem without creating ten more”*

*George Bernard Shaw (1856-1950)*



<http://nobelprize.org/literature/laureates/1925/shaw-bio.html>