

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

А.А. Науфман, В.С. Кривоуцний,
Л.А. Табаровский

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ
ПРОВОДЯЩЕГО СФЕРОИДА
В ГОРИЗОНТАЛЬНО- СЛОИСТОЙ СРЕДЕ**

НОВОСИБИРСК-1971

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

А.А. Науфман, В.С. Кривоуцкий,
Л.А. Табаровский

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ
ПРОВОДЯЩЕГО СФЕРОИДА
В ГОРИЗОНТАЛЬНО- СЛОИСТОЙ СРЕДЕ**

НОВОСИБИРСК-1971

Ответственный редактор
член-корр. АН СССР Э.Э.ФОТИАДИ

В альбоме приведены результаты расчёта методом интегральных уравнений аномального магнитного поля, порождаемого проводящим сфероидом, расположенным в однородной среде (непроводящей или проводящей), полупространстве, двухслойной среде (рис. I).

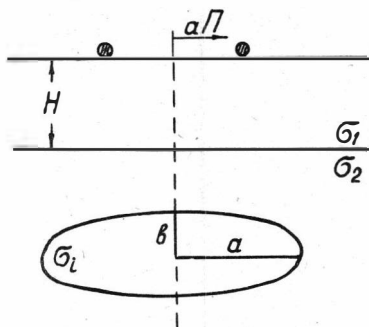


Рис. I.

В большинстве моделей источником первичного поля является соосный со сфероидом кольцевой ток силы I (петля). Исключение составляет модель, описанная на листах I-6 (сфероид в непроводящей вмещающей среде). В этом случае в качестве первичного принималось однородное переменное магнитное поле, параллельное оси вращения сфероида. Электрическая компонента первичного поля не пересекает поверхность неоднородности, поэтому аномальное электрическое поле

является вихревым и в цилиндрической системе координат имеет только одну компоненту - E_{φ} . Магнитное поле имеет две компоненты - H_z и H_z .

В альбоме представлены частотные кривые амплитуд и фаз аномального вертикального магнитного поля. Шифром кривых на каждом листе альбома является отношение горизонтальной полуоси сфероида (a) к вертикальной (b). Все линейные размеры (длина волны, толщина наносов, расстояние до точки измерения и др.) выражены в единицах b . Точка измерения находится в центре петли.

Модули всех величин построены в билогарифмическом масштабе, фазы - в логарифмическом по горизонтальной оси и в натуральном по вертикальной. По оси абсцисс откладывается отношение длины волны внутри неоднородности к вертикальной полуоси цилиндра - λ/b .

Сфероид в однородном магнитном
поле в воздухе

	zP	1,5	2	3	
	N	1,2	3,4	5,6	

Сфероид в однородной проводящей среде
в поле петли

$\frac{\sigma_i}{\sigma_2}$	zP	$aП$	N	$\frac{\sigma_i}{\sigma_2}$	zP	$aП$	N
64	1,5	8	7, 8	1024	1,5	8	19, 20
	2	4	9, 10		2	4	21, 22
		8	11, 12			8	23, 24
		3	2			13, 14	3
	4		15, 16		4	27, 28	
	8		17, 18		8	29, 30	

Сфероиды в полупространстве и в двухслойной
среде в поле петли

$\frac{\sigma_i}{\sigma_2}$	$\frac{\sigma_1}{\sigma_2}$	H	z	$a\Gamma$	N	$\frac{\sigma_i}{\sigma_2}$	$\frac{\sigma_1}{\sigma_2}$	H	z	$a\Gamma$	N								
64	I	0	2	4	3I, 32	I024						2	4	63, 64					
				8	33, 34								8	65, 66					
			3	4	35, 36							3	4	67, 68					
				8	37, 38								8	69, 70					
			8	$\frac{I}{4}$	2							4	39, 40	8	$\frac{I}{4}$	2	4	7I, 72	
												8	4I, 42				8	73, 74	
	4	4			43, 44							4	4			75, 76			
		8			45, 46								8			77, 78			
	I	3			4							47, 48	I			3	4	79, 80	
					8							49, 50					8	8I, 82	
	32	$\frac{I}{4}$		2	4							5I, 52	32	$\frac{I}{4}$	2	4	83, 84		
					8							53, 54				8	85, 86		
				3	4							55, 56			3	4	87, 88		
					8							57, 58				8	89, 90		
				I	3							4			59, 60	I	3	4	9I, 92
												8			6I, 62			8	93, 94

Правила шифрования листов и их нумерация приводятся в таблицах. Обозначения:

$\frac{\sigma_i}{\sigma_2}$ - отношение проводимости сфероида к проводимости вмещающей среды;

$\frac{\sigma_1}{\sigma_2}$ - отношение проводимости наносов к проводимости нижележащего полупространства;

H - толщина наносов (в полупространстве условно полагается равной нулю);

$Z\omega$ - расстояние от точки измерения поля до центра сфероида;

$\alpha\Pi$ - радиус петли;

N - номер листа, на котором нанесена соответствующая группа кривых. Нечётные номера - модули, чётные - фазы.

Шифры, нанесённые на листах альбома, расшифровываются с помощью таблиц. Последовательность цифр в шифре соответствует порядку колонок в таблице. Например, шифр листа 40:

$\varphi \frac{H_2^0}{I} - 64 - 8 - 0,25 - 2 - 4$ означает, что на этом листе представлены фазовые кривые аномального магнитного поля для следующей модели: $\frac{\sigma_i}{\sigma_2} = 64$; $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 8$; $H = 0,25$; $Z\omega = 2$; $\alpha\Pi = 4$.

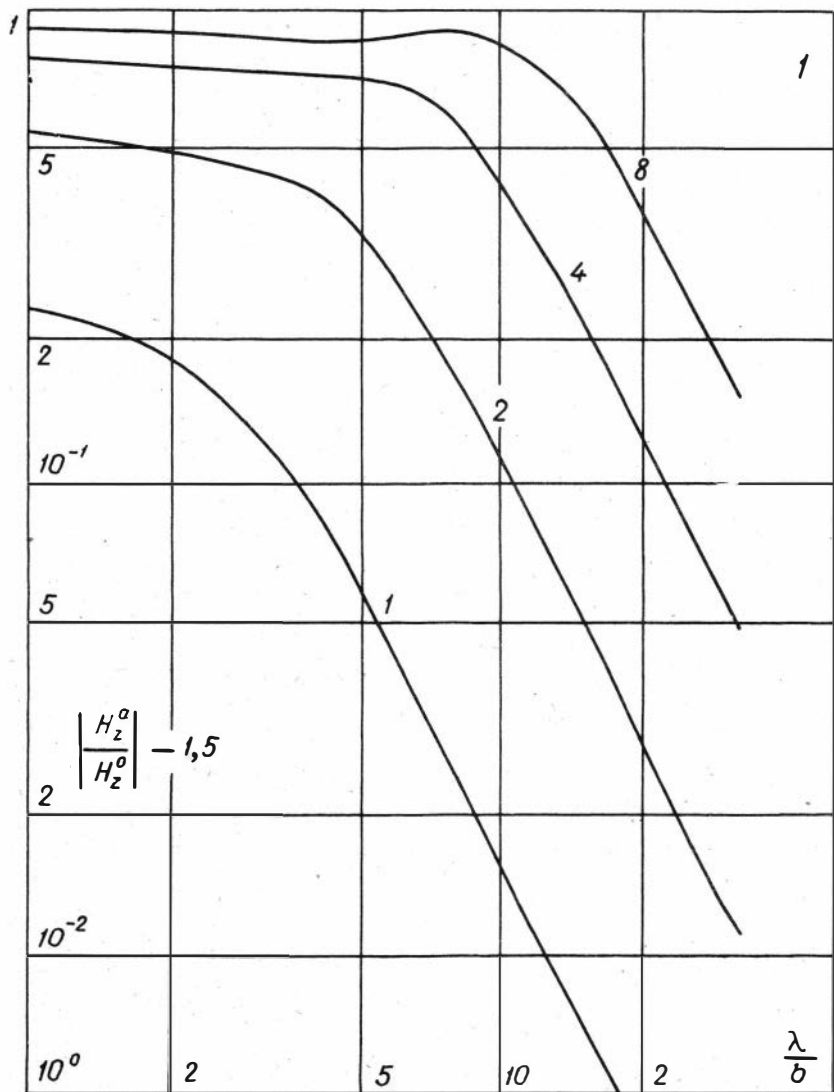
Таблицы могут служить не только для расшифровки шифров, но и для поиска листов, описывающих нужную модель. Например, если нужно найти амплитудные кривые аномального магнитного поля для следующих параметров модели: $\frac{\sigma_i}{\sigma_2} = 1024$; $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 1$; $H = 0$; $Z\omega = 3$; $\alpha\Pi = 8$, - то, двигаясь по соответствующим строчкам таблицы, устанавливаем, что искомые кривые помещены на листе 69.

Аномальные поля в случае, когда сфероид расположен в однородной среде, нормированы по вертикальной компоненте первичного магнитного поля $H_z^0 = 1$, для петли $H_z^0 = I e^{-\kappa_e a} (1 + \kappa_e a) / 2\alpha$. Здесь I - ток, α - радиус петли, κ_e - волновое число во вмещающей среде. В случаях, когда сфероид расположен в слоистой среде, аномальные поля нормированы по току в источнике. На листах 95-98 приведены амплитудные и фазовые характеристики нормальных полей ($I = 1$).

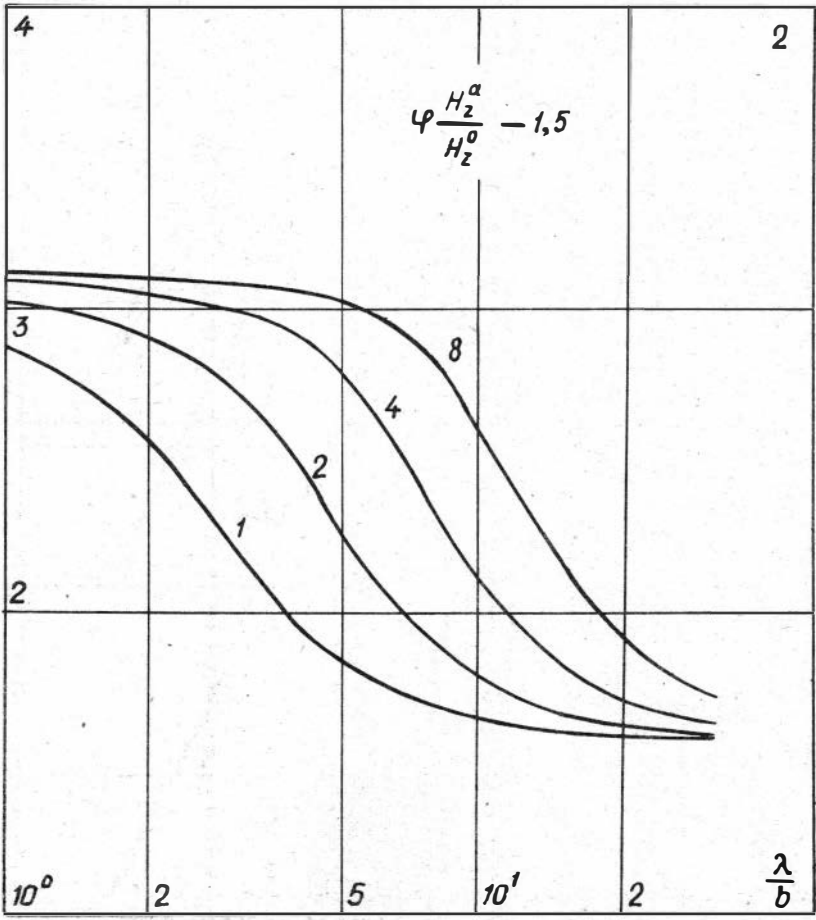
Материалы, приведенные в альбоме, позволяют изучить влияние на поле проводимости сфероида, его размеров, а также проводимости вмещающей среды, параметров наносов и тем самым позволяют более строго подойти к обоснованию амплитудно-фазовых методов рудной электроразведки, а также создают предпосылки для разработки теории метода переходных процессов.

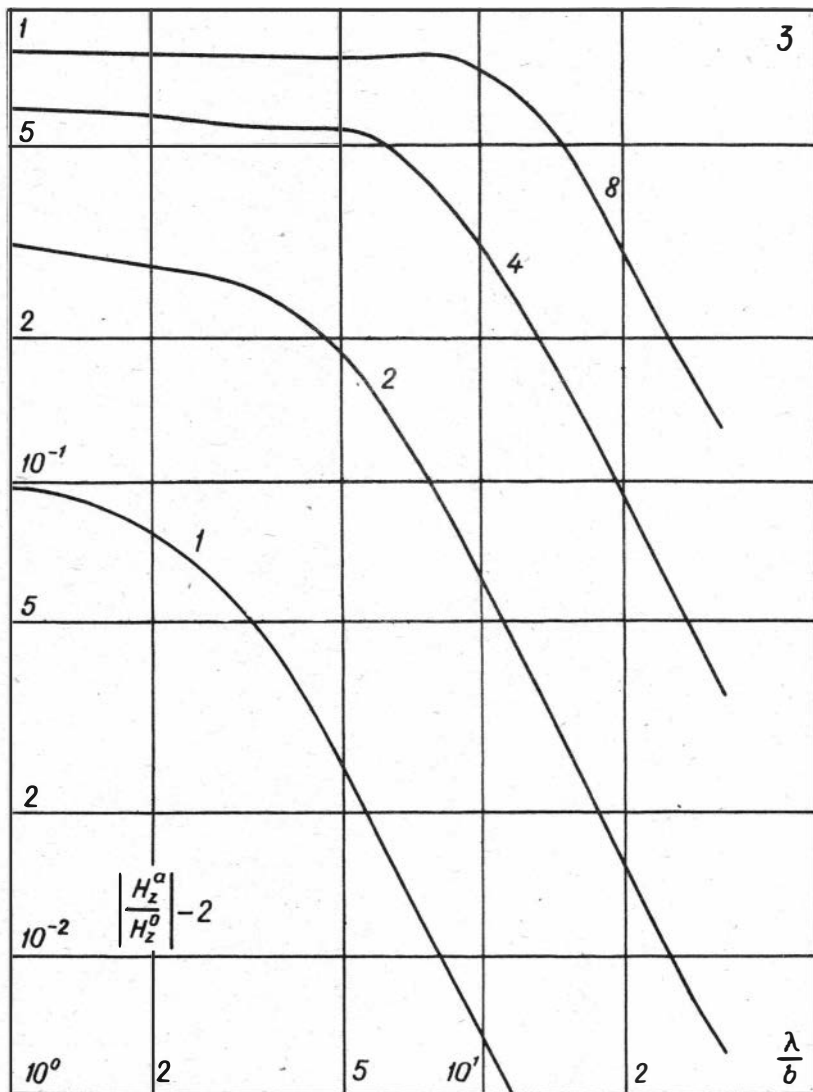
ЛИТЕРАТУРА.

1. Дмитриев В.И. Электромагнитные поля в неоднородных средах. Труды Вычислительного центра МГУ, 1969, изд. МГУ.
2. Захаров Е.В., Ильин И.В. Интегральные представления электромагнитных полей в неоднородной слоистой среде. Изв.АН СССР, сер. Физика Земли, изд. "Наука", № 8, 1970.

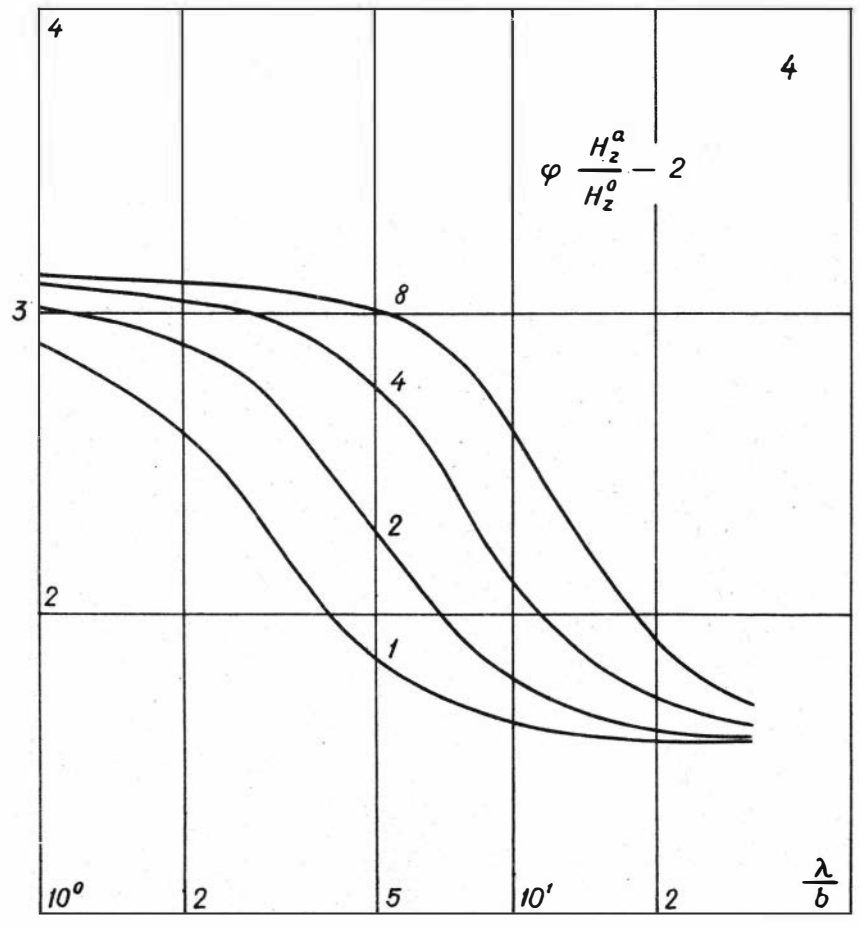


$$\varphi \frac{H_2^a}{H_2^0} - 1,5$$

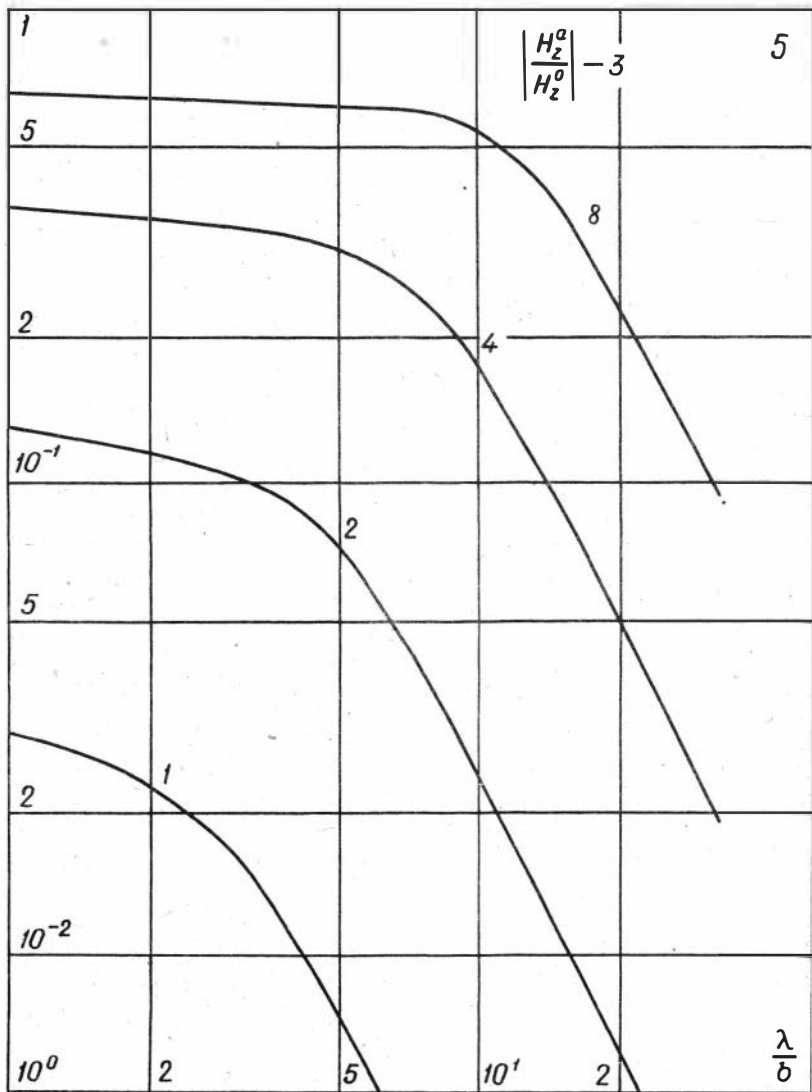




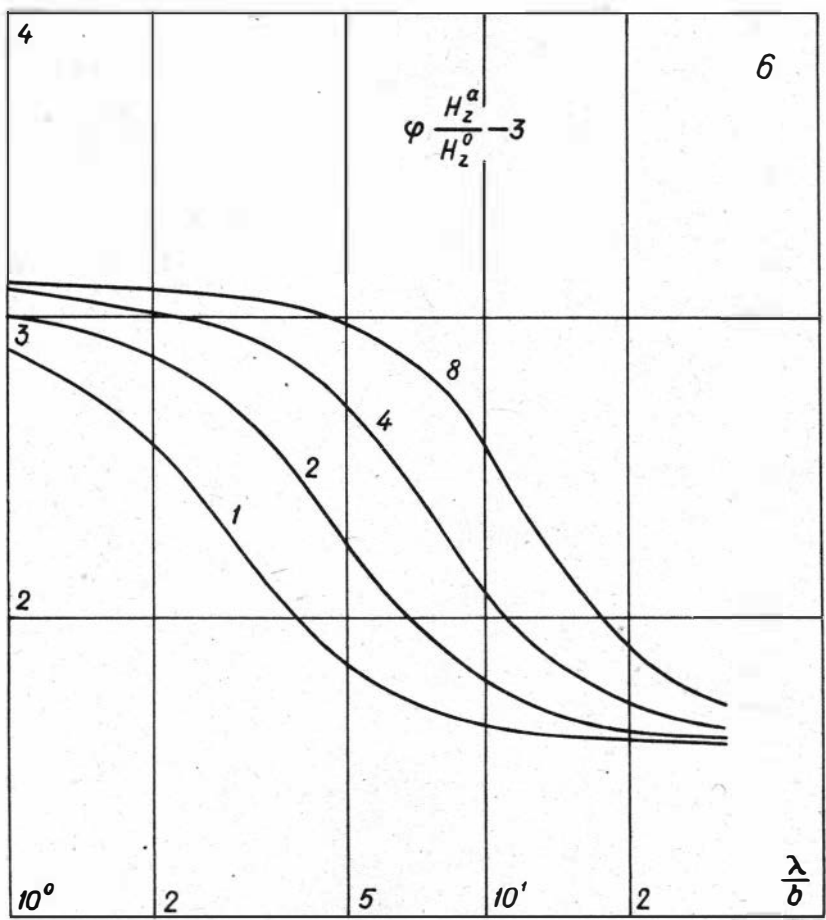
$$\varphi \frac{H_z^a}{H_z^0} - 2$$

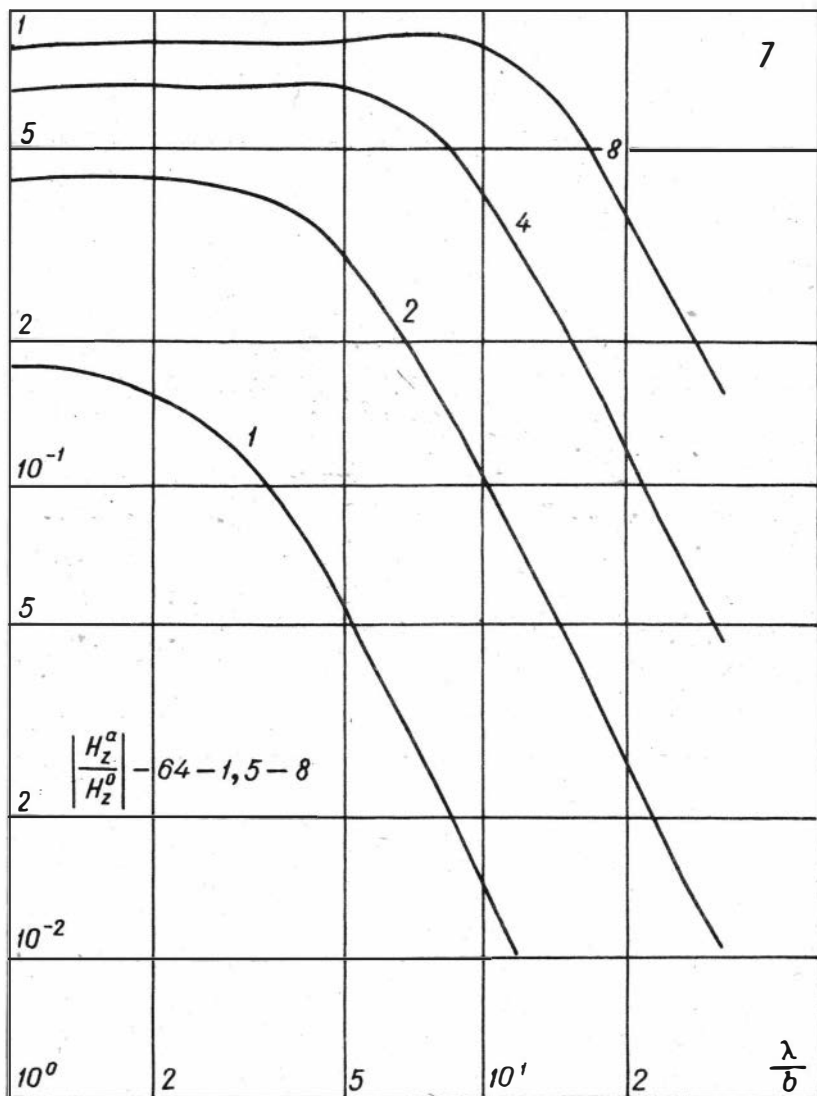


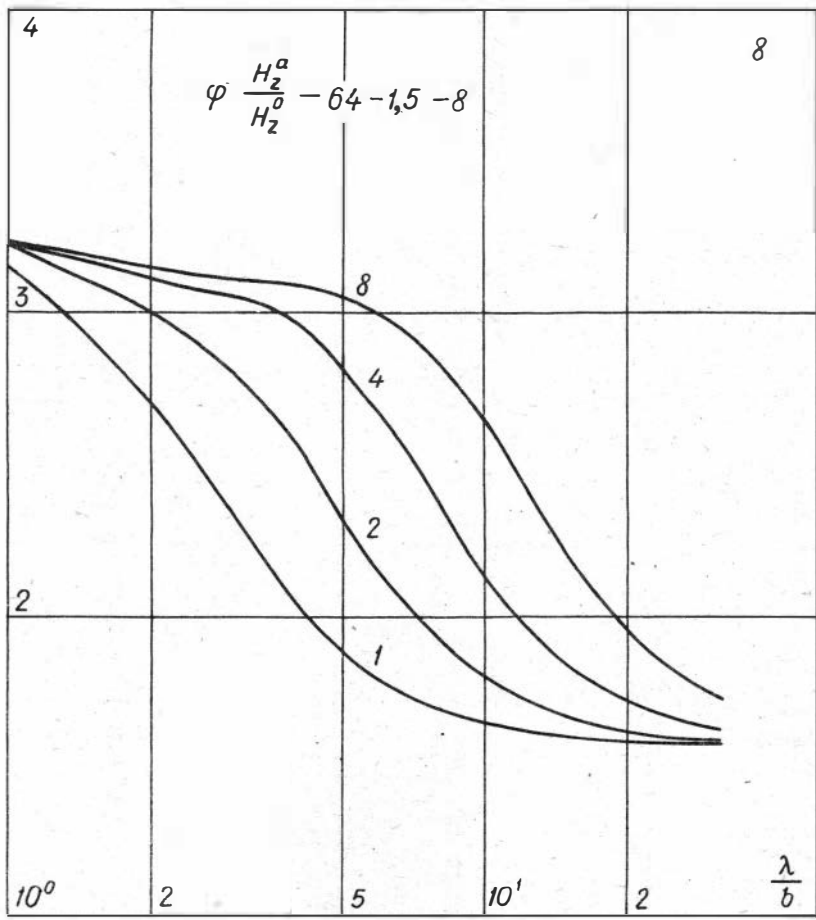
$\frac{\lambda}{b}$

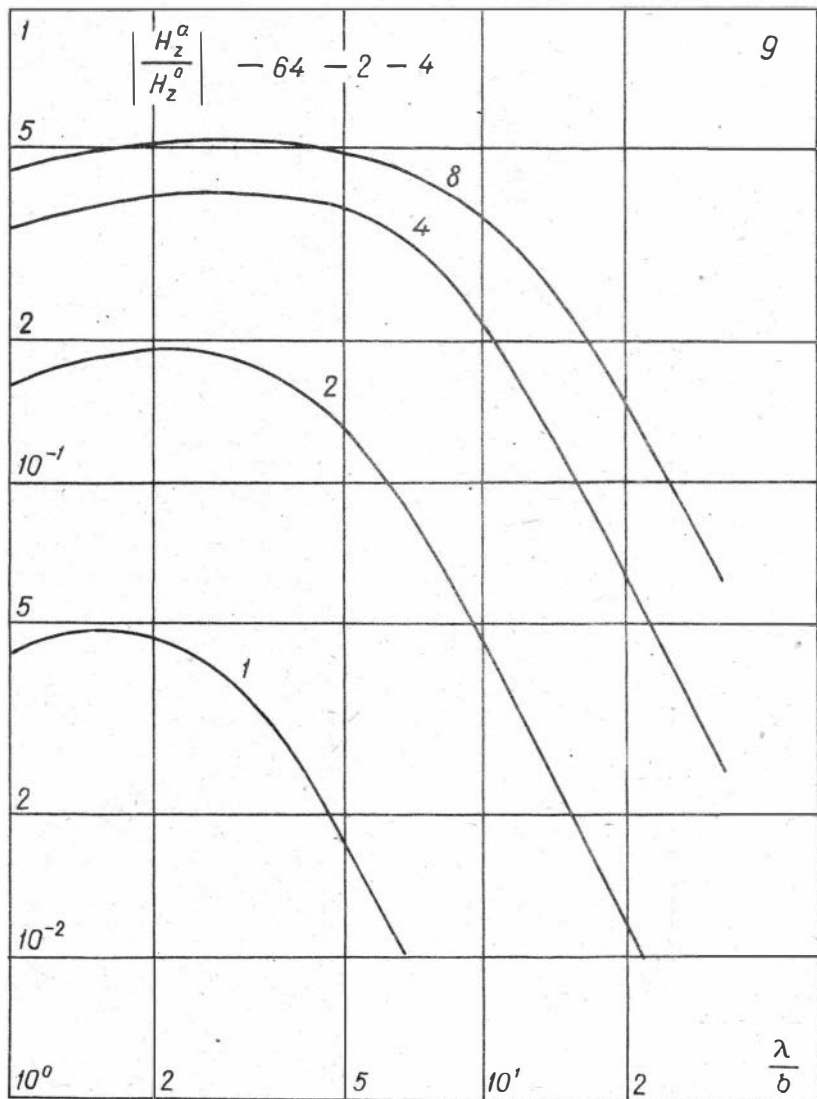


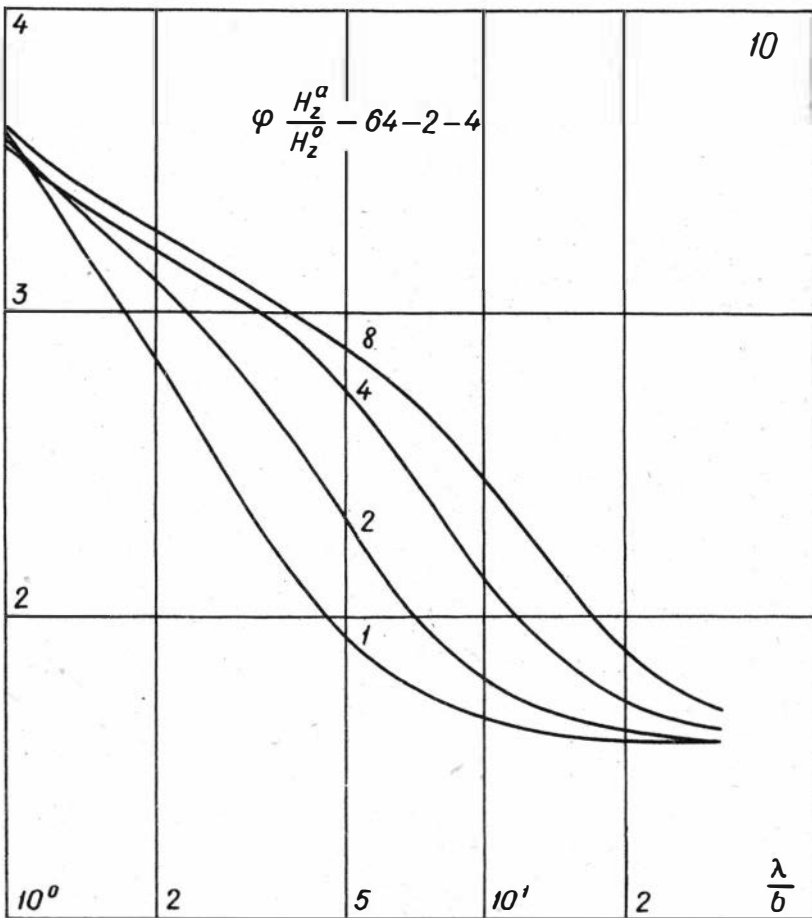
$$\varphi \frac{H_z^a}{H_z^0} - 3$$

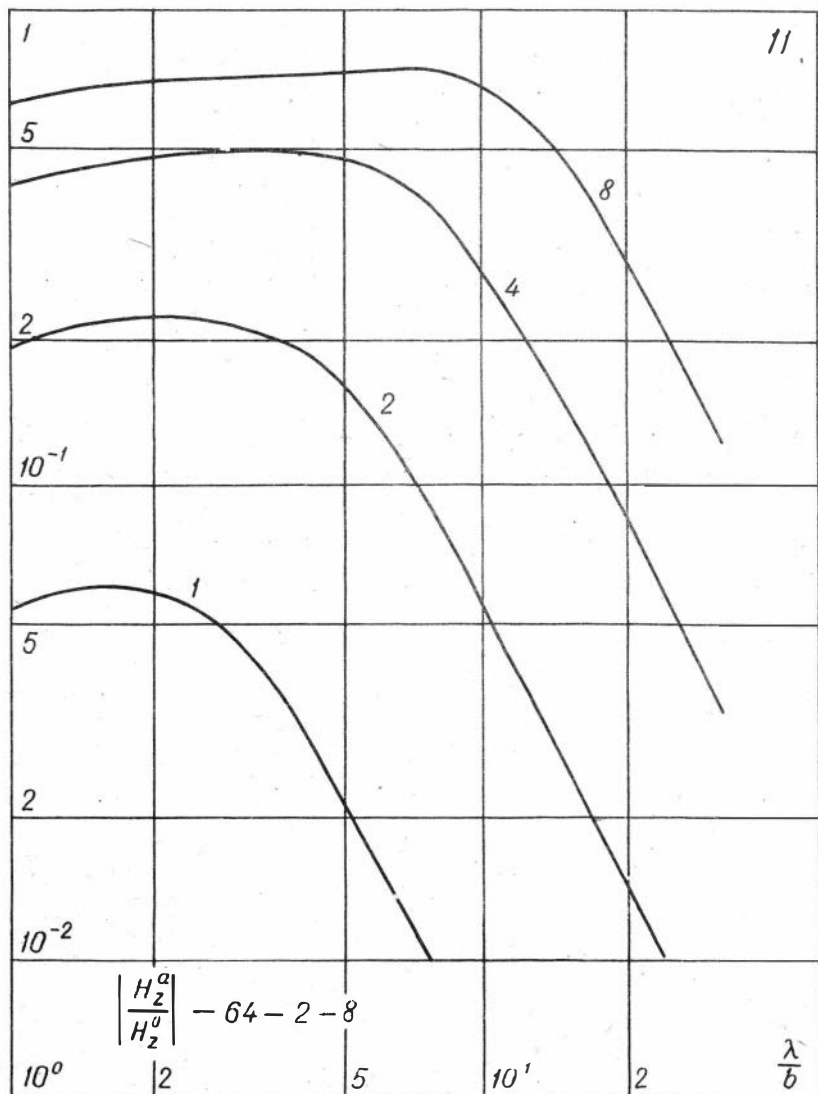




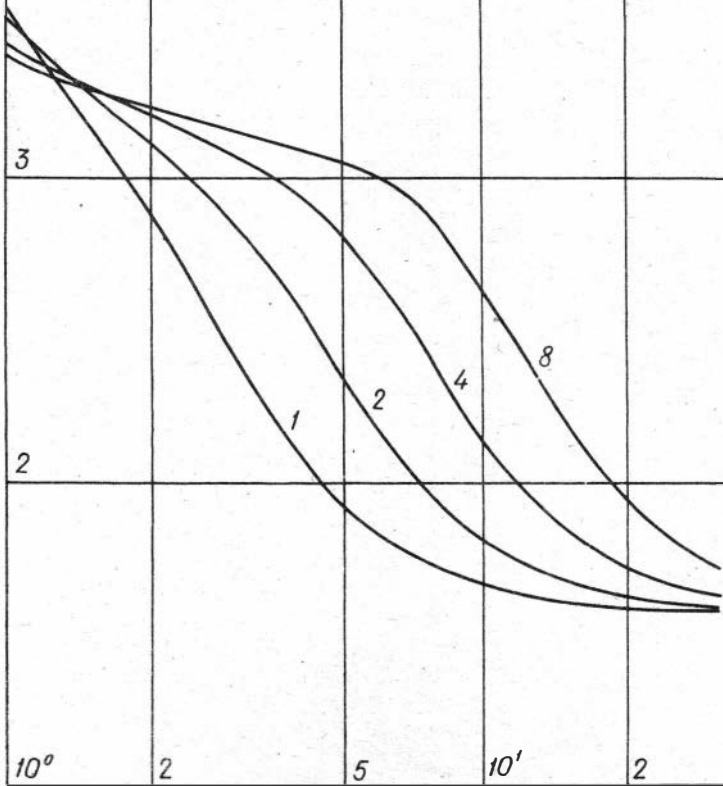




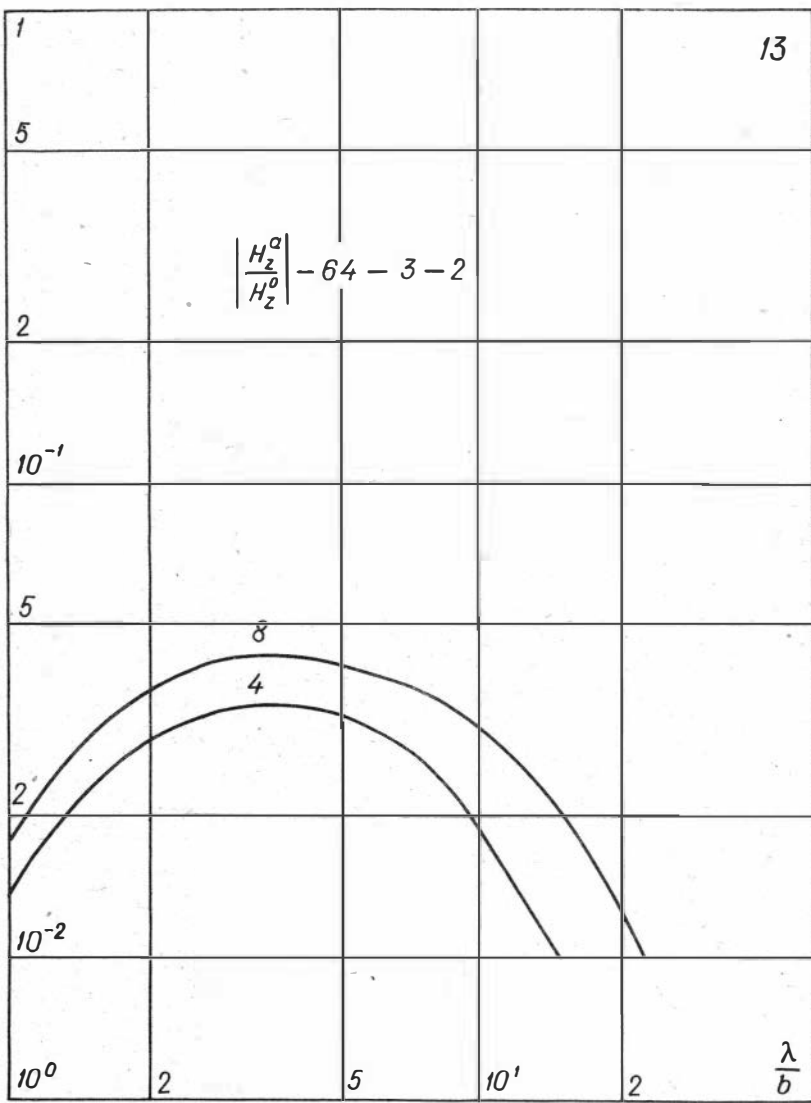




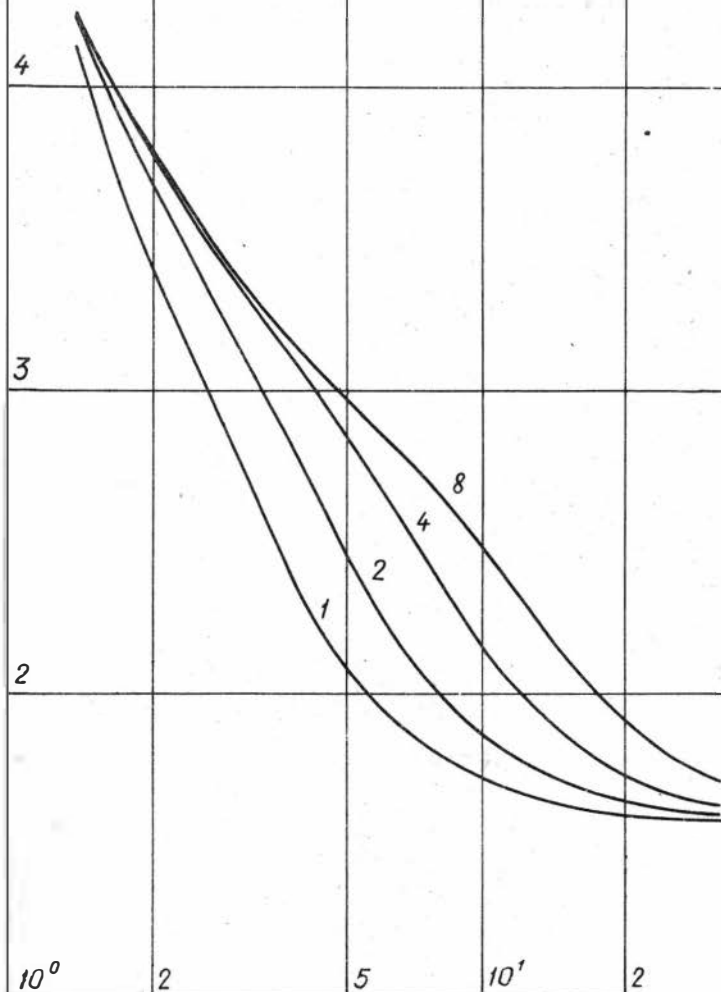
$$\varphi \frac{H_z^a}{H_z^0} - 64 - 2 - 8$$



$$\frac{\lambda}{b}$$



$$\varphi \frac{H_z^a}{H_z^o} - 64 - 3 - 2$$

 $\frac{\lambda}{b}$

$$\left| \frac{H_z^a}{H_z^0} \right| - 64 - 3 - 4$$

5

2

8

4

 10^{-1}

5

2

2

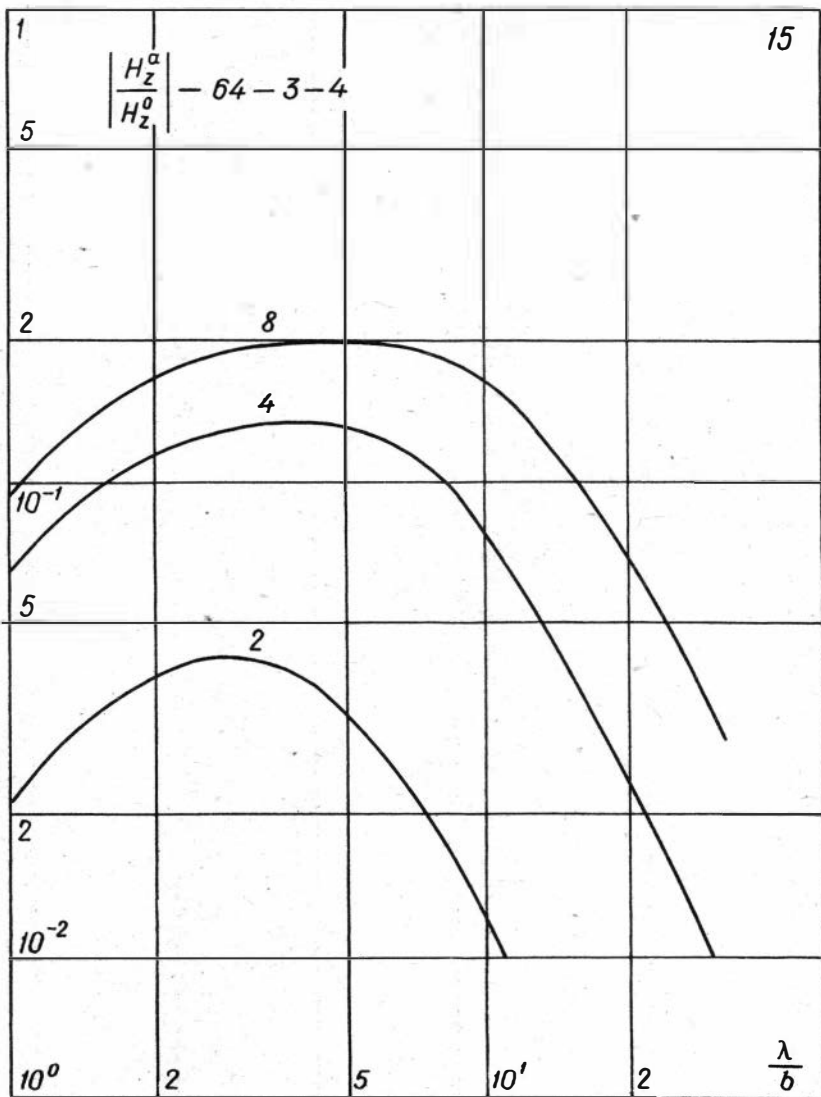
 10^{-2} 10^0

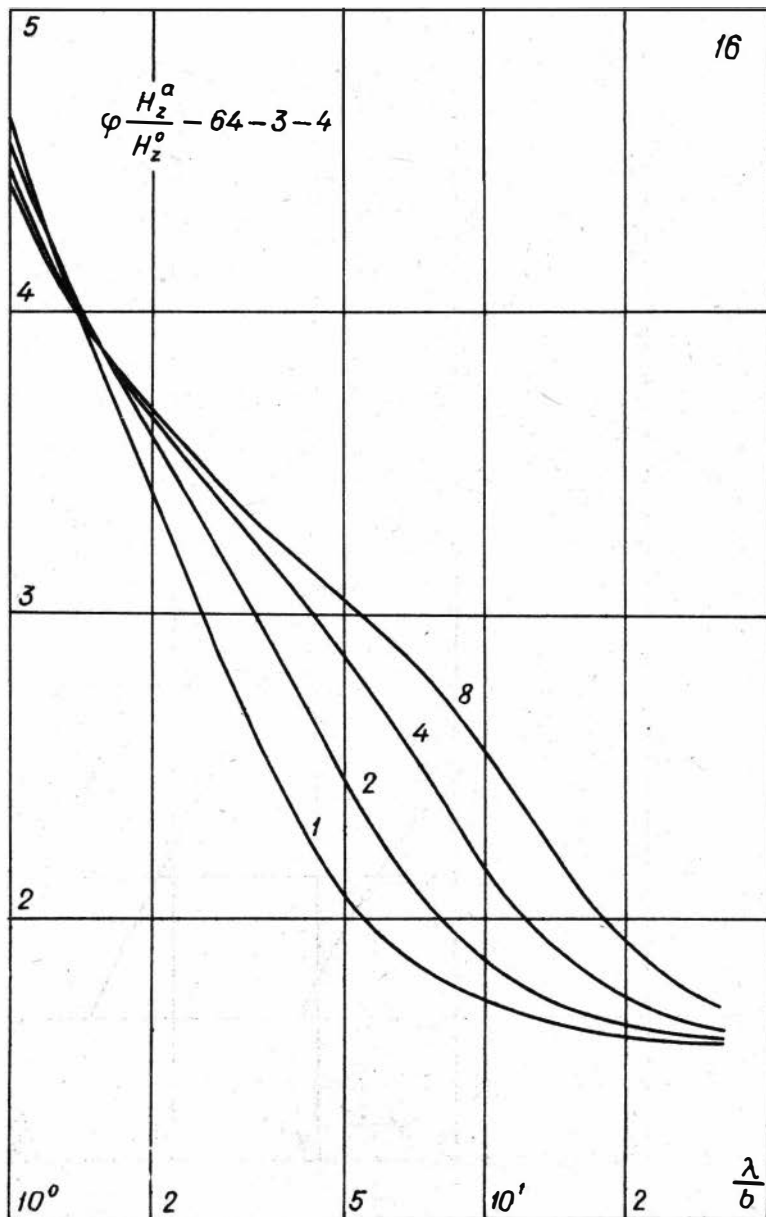
2

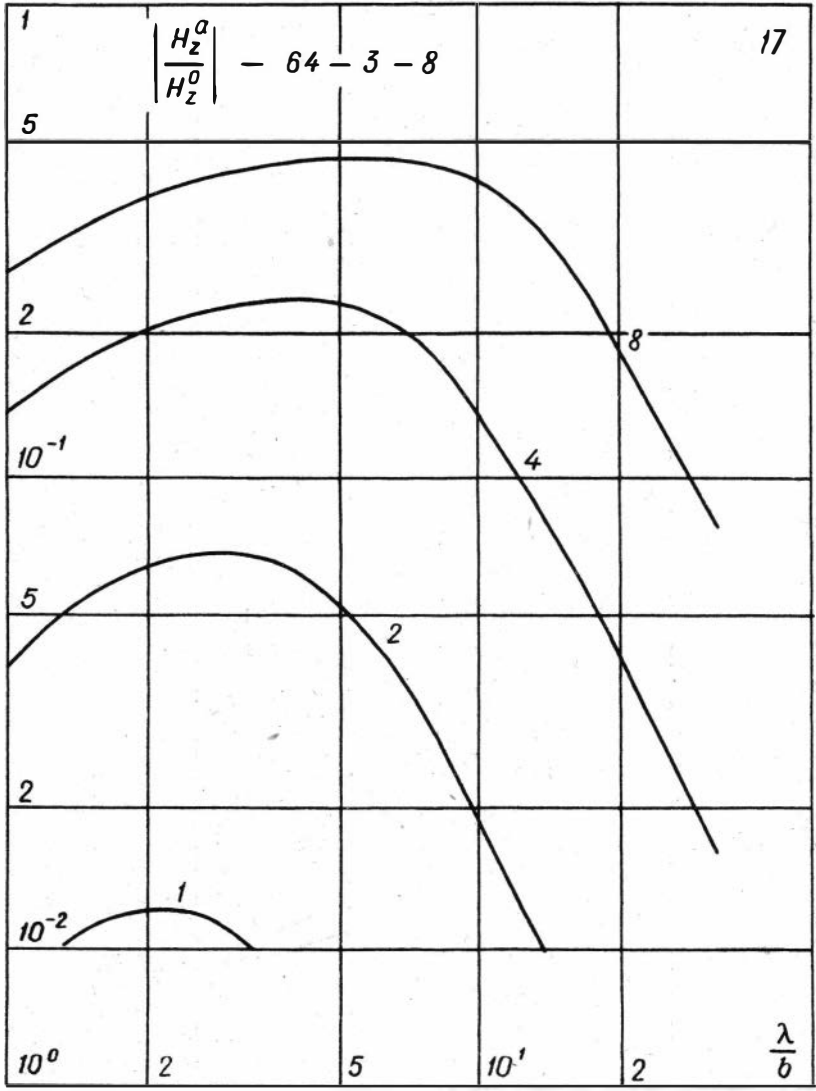
5

 10^1

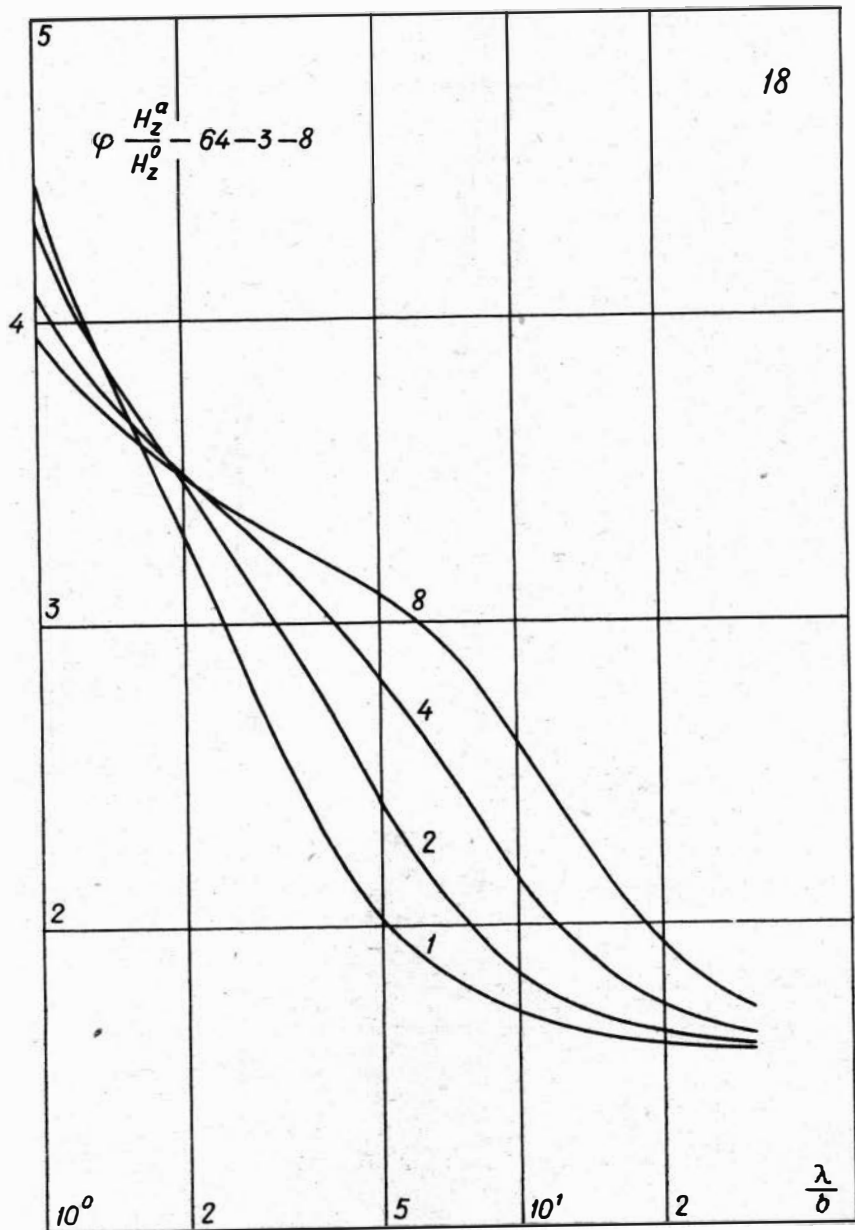
2

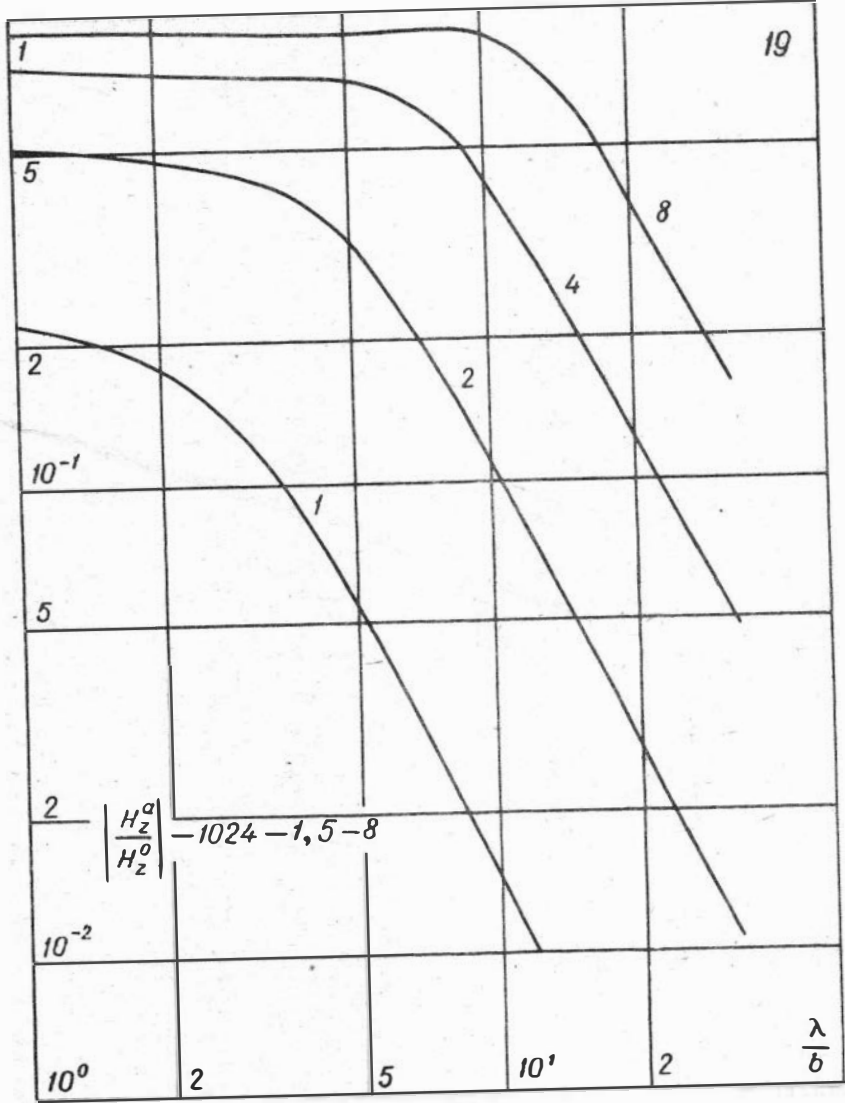
 $\frac{\lambda}{b}$ 



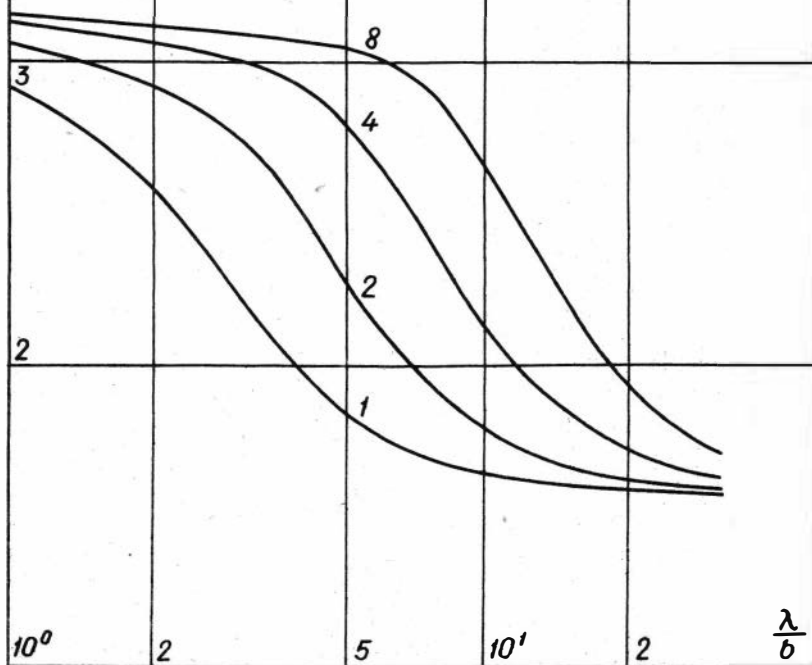


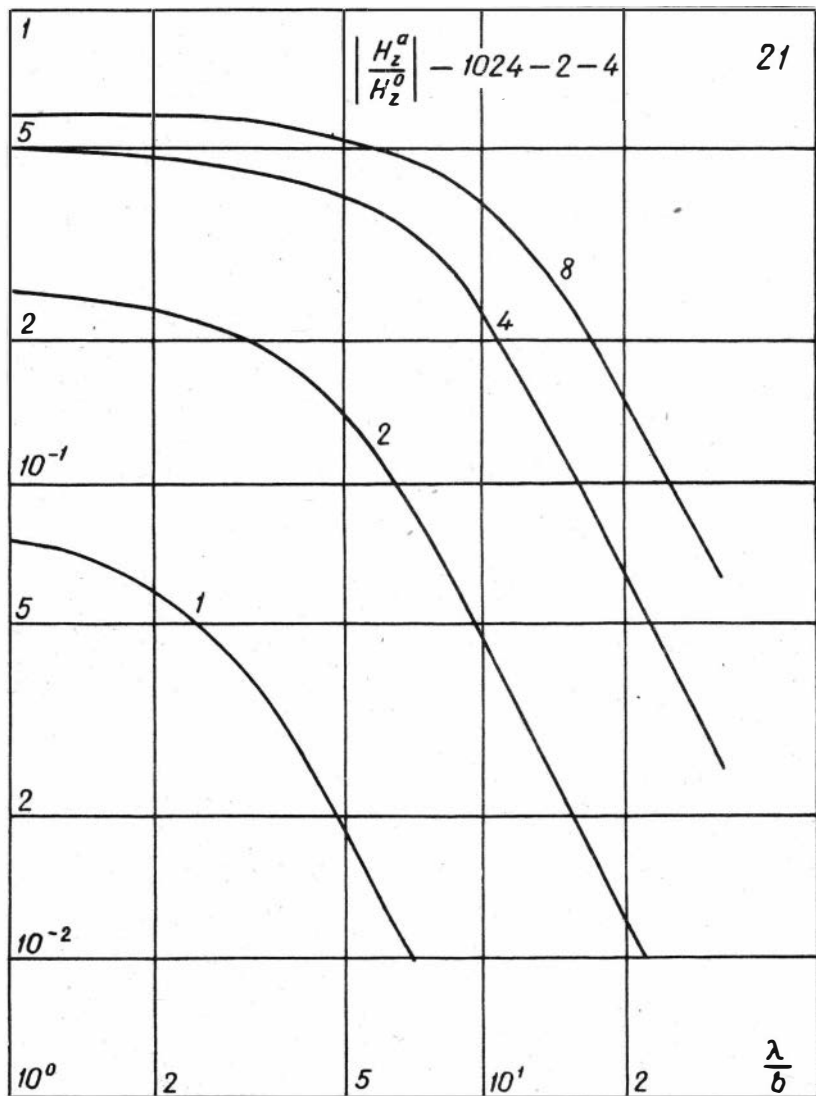
$$\varphi \frac{H_z^a}{H_z^0} - 64-3-8$$



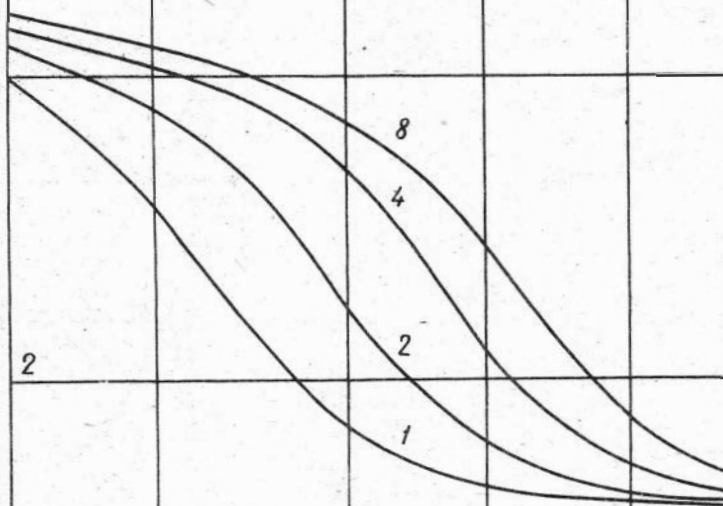


$$\varphi \frac{H_z^a}{H_z^0} - 1024 - 1,5 - 8$$





$$\varphi \frac{H_z^a}{H_z^0} - 1024 - 2 - 4$$

10⁰

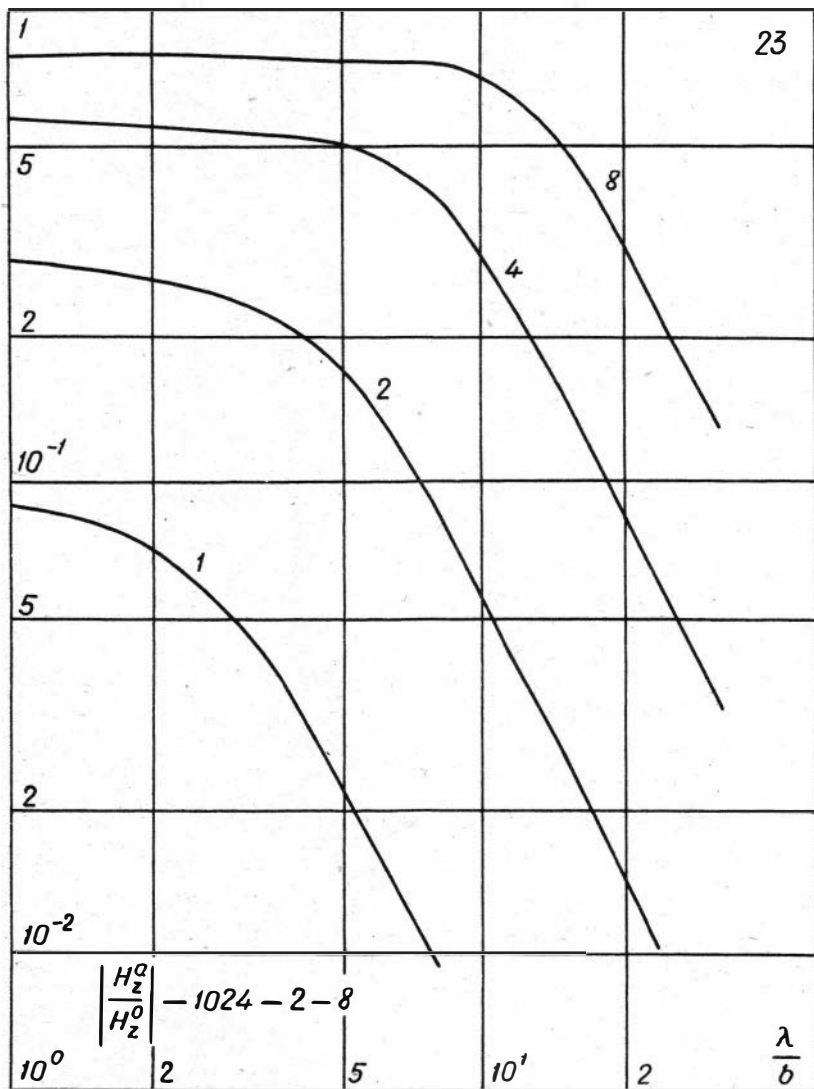
2

5

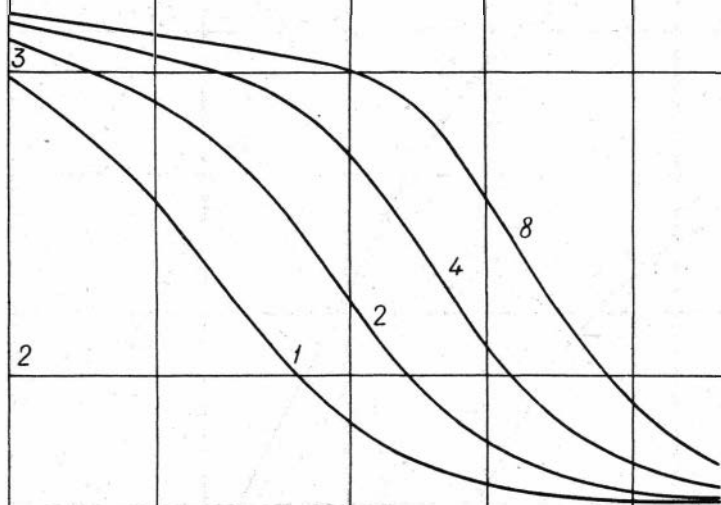
10¹

2

 $\frac{\lambda}{b}$



$$\varphi \frac{H_z^a}{H_z^0} - 1024 - 2 - 8$$

 10^0

2

5

 10^1

2

 $\frac{\lambda}{b}$

$$\left| \frac{H_z^a}{H_z^0} \right| - 1024 - 3 - 2$$

 10^{-1}

8

5

4

2

2

 10^{-2}
 10^0

2

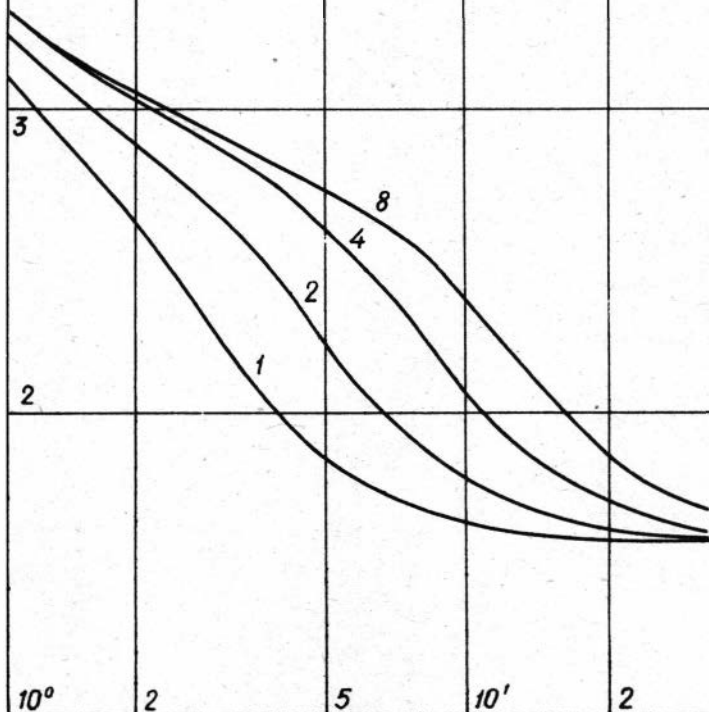
5

 10^1

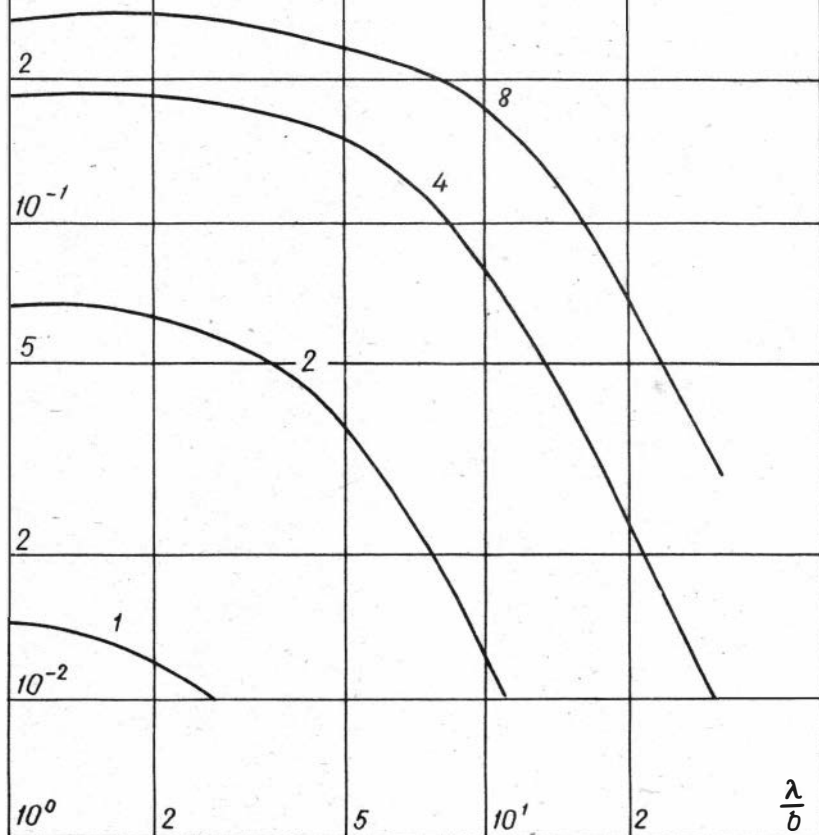
2

 $\frac{\lambda}{b}$

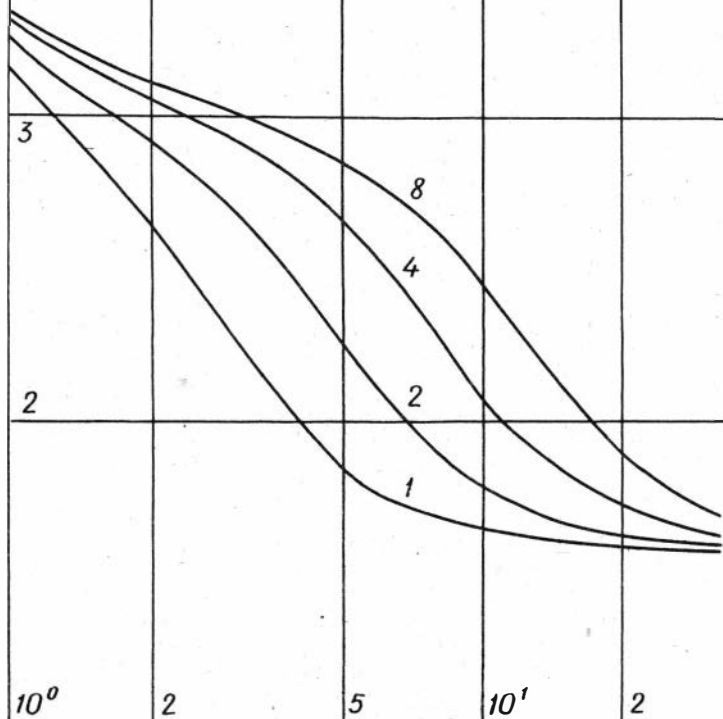
$$\varphi \frac{H_z^a}{H_z^0} - 1024 - 3 - 2$$



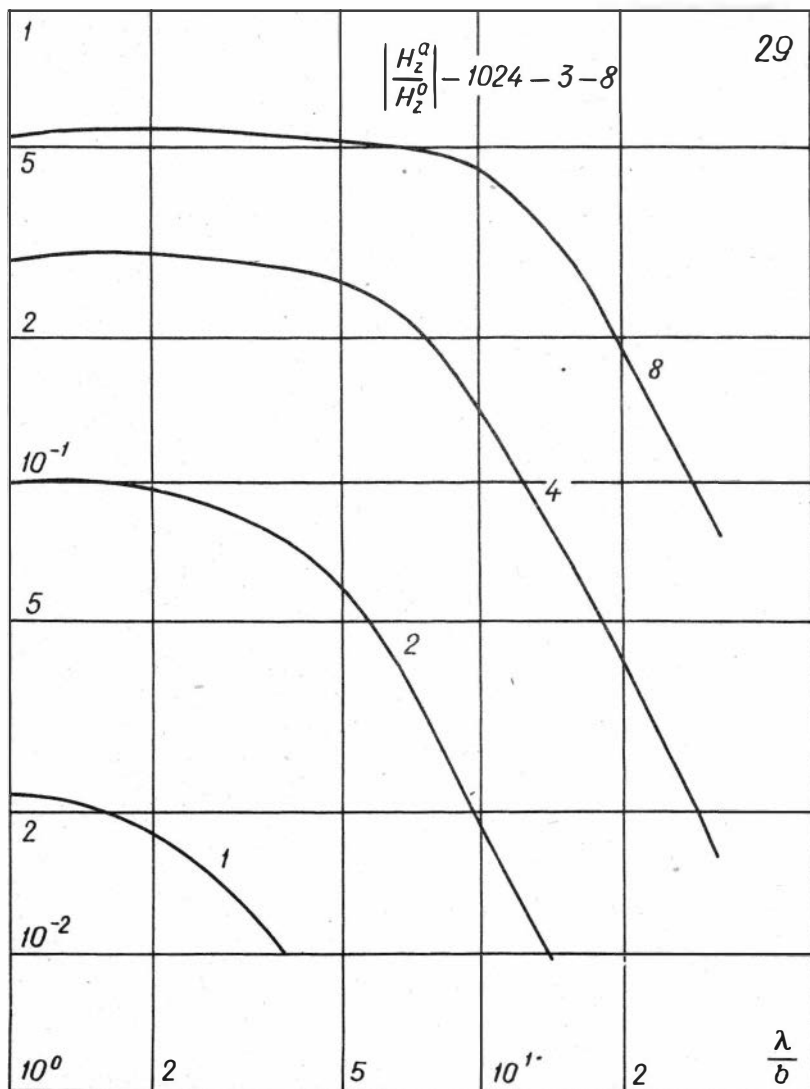
$$\left| \frac{H_z^a}{H_z^o} \right| - 1024 - 3 - 4$$



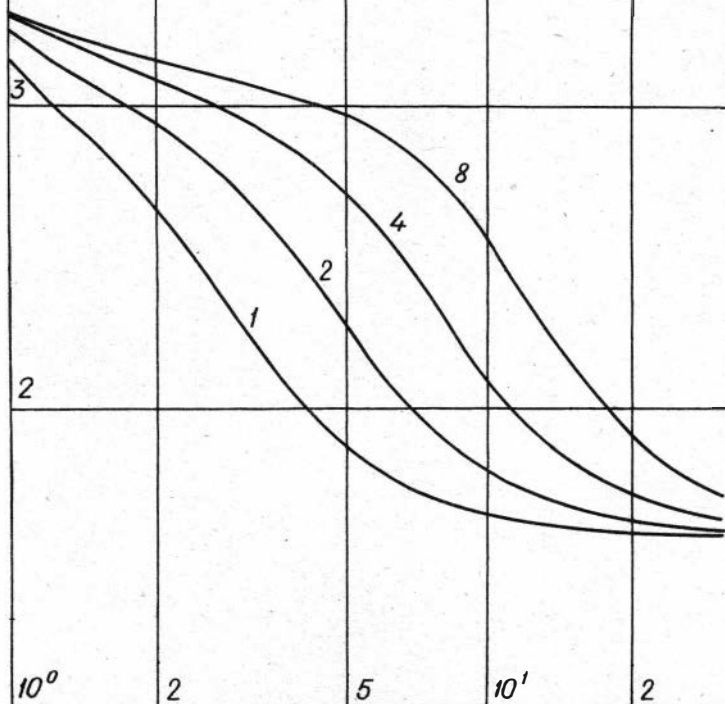
$$\varphi \frac{H_z^a}{H_z^0} - 1024 - 3 - 4$$

 $\frac{\lambda}{b}$

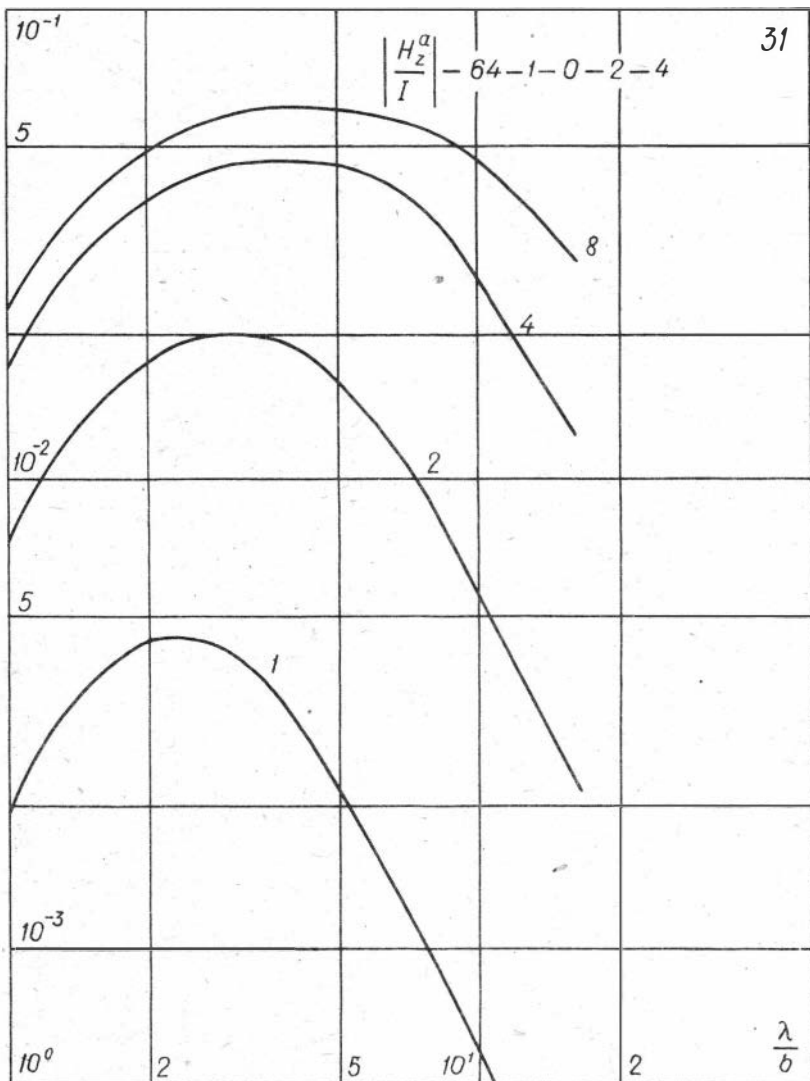
$$\left| \frac{H_z^a}{H_z^0} \right| - 1024 - 3 - 8$$



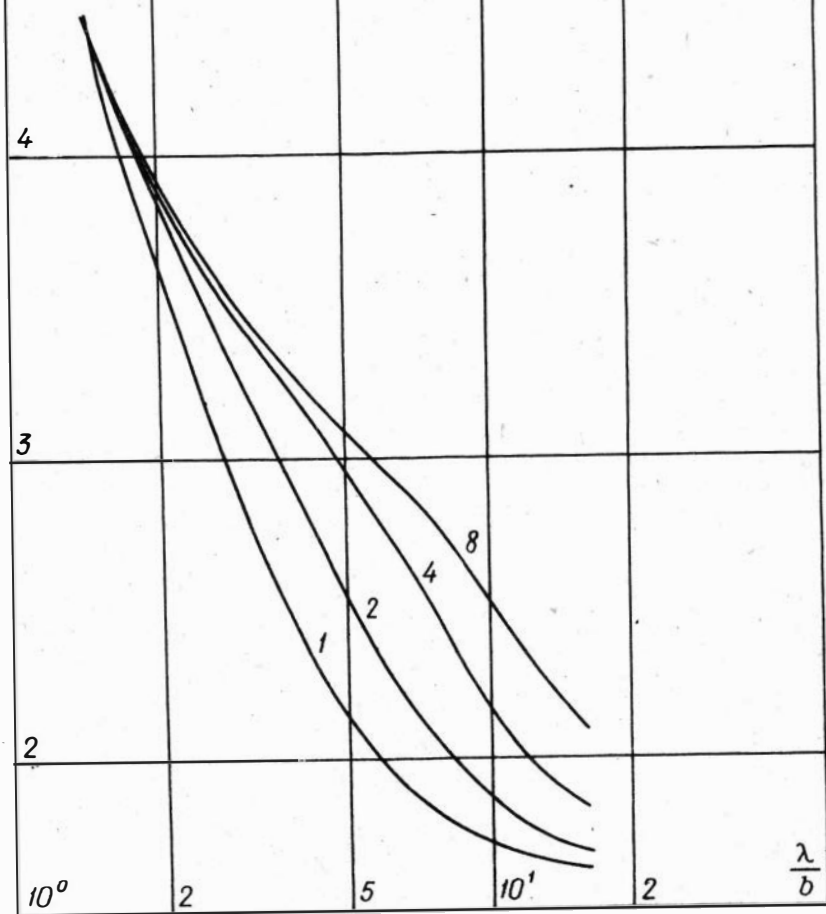
$$\varphi \frac{H_2^a}{H_2^0} - 1024 - 3 - 8$$



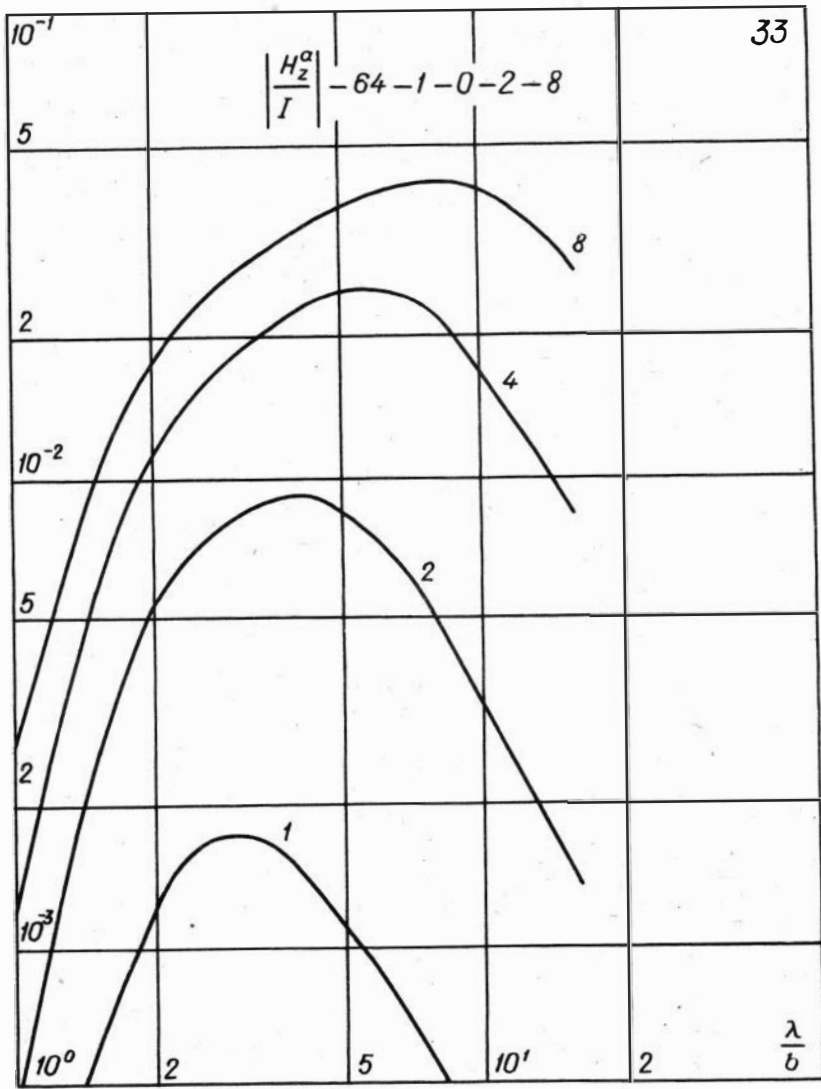
$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 64 - 1 - 0 - 2 - 4$$



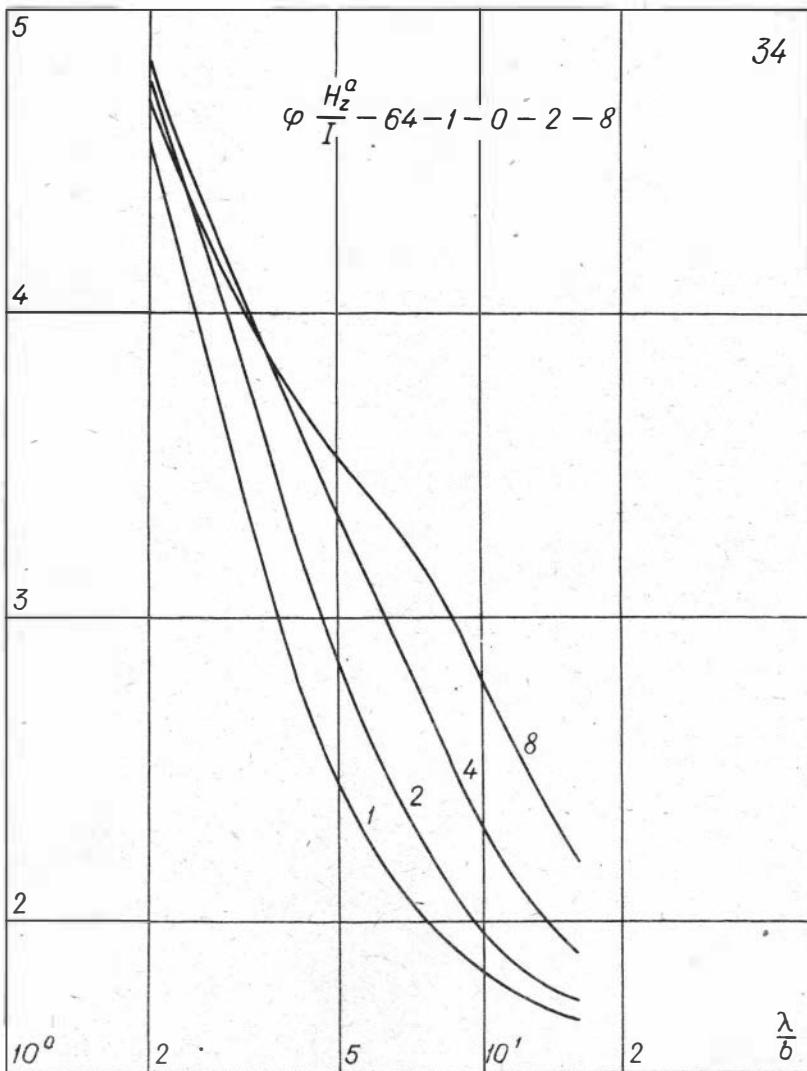
$$\varphi \frac{H^a}{I} - 64-1-0-2-4$$



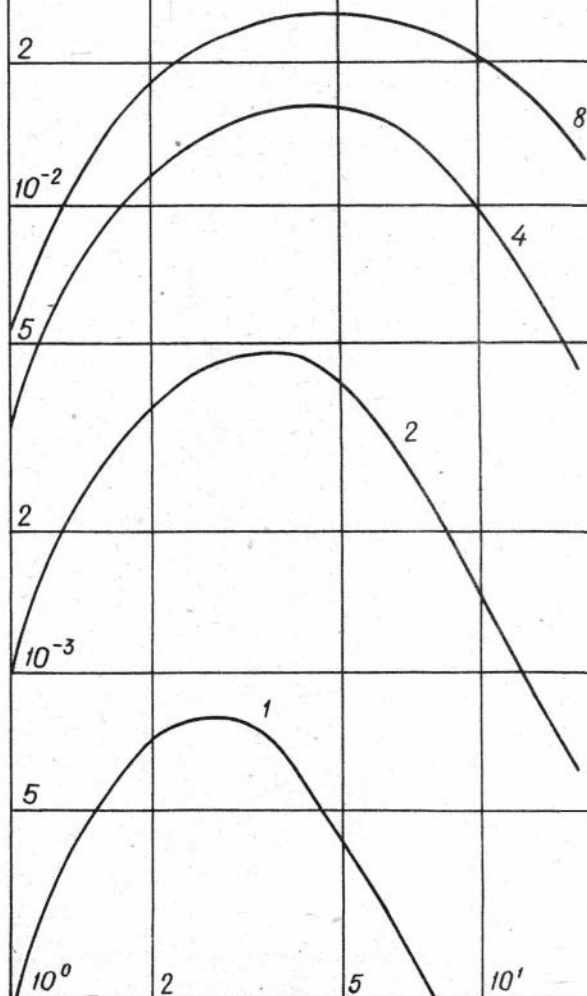
$$\left| \frac{H_z^{\alpha}}{I} \right| - 64 - 1 - 0 - 2 - 8$$



$$\varphi \frac{H_z^a}{I} - 64 - 1 - 0 - 2 - 8$$



$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| -64-1-0-3-4$$



$$\varphi \frac{H_z^a}{I} - 64 - 1 - 0 - 3 - 4$$

4

3

2

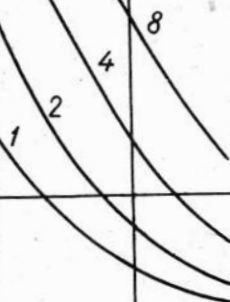
 10^0

2

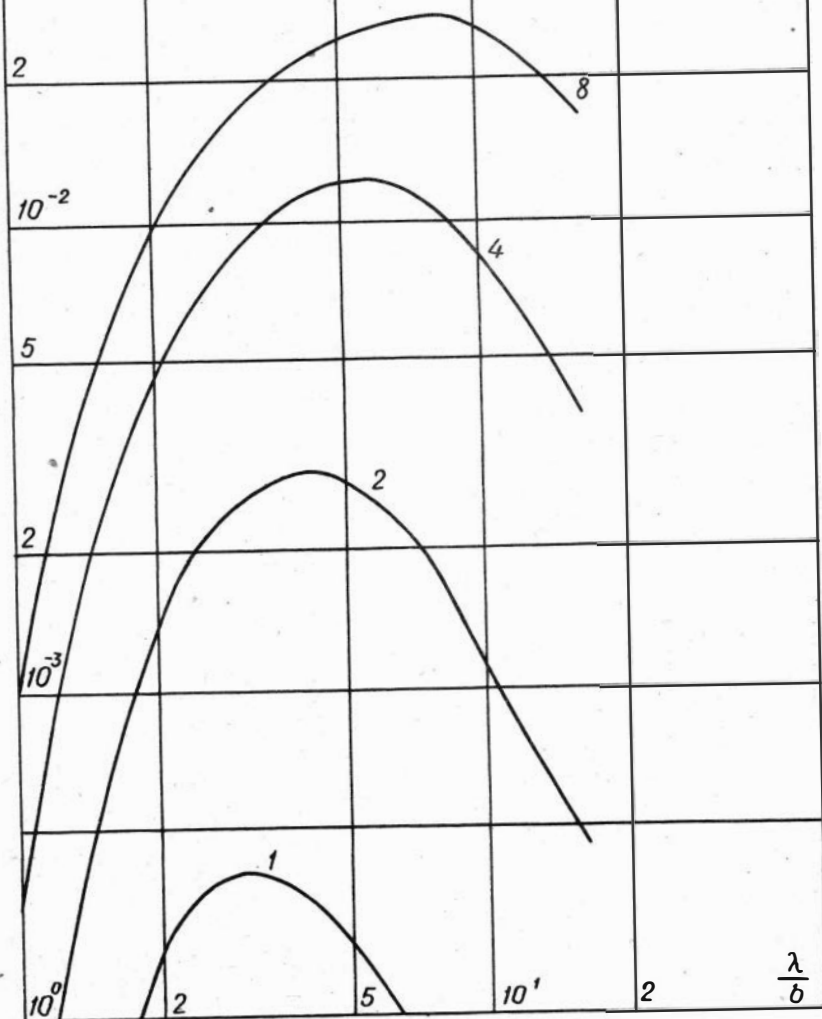
5

 10^1

2

 $\frac{\lambda}{b}$ 

$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 64 - 1 - 0 - 3 - 8$$



$$\varphi \frac{H_2^a}{I} - 64-1-0-3-8$$

4

3

2

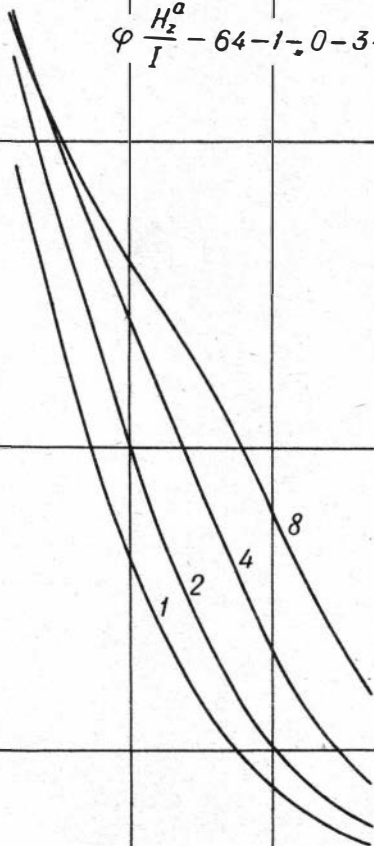
 10^0

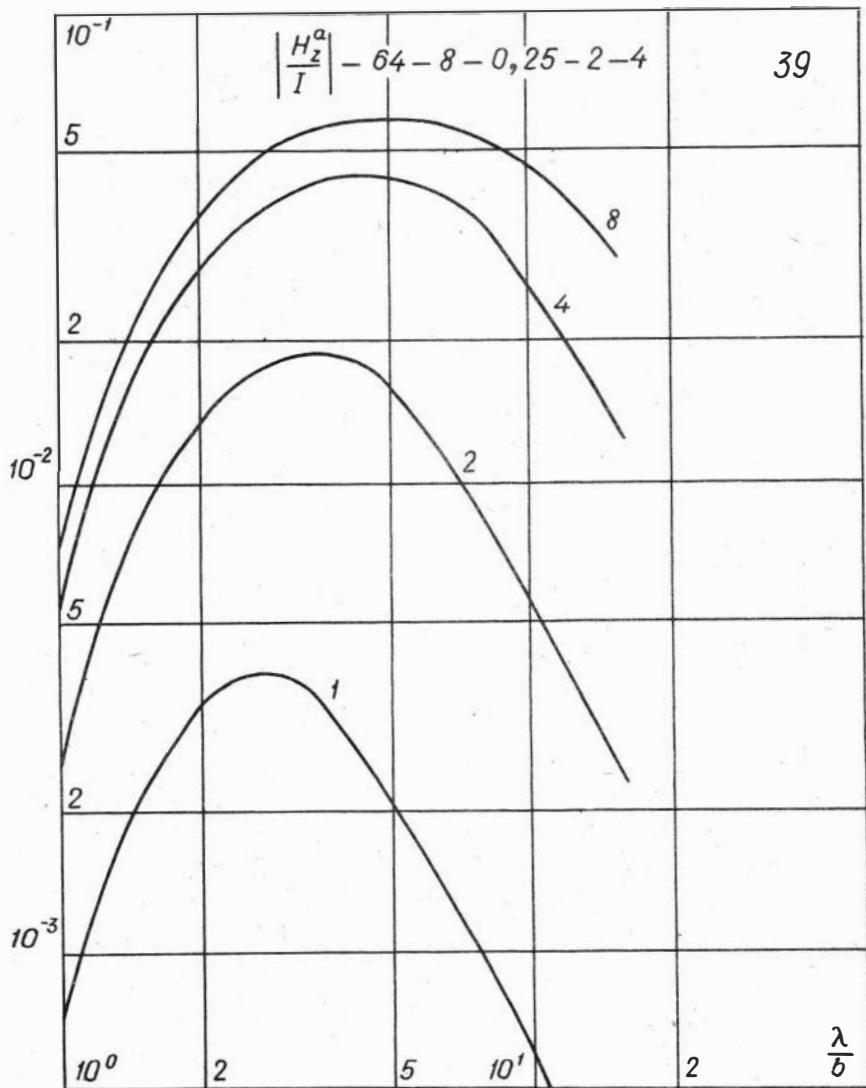
2

5

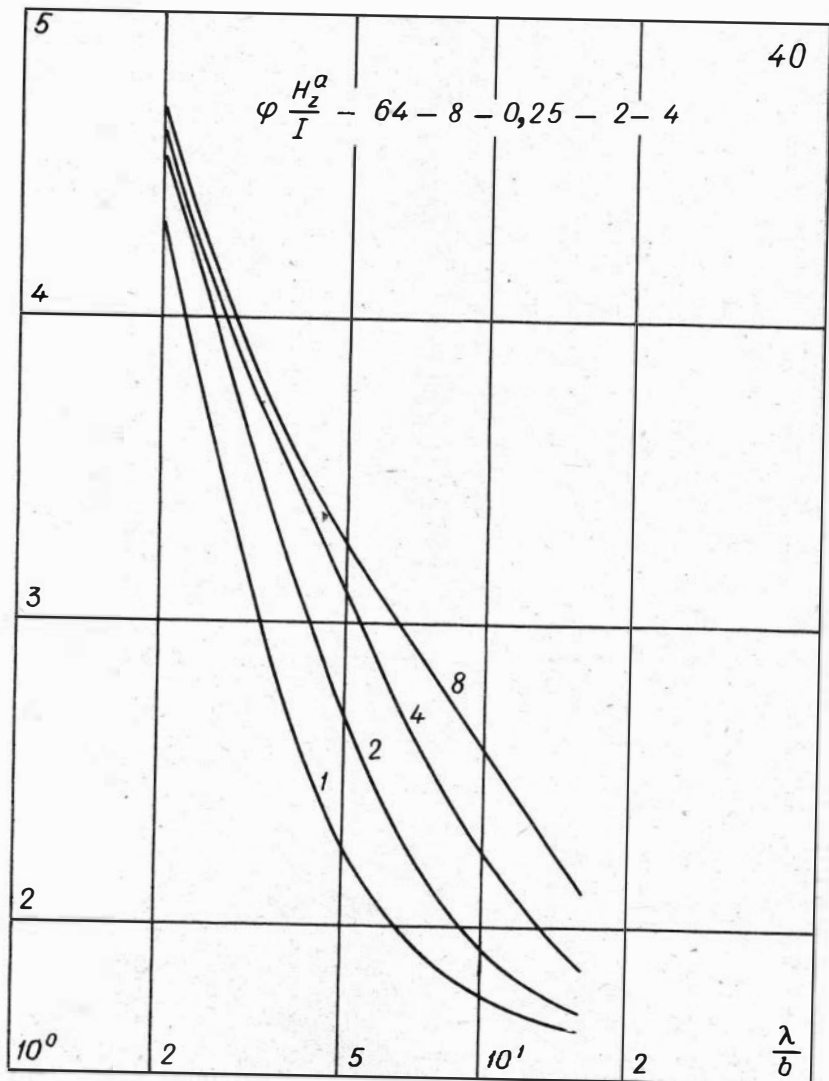
 10^1

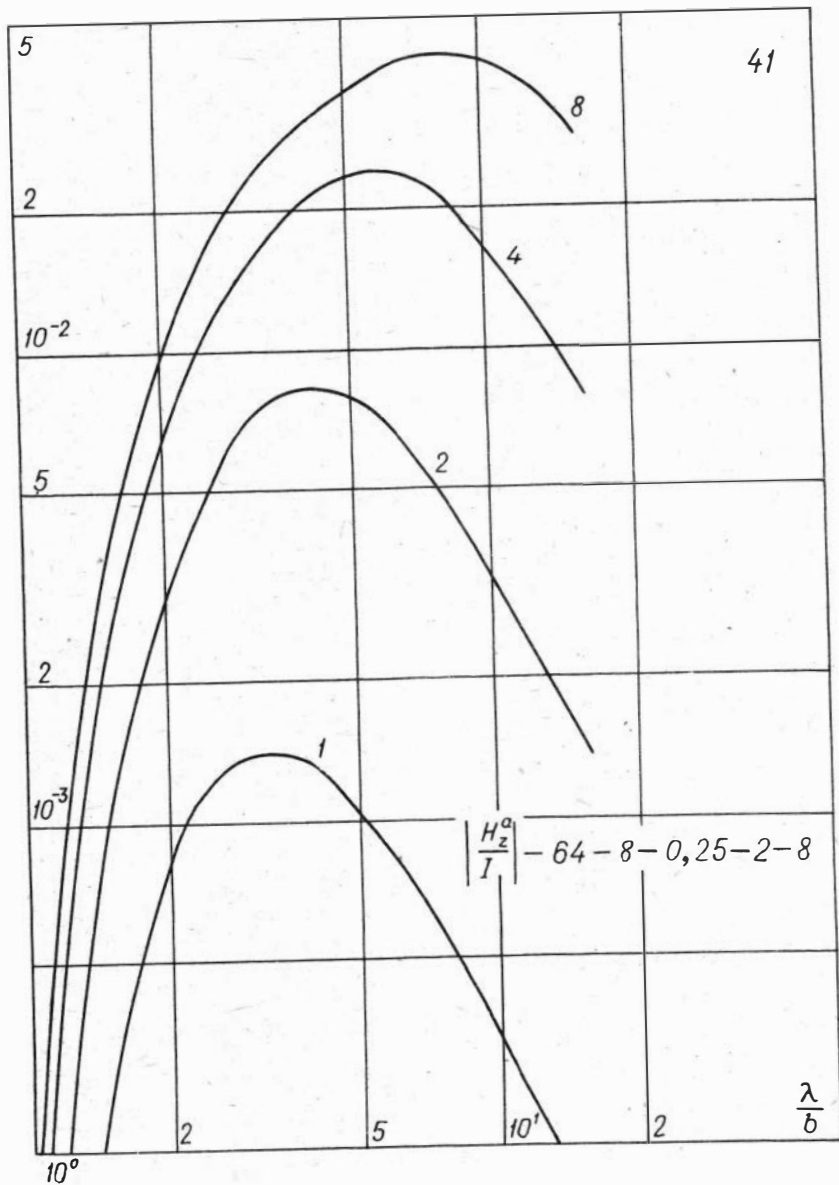
2

 $\frac{\lambda}{b}$ 

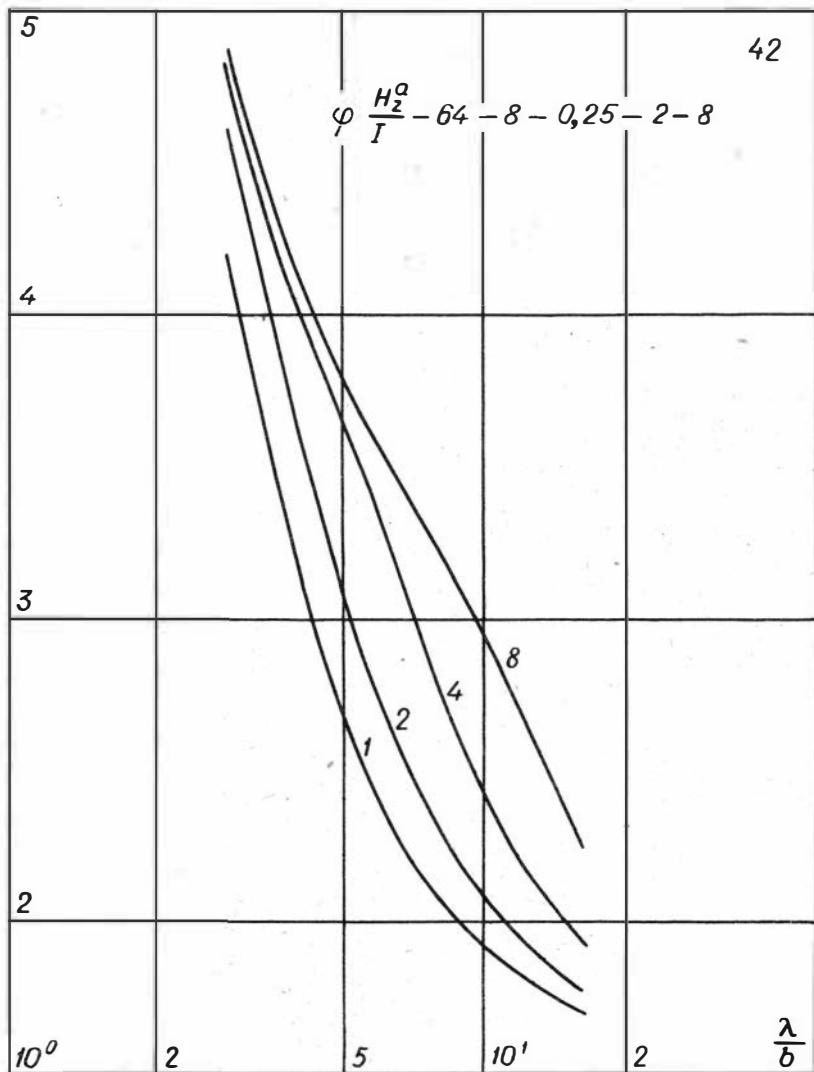


$$\varphi \frac{H_z^2}{I} - 64 - 8 - 0,25 - 2 - 4$$





$$\varphi \frac{H_2^a}{I} - 64 - 8 - 0,25 - 2 - 8$$


 $\frac{\lambda}{b}$

5

$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 64 - 8 - 0,25 - 3 - 4$$

43

2

 10^{-2}

8

4

5

2

 10^{-3}

1

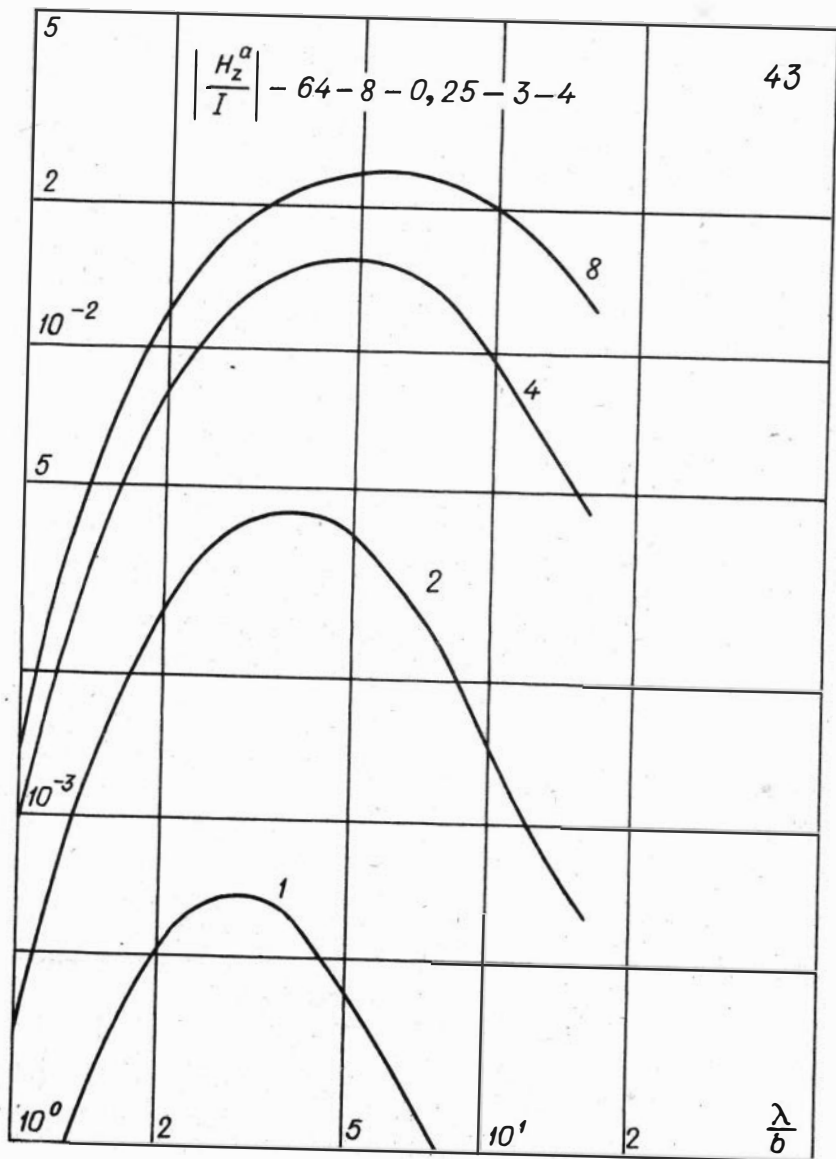
 10^0

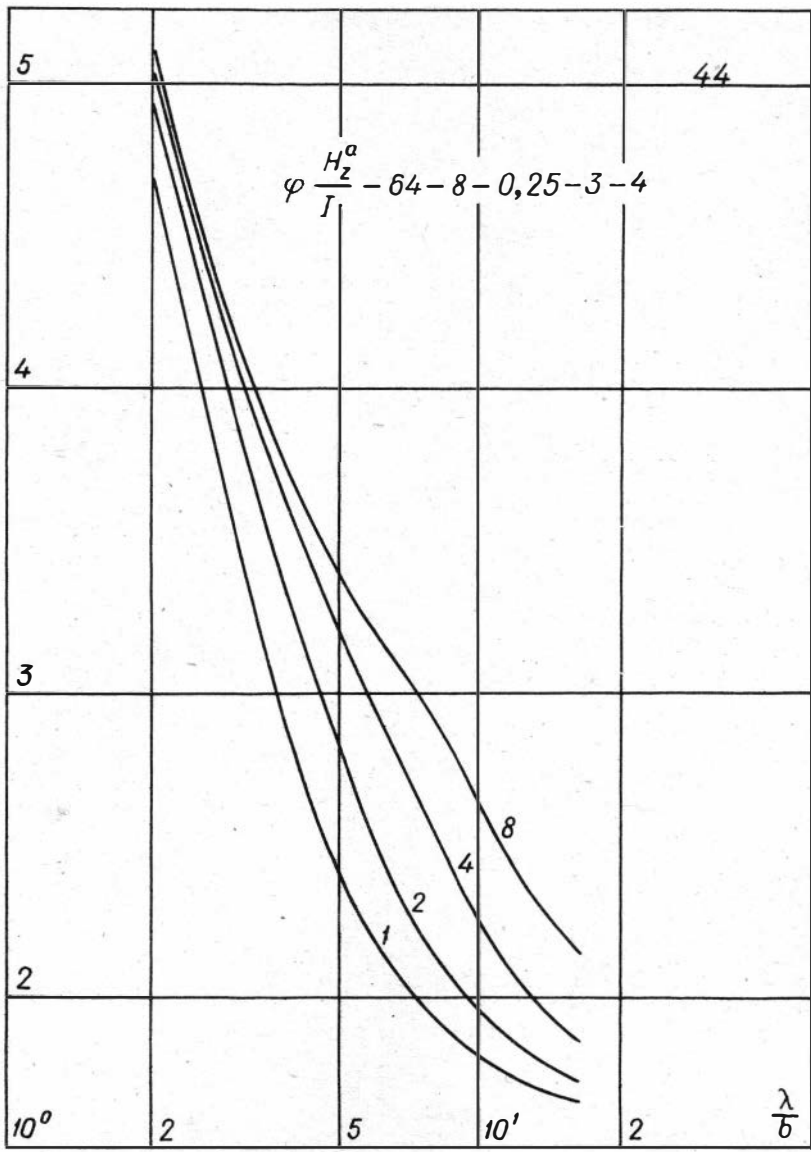
2

5

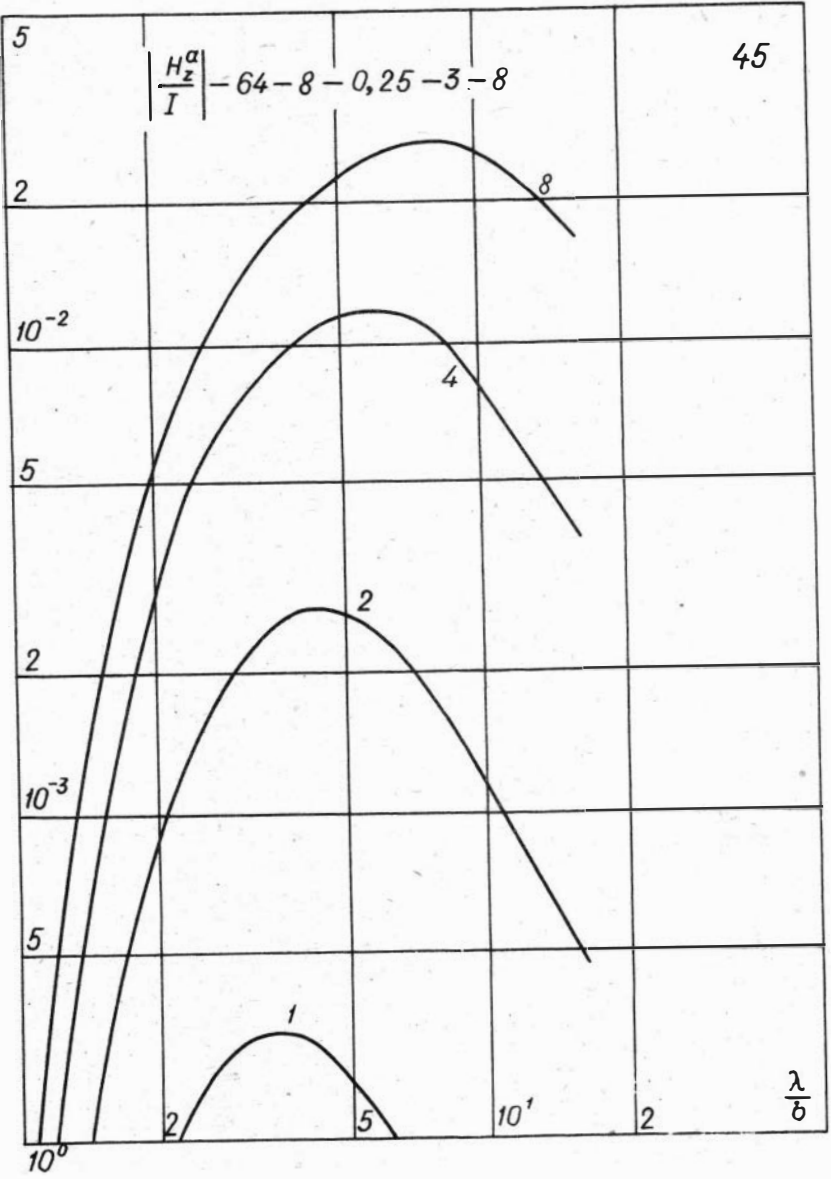
 10^1

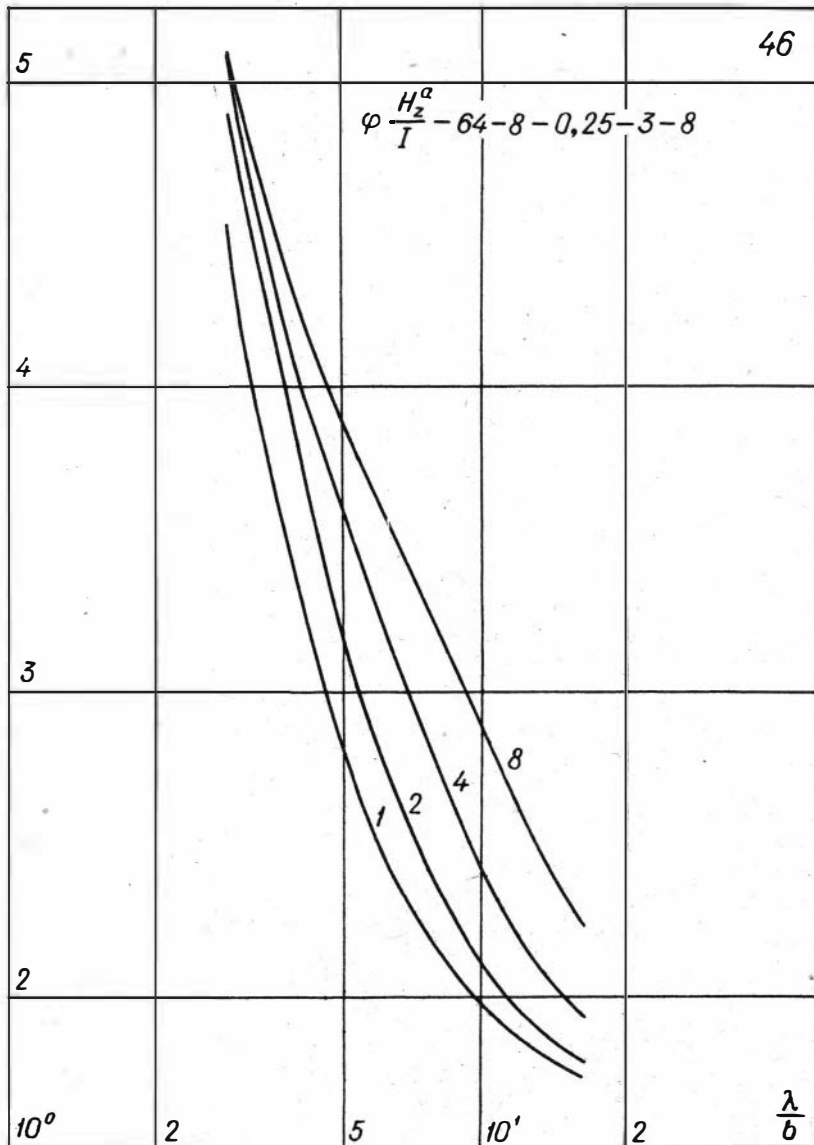
2

 $\frac{\lambda}{b}$ 

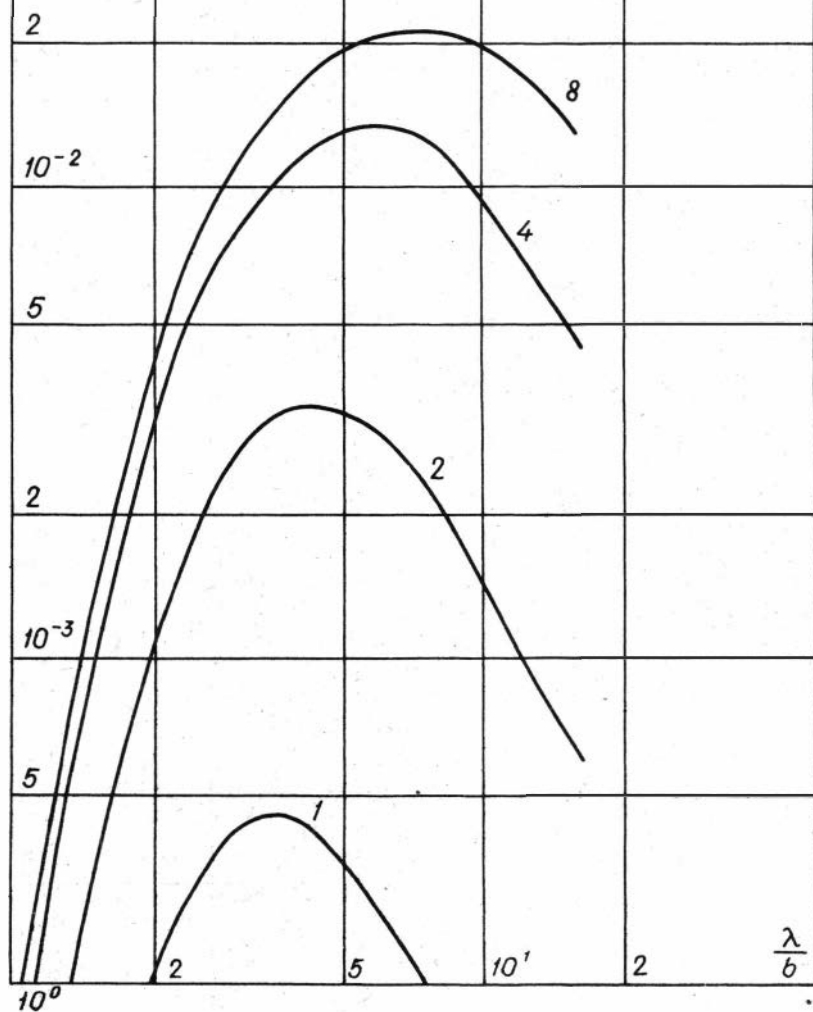


$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 64 - 8 - 0,25 - 3 - 8$$





$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 64 - 8 - 1 - 3 - 4$$



5

4

3

2

 10^0

2

5

 10^1

2

 $\frac{\lambda}{b}$

$$\varphi \frac{H_2^a}{I} - 64-8-1-3-4$$



$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 64-8-1-3-8$$

2

 10^{-2}

5

2

 10^{-3}

5

 10^0

2

1

5

 10^1

2

 $\frac{\lambda}{b}$

8

4

2

5

$$\varphi \frac{H_2^a}{I} - 64 - 8 - 1 - 3 - 8$$

4

3

2

 10^0

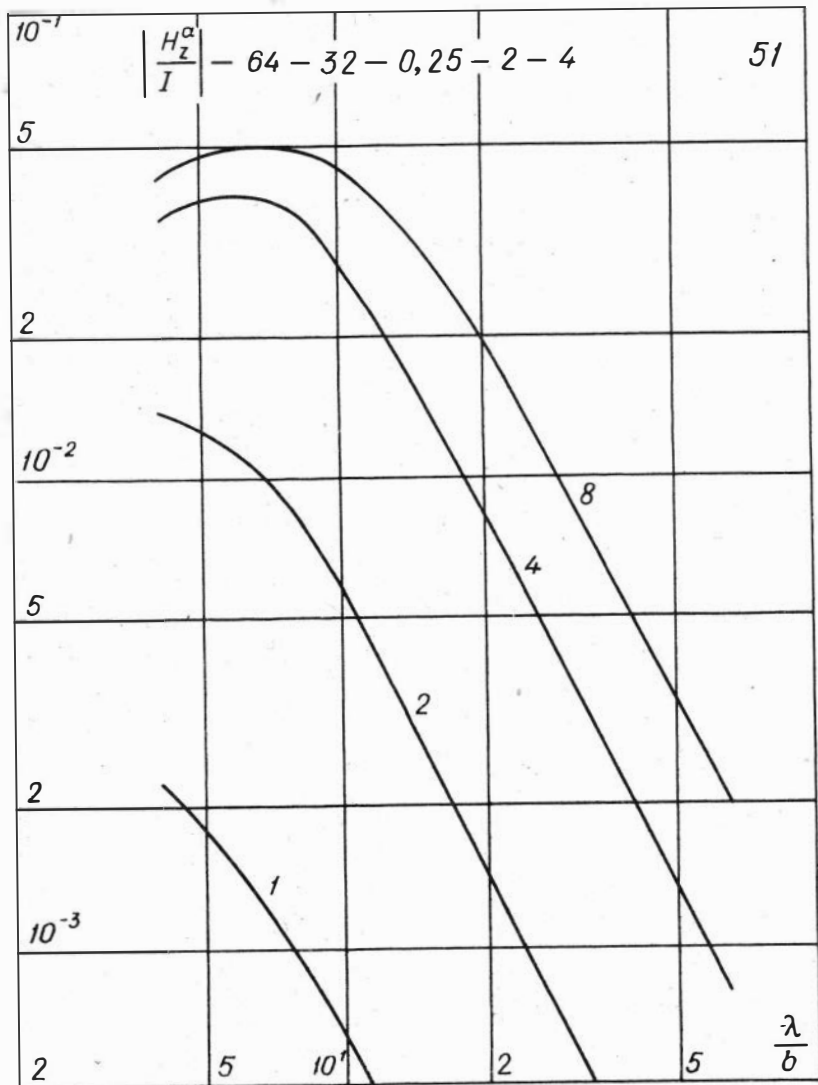
2

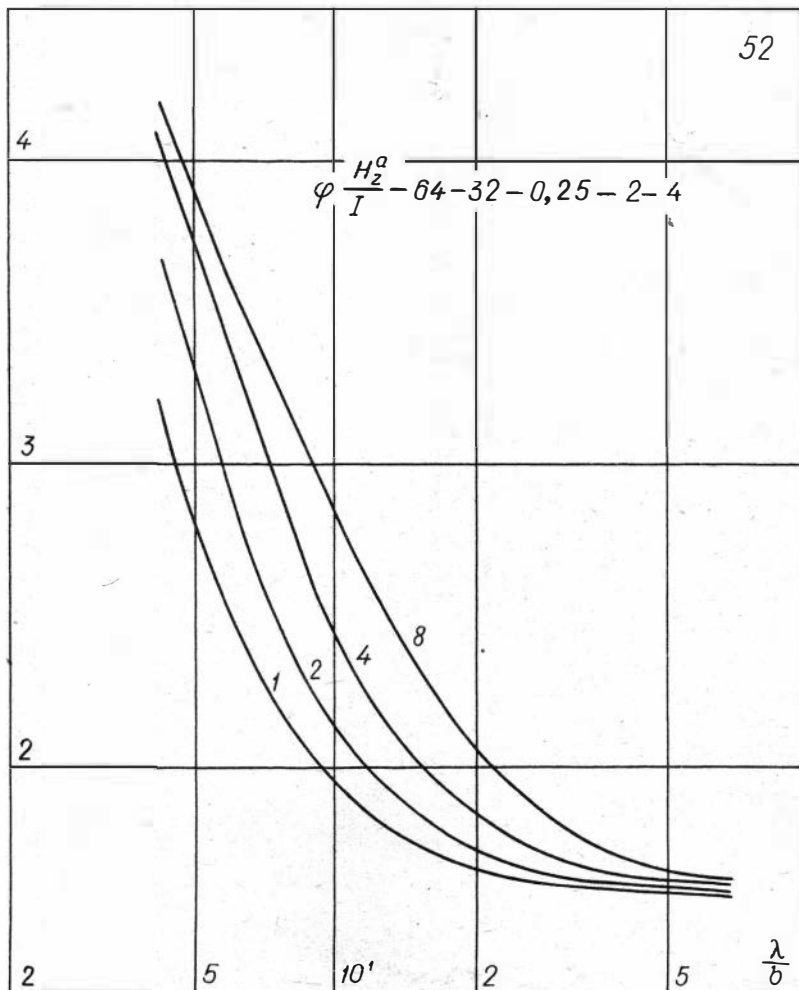
5

 10^1

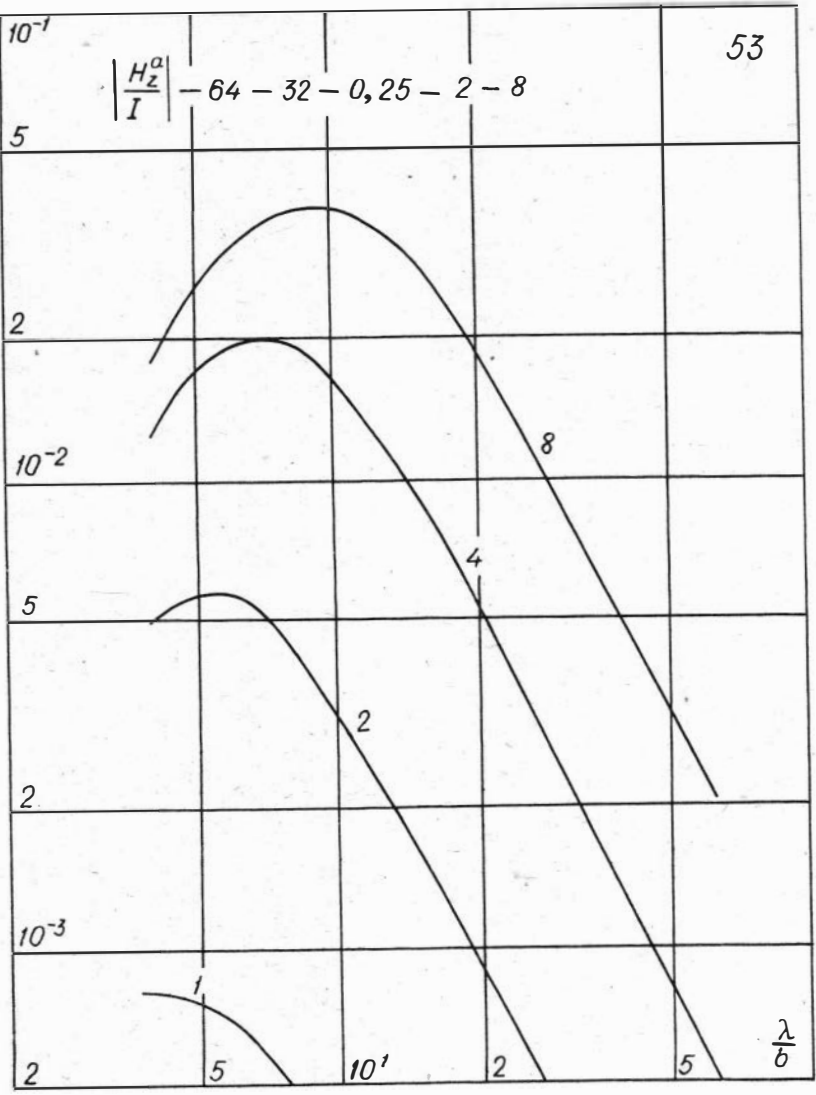
2

 $\frac{\lambda}{b}$ 

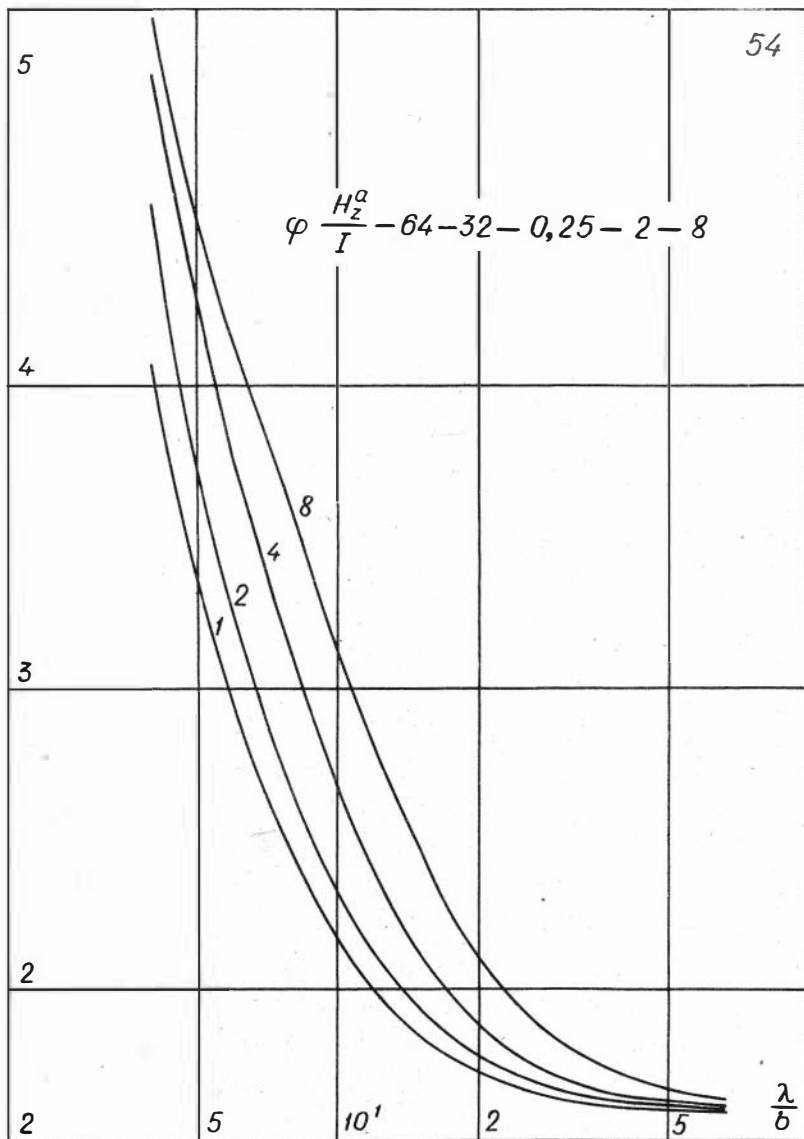




$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 64 - 32 - 0,25 - 2 - 8$$



$$\varphi \frac{H_z^a}{I} - 64 - 32 - 0,25 - 2 - 8$$



$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 64 - 32 - 0,25 - 3 - 4$$

2

 10^{-3}

5

2

 10^{-2}

5

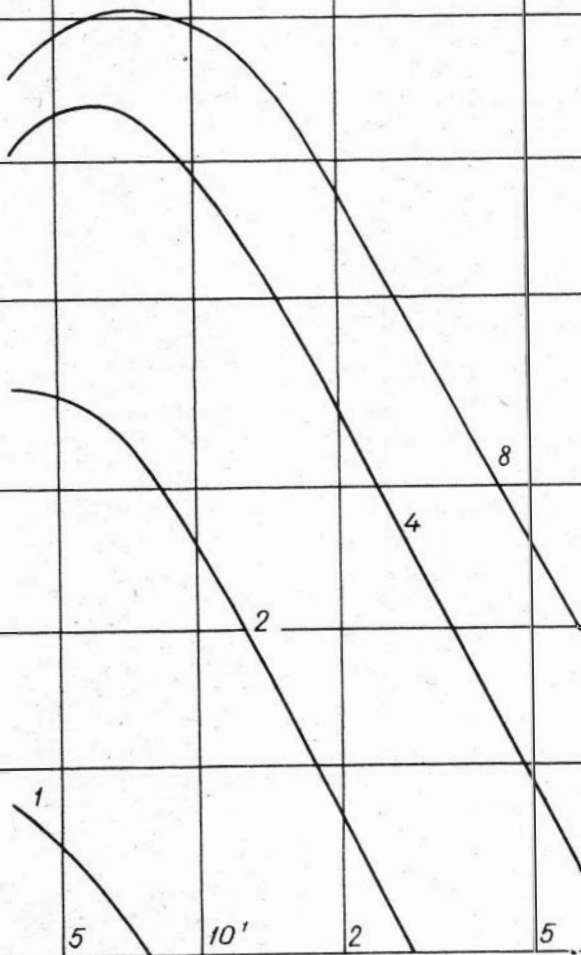
2

5

 10^1

2

5

 $\frac{\lambda}{b}$ 

5

56

$$\varphi \frac{H_z^\alpha}{I} - 64 - 32 - 0,25 - 3 - 4$$

4

3

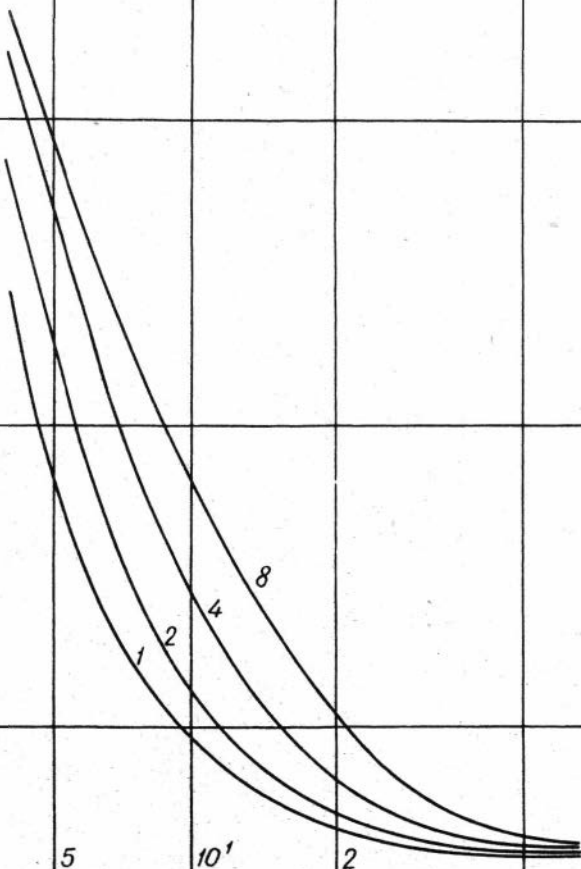
2

2

5

 10^1

2

 $\frac{\lambda}{b}$ 

$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 64 - 32 - 0,25 - 3 - 8$$

2

 10^{-2}

5

8

4

2

2

 10^{-3}

5

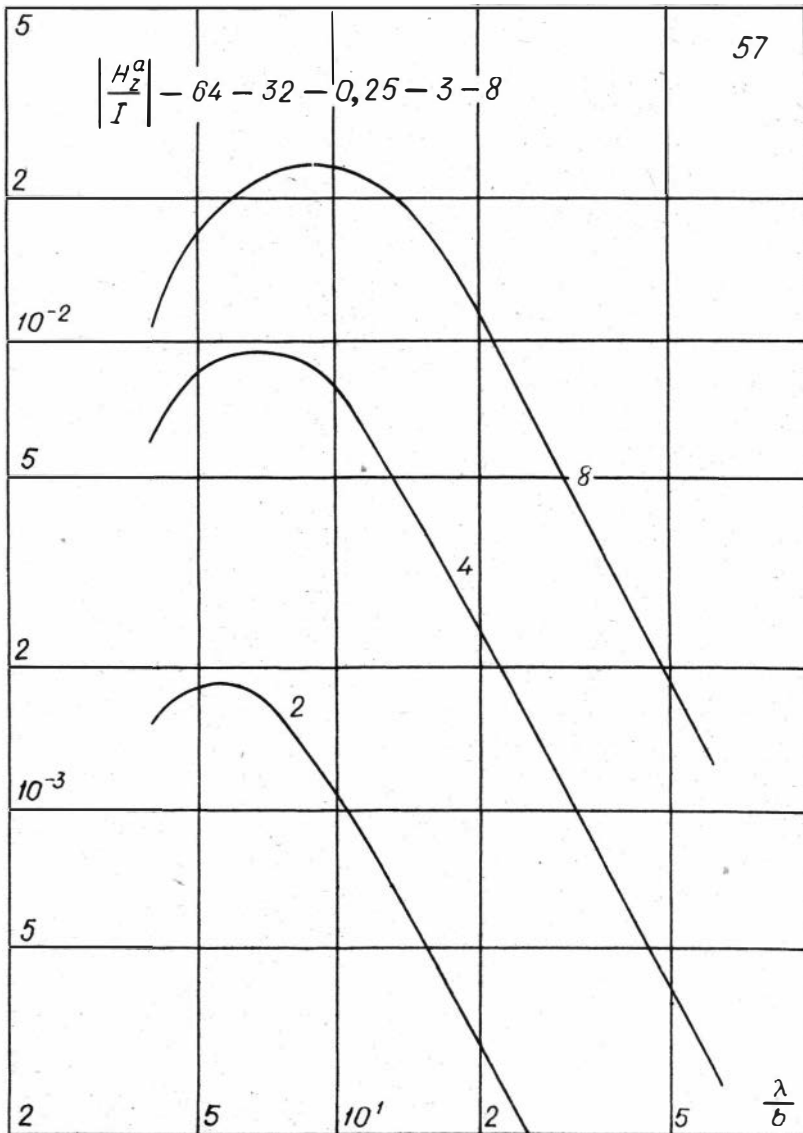
2

5

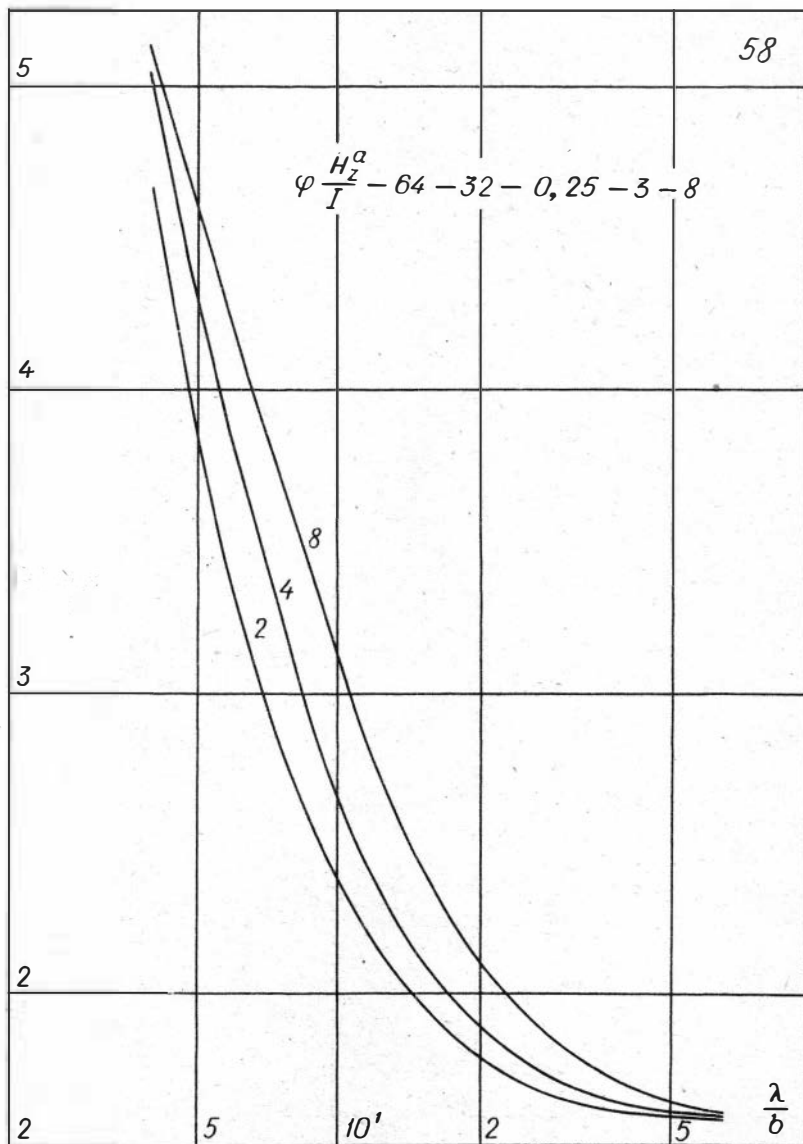
 10^1

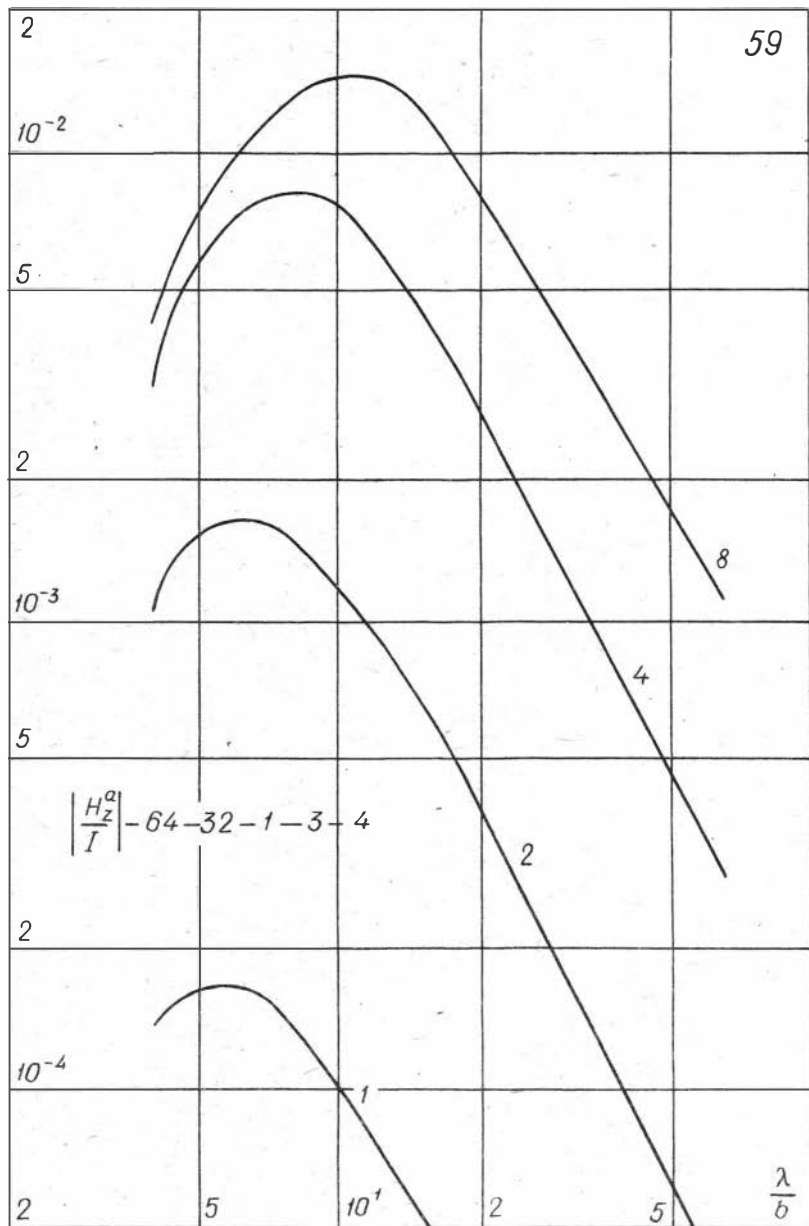
2

5

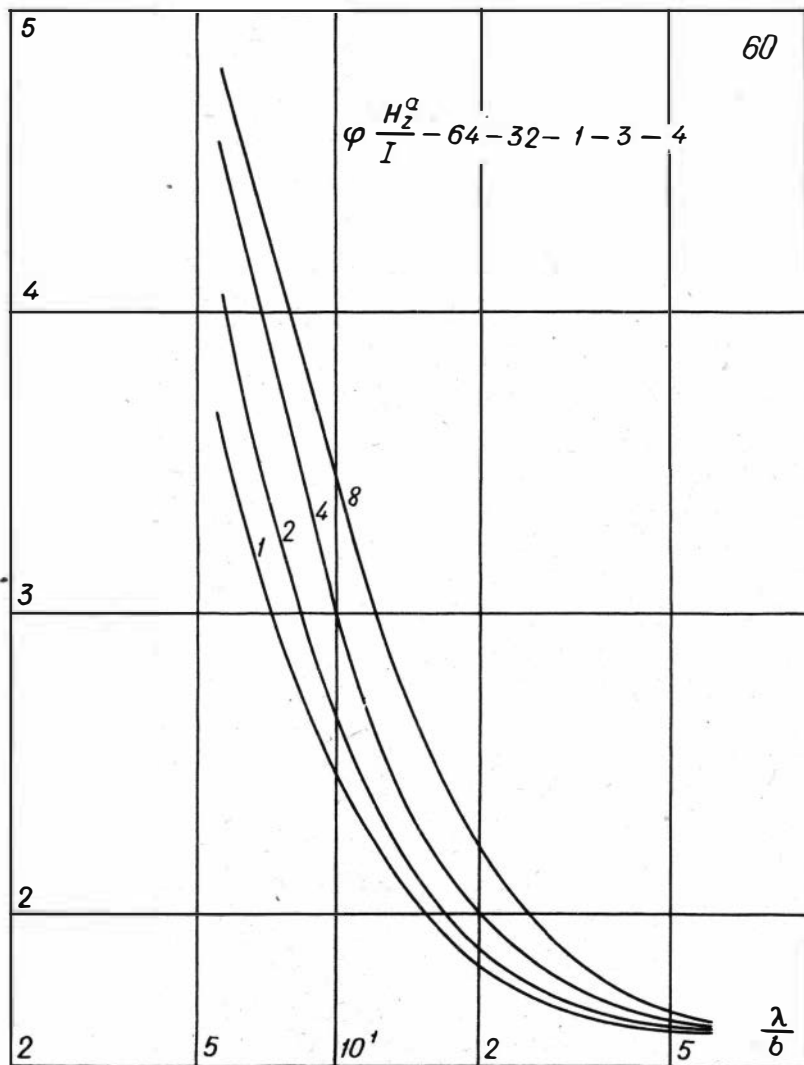
 $\frac{\lambda}{b}$ 

$$\varphi \frac{H_z^a}{I} - 64 - 32 - 0,25 - 3 - 8$$

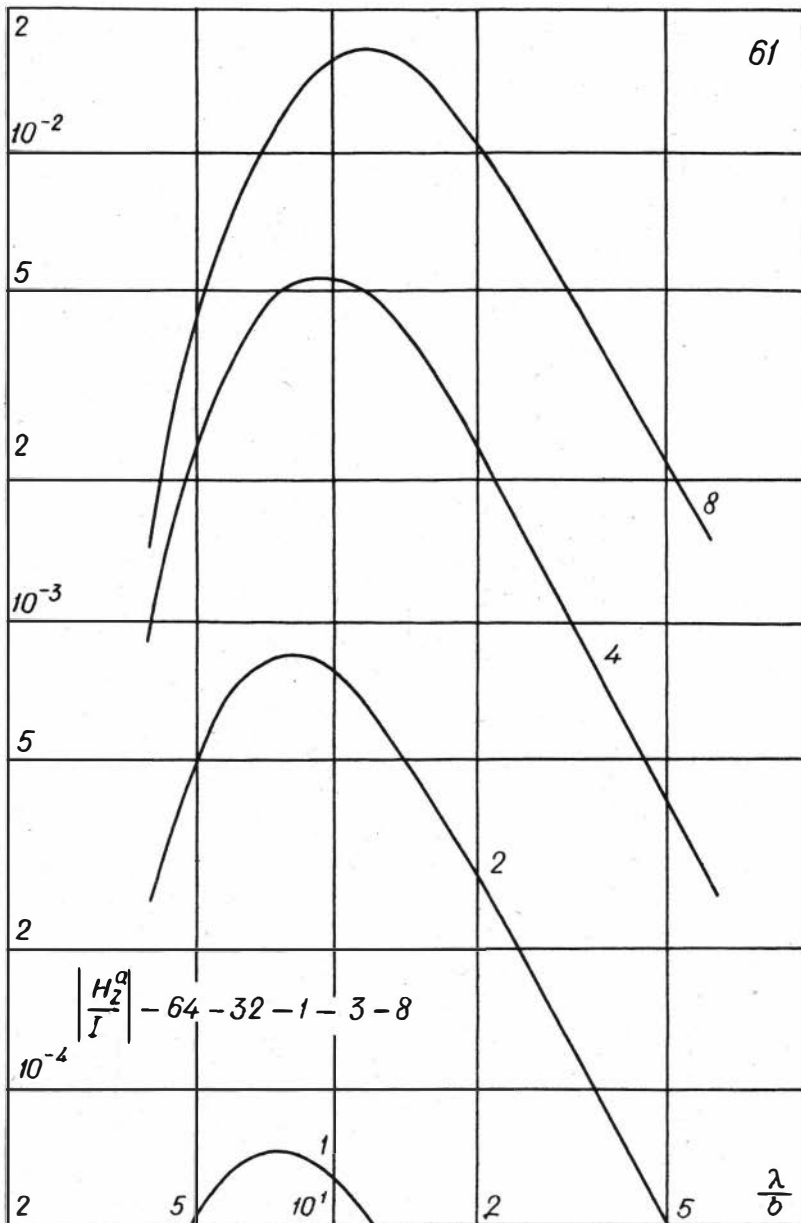


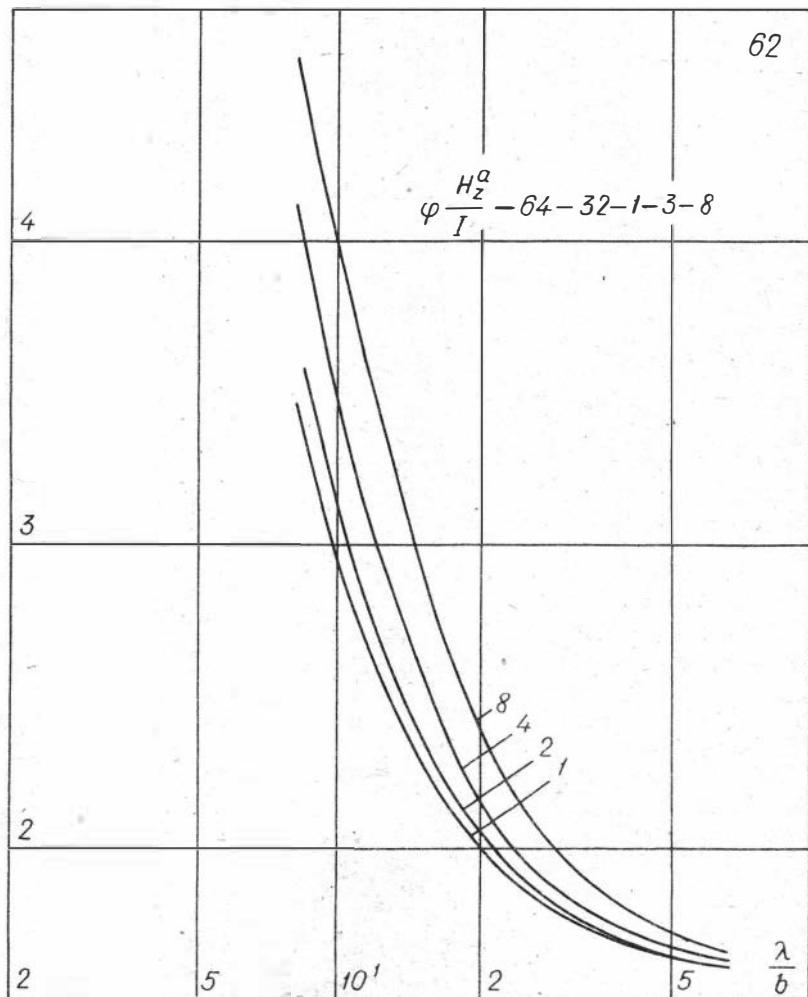


$$\varphi \frac{H_2^a}{I} - 64 - 32 - 1 - 3 - 4$$

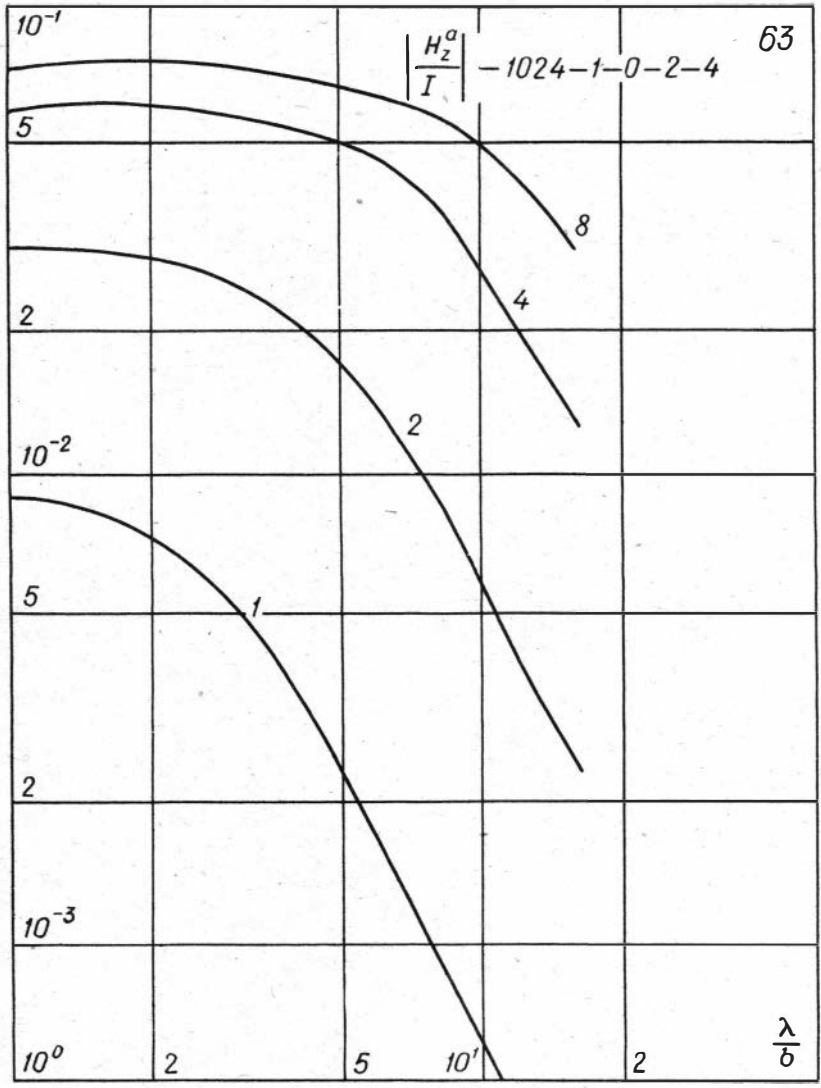


61





$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 1024-1-0-2-4$$



$$\varphi \frac{H_z^a}{I} - 1024 - 1 - 0 - 2 - 4$$

4

3

2

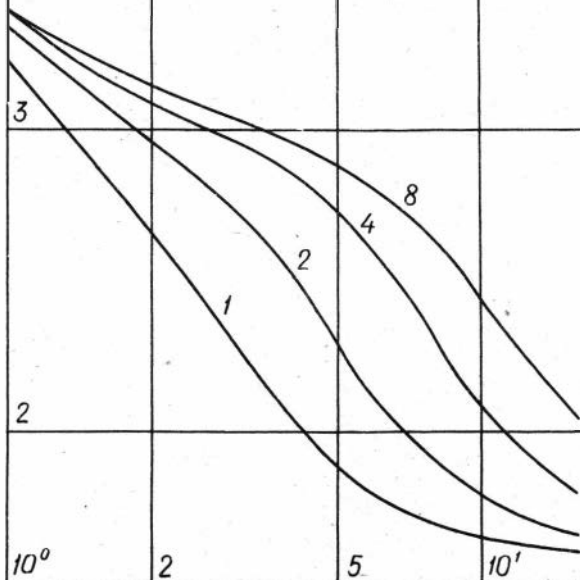
 10^0

2

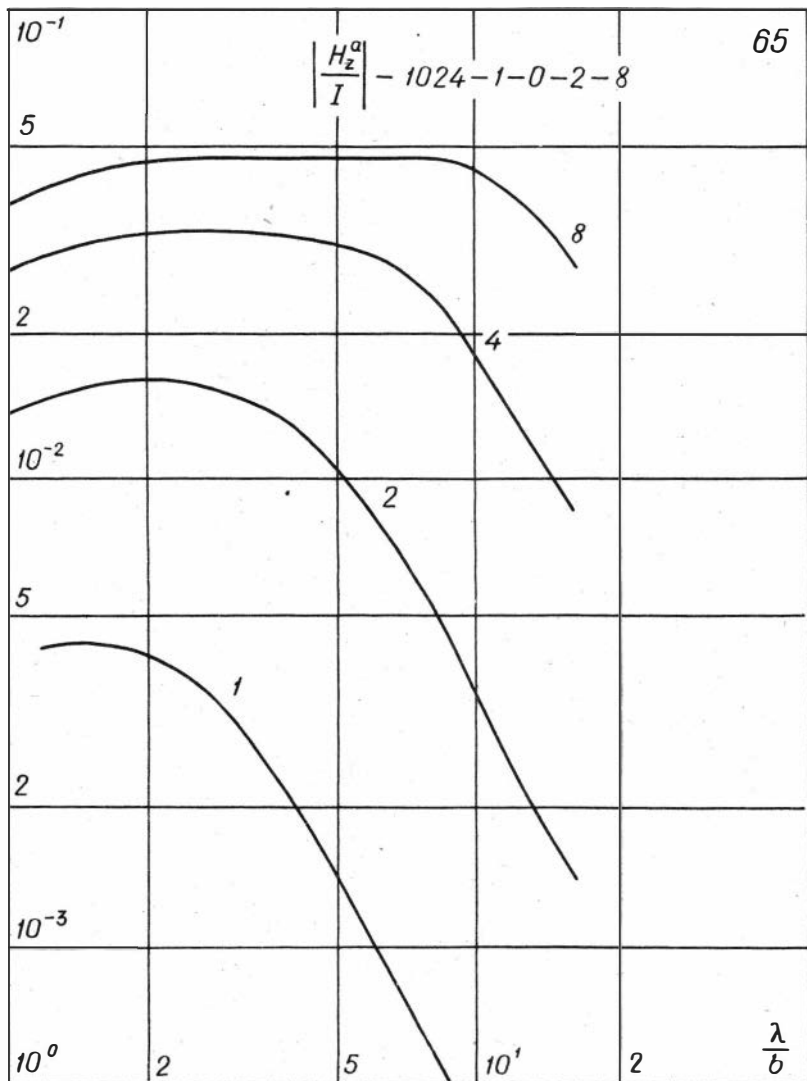
5

 10^1

2

 $\frac{\lambda}{b}$ 

$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 1024-1-0-2-8$$



$$\varphi \frac{H_z^a}{I} - 1024 - 1 - 0 - 2 - 8$$

4

3

2

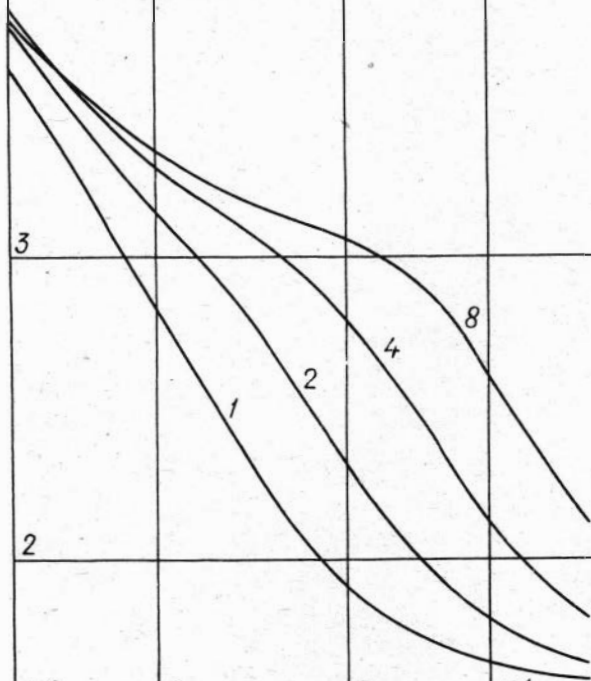
 10^0

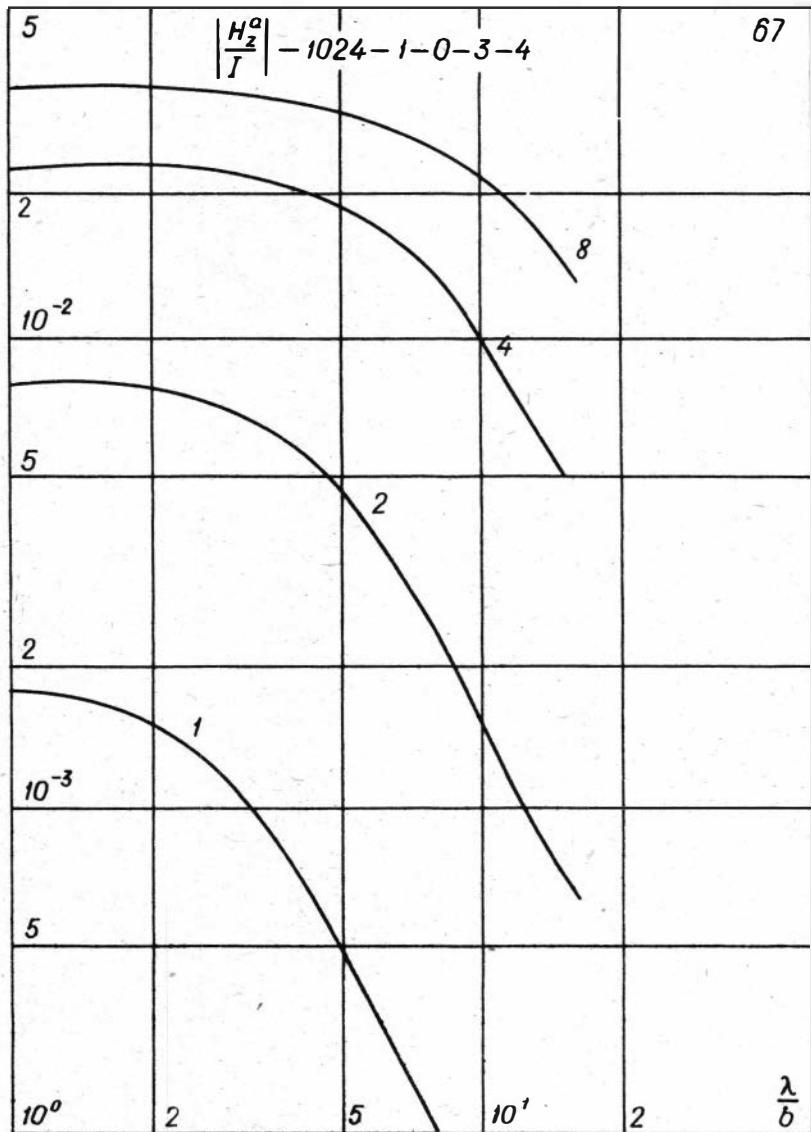
2

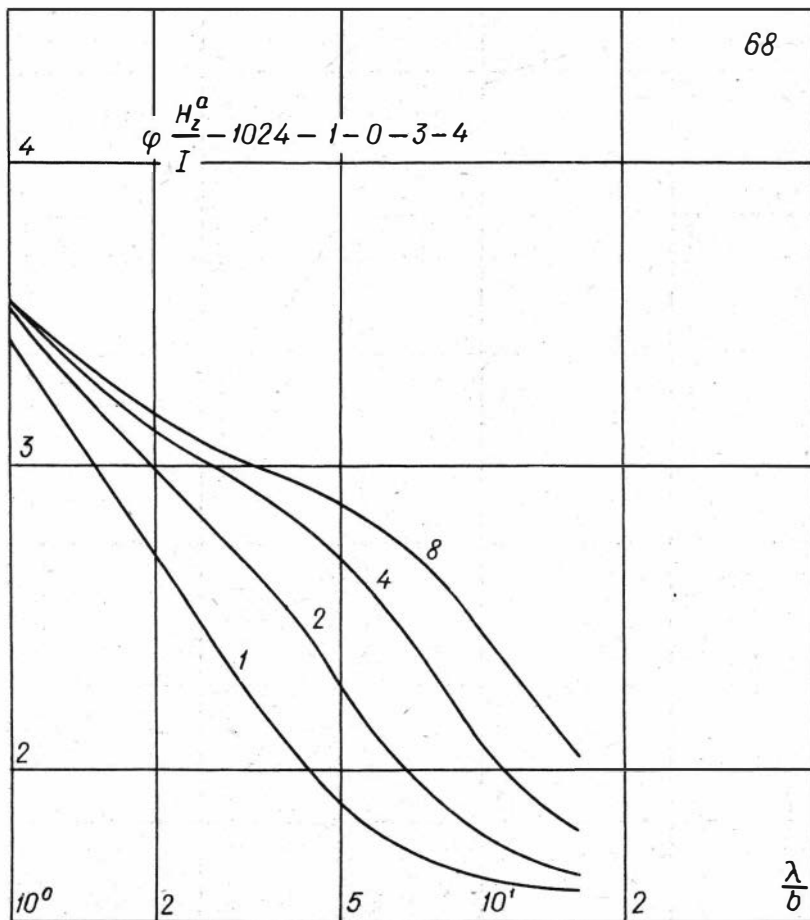
5

 10^1

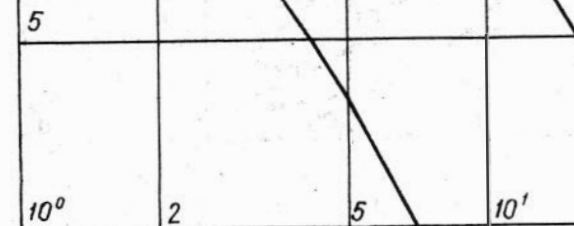
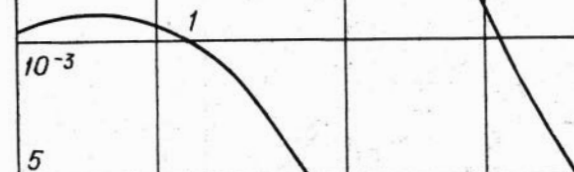
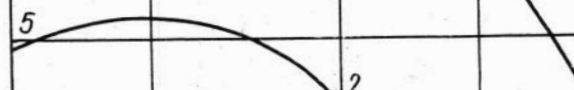
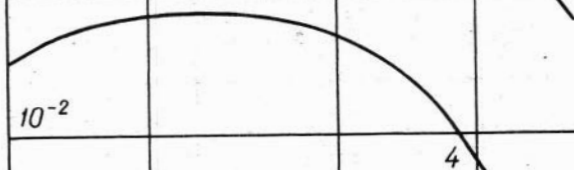
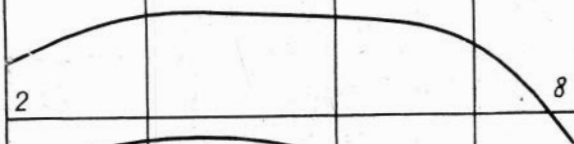
2

 $\frac{\lambda}{b}$ 





$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 1024 - 1 - 0 - 3 - 8$$

 10^0

2

5

 10^1

2

 $\frac{\lambda}{b}$

$$\varphi \frac{H_z^a}{I} - 1024 - 1 - 0 - 3 - 8$$

4

3

2

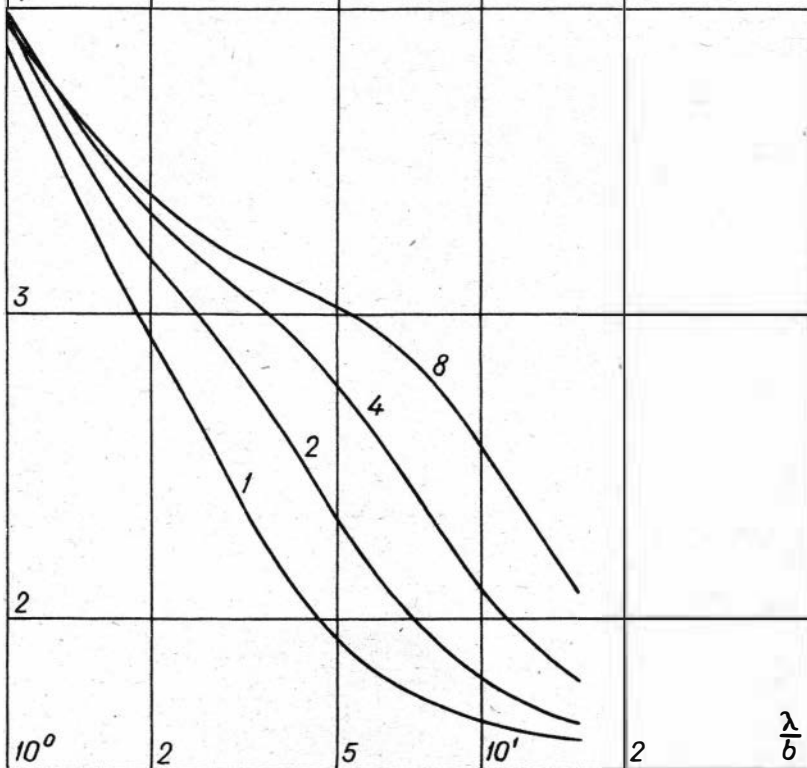
10°

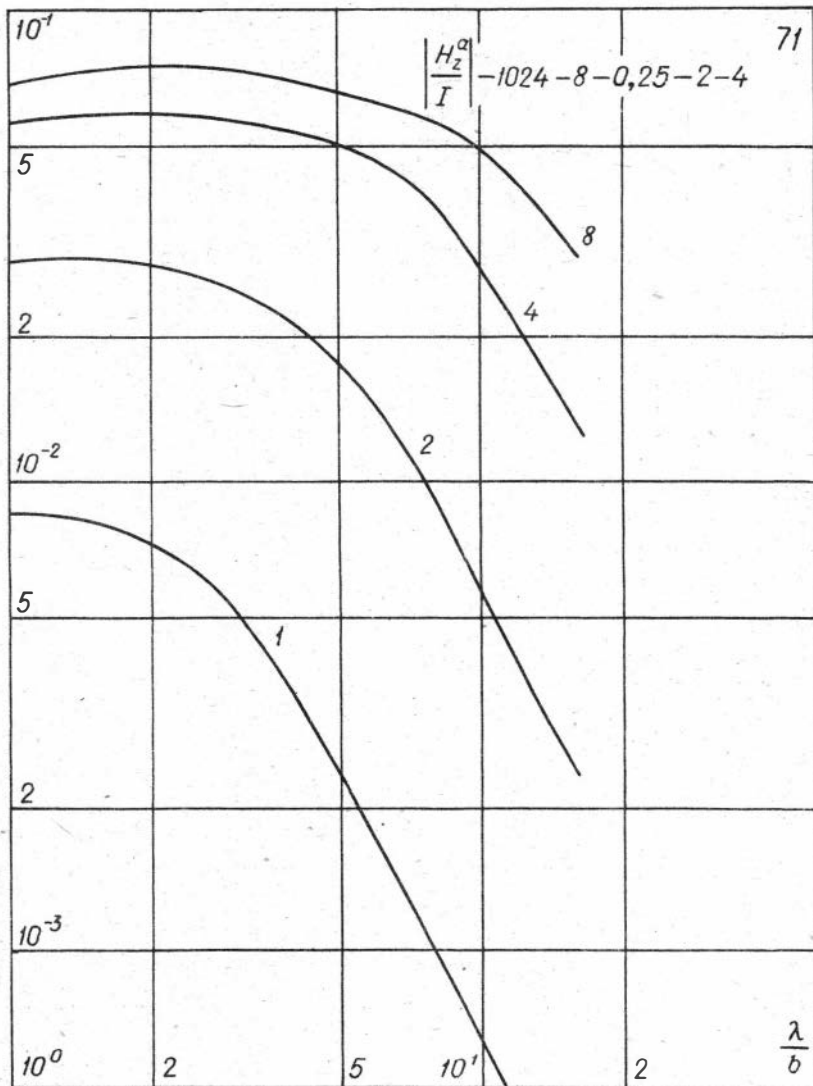
2

5

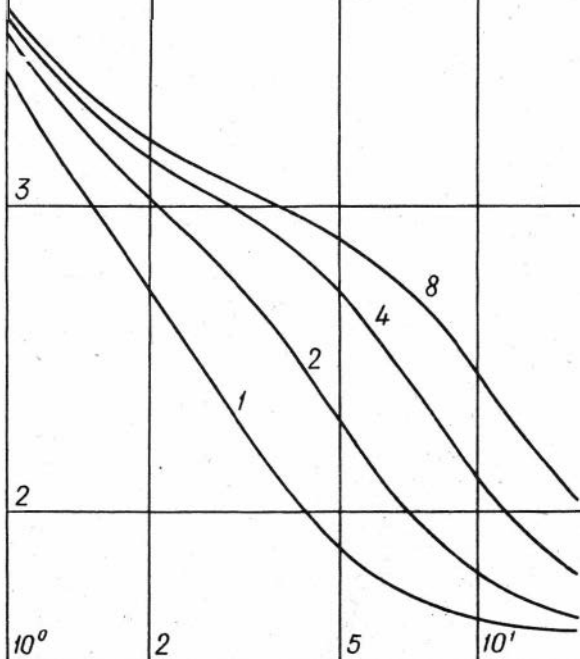
10'

2

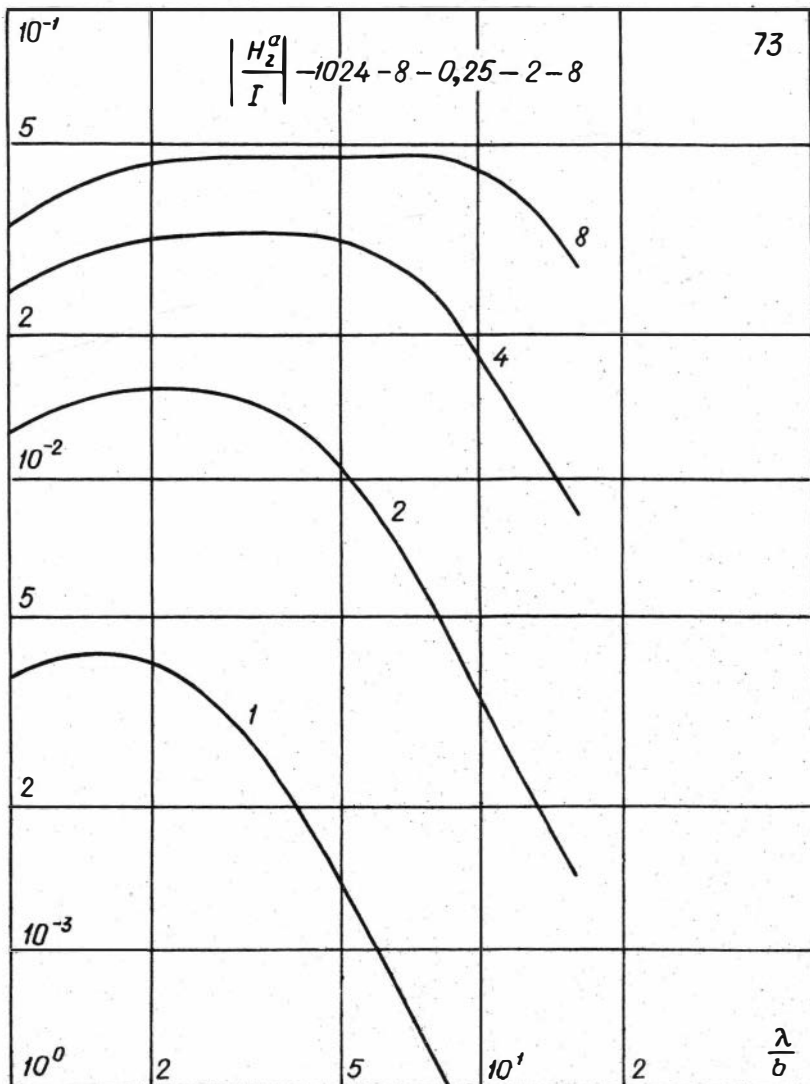
 $\frac{\lambda}{b}$ 

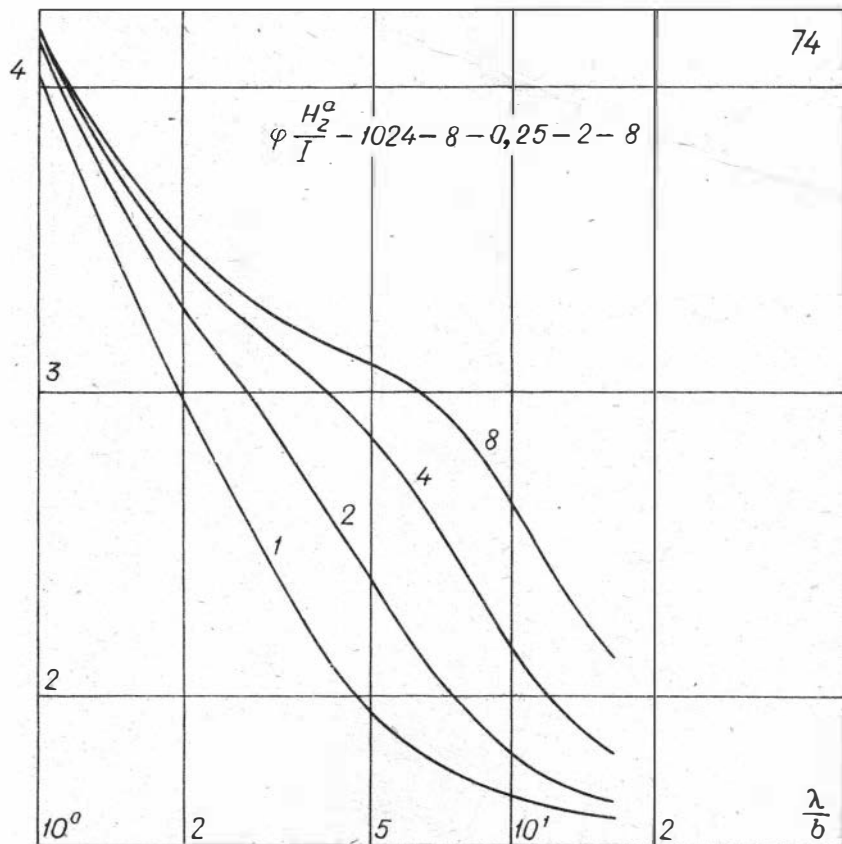


$$\varphi \frac{H_z^a}{I} - 1024 - 8 - 0,25 - 2 - 4$$

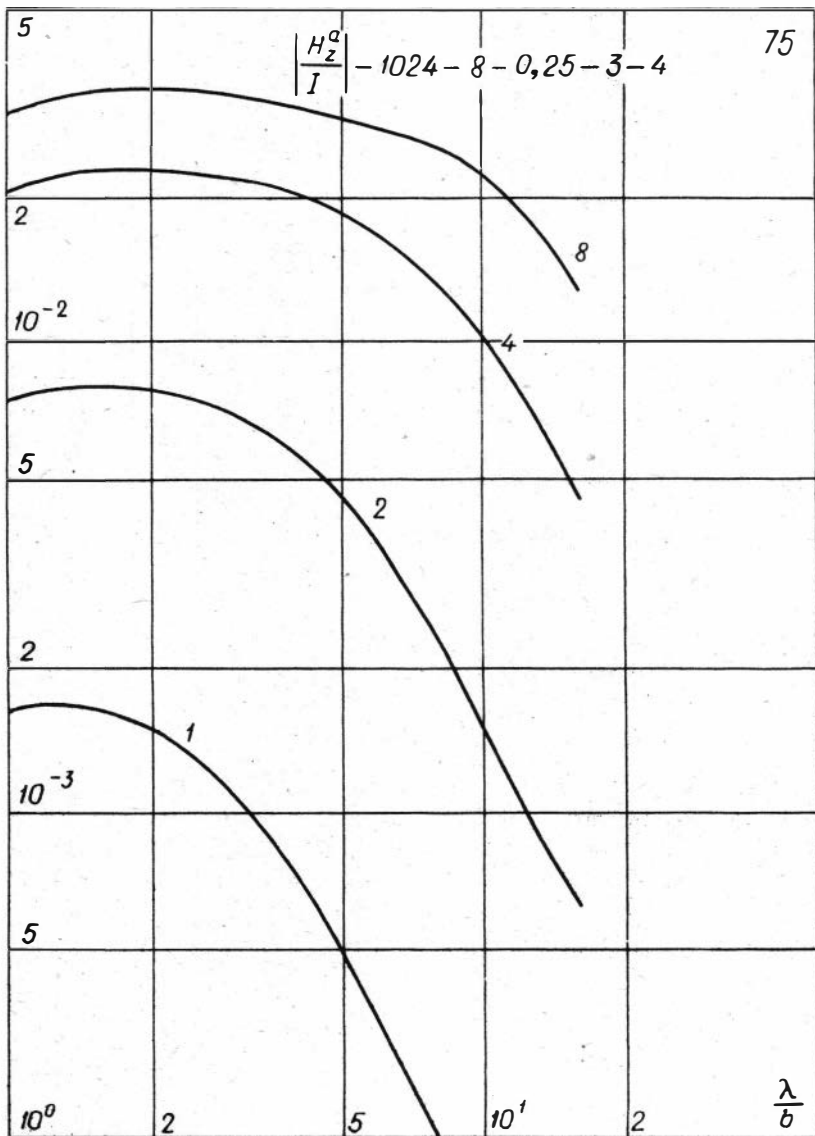

 $\frac{\lambda}{b}$

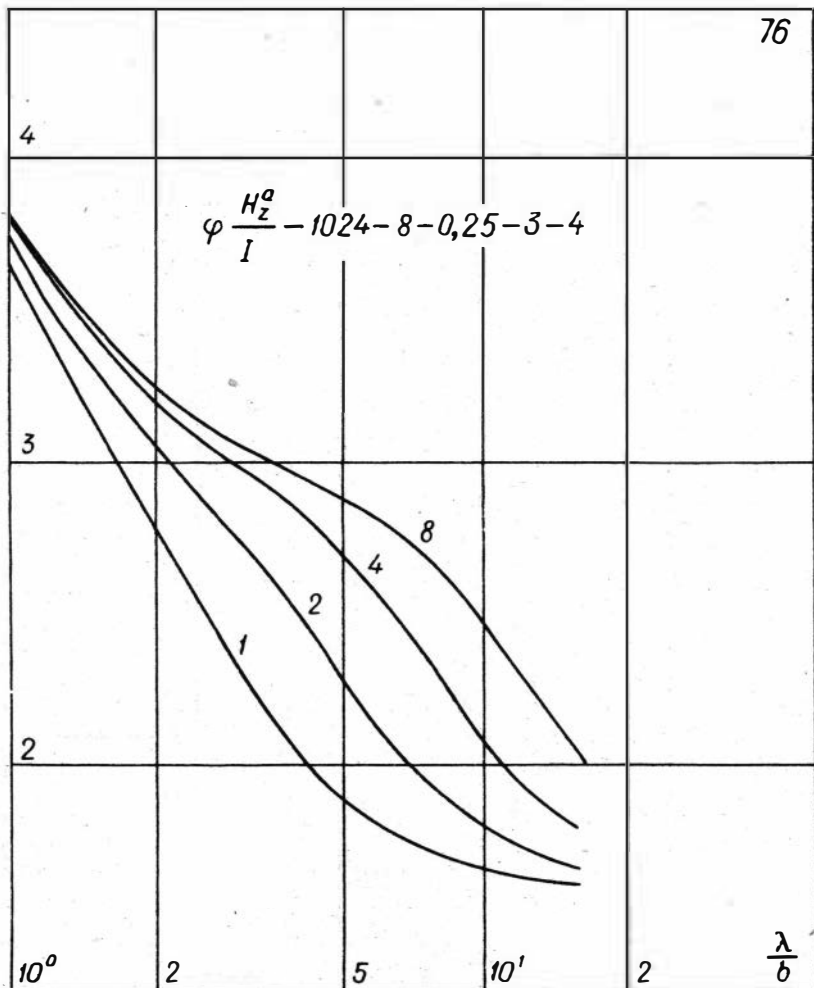
$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 1024 - 8 - 0,25 - 2 - 8$$



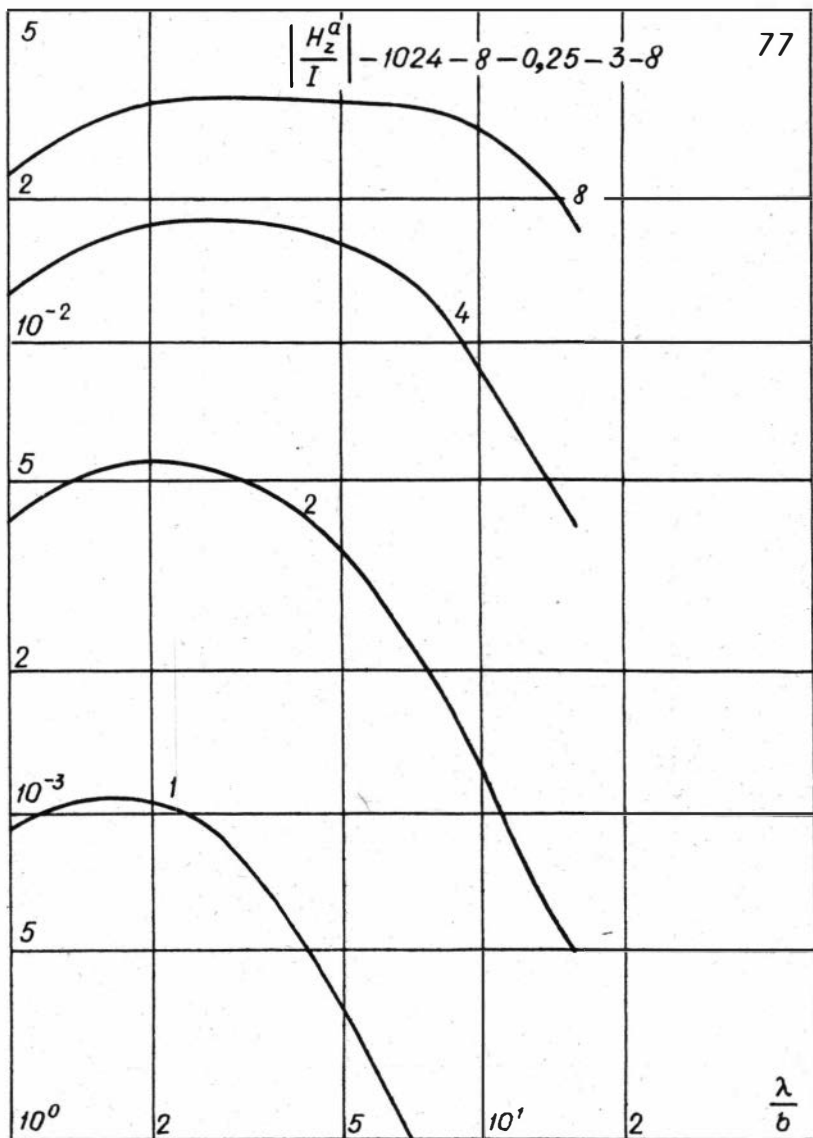


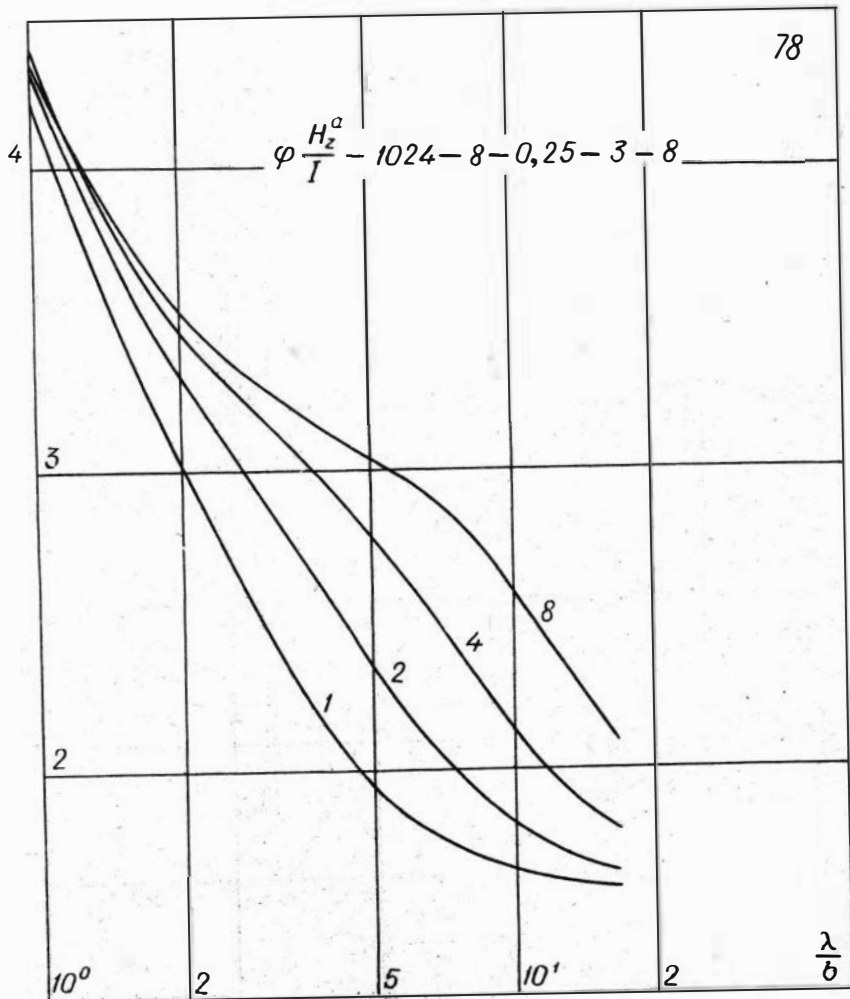
$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 1024 - 8 - 0,25 - 3 - 4$$



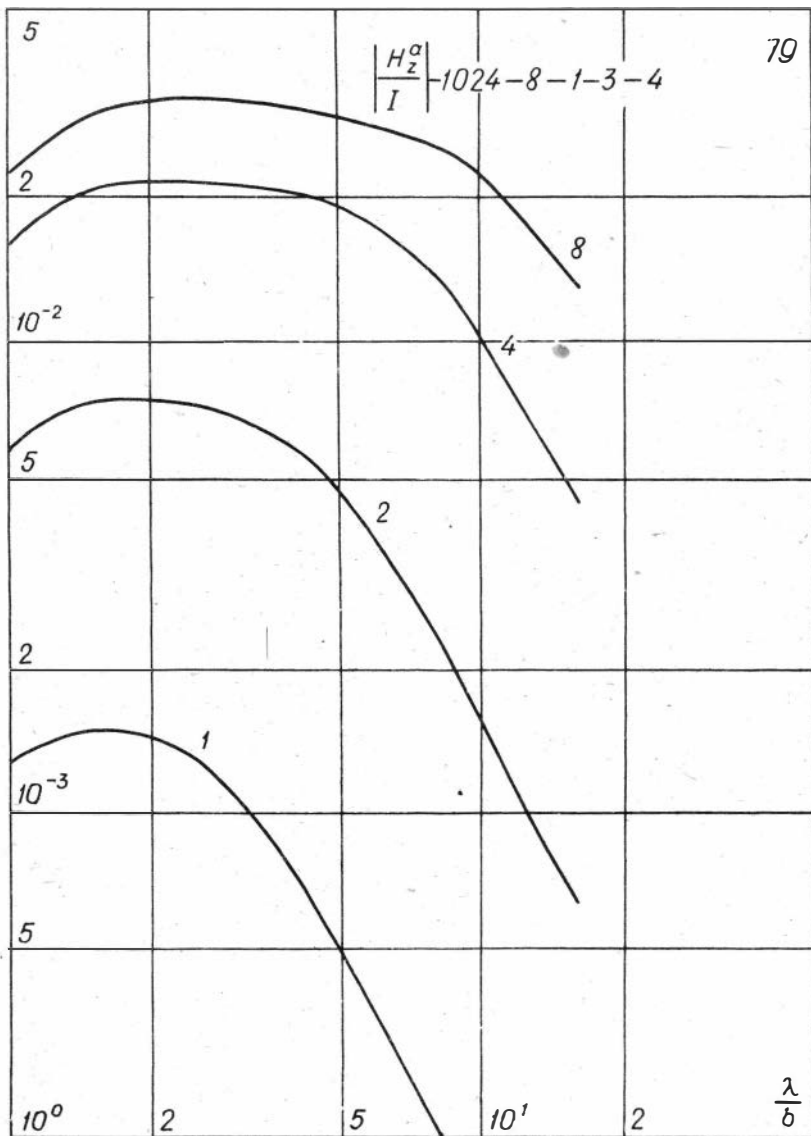


$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 1024 - 8 - 0,25 - 3 - 8$$

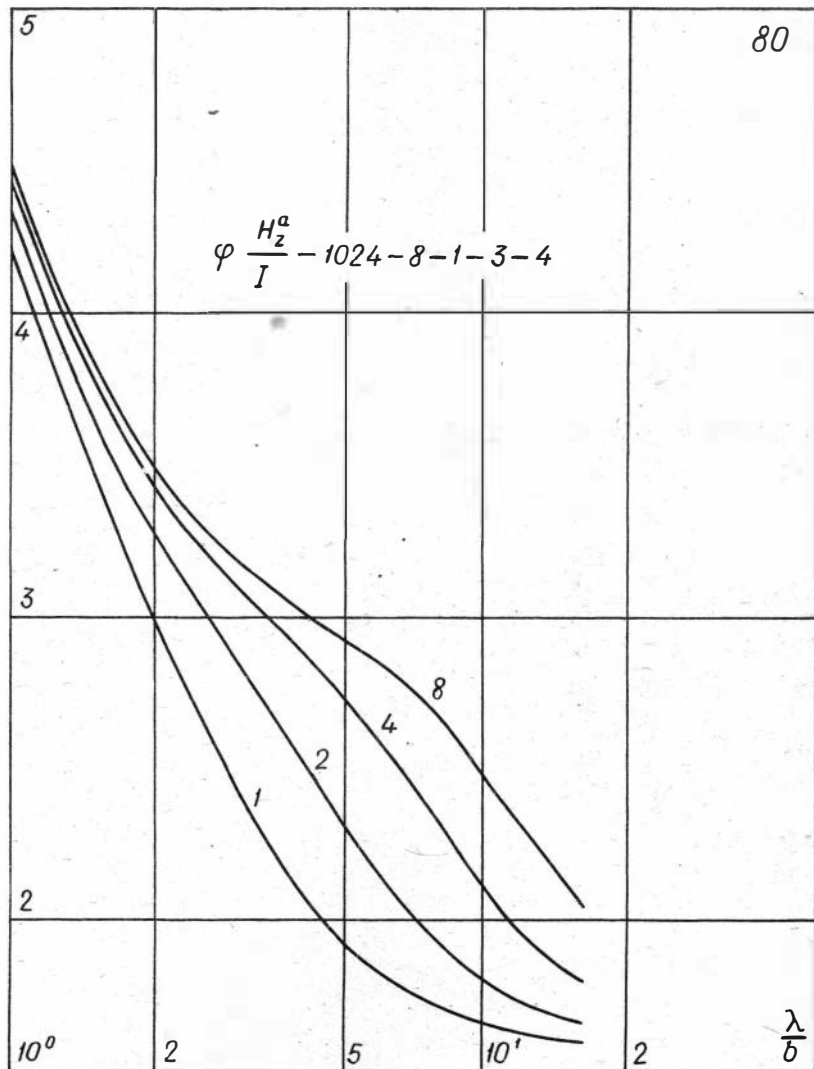


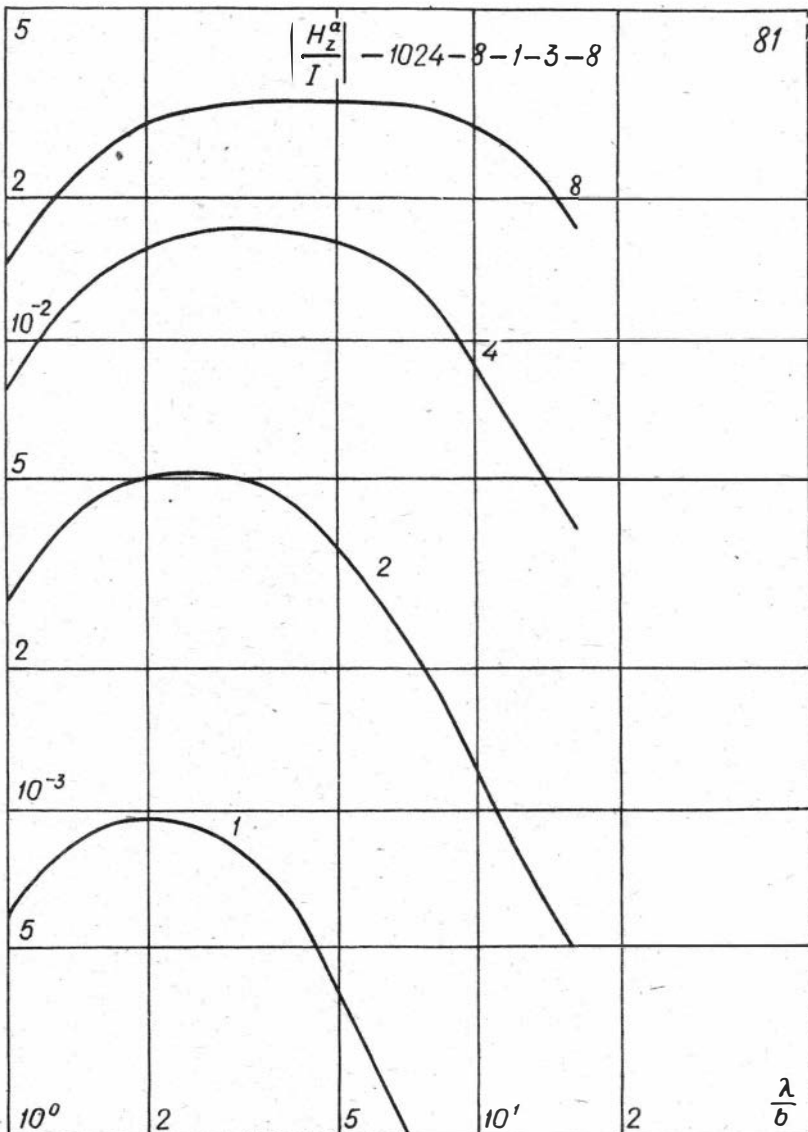


$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 1024 - 8 - 1 - 3 - 4$$

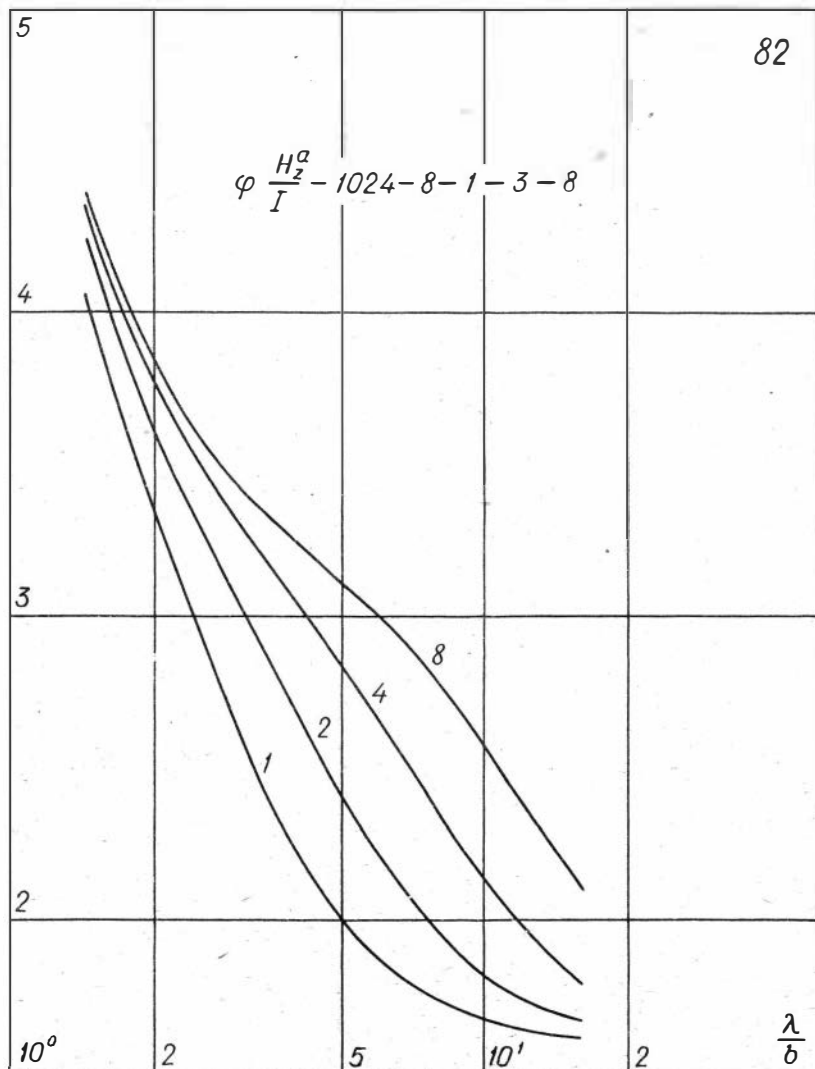


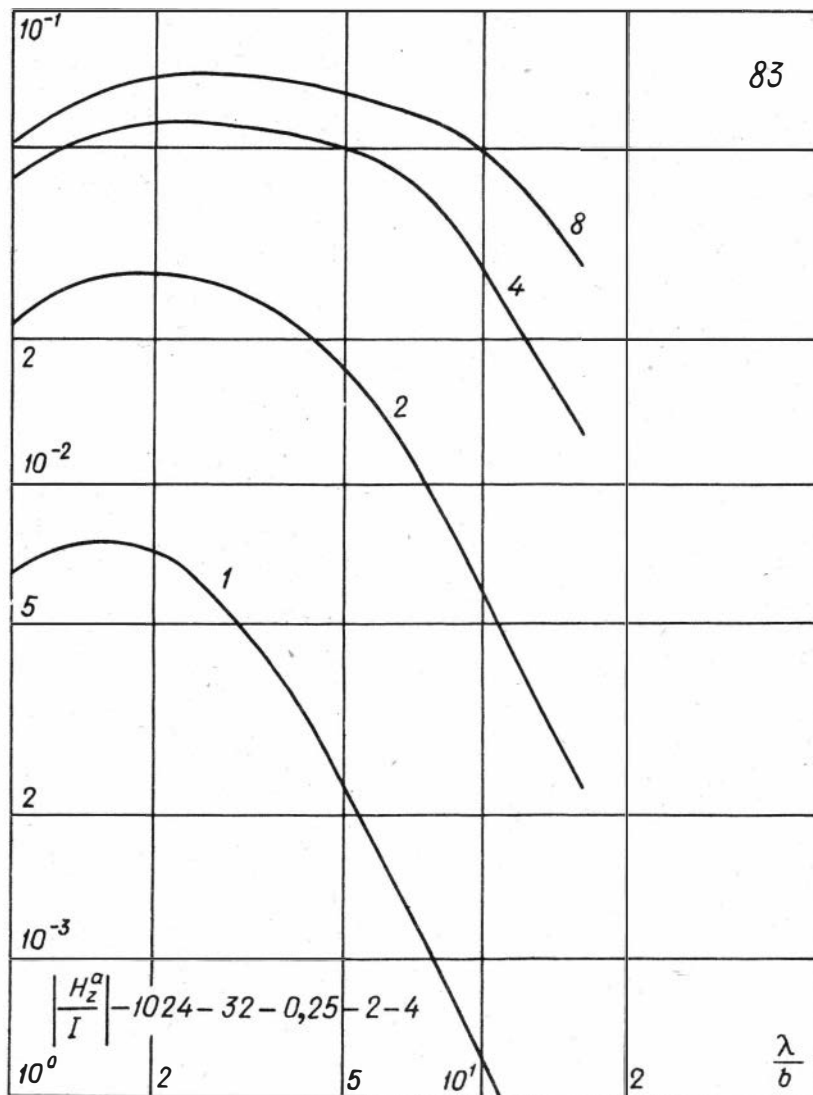
$$\varphi \frac{H_2^a}{I} - 1024 - 8 - 1 - 3 - 4$$


 $\frac{\lambda}{b}$



$$\varphi \frac{H_z^a}{I} - 1024-8-1-3-8$$


 $\frac{\lambda}{b}$



$$\varphi \frac{H^2}{I} - 1024 - 32 - 0,25 - 2 - 4$$

4

3

2

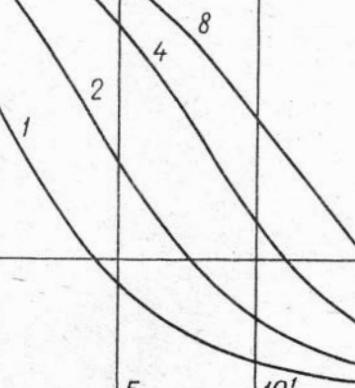
 10^0

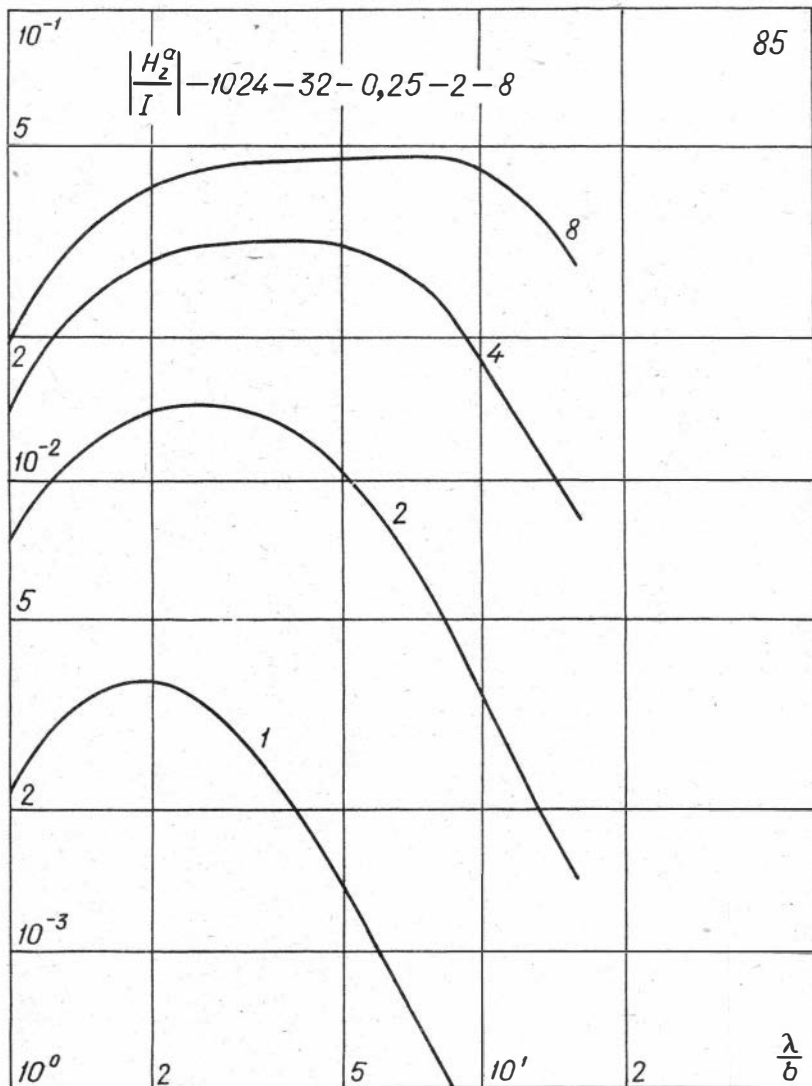
2

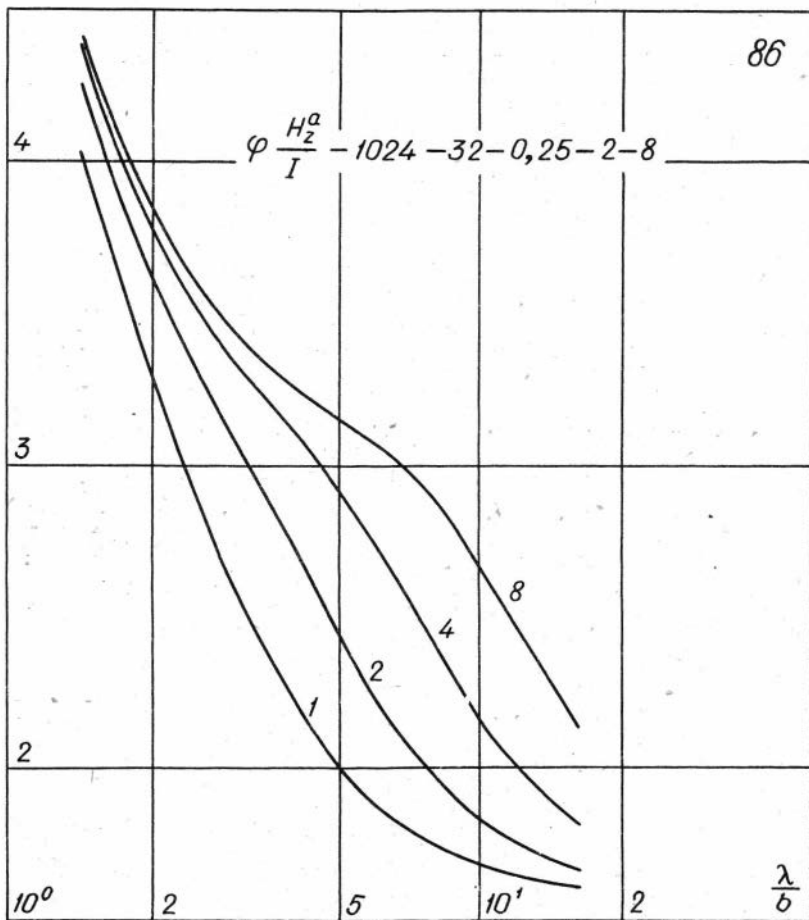
5

 10^1

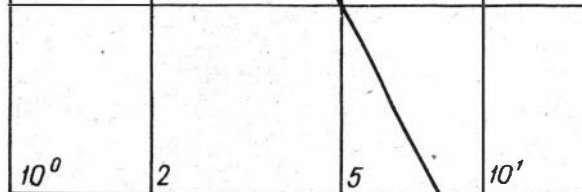
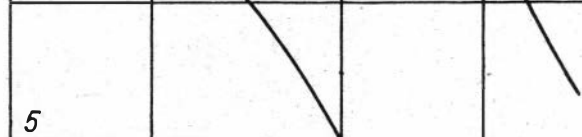
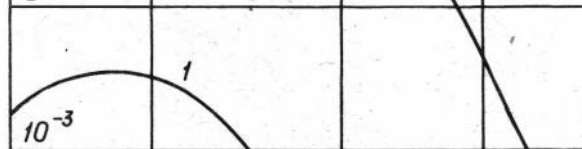
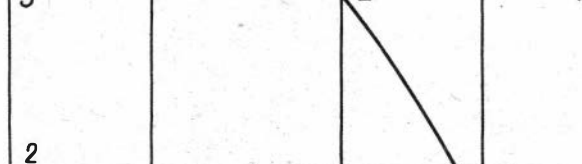
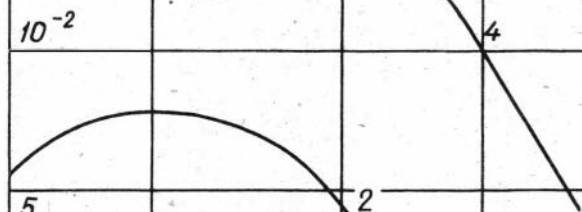
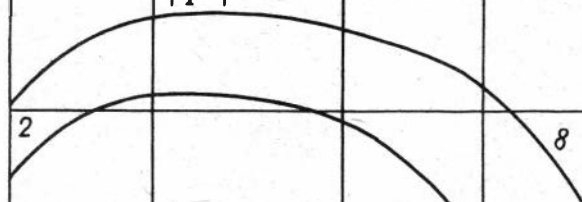
2

 $\frac{\lambda}{b}$ 



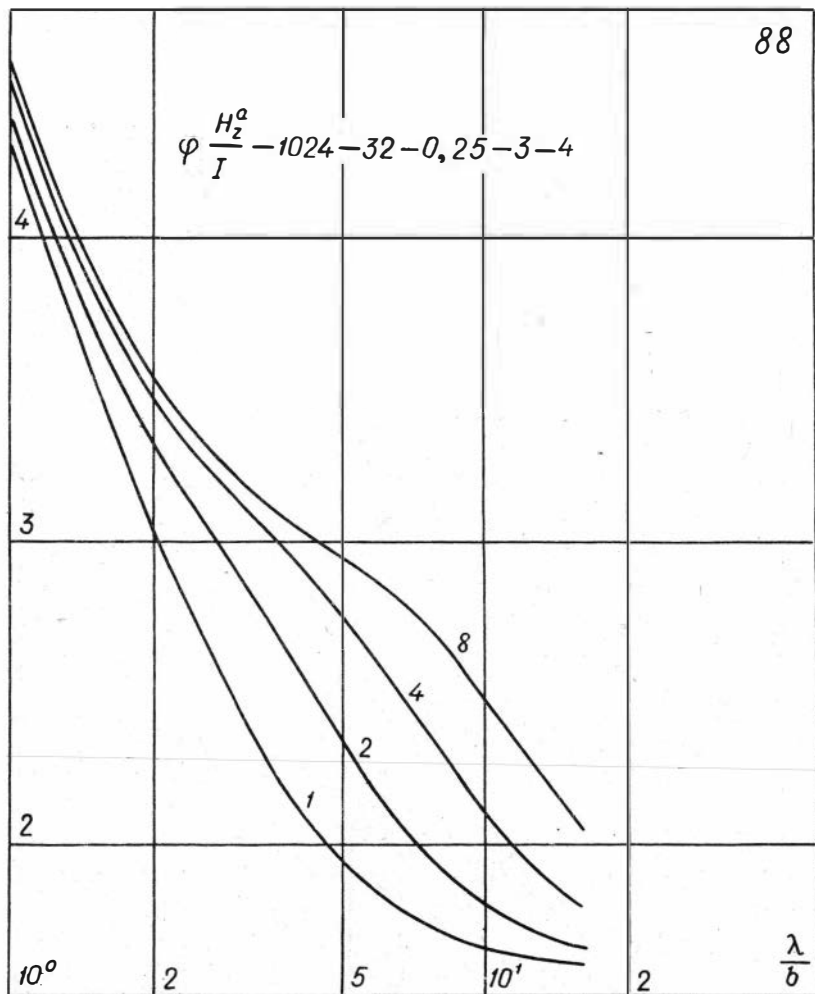


$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 1024 - 32 - 0,25 - 3 - 4$$

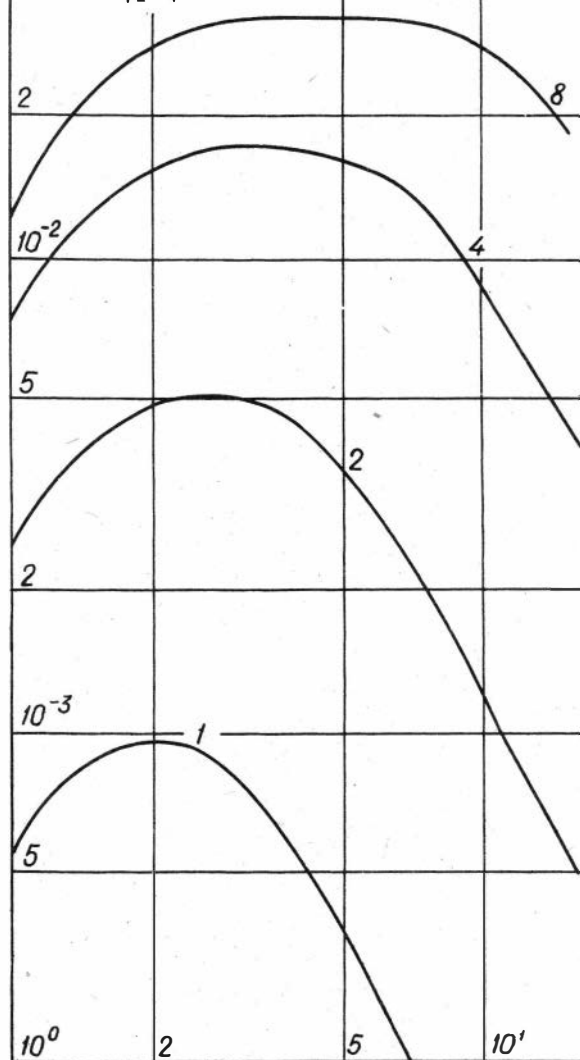


$$\frac{\lambda}{b}$$

$$\varphi \frac{H_z^a}{I} - 1024 - 32 - 0,25 - 3 - 4$$



$$\left| \frac{H_z^\alpha}{I} \right| - 1024 - 32 - 0,25 - 3 - 8$$



$$\varphi \frac{H_z^a}{I} - 1024 - 32 - 0,25 - 3 - 8$$

4

3

2

 10^0

2

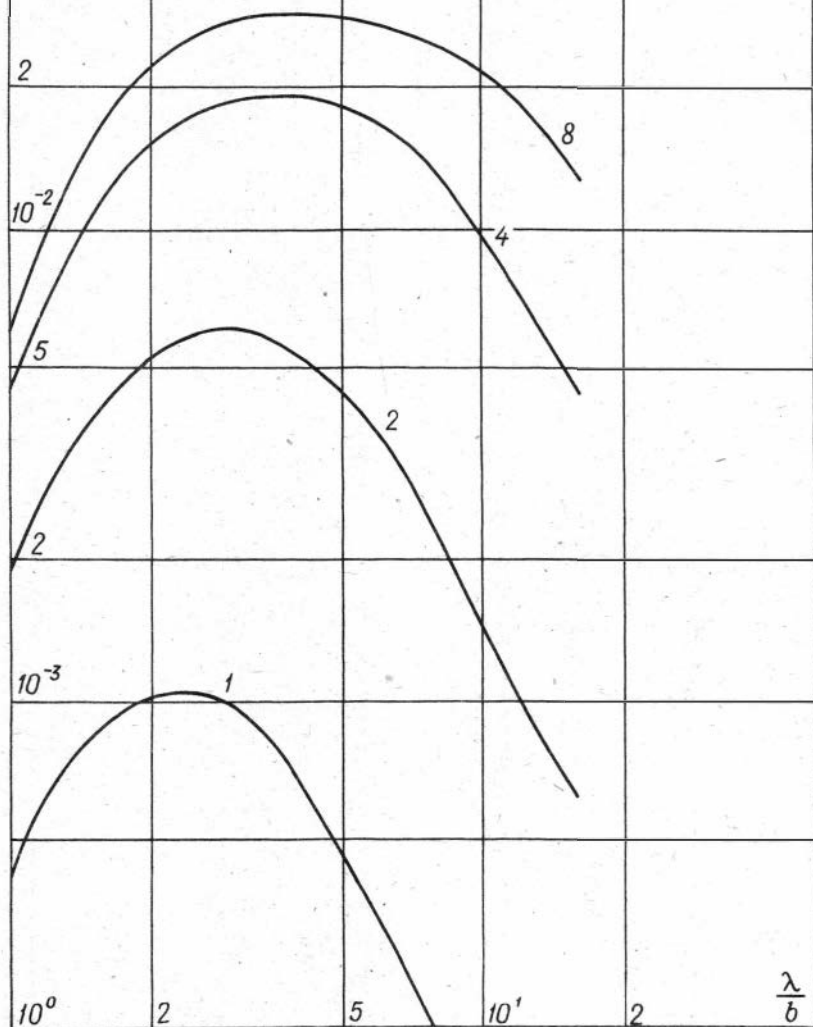
5

 10^1

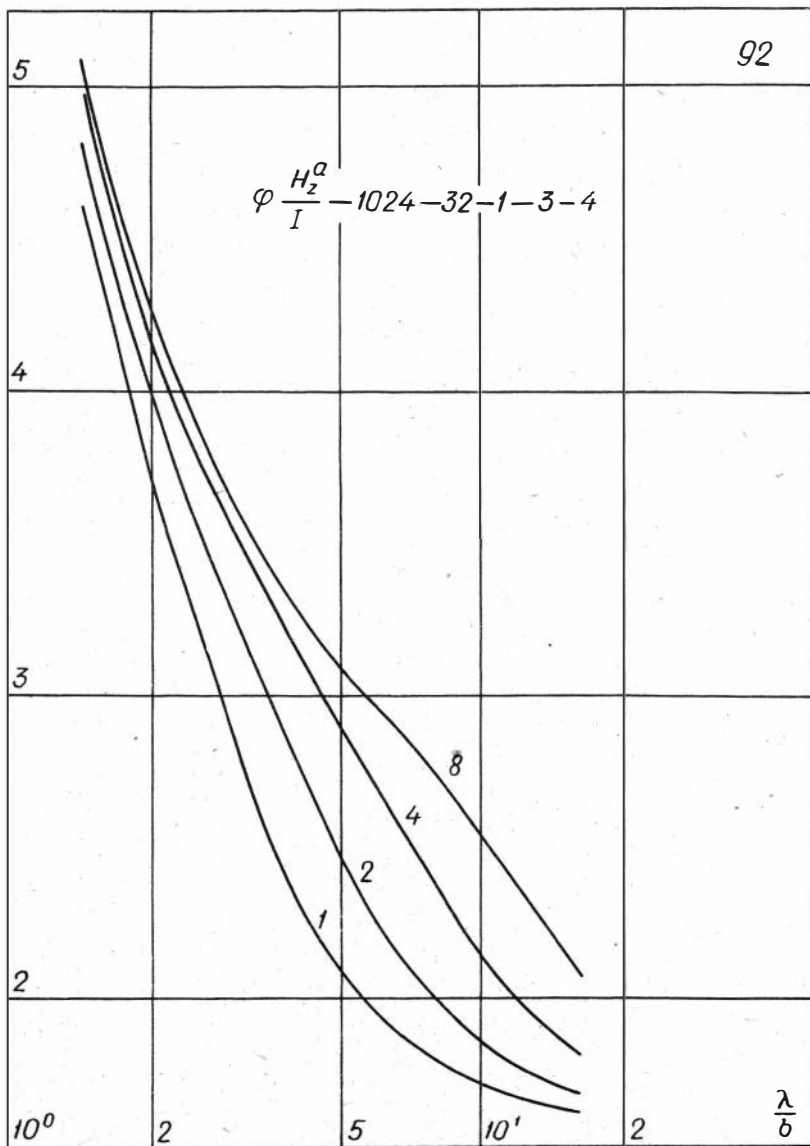
2

 $\frac{\lambda}{b}$ 1
2
4
8

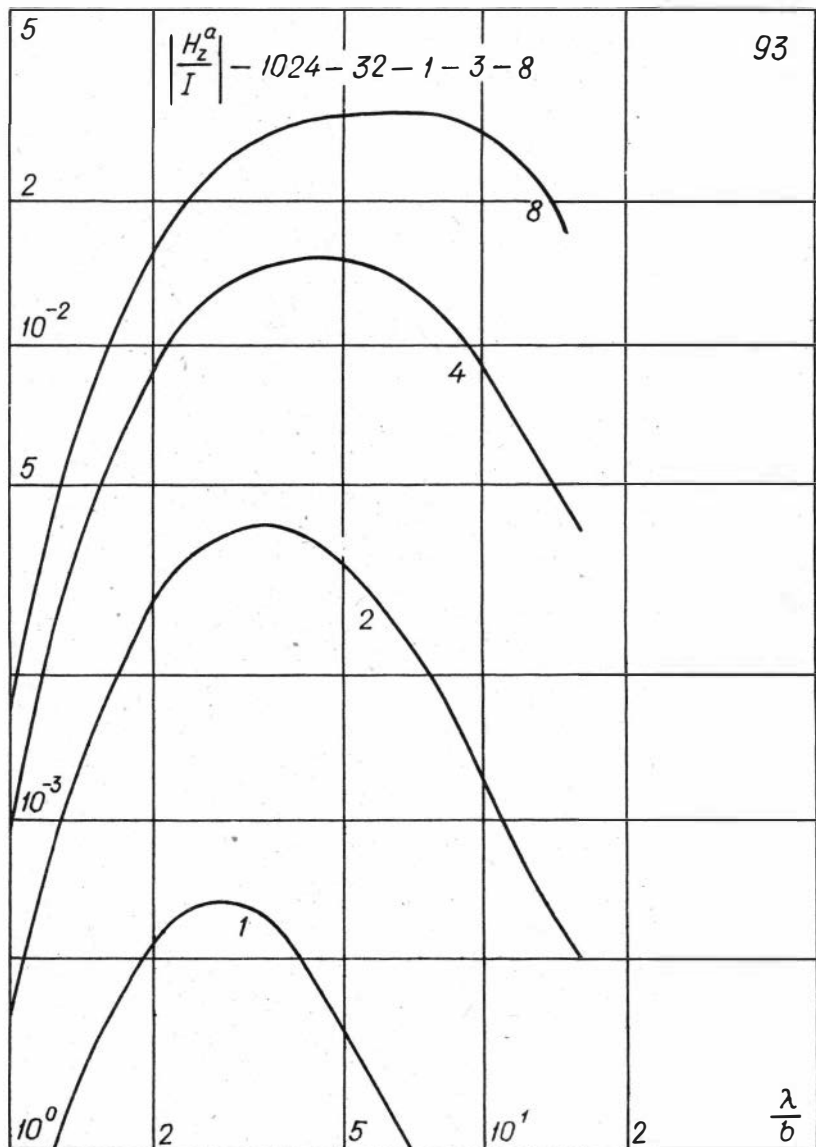
$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 1024 - 32 - 1 - 3 - 4$$



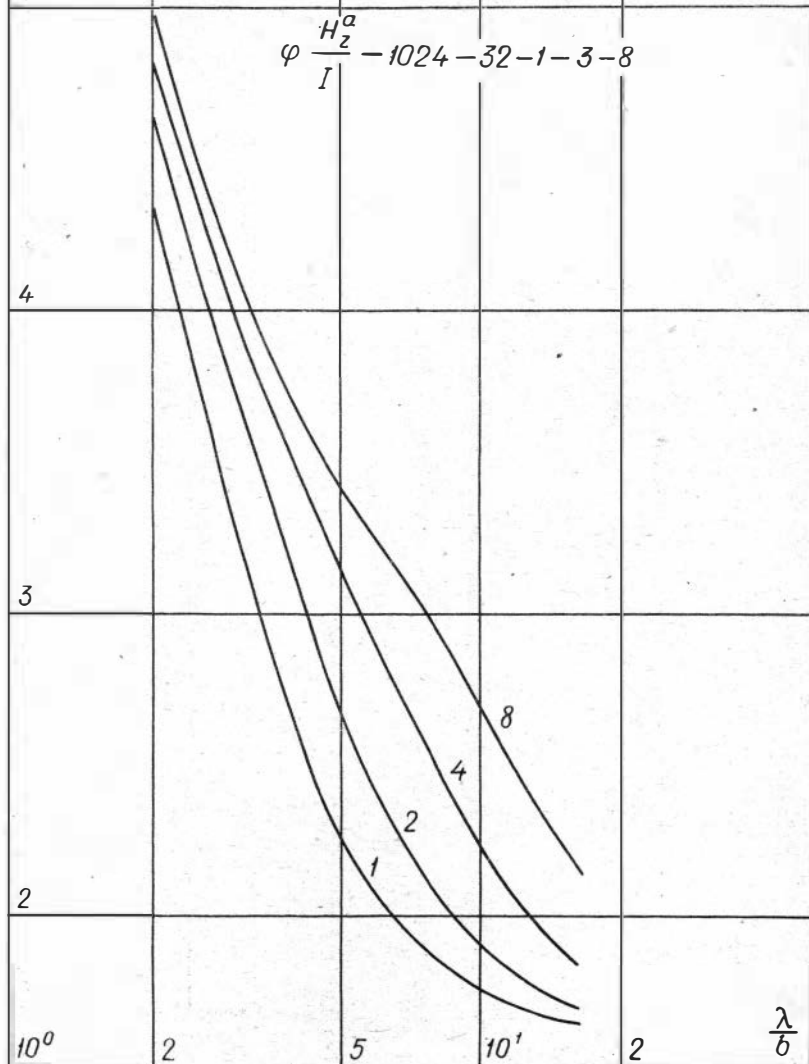
$$\varphi \frac{H_2^a}{I} - 1024 - 32 - 1 - 3 - 4$$

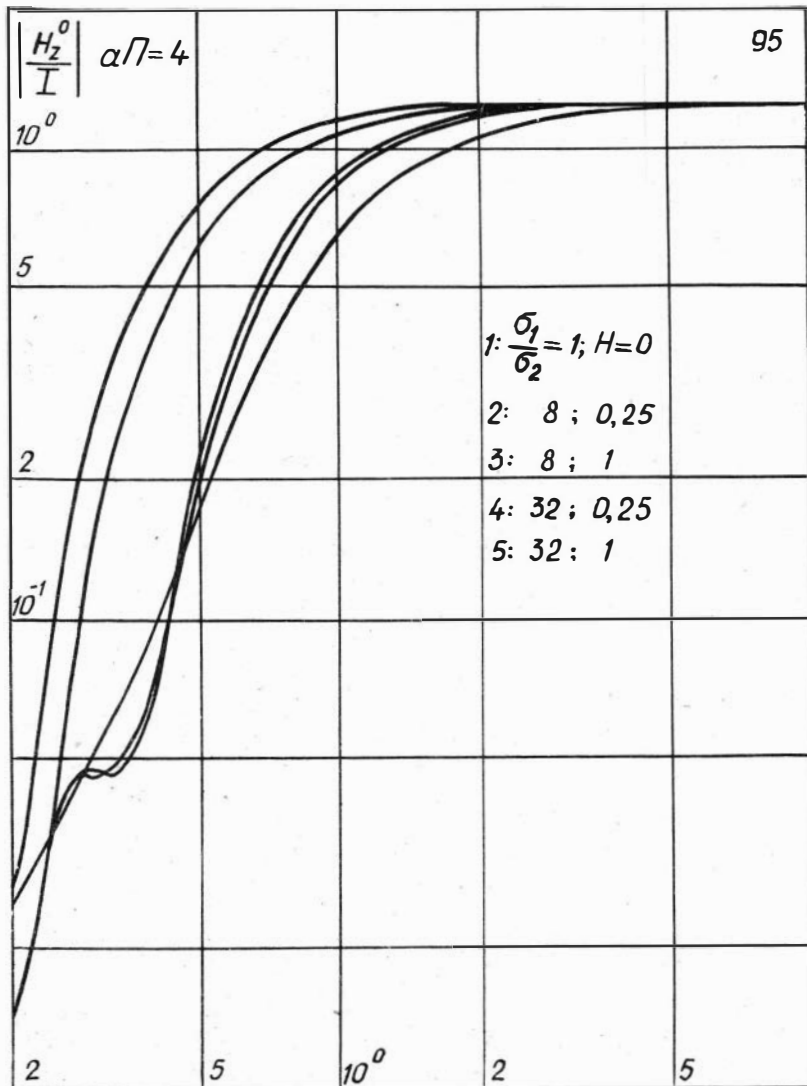


$$\left| \frac{H_z^a}{I} \right| - 1024 - 32 - 1 - 3 - 8$$



$$\varphi \frac{H_z^2}{I} - 1024 - 32 - 1 - 3 - 8$$





$$\psi \frac{H_z^0}{I}; \alpha \Pi = 4$$

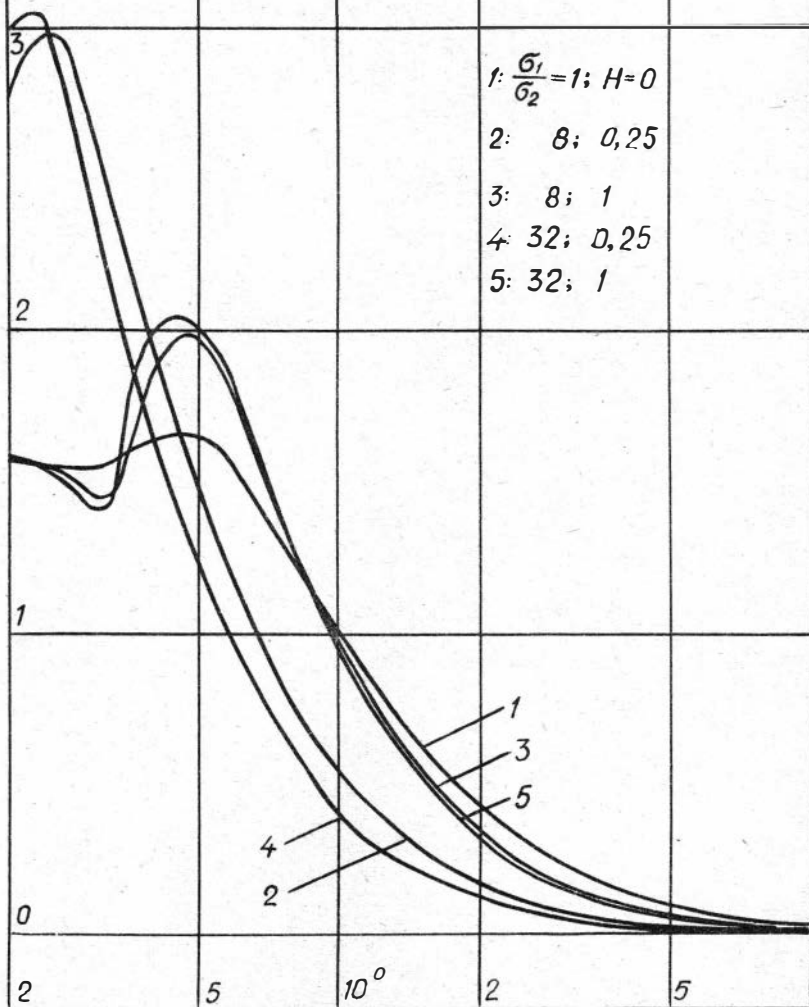
$$1: \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 1; H = 0$$

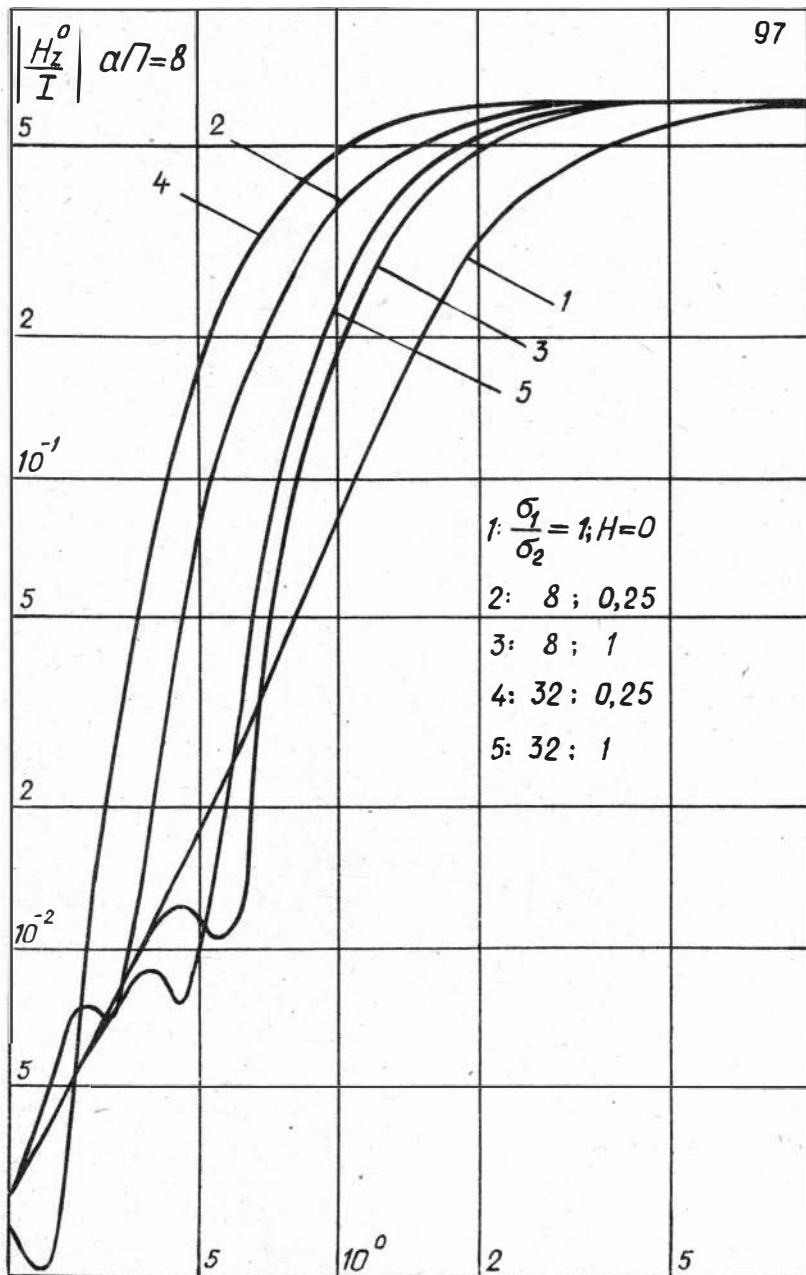
$$2: 8; 0,25$$

$$3: 8; 1$$

$$4: 32; 0,25$$

$$5: 32; 1$$





$$\varphi \frac{H_z^0}{I}; \alpha \Pi = \beta$$

3

$$1: \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 1; H = 0$$

$$2: 8; 0,25$$

$$3: 8; 1$$

$$4: 32; 0,25$$

$$5: 32; 1$$

1

0

2

4

1

3

5

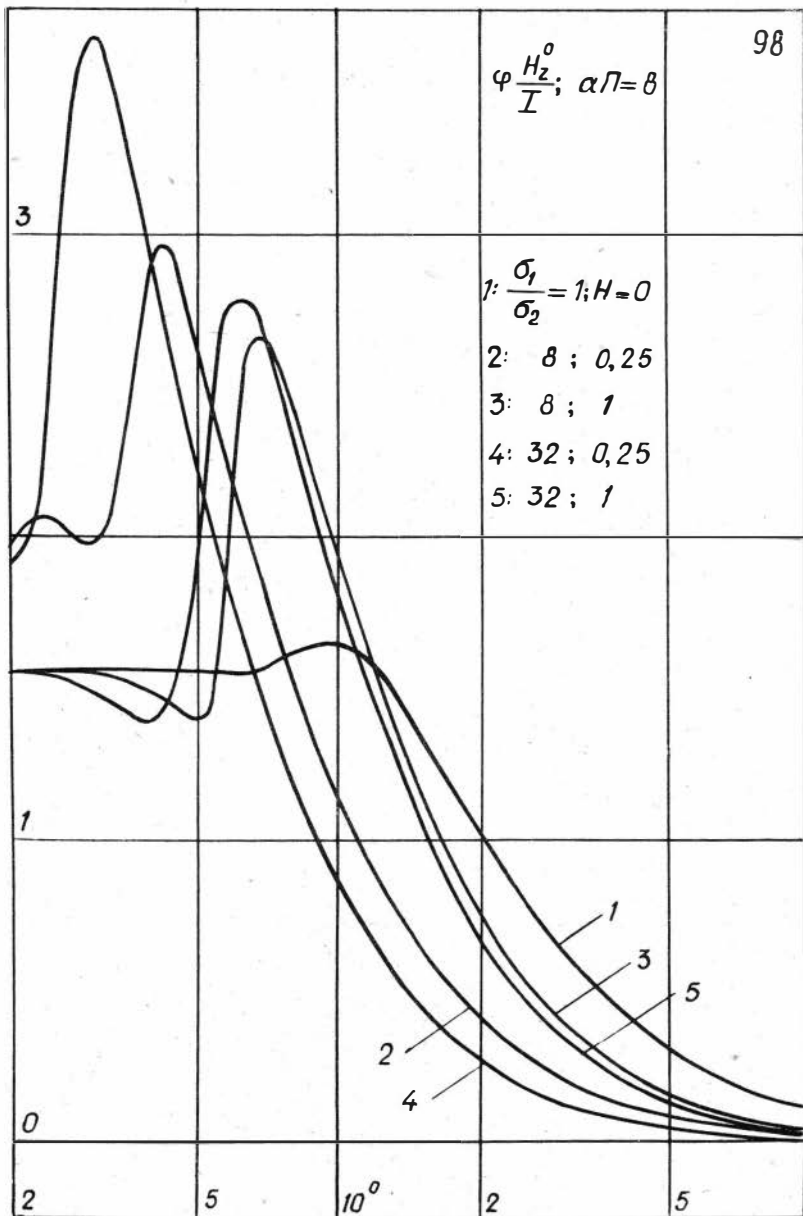
2

5

 10^0

2

5



Технический редактор *Л. А. Панина*

Подписано к печати 22.IX.1971г. МН 03622
Бумага 60×84/16. Печ.л. 6,75. Уч.-изд.л. 6,11
Тираж 500 Заказ 302. Цена 43коп.

Институт геологии и геофизики СО АН СССР
Новосибирск, 90. Ротапринт.