АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

# АЛЬБОМ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ КРИВЫХ ГЛУБИННЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ СТАНОВЛЕНИЕМ ПОЛЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНО-НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ

НОВОСИБИРСК–1979

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

# АЛЬБОМ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ КРИВЫХ ГЛУБИННЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ СТАНОВЛЕНИЕМ ПОЛЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНО-НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО

НОВОСИБИРСК–1979

УДК 550.837

## А Н Н О Т А Ц И Я

В альбоме содержатся результаты расчетов нестационарных полей для установок, используемых в настоящее время при глубинных исследованиях. Источник – вертикальный магнитный диполь, измеряемая компонента поля – $E_\varphi$. Приводятся кривые $\rho_\tau/\rho_1$ в горизонтально-неоднородных средах, содержащих проводящее включение в земной коре, а также структуры в кровле мантии.

Составитель Л.А.Табаровский

Печатается по решению секции геофизики
Ученого совета Института геологии
и геофизики СО АН СССР

© Институт геологии
и геофизики
СО АН СССР, 1979

Технический редактор Л.А.Жукова

Подписано к печати 21.У.1979 г. МН 02835.
Бумага 60х84/8. Физ.печ.л.18,75. Усл.печ.л.17,43. Уч.-изд.л. 6,6.
Тираж 400. Заказ 205. Цена 1 руб.

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

В альбоме представлены результаты математического моделирования нестационарного электромагнитного поля в горизонтально-неоднородных средах применительно к задачам глубинного электромагнитного зондирования. Источником поля является вертикальный магнитный диполь, у которого в начальный момент времени $t$ =0 происходит мгновенное изменение дипольного момента от величины $M$ до нуля (режим выключения).

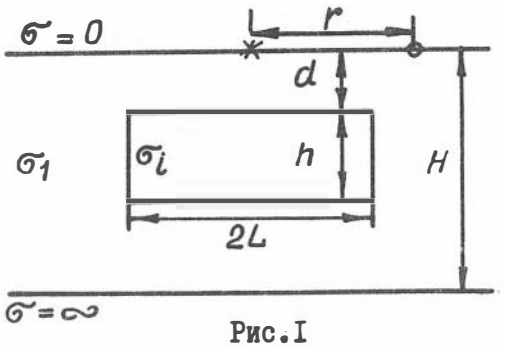


Рис.I

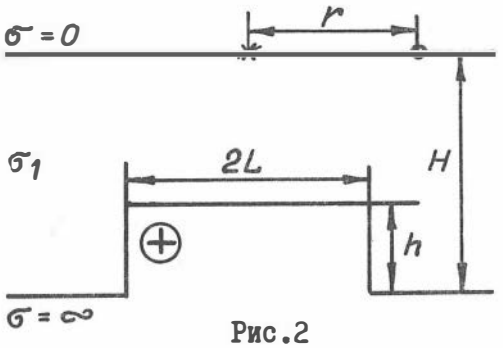


Рис.2

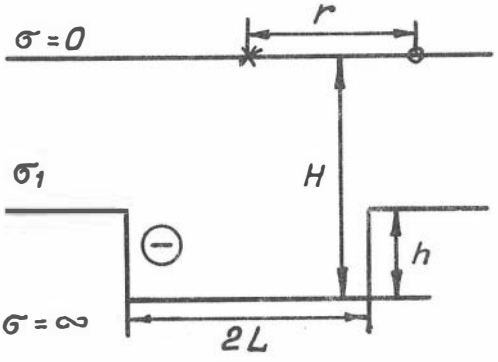


Рис.3

Модель среды. В качестве нормальной модели рассматривается двухслойная среда: изолирующее полупространство ($\sigma$ =0) – проводящая кора с проводимостью $\sigma_1$ – идеально проводящая мантия ( $\sigma = \infty$). Расчеты выполнены для неоднородностей промежуточного типа (включение с проводимостью $\sigma_i$ в коре, рис.I) и глубинных неоднородностей (структуры в кровле мантии, рис.2,3). Во всех случаях неоднородность является круговым цилиндром с вертикальной образующей. Источник, обозначенный на рис. I,2,3 звездочками, располагается на оси симметрии среды. Геометрические параметры моделей:

- $H$ – наибольшее расстояние от дневной поверхности до кровли мантии;
- $h$ – высота неоднородности;
- $L$ – радиус неоднородности;
- $d$ – глубина залегания верхней кромки неоднородности;

$r$ – расстояние между источником и точкой измерения поля. Глубинные структуры, в пределах которых нормальная мощность коры уменьшена, считаются положительными (рис.2), в противном случае – отрицательными (рис.3).

Представление материалов. В альбоме приводятся результаты расчетов компоненты электрического поля $E_\varphi$, представленные в традиционной форме кривых $\rho_\tau/\rho_1$. Величина $\rho_\tau/\rho_1$ вводится по формулам поздней стадии становления в однородном полупространстве с проводимостью $\sigma_1$:

$$\frac{\rho_\tau}{\rho_1} = \frac{1}{4\pi}\left[\frac{Mr}{5\sigma_1 \tilde{t}^{5/2} E_\varphi}\right]^{2/3}. \qquad (I)$$

Здесь $\tilde{t} = t/(\mu\sigma_1)$; $\mu$ – магнитная проницаемость среды. На всех графиках по оси абсцисс откладывается величина

$$\tau_1/H = 2\pi\sqrt{2\tilde{t}}/H.$$

Правые ветви кривых $\rho_\tau/\rho_1$ в нормировке (I) имеют восходящие асимптоты экспоненциального характера, поскольку при наличии в основании модели идеального проводника наблюдается экспоненциальное убывание поля $E_\varphi$ в поздней стадии процесса становления.

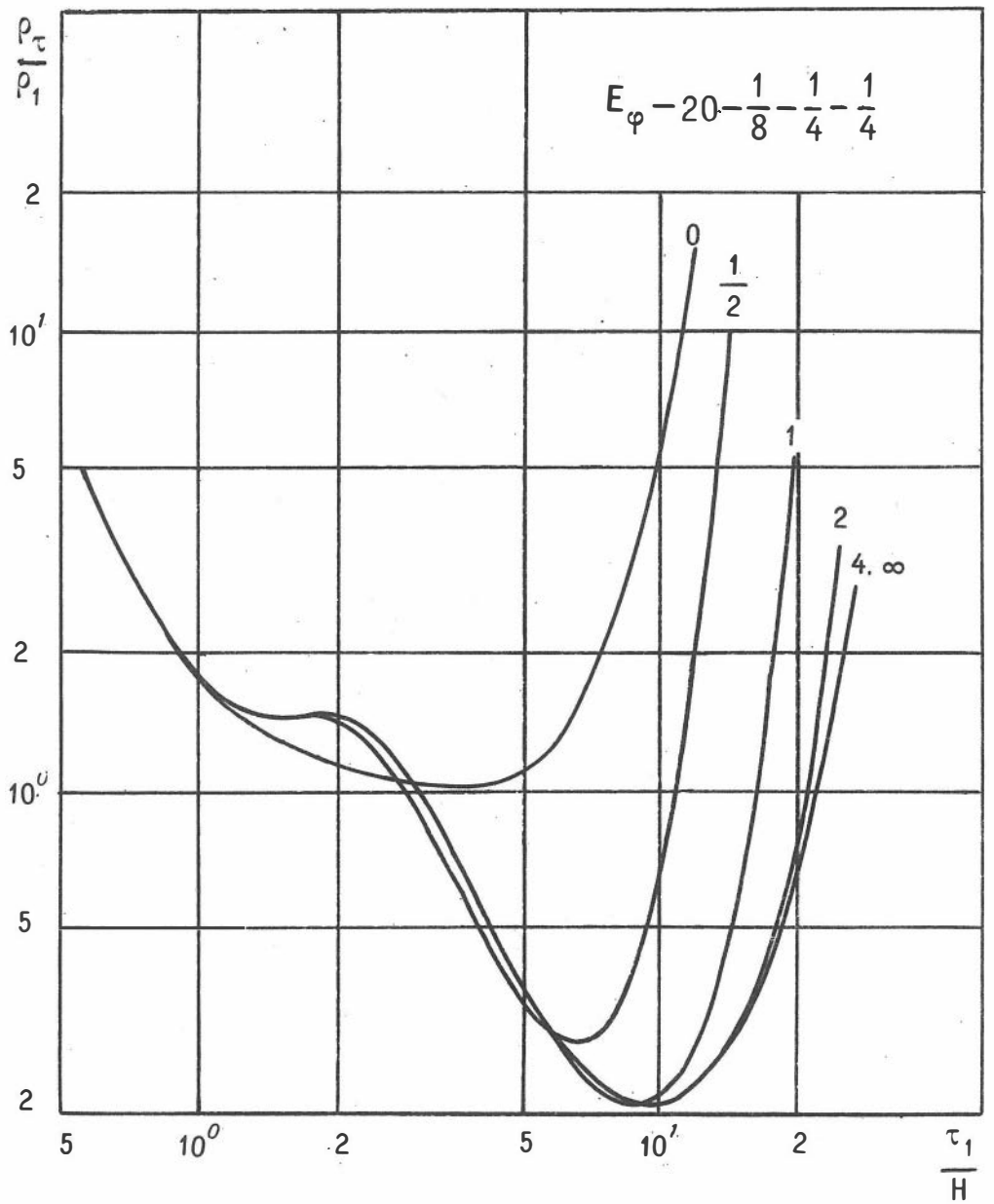
Структура альбома. На каждом листе альбома приводятся графики $\rho_\tau/\rho_1$ для значений радиуса цилиндра $L/H$ =0,5, I, 2, 4 (шифр кривых). Правила шифрования листов и их нумерация даны в таблице. Последовательность цифр в шифре листа соответствует порядку колонок в таблице. Из четырех номеров $N$, приведенных в каждой строке таблицы, первый соответствует значению $r/H$ =0,25, второй – $r/H$ =0,5 и т.д. Например, шифр листа 43: $E_\varphi$ – 60 – I/4 – I/4 – 3/4 – означает, что на этом листе представлены кривые $\rho_\tau/\rho_1$ для следующей модели: $\sigma_i/\sigma_1$=60; $h/H$ =I/4; $d/H$ =I/4; $r/H$ =3/4. Таблица может служить не только для расшифровки шифров, но и для поиска листа, описывающего нужную модель. Например, если нужно найти кривые $\rho_\tau/\rho_1$ для модели: $\sigma_i/\sigma_1$ =20; $h/H$ =0,I25; $d/H$ =0,625; $r/H$ = 0,75,– то, двигаясь по соответствующим строчкам таблицы, устанавливаем, что искомые кривые помещены на листе №7.

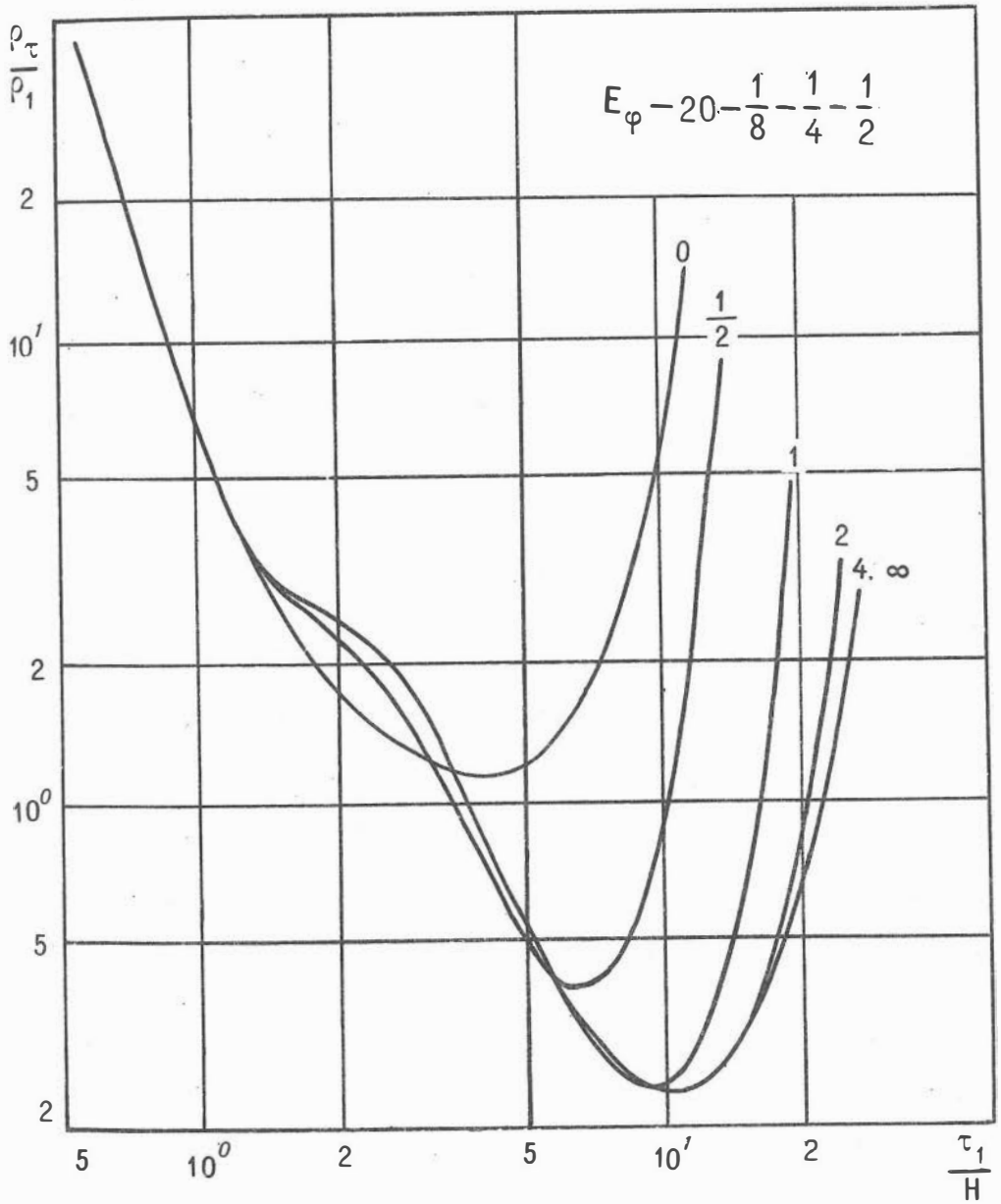
Наряду с графиками $\rho_\tau/\rho_1$ в горизонтально-неоднородных

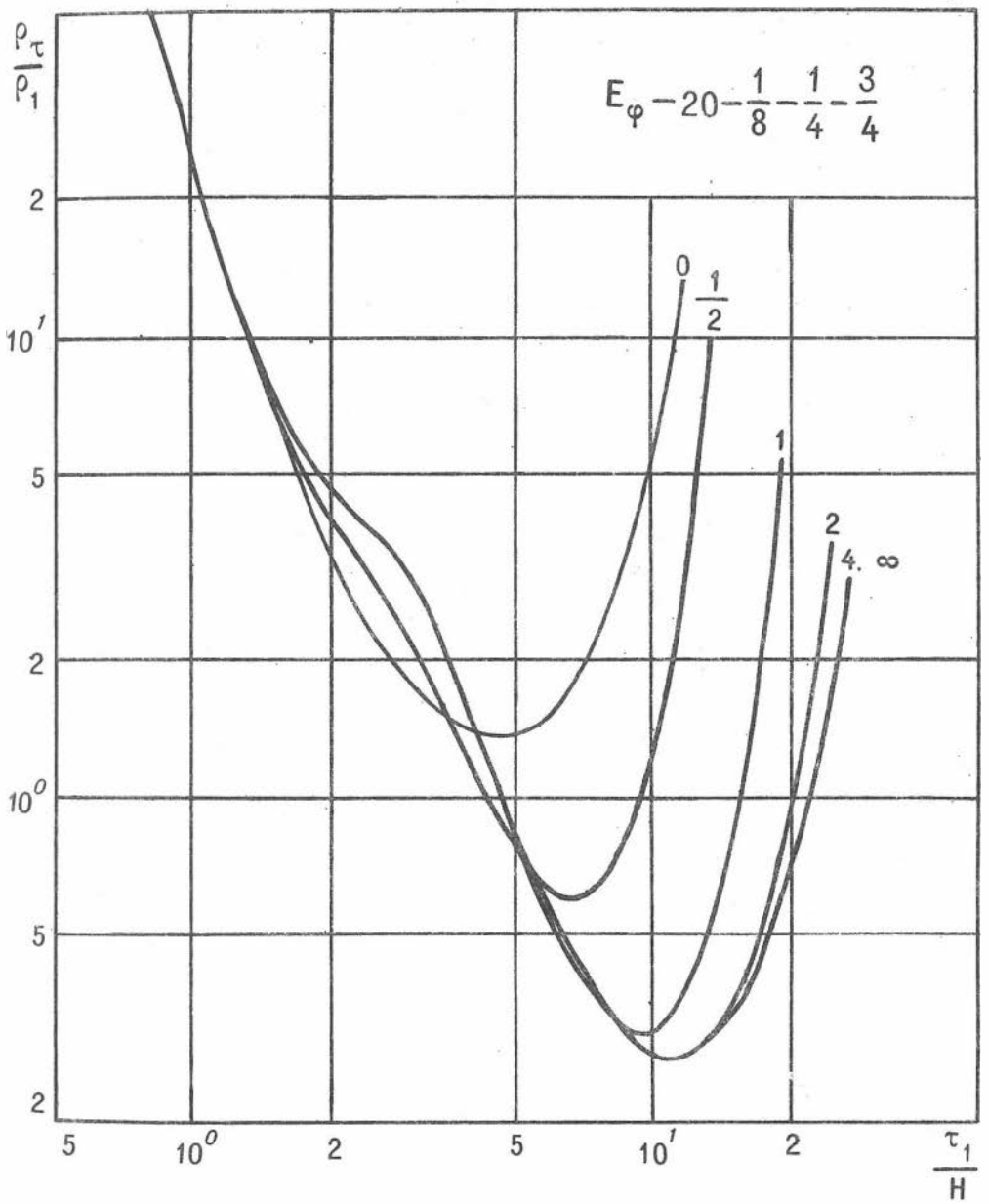
| Проводящее включение в коре | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\frac{\sigma_i}{\sigma_1}$ | $\frac{h}{H}$ | $\frac{d}{H}$ | $\frac{r}{H}$ | $N$ |
| 20 | 0,I25 | 0,25 | 0,25, 0,5, 0,75, I | I, 2, 3, 4 |
| | | 0,625 | 0,25, 0,5, 0,75, I | 5, 6, 7, 8 |
| | 0,25 | 0,25 | 0,25, 0,5, 0,75, I | 9, I0, II, I2 |
| | | 0,5 | 0,25, 0,5, 0,75, I | I3, I4, I5, I6 |
| 40 | 0,I25 | 0,25 | 0,25, 0,5, 0,75, I | I7, I8, I9, 20 |
| | | 0,625 | 0,25, 0,5, 0,75, I | 2I, 22, 23, 24 |
| | 0,25 | 0,25 | 0,25, 0,5, 0,75, I | 25, 26, 27, 28 |
| | | 0,5 | 0,25, 0,5, 0,75, I | 29, 30, 3I, 32 |
| 60 | 0,I25 | 0,25 | 0,25, 0,5, 0,75, I | 33, 34, 35, 36 |
| | | 0,625 | 0,25, 0,5, 0,75, I | 37, 38, 39, 40 |
| | 0,25 | 0,25 | 0,25, 0,5, 0,75, I | 4I, 42, 43, 44 |
| | | 0,5 | 0,25, 0,5, 0,75, I | 45, 46, 47, 48 |

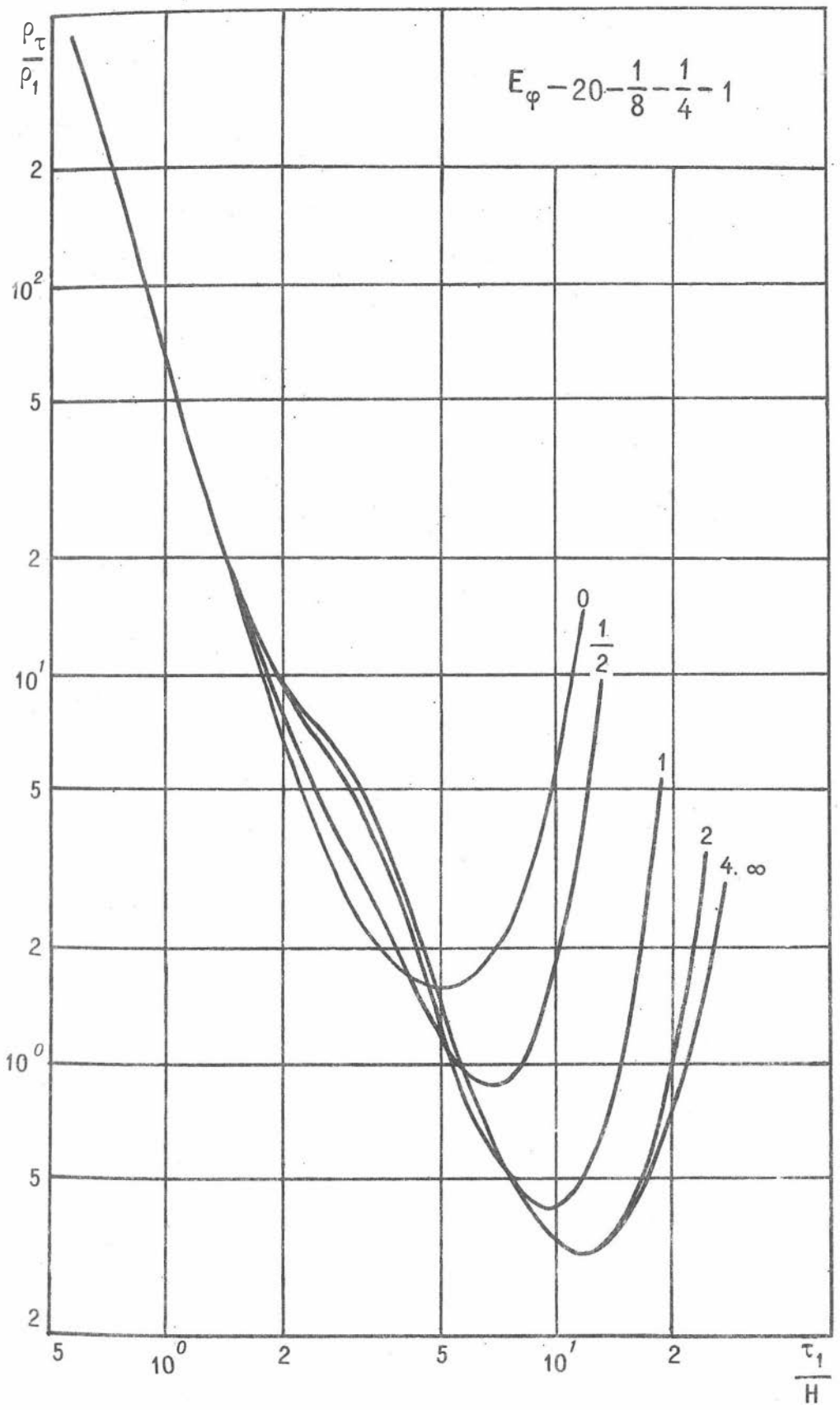
| Структура в кровле мантии | | | |
|---|---|---|---|
| $\frac{h}{H}$ | $\frac{r}{H}$ | $N$ | |
| | | Положительная структура | Отрицательная структура |
| 0,I25 | 0,25, 0,5, 0,75, I | 49, 50, 5I, 52 | 6I, 62, 63, 64 |
| 0,25 | 0,25, 0,5, 0,75, I | 53, 54, 55, 56 | 65, 66, 67, 68 |
| 0,5 | 0,25, 0,5, 0,75, I | 57, 58, 59, 60 | 69, 70, 7I, 72 |

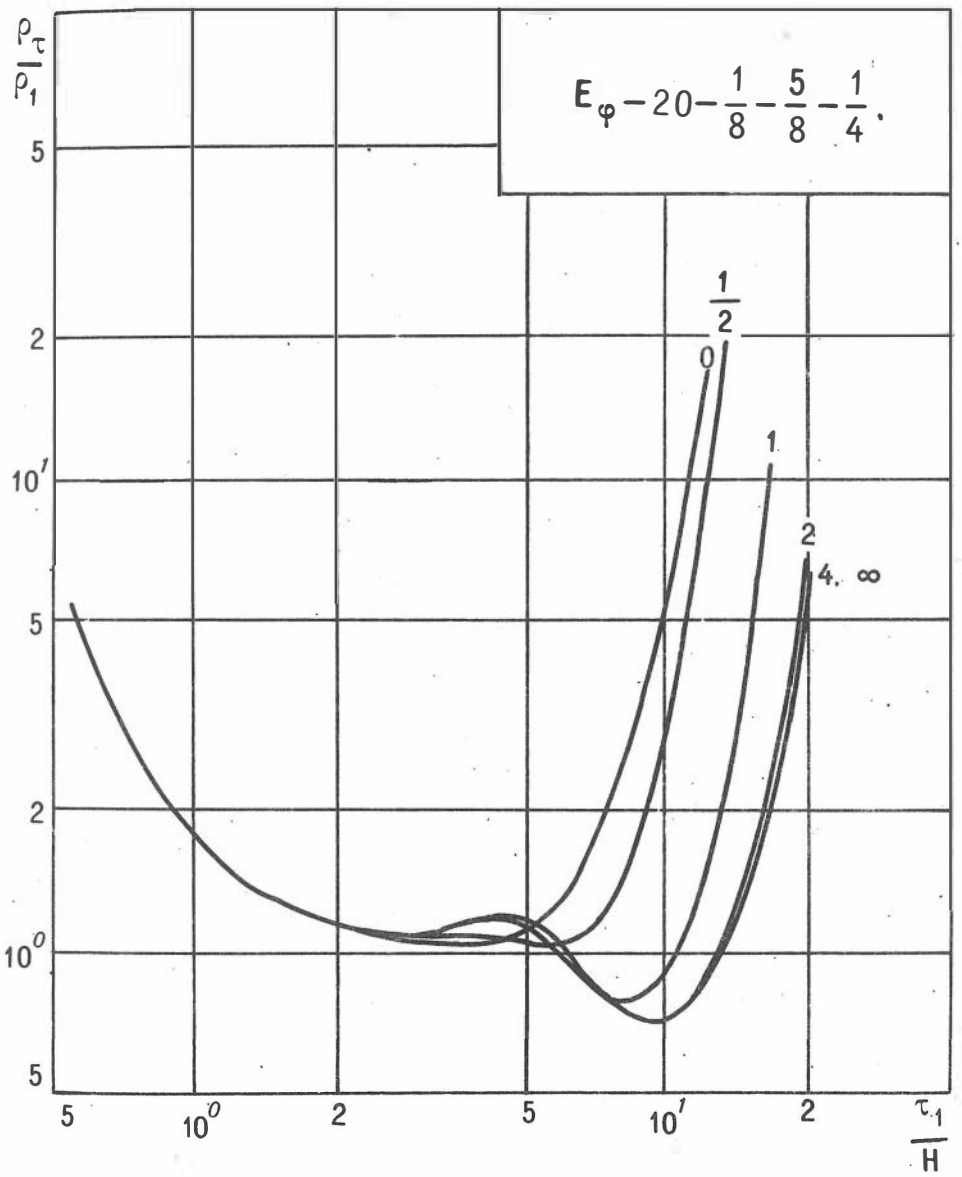
средах, на каждом листе альбома приведены кривые становления для определенных горизонтально-слоистых моделей. В случае неоднородностей промежуточного типа – это двухслойные ($L/H$ =0) и четырехслойные ($L/H = \infty$) кривые, в случае глубинных неоднородностей – двухслойные кривые с мощностью верхнего слоя, равной максимальной глубине погружения кровли мантии ($L/H$=0 для положительных структур и $L/H = \infty$ для отрицательных).

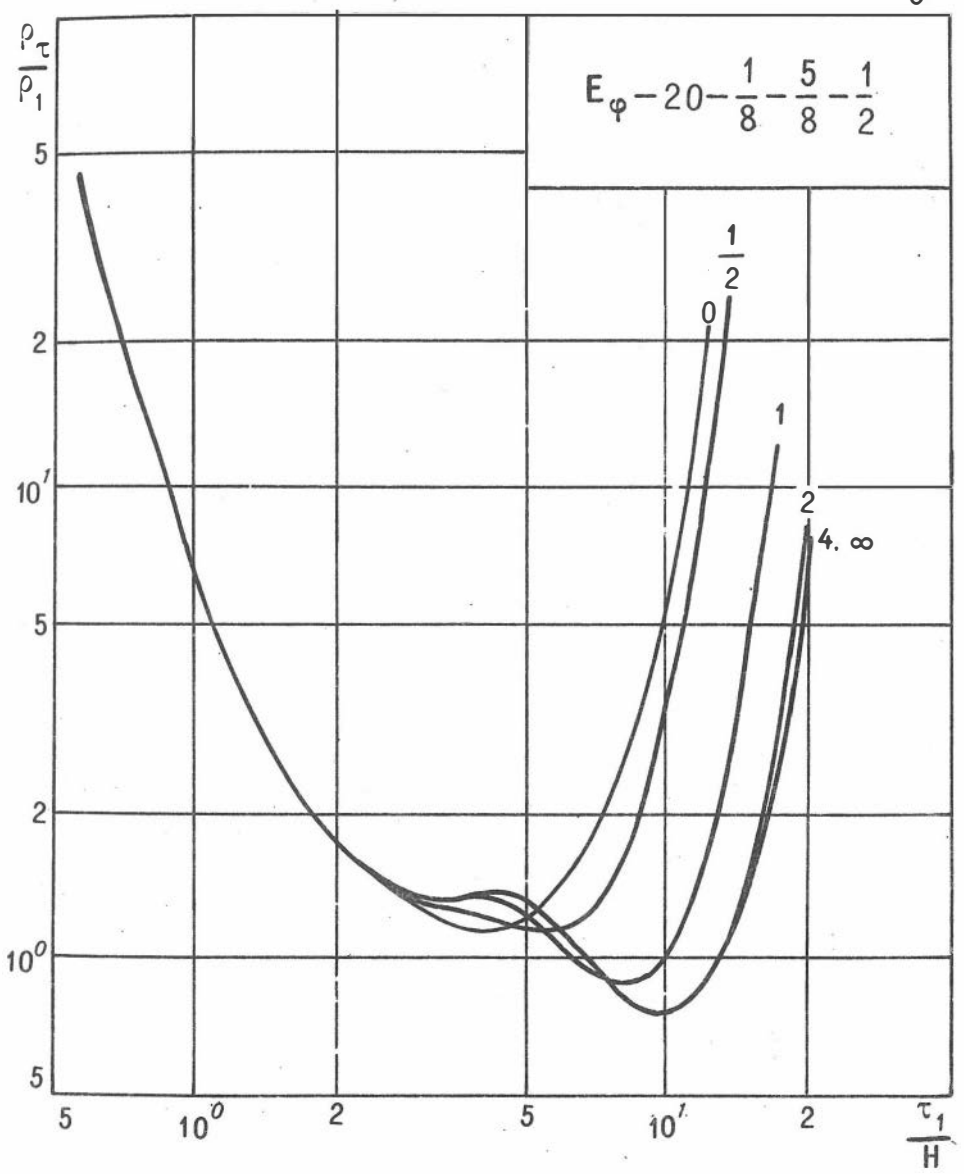

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 20 - \frac{1}{8} - \frac{1}{4} - \frac{1}{4}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
5
$10^0$
2
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

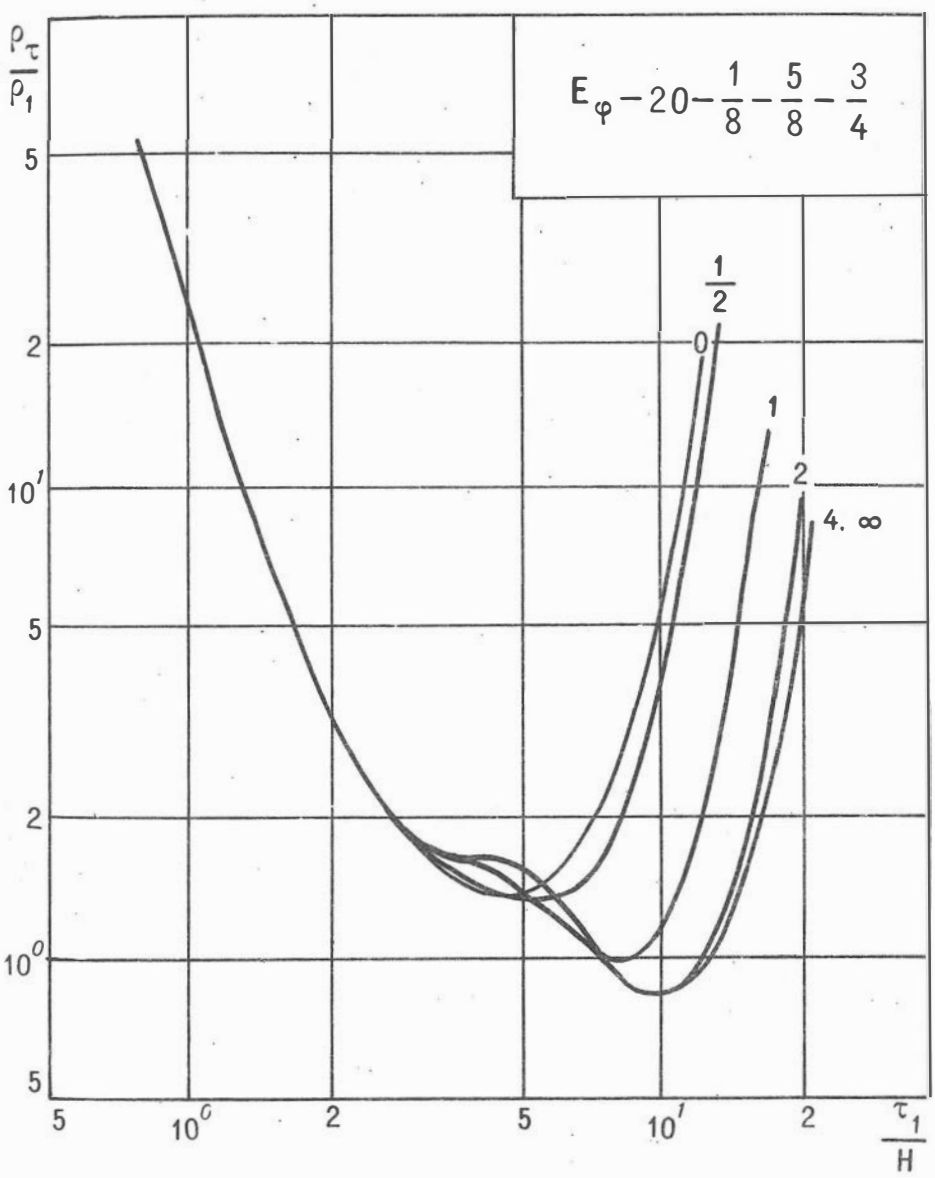

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 20 - \frac{1}{8} - \frac{1}{4} - \frac{1}{2}$
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

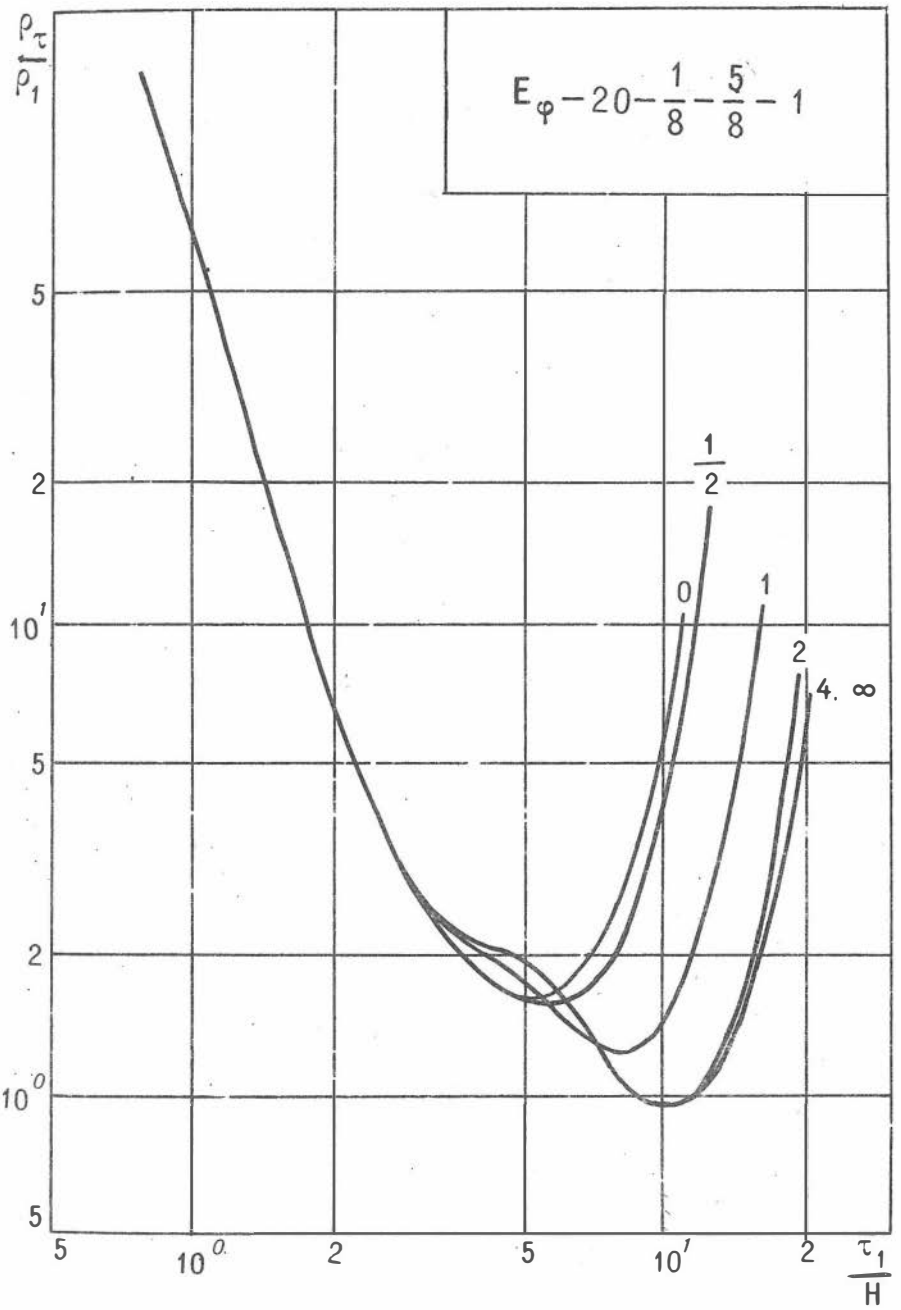

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 20 - \frac{1}{8} - \frac{1}{4} - \frac{3}{4}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4, ∞
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

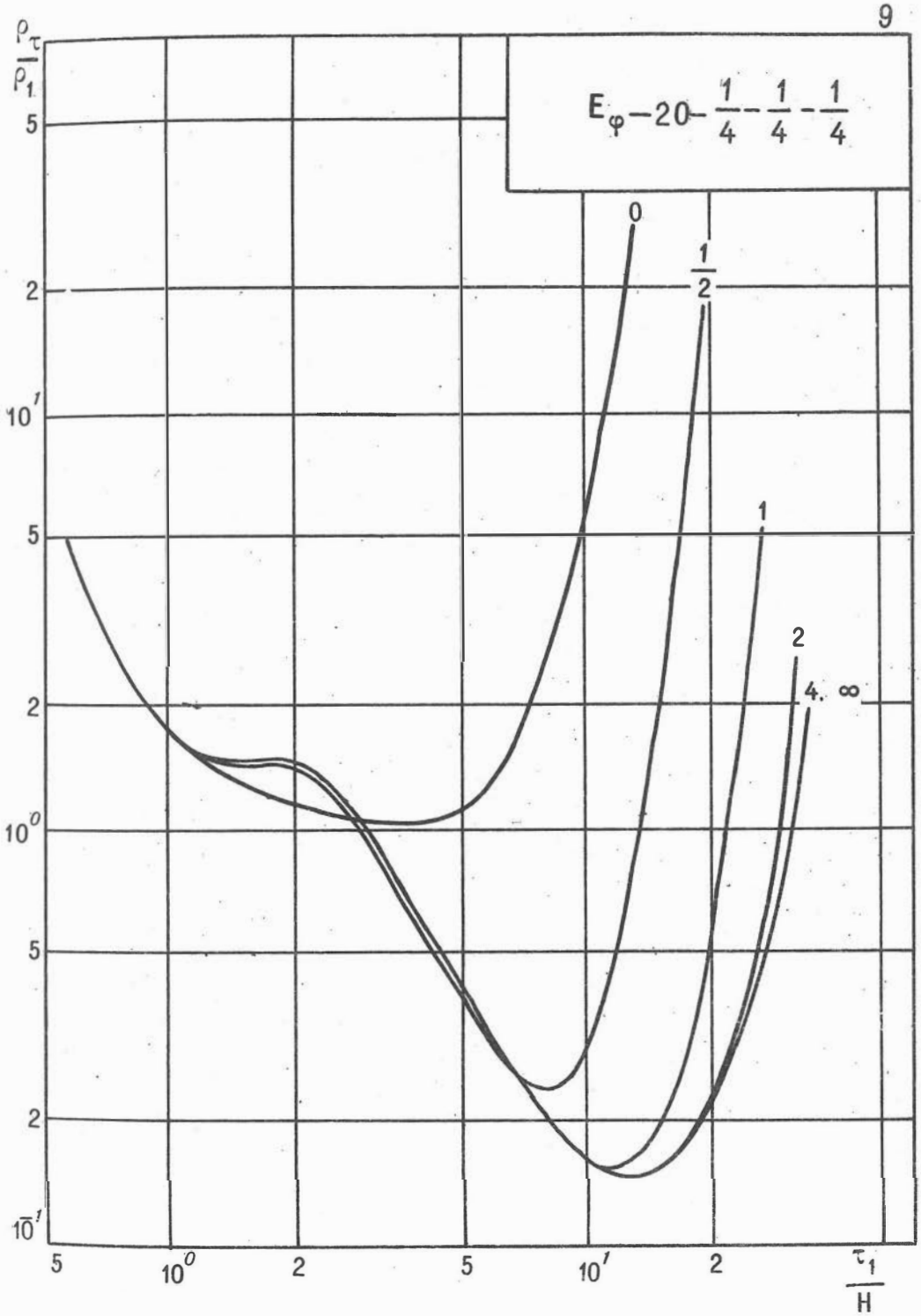

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 20 - \frac{1}{8} - \frac{1}{4} - 1$
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

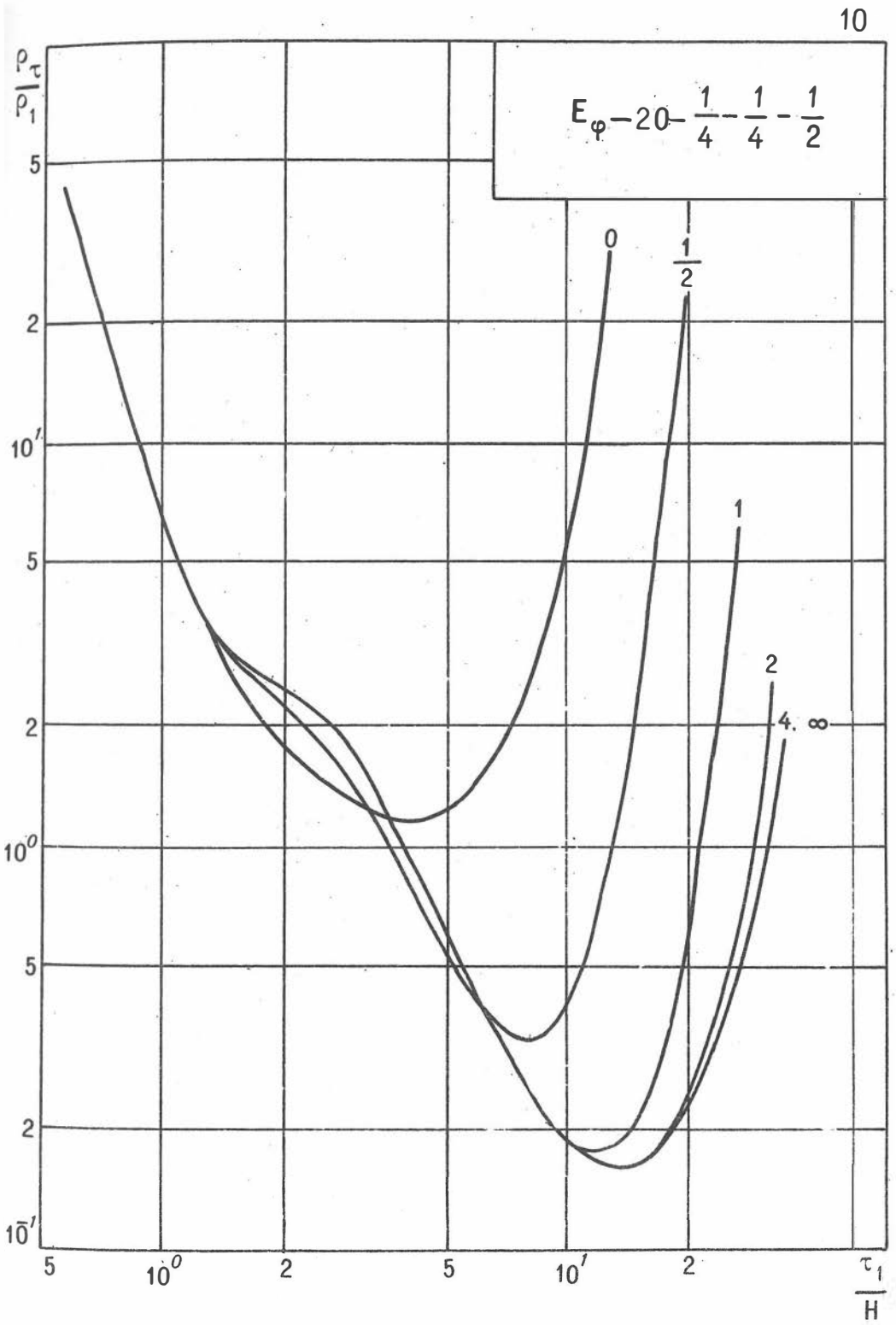

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 20 - \frac{1}{8} - \frac{5}{8} - \frac{1}{4}$.
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$
$\frac{1}{2}$
0
1
2
4, ∞

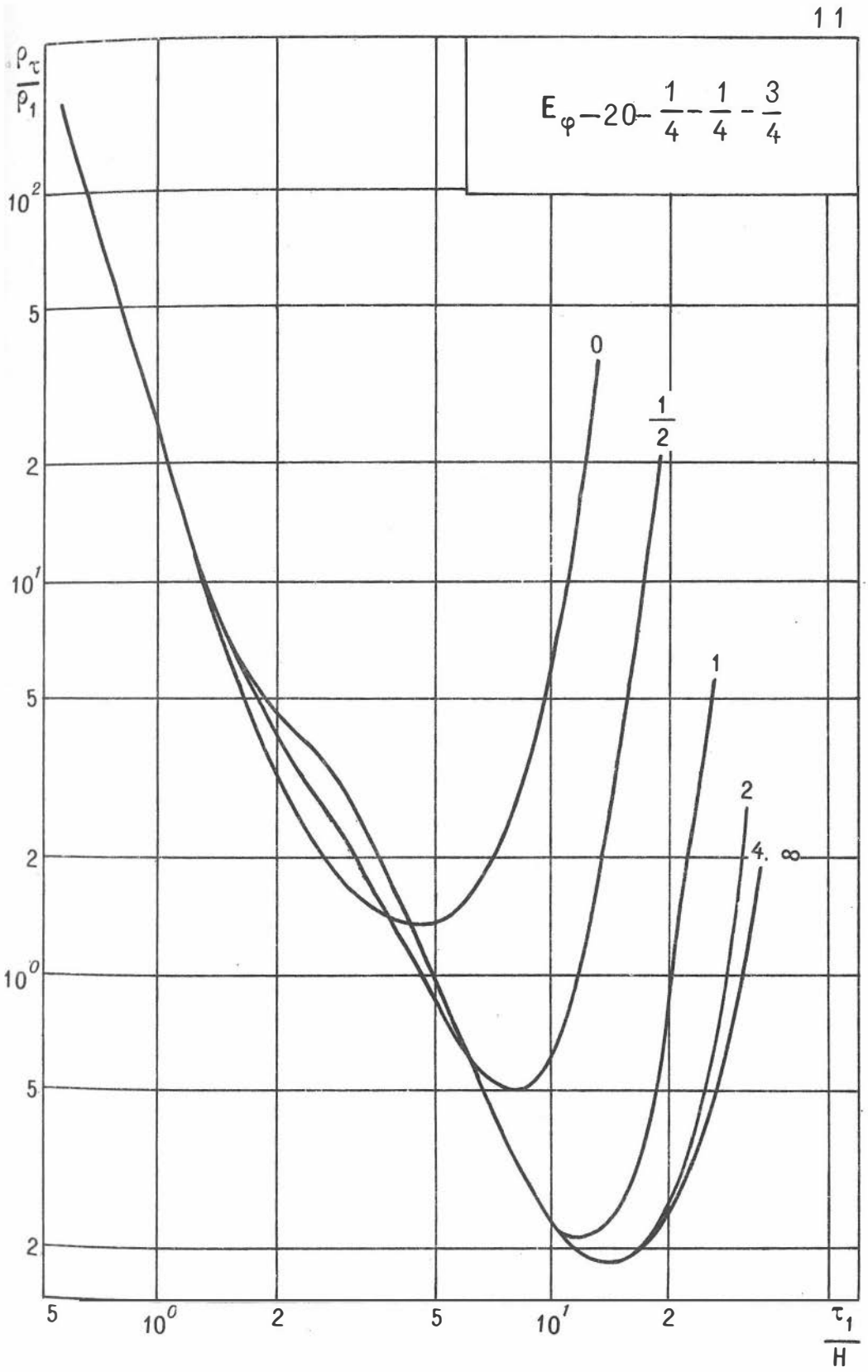

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 20 - \frac{1}{8} - \frac{5}{8} - \frac{1}{2}$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

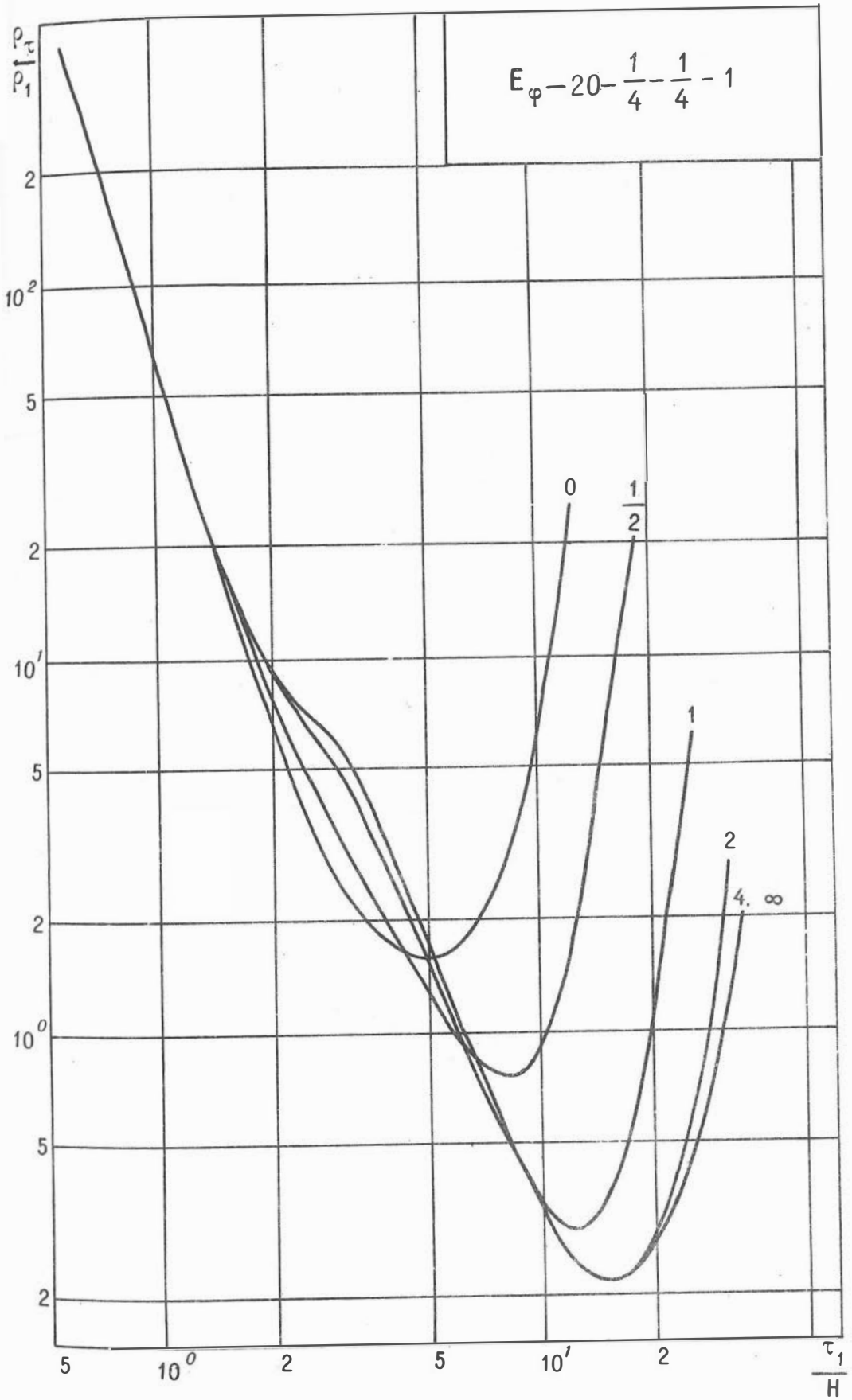

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 20 - \frac{1}{8} - \frac{5}{8} - \frac{3}{4}$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$
$\frac{1}{2}$
0
1
2
4. ∞

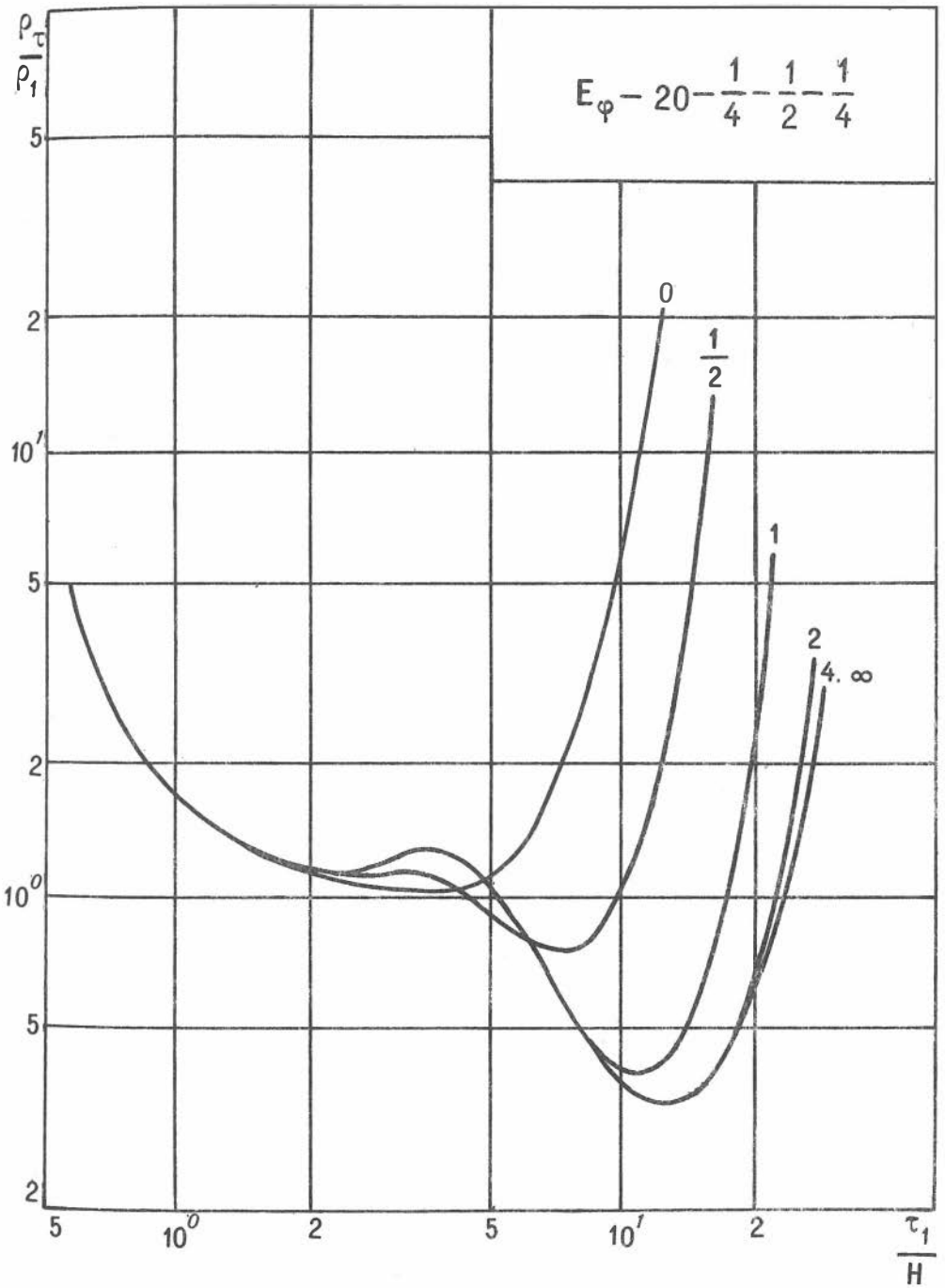

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 20 - \frac{1}{8} - \frac{5}{8} - 1$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$
$\frac{1}{2}$
0
1
2
4. ∞

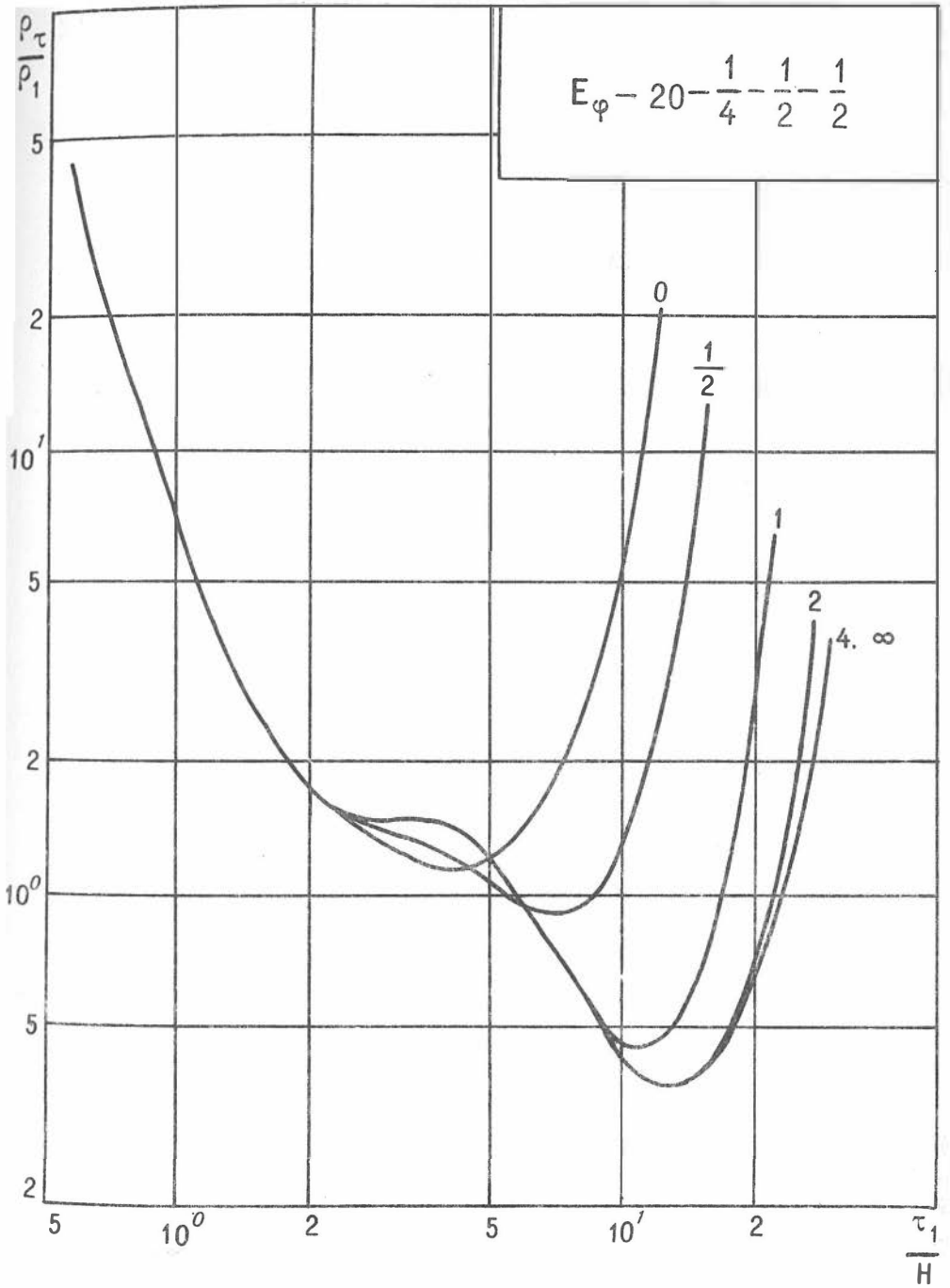

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 20 - \frac{1}{4} - \frac{1}{4} - \frac{1}{4}$
0
1/2
1
2
4
∞
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

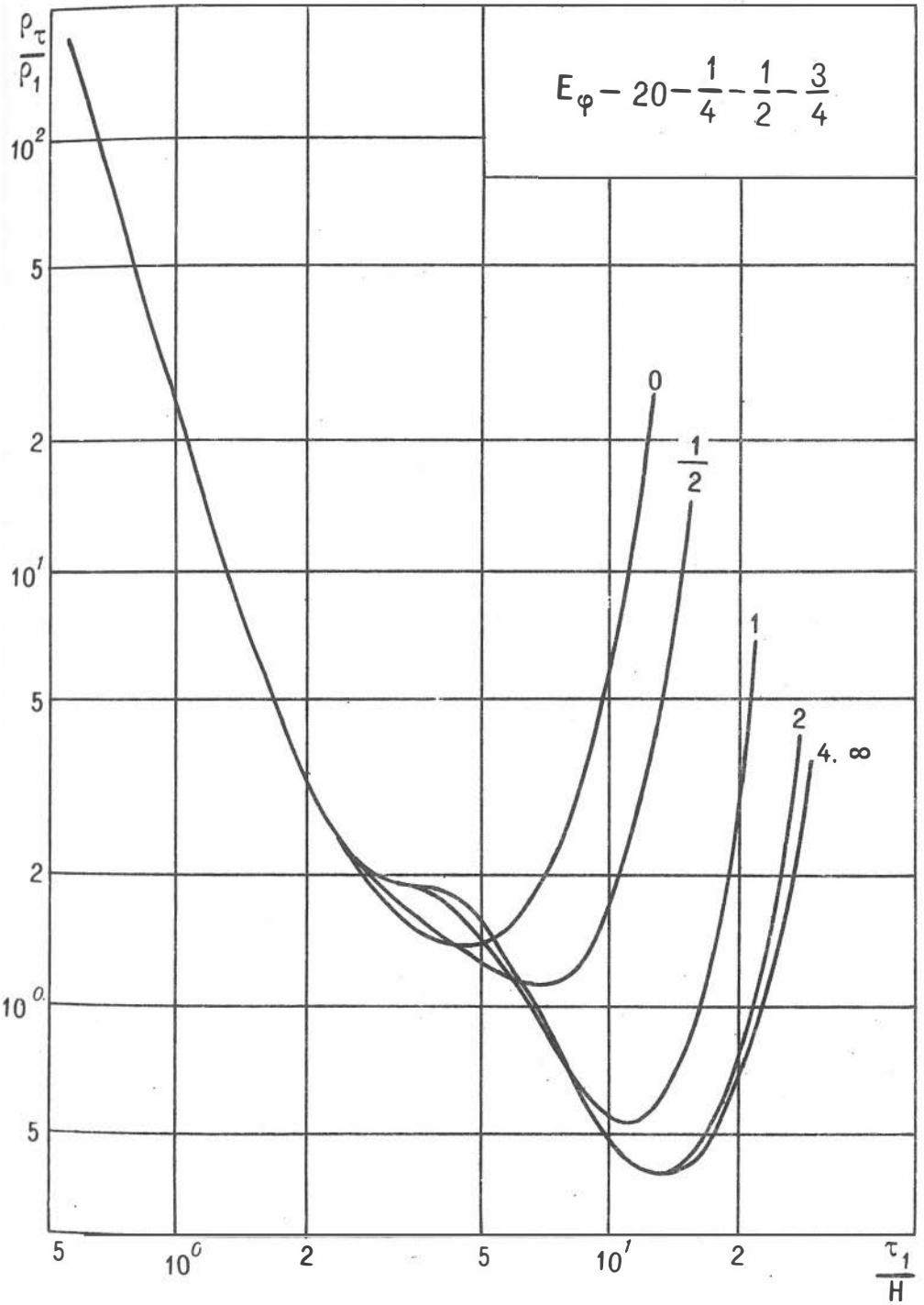

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 20 - \frac{1}{4} - \frac{1}{4} - \frac{1}{2}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4, ∞
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

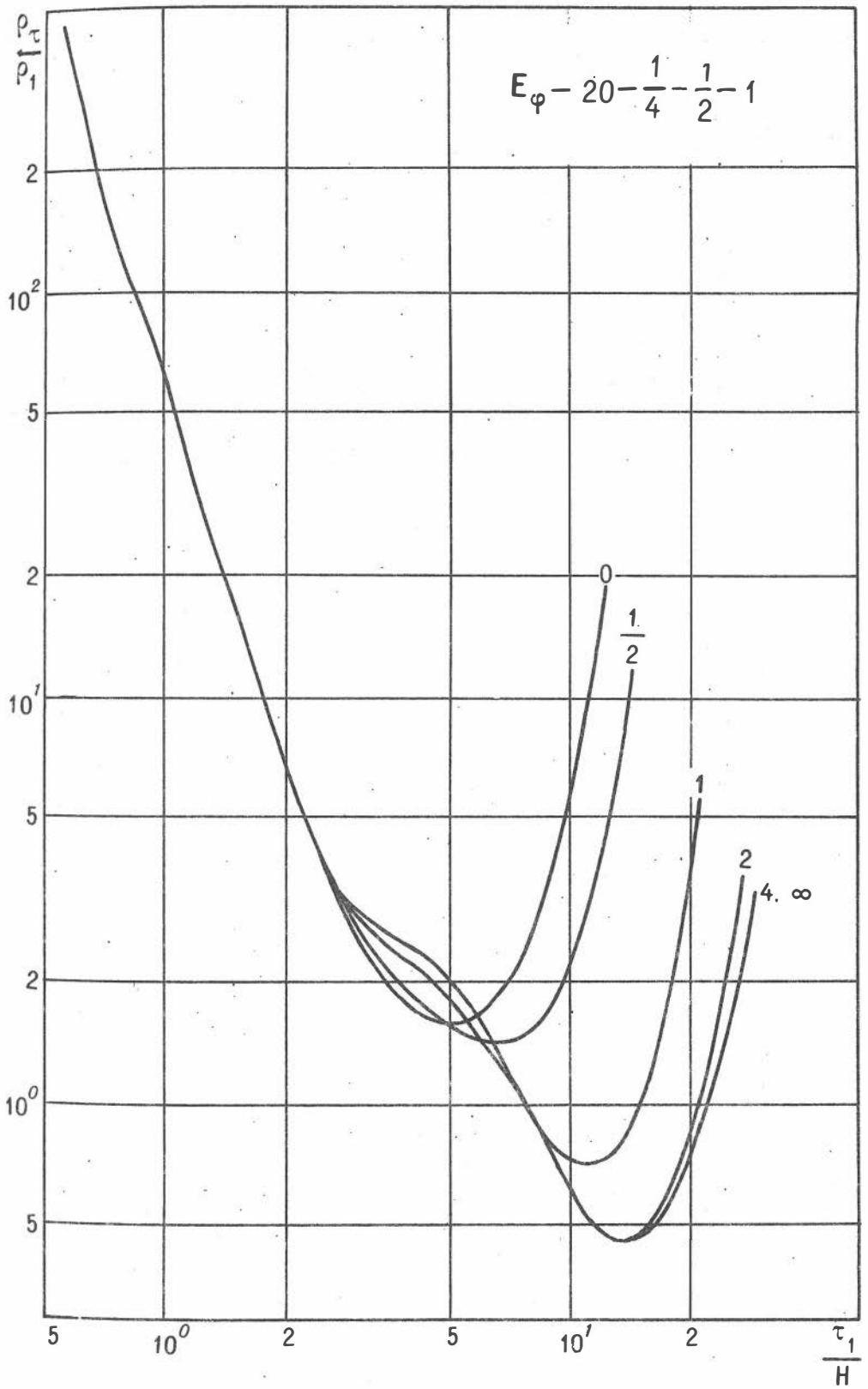

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 20 - \frac{1}{4} - \frac{1}{4} - \frac{3}{4}$
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

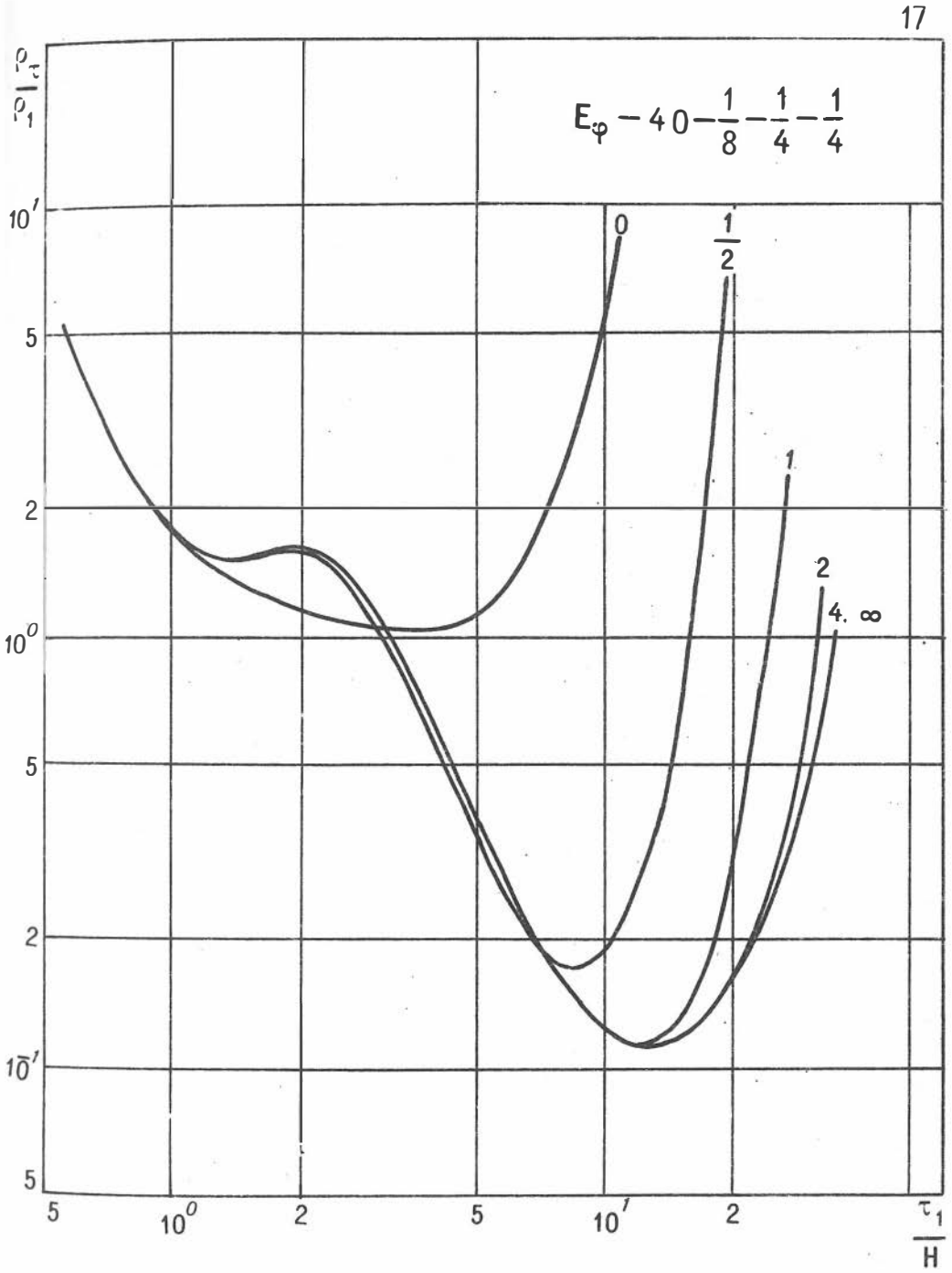

$E_\varphi - 20 - \frac{1}{4} - \frac{1}{4} - 1$
$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

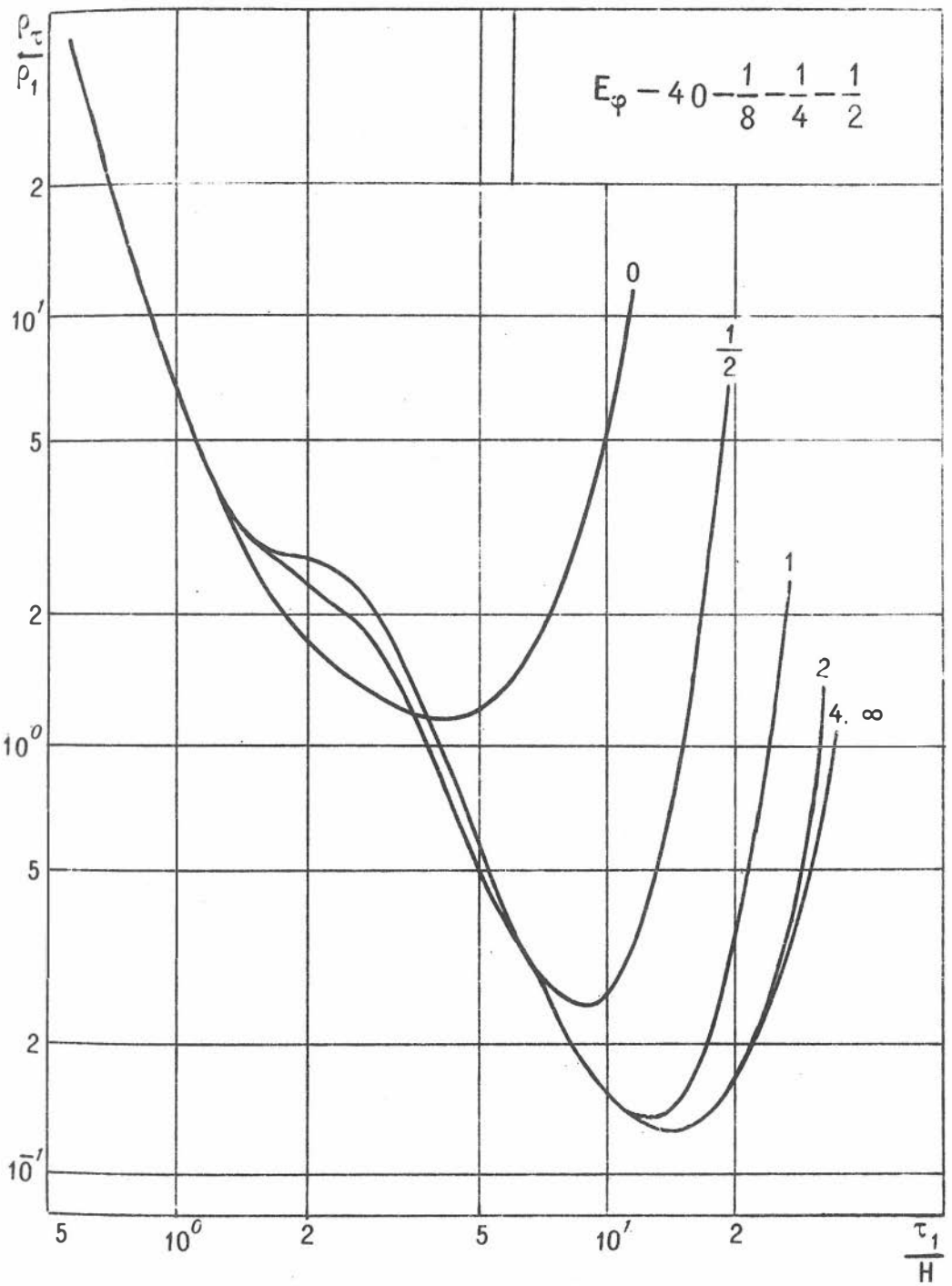

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 20 - \frac{1}{4} - \frac{1}{2} - \frac{1}{4}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

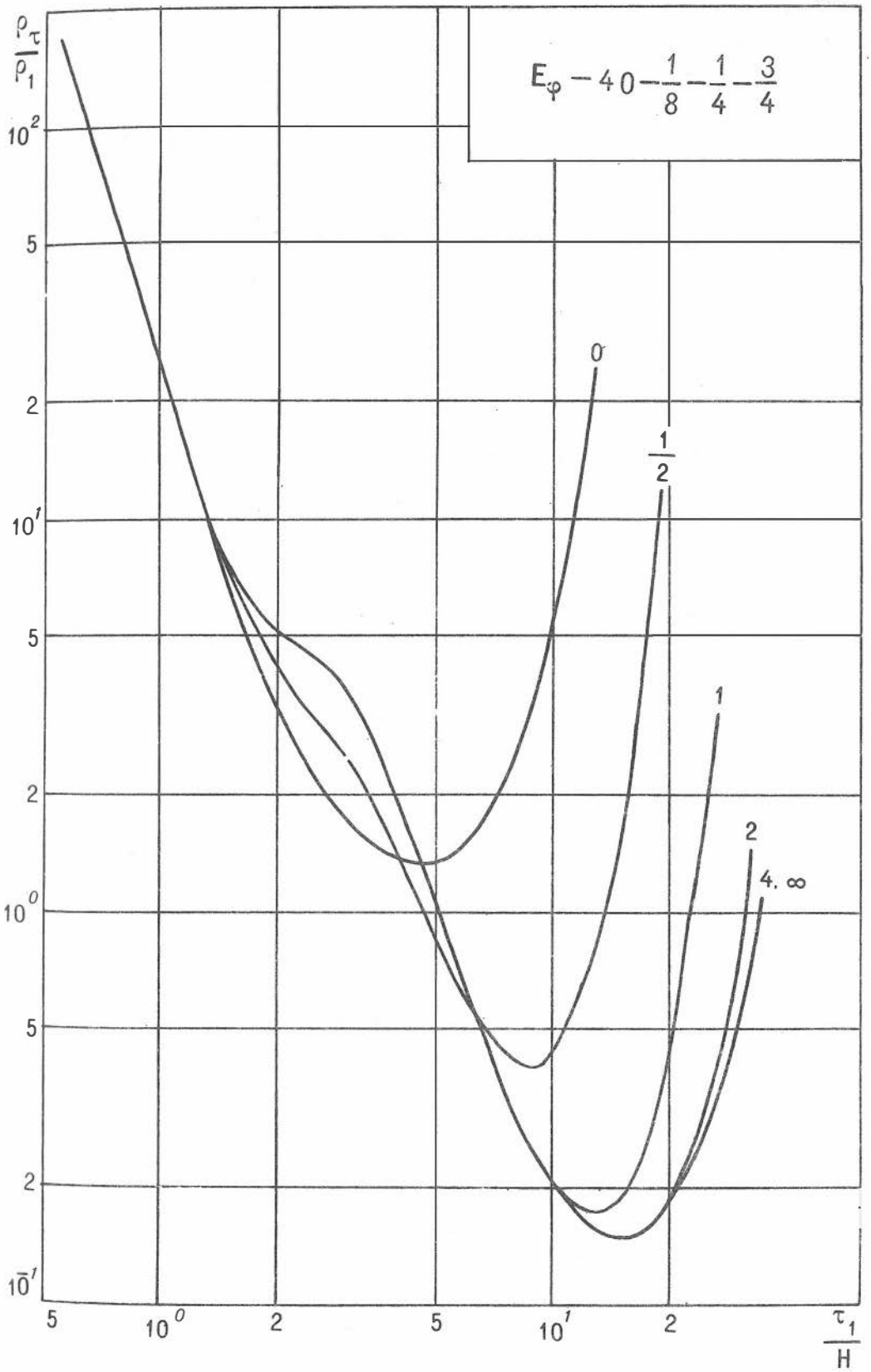

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 20 - \frac{1}{4} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

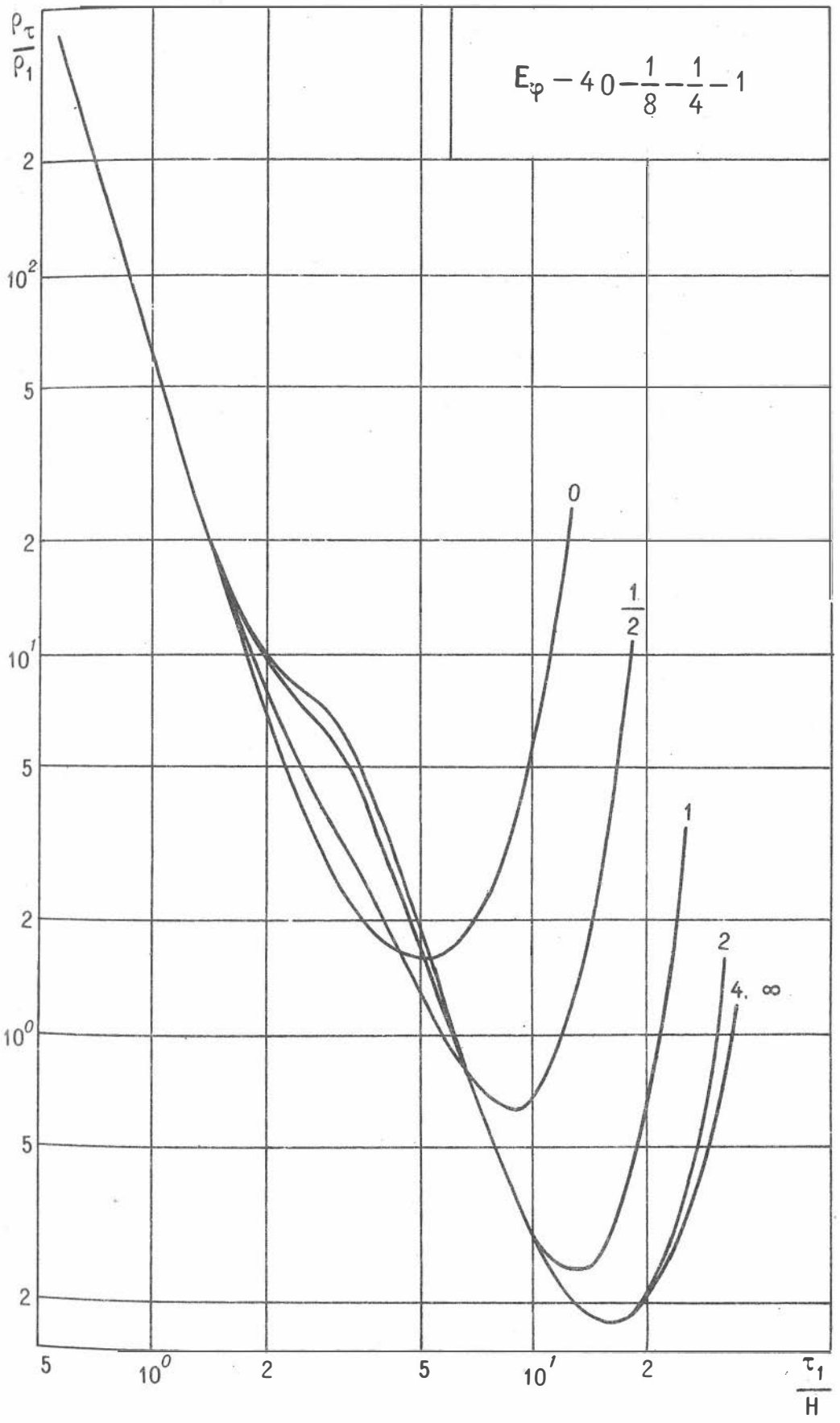

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 20 - \frac{1}{4} - \frac{1}{2} - \frac{3}{4}$
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

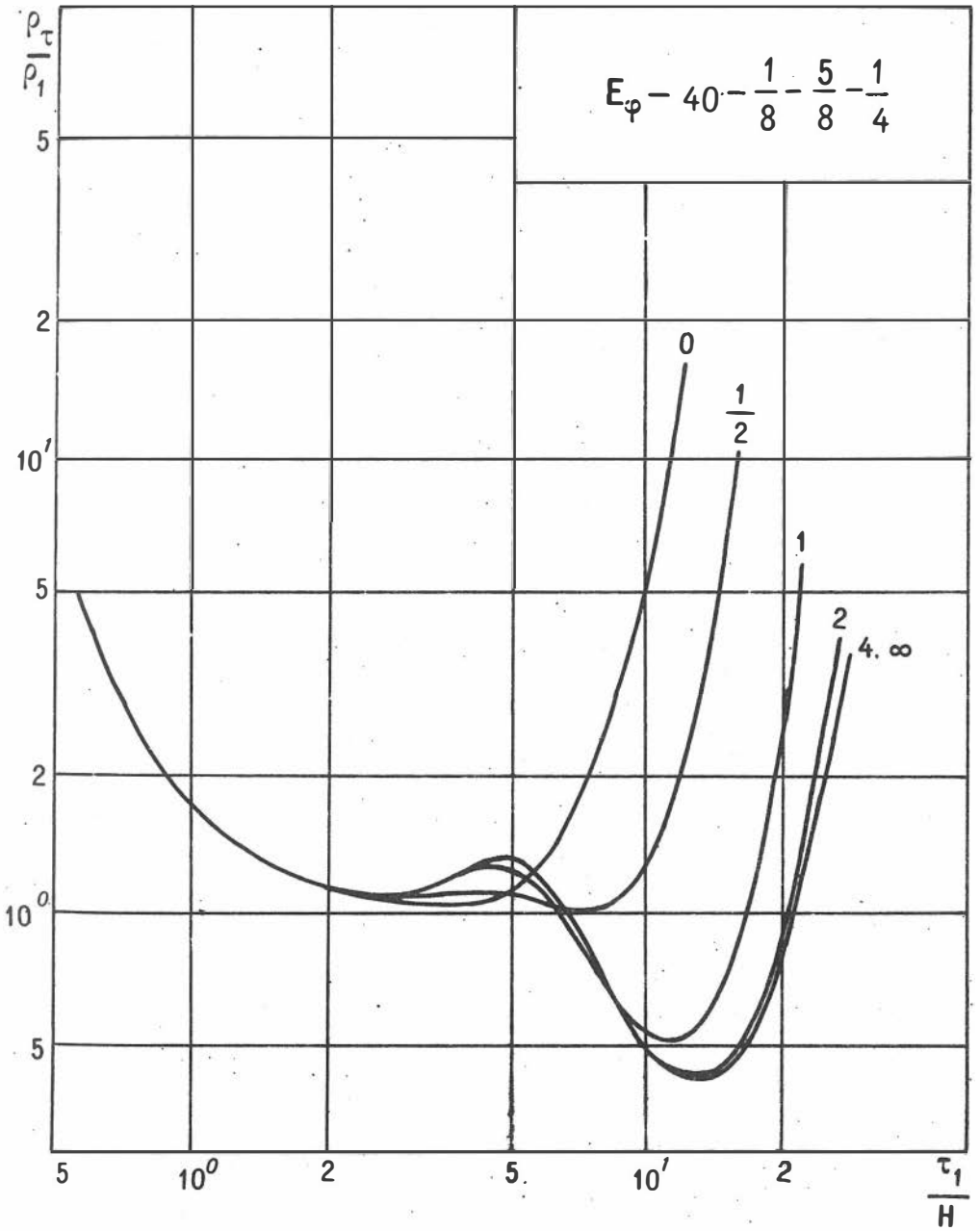

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 20 - \frac{1}{4} - \frac{1}{2} - 1$
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4, ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

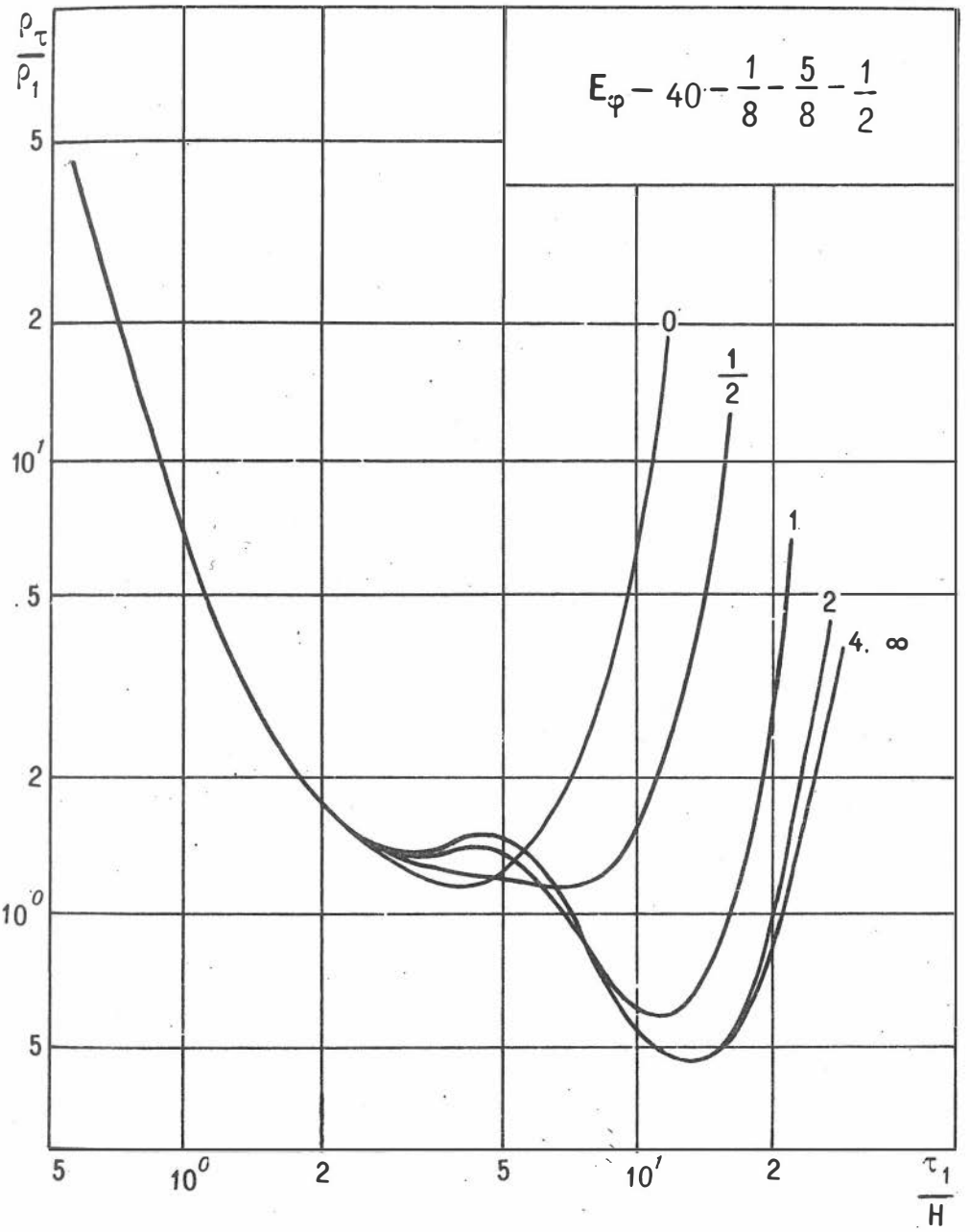

$\frac{\rho_2}{\rho_1}$
$E_\varphi - 40 - \frac{1}{8} - \frac{1}{4} - \frac{1}{4}$
10′
5
2
10⁰
5
2
10⁻¹
5
0
1/2
1
2
4. ∞
5
10⁰
2
5
10′
2
$\frac{\tau_1}{H}$

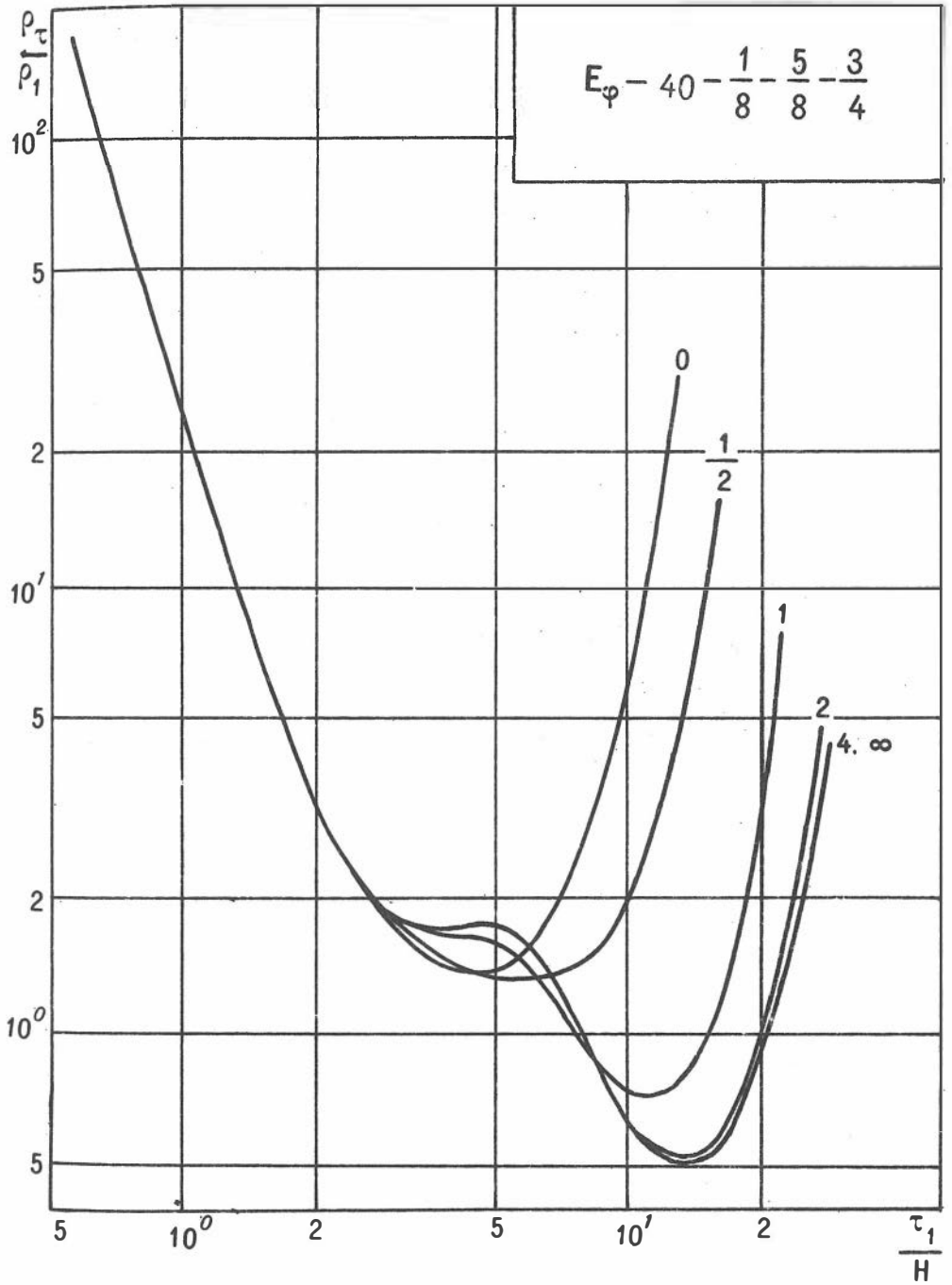

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 40 - \frac{1}{8} - \frac{1}{4} - \frac{1}{2}$
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

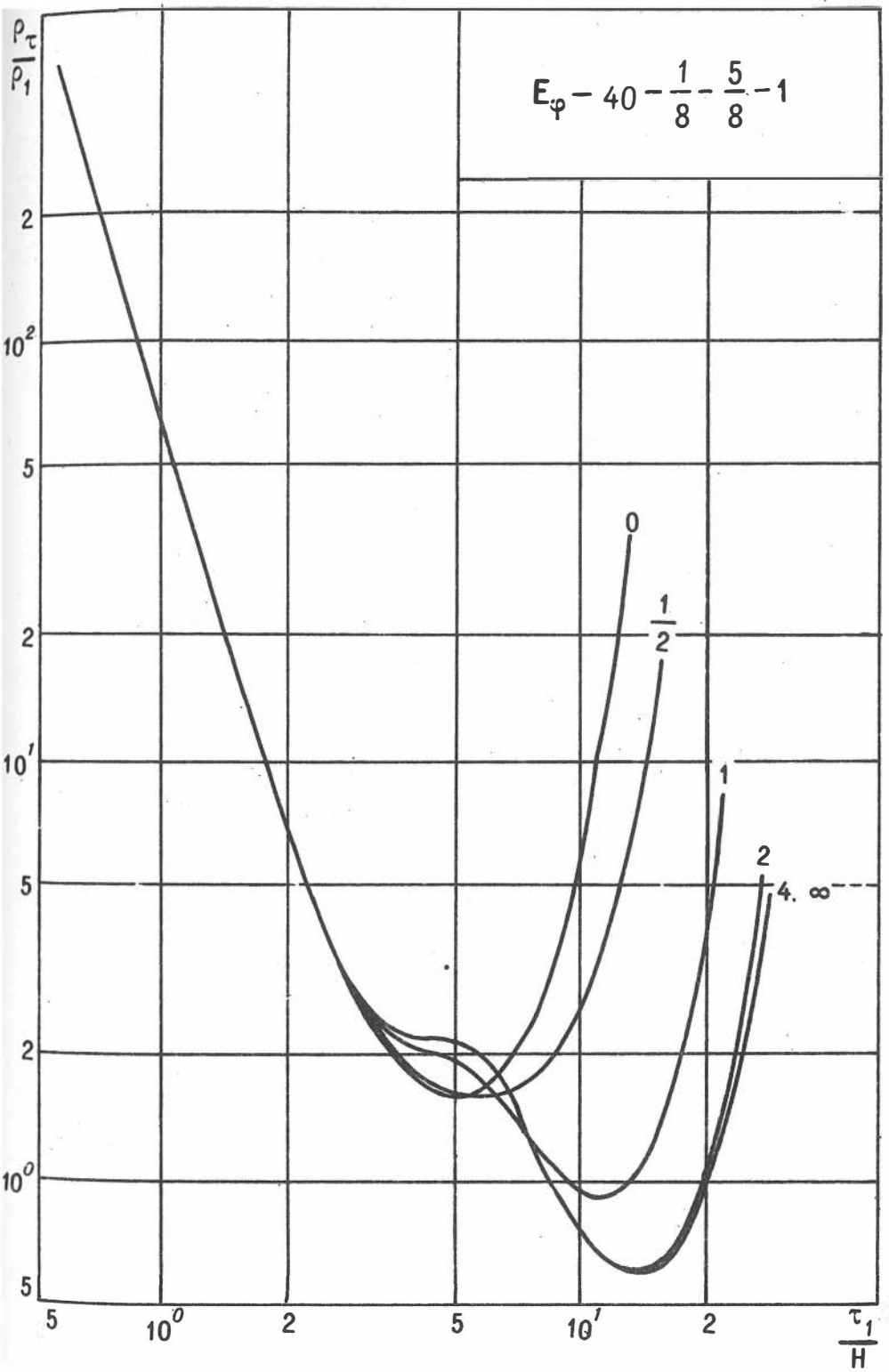

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 40 - \frac{1}{8} - \frac{1}{4} - \frac{3}{4}$
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

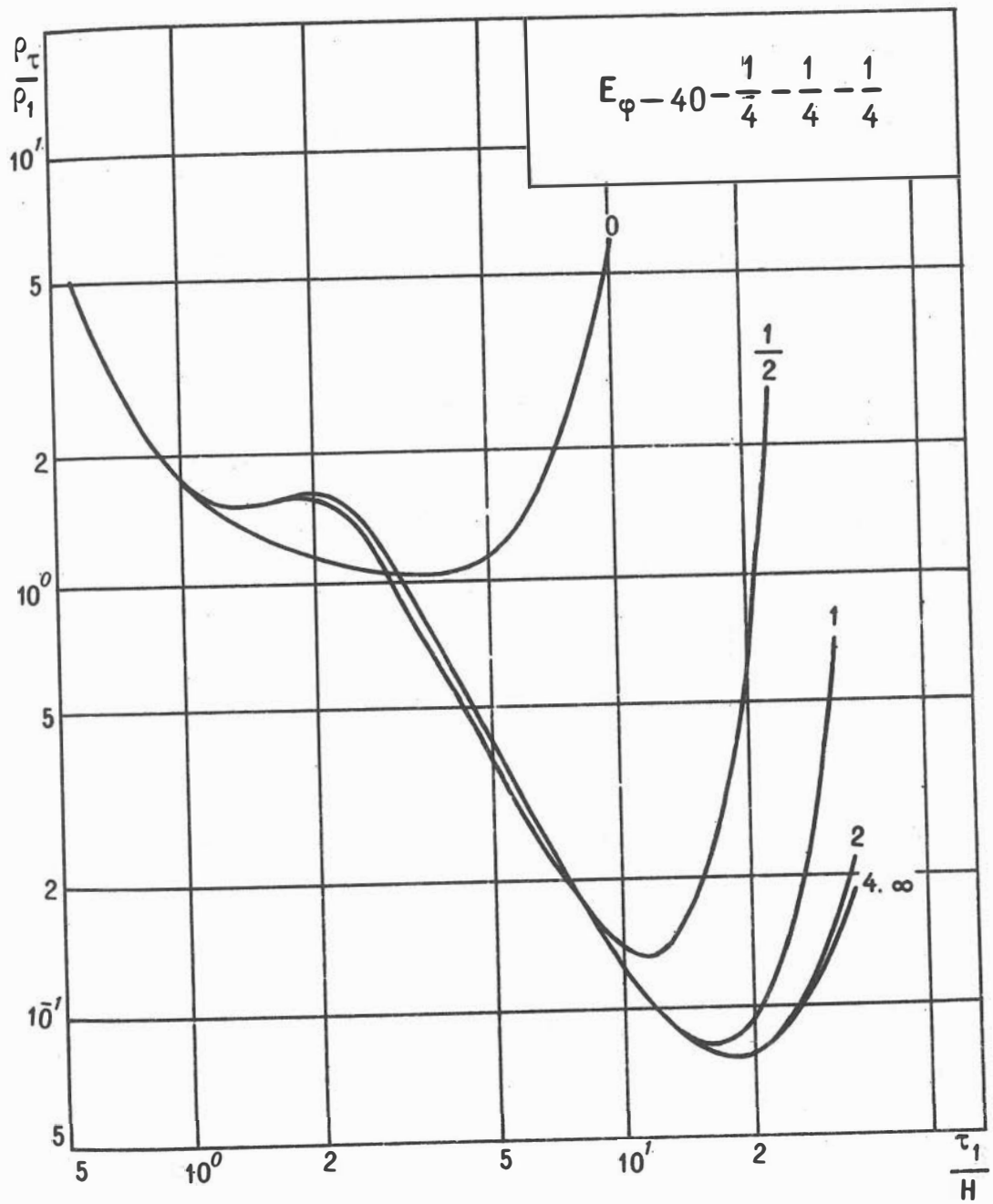

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 40 - \frac{1}{8} - \frac{1}{4} - 1$
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4, ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

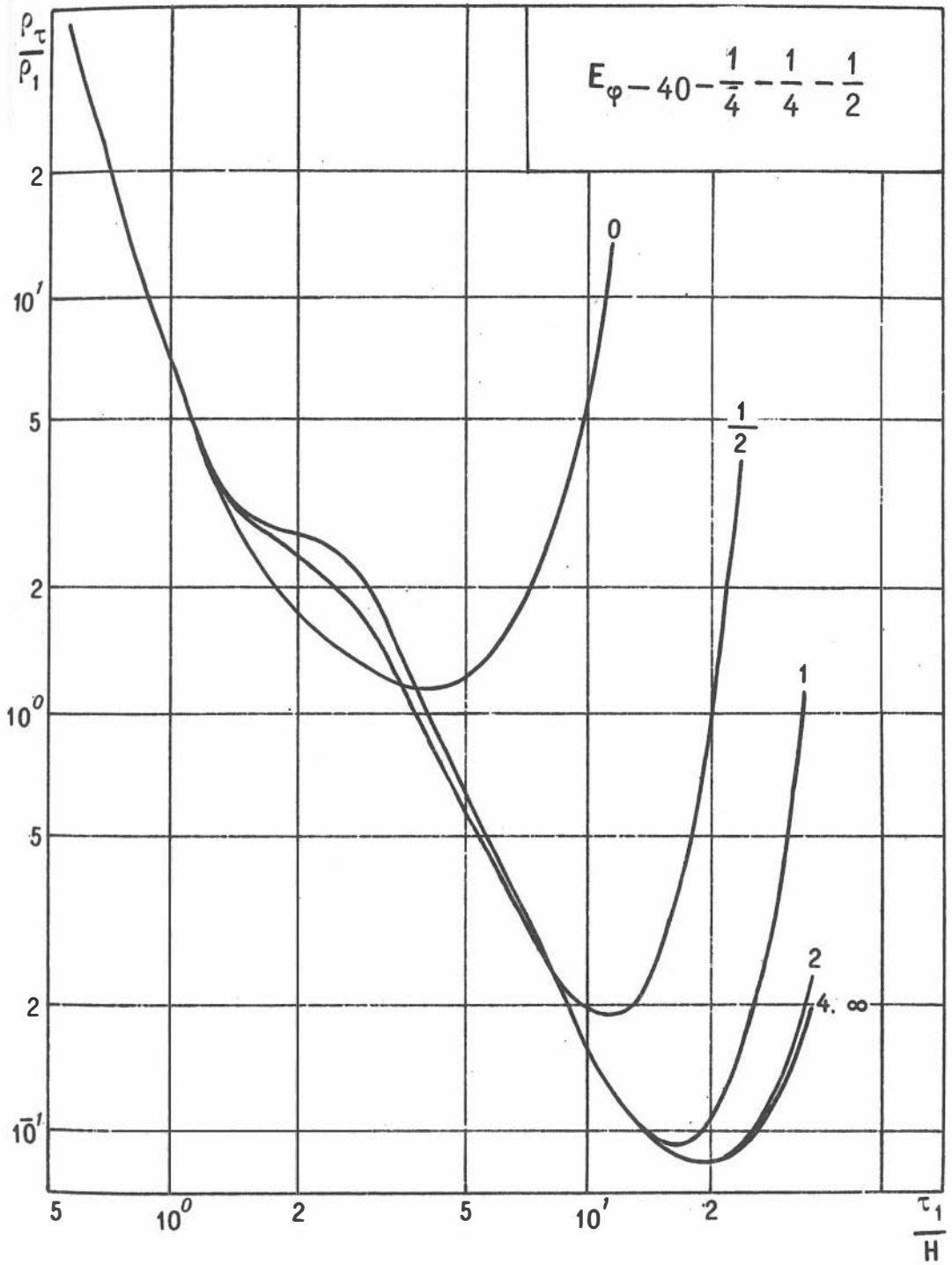

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 40 - \frac{1}{8} - \frac{5}{8} - \frac{1}{4}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

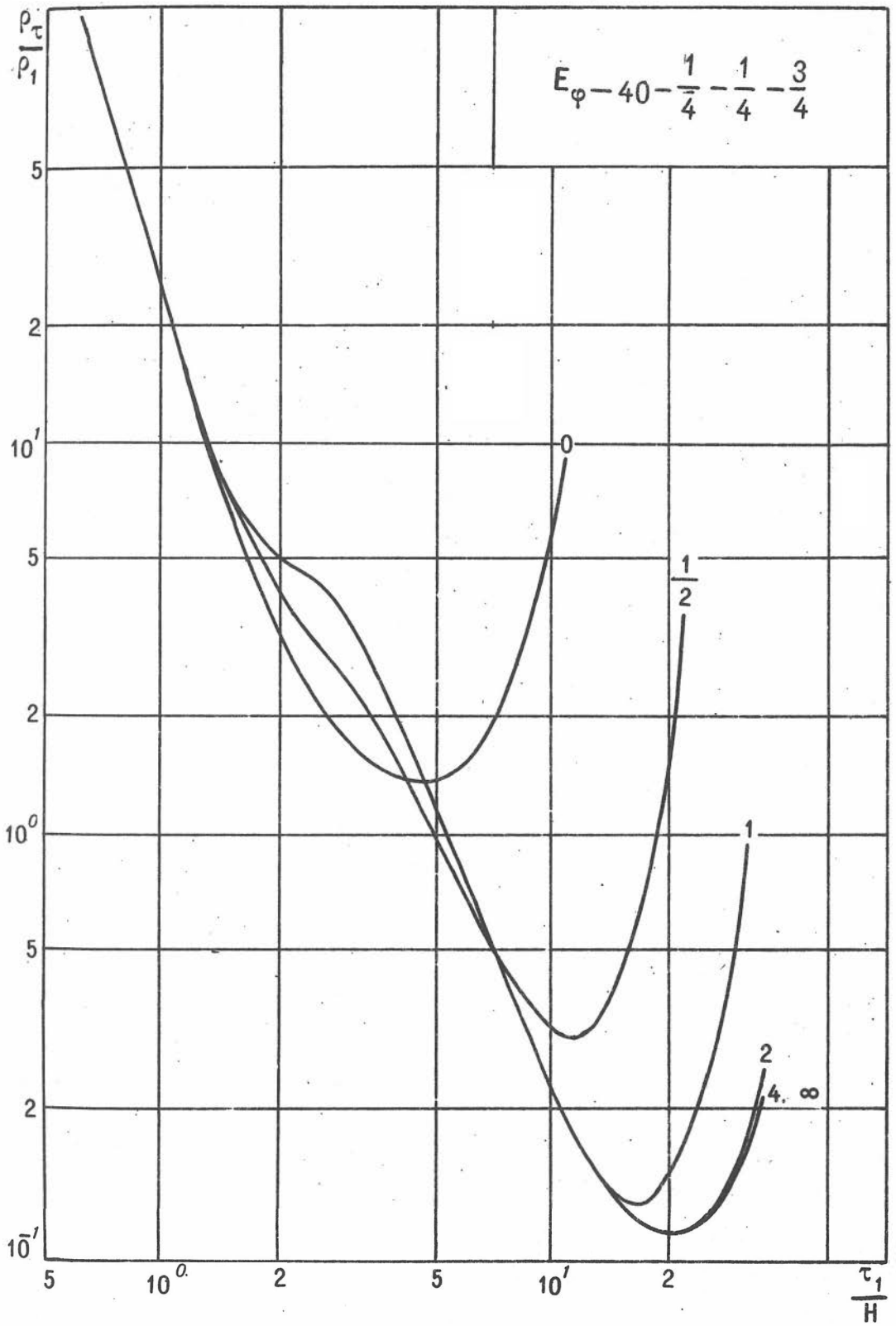

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 40 - \frac{1}{8} - \frac{5}{8} - \frac{1}{2}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
2
$10^1$
.5
2
$10^0$
5
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

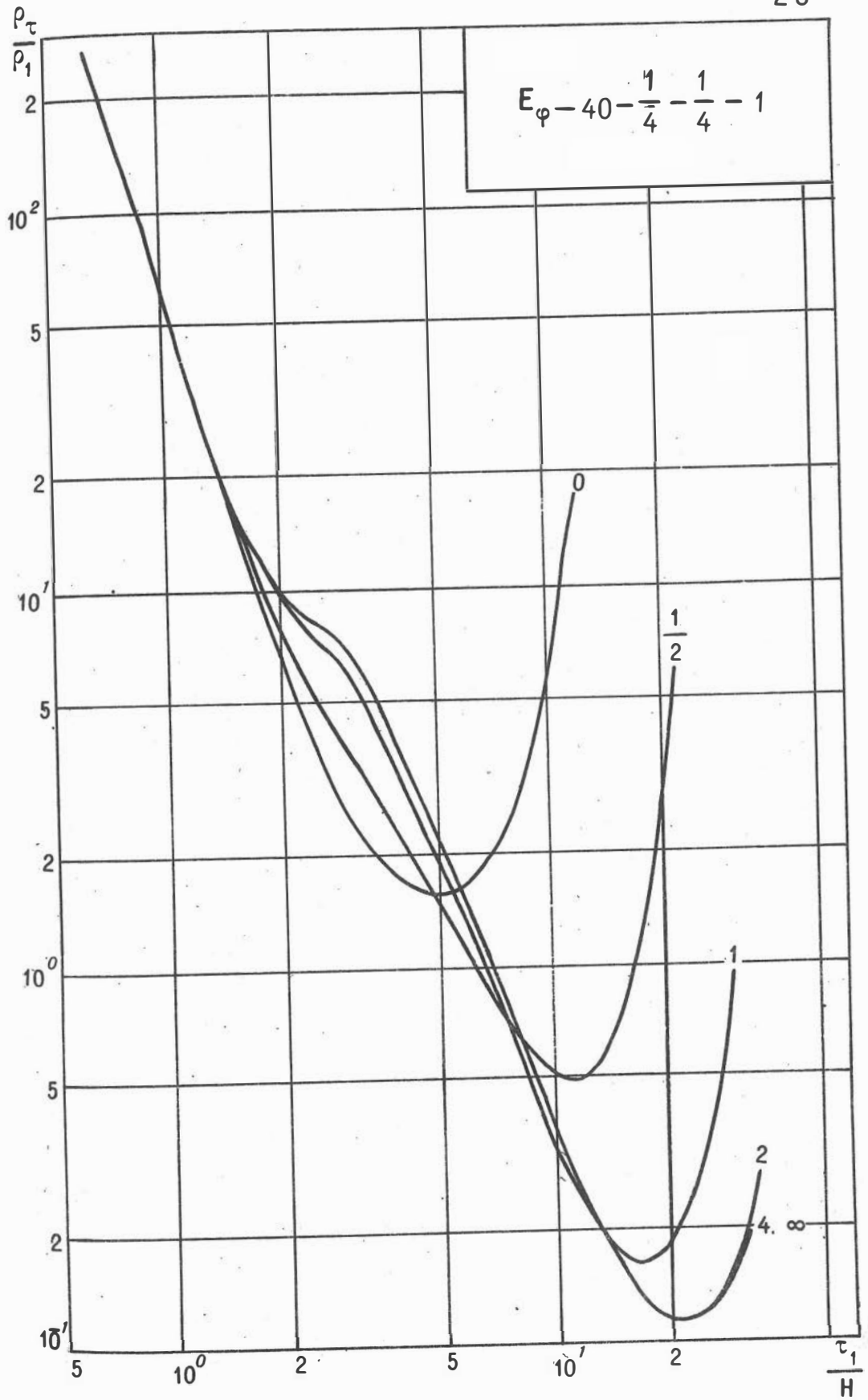

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
$E_\varphi - 40 - \frac{1}{8} - \frac{5}{8} - \frac{3}{4}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

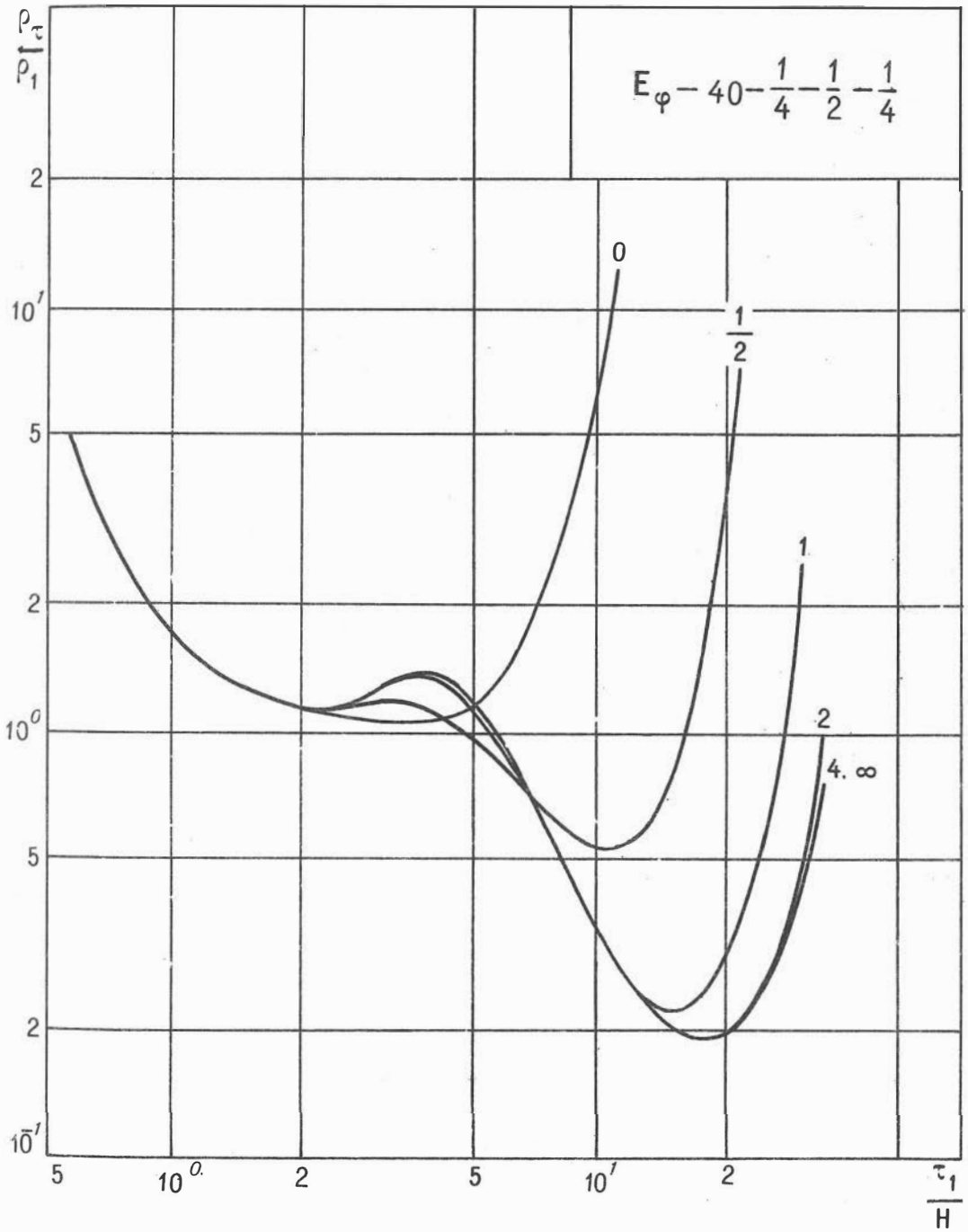

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 40 - \frac{1}{8} - \frac{5}{8} - 1$
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

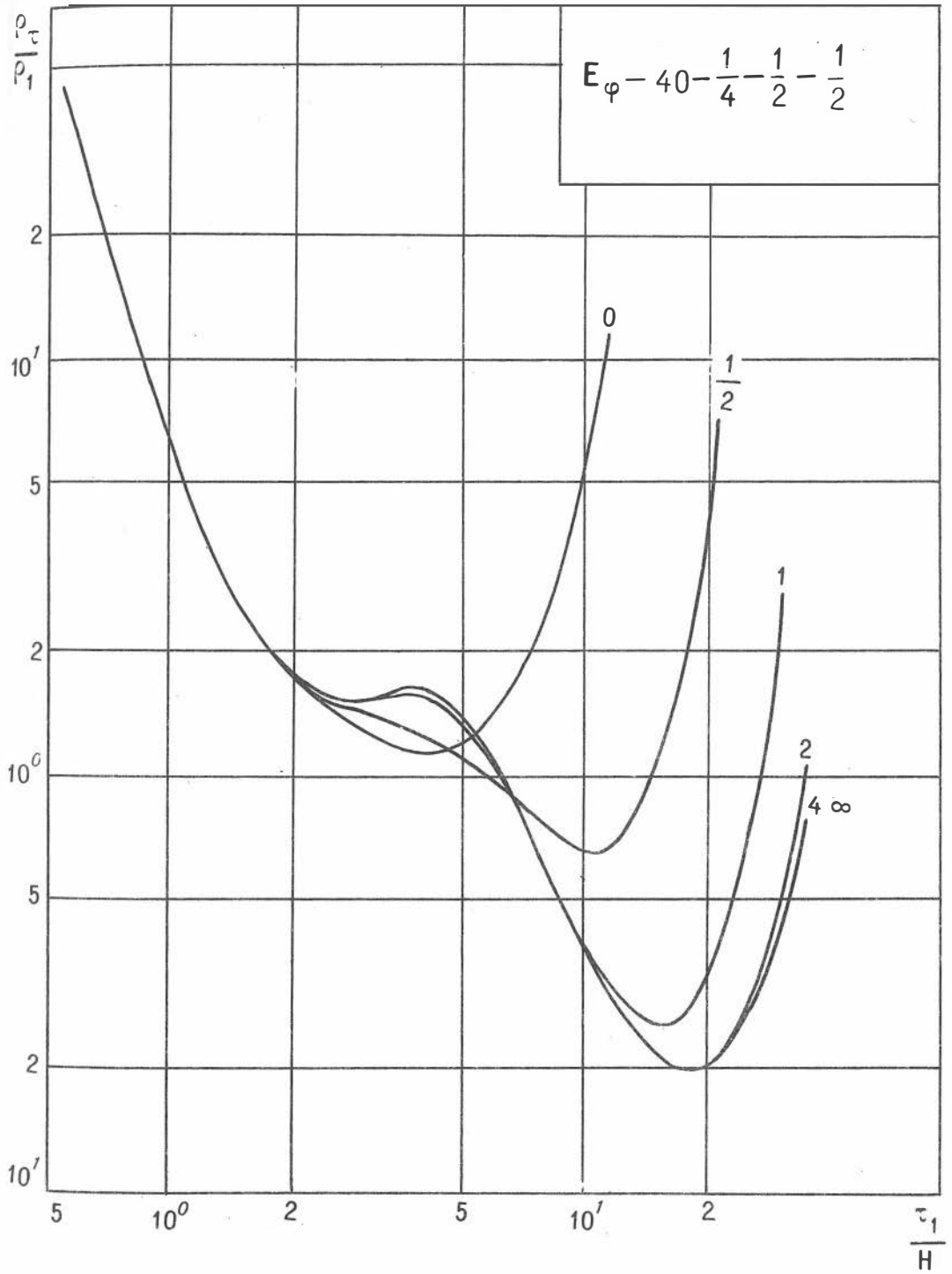

$E_\varphi - 40 - \frac{1}{4} - \frac{1}{4} - \frac{1}{4}$
$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
5
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

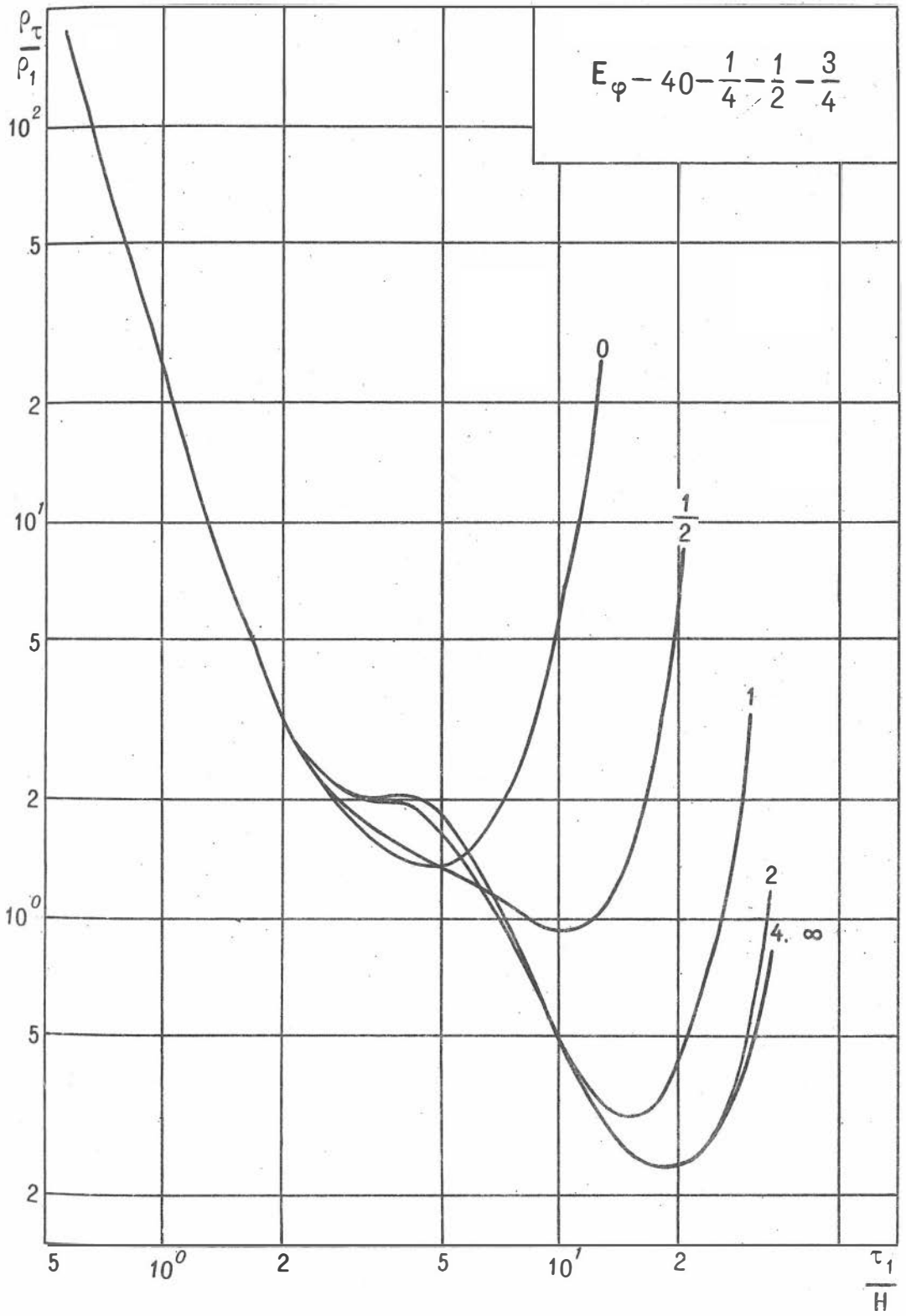

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 40 - \frac{1}{4} - \frac{1}{4} - \frac{1}{2}$
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞

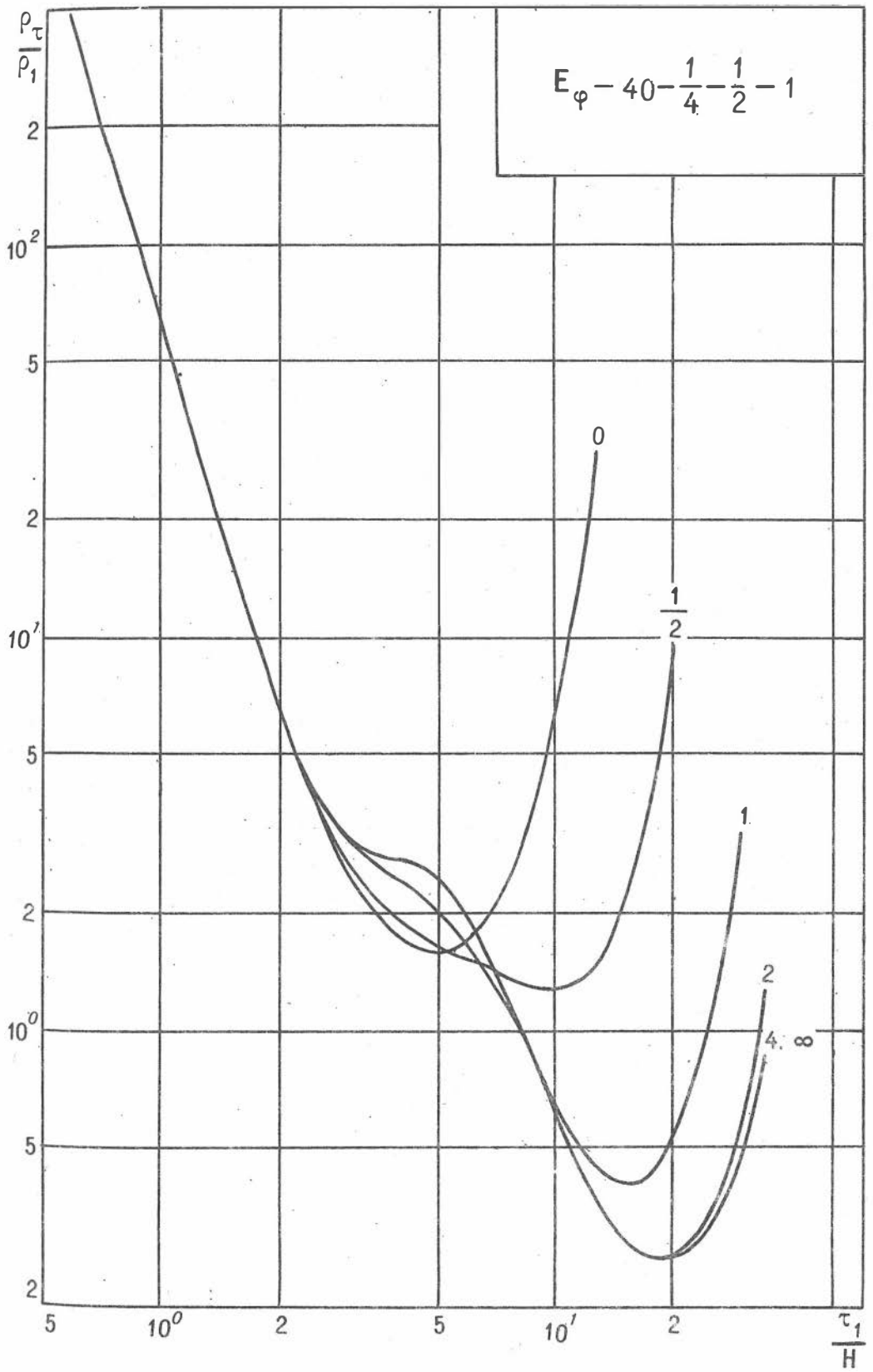

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 40 - \frac{1}{4} - \frac{1}{4} - \frac{3}{4}$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4
$\infty$

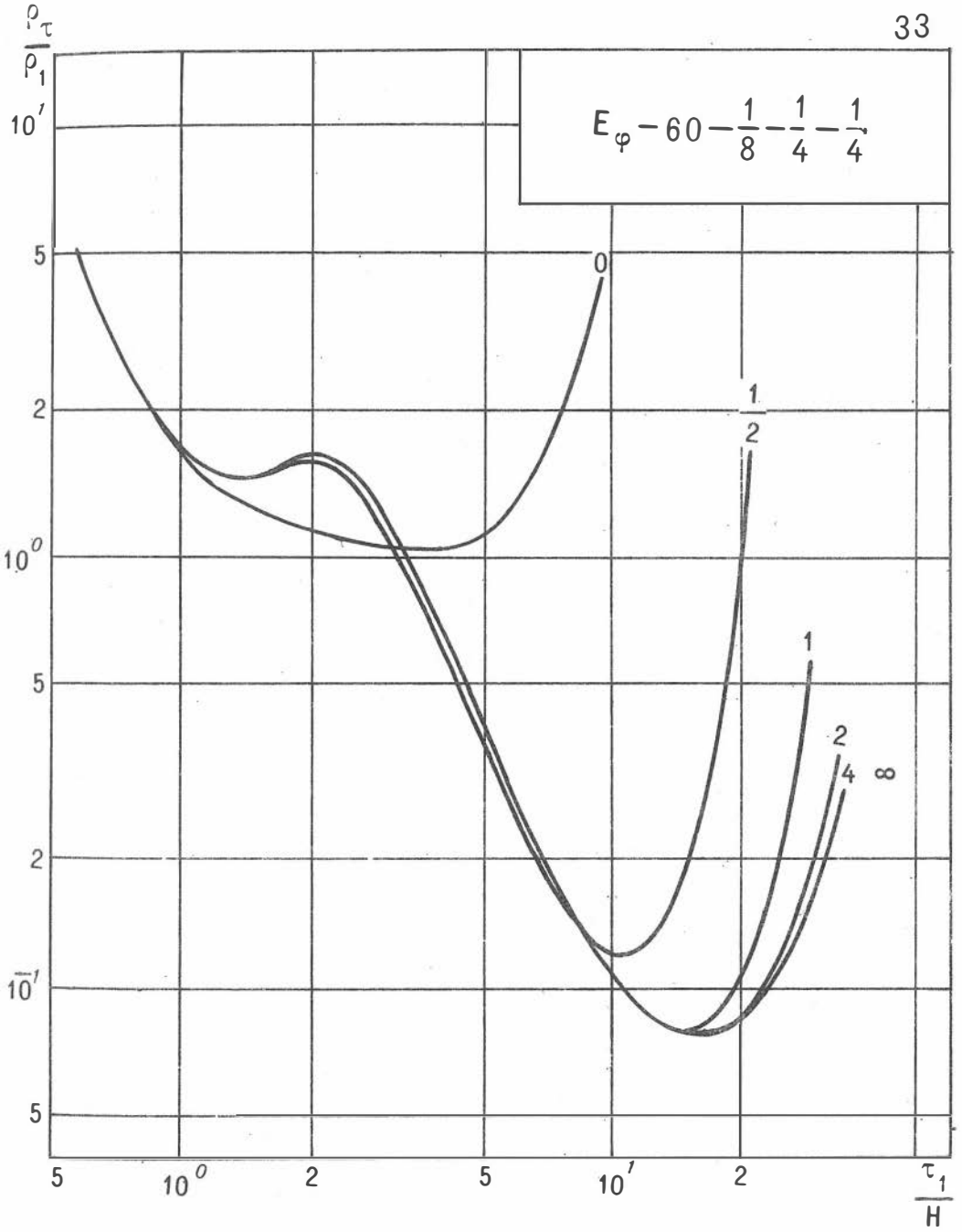

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 40 - \frac{1}{4} - \frac{1}{4} - 1$
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞

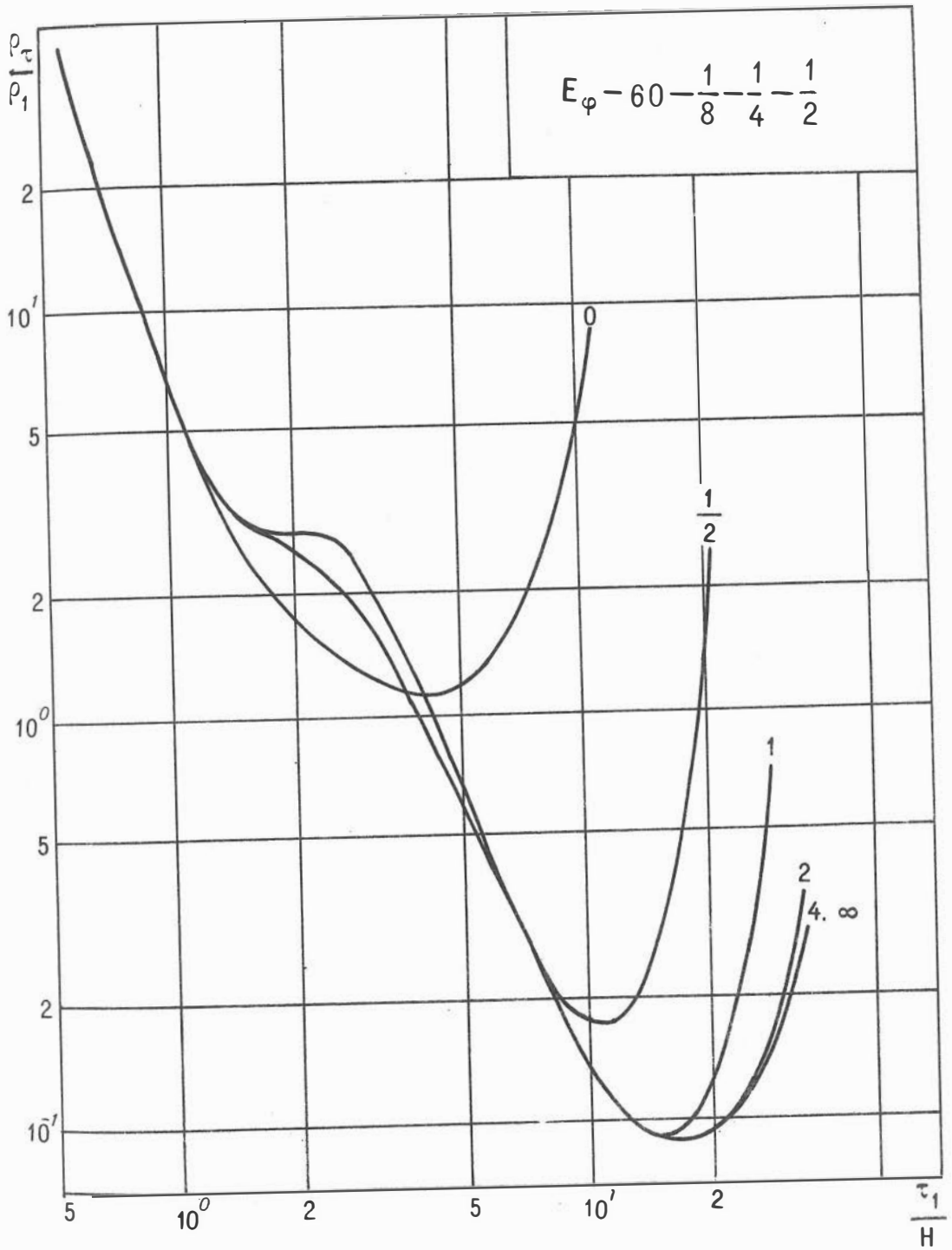

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 40 - \frac{1}{4} - \frac{1}{2} - \frac{1}{4}$
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

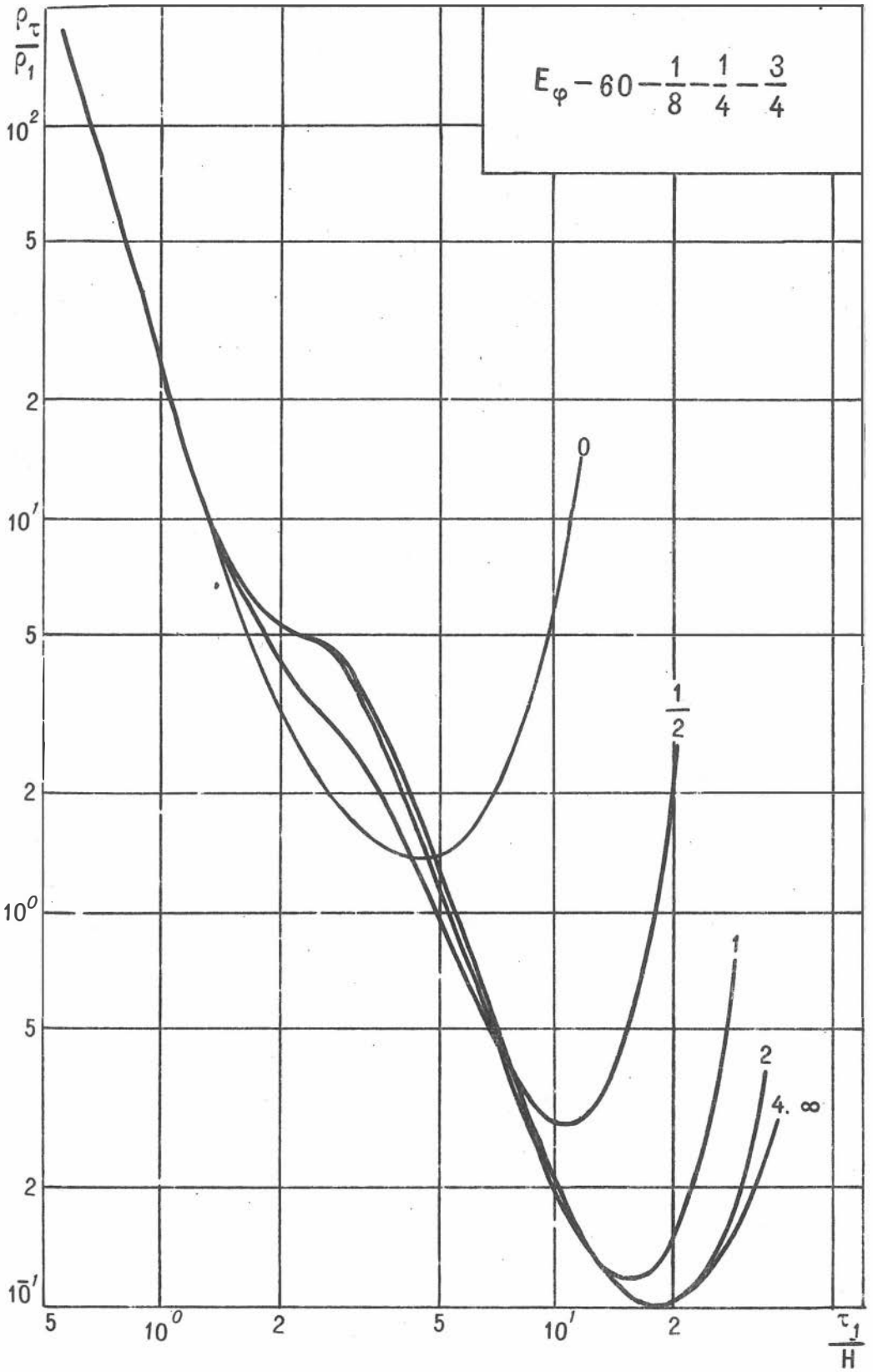

$E_\varphi - 40 - \frac{1}{4} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}$
$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^1$
5
$10^0$
2
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4
8

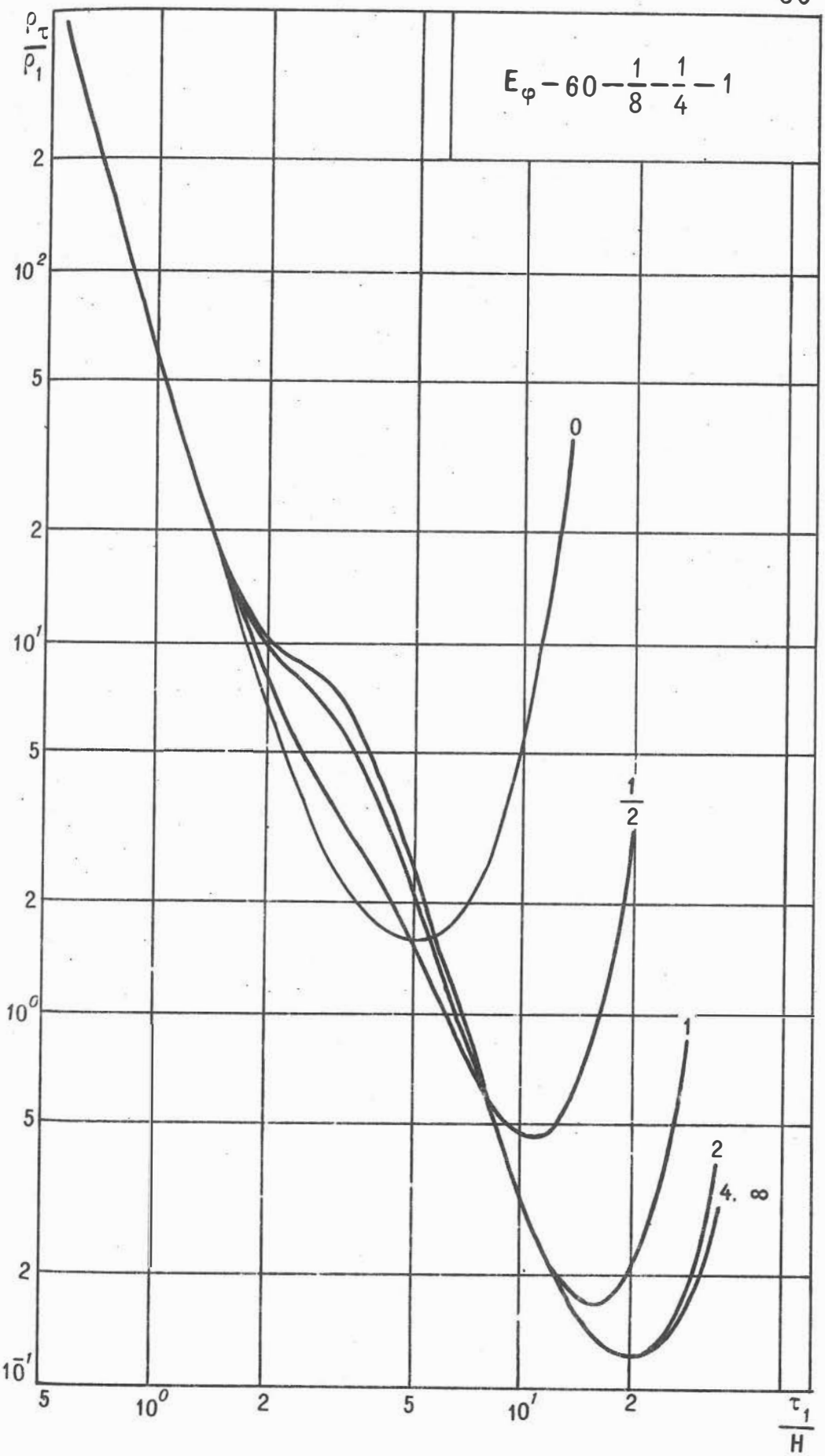

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 40 - \frac{1}{4} - \frac{1}{2} - \frac{3}{4}$
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. 8
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

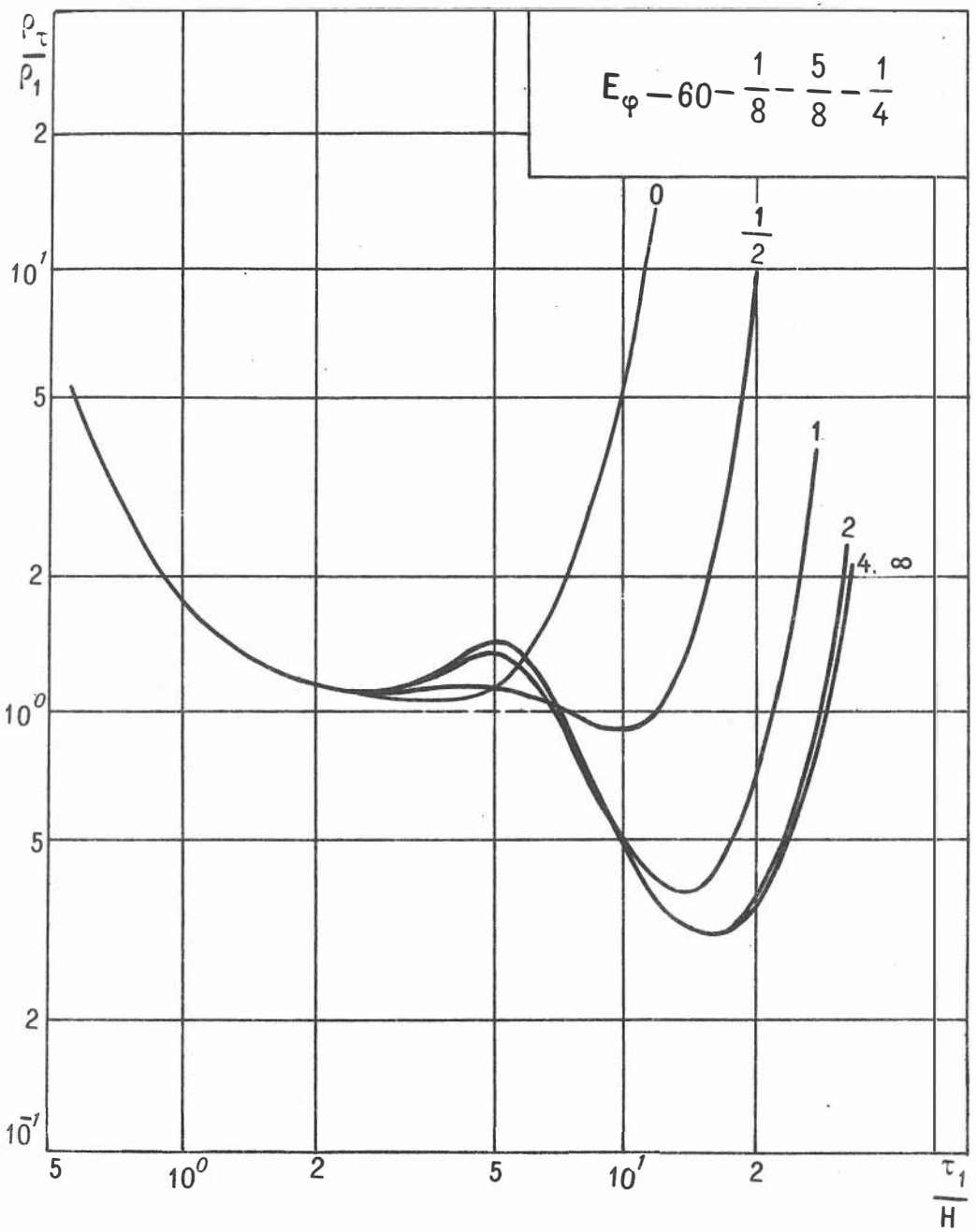

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 40 - \frac{1}{4} - \frac{1}{2} - 1$
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4, ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

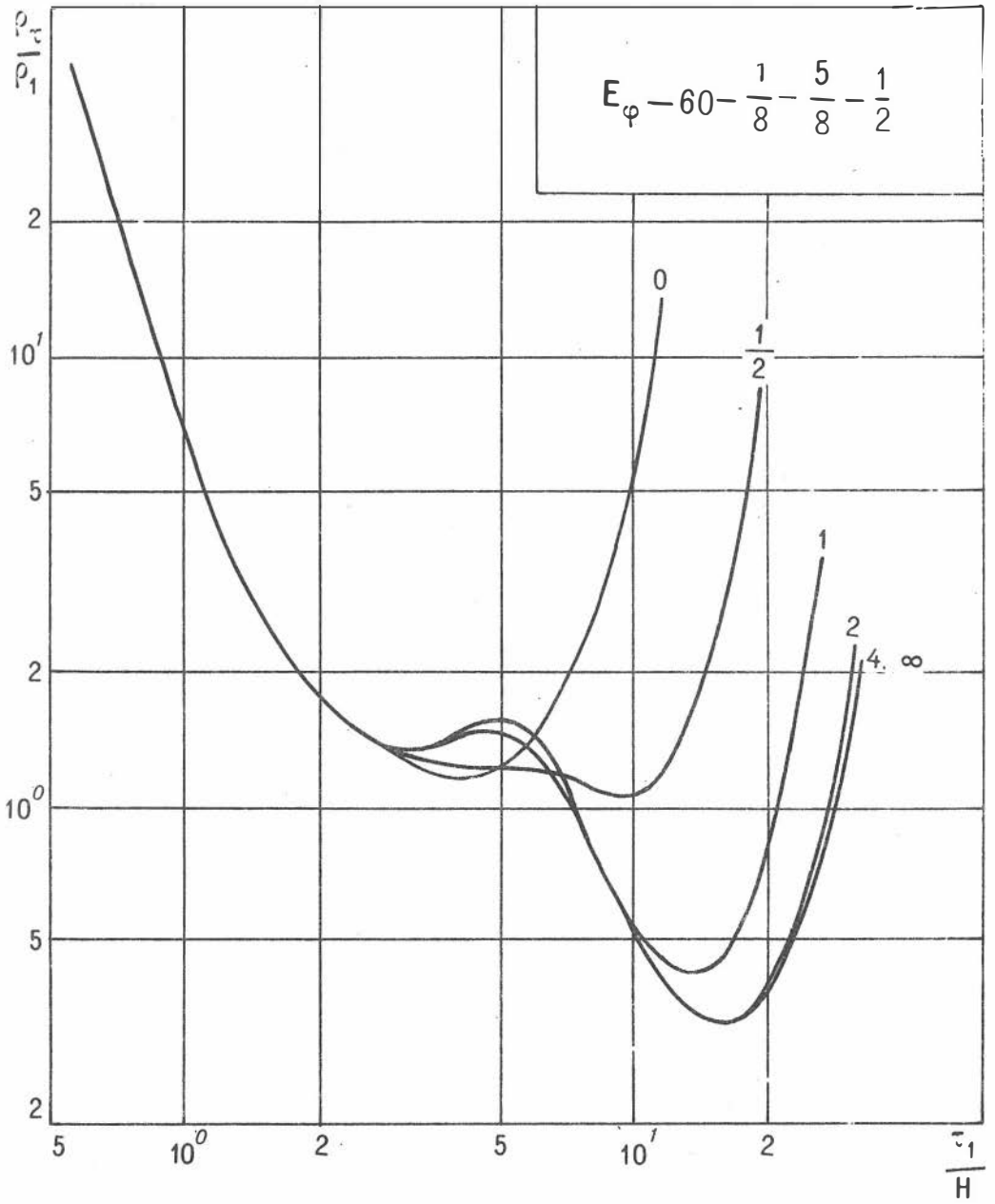

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 60 - \frac{1}{8} - \frac{1}{4} - \frac{1}{4}$
10'
5
2
10⁰
5
2
10⁻¹
5
0
1/2
1
2
4
8
5
10⁰
2
5
10'
2
$\frac{\tau_1}{H}$

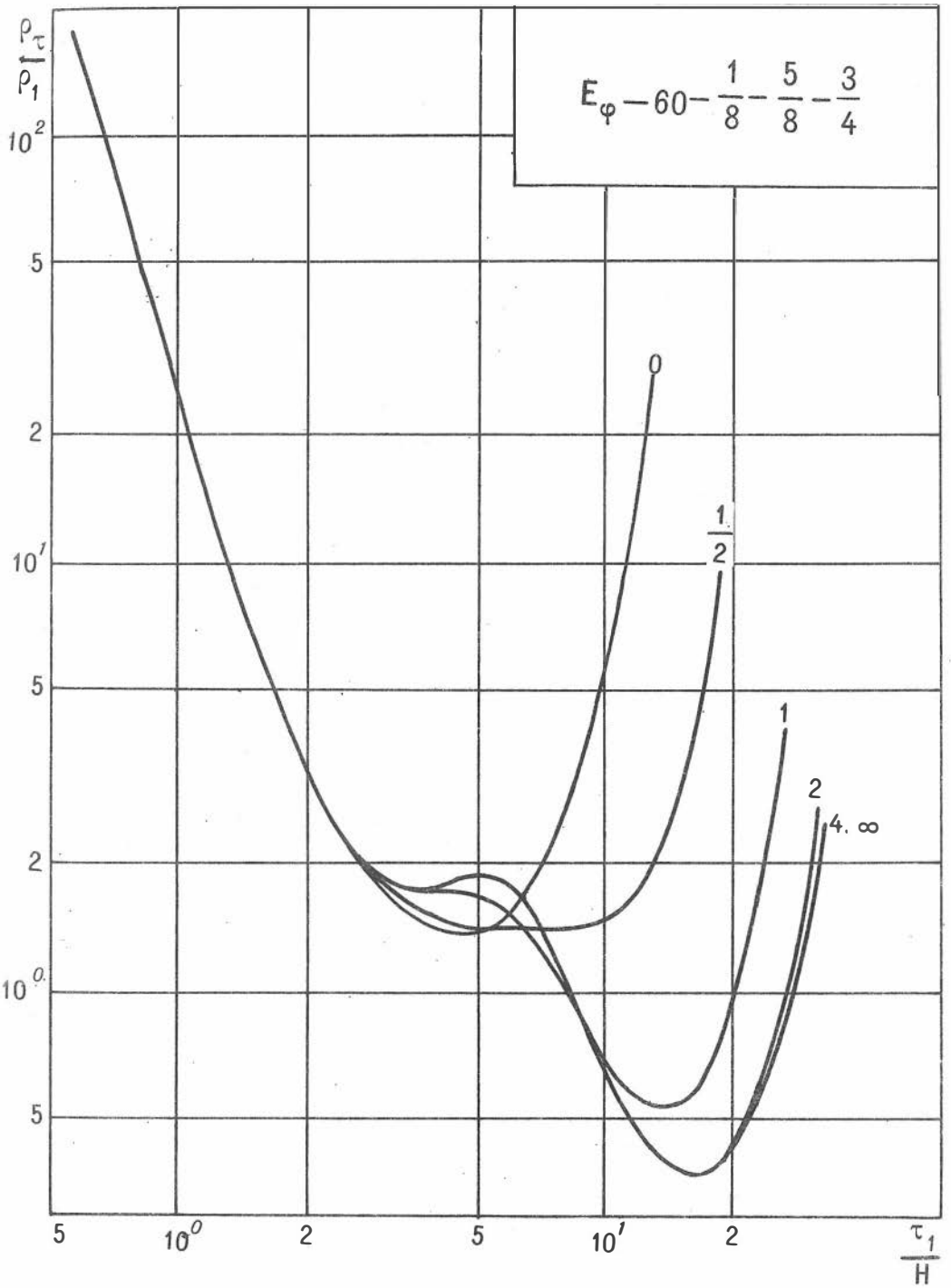

$E_\varphi - 60 - \frac{1}{8} - \frac{1}{4} - \frac{1}{2}$
$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. 8
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

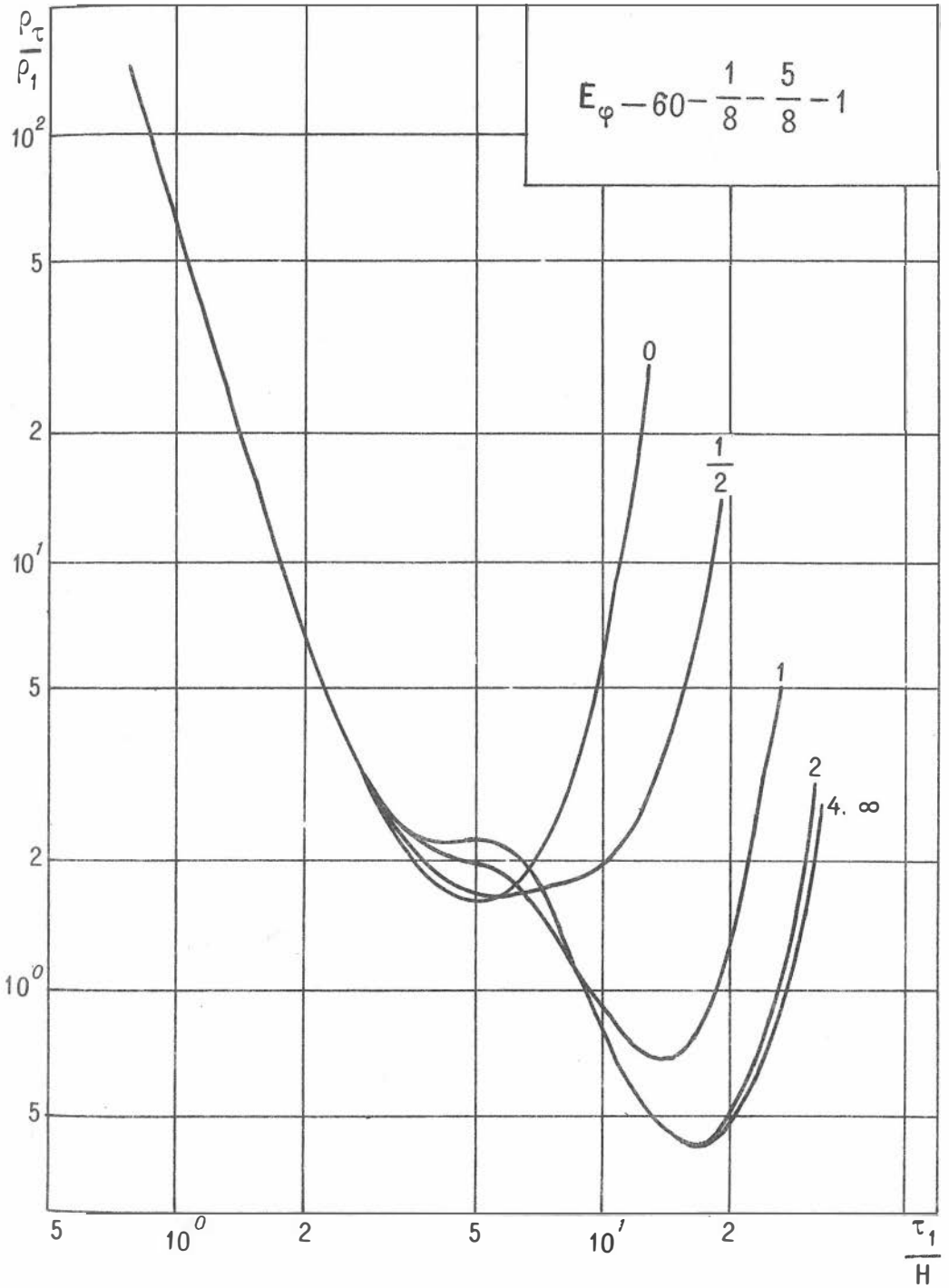

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 60 - \frac{1}{8} - \frac{1}{4} - \frac{3}{4}$
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

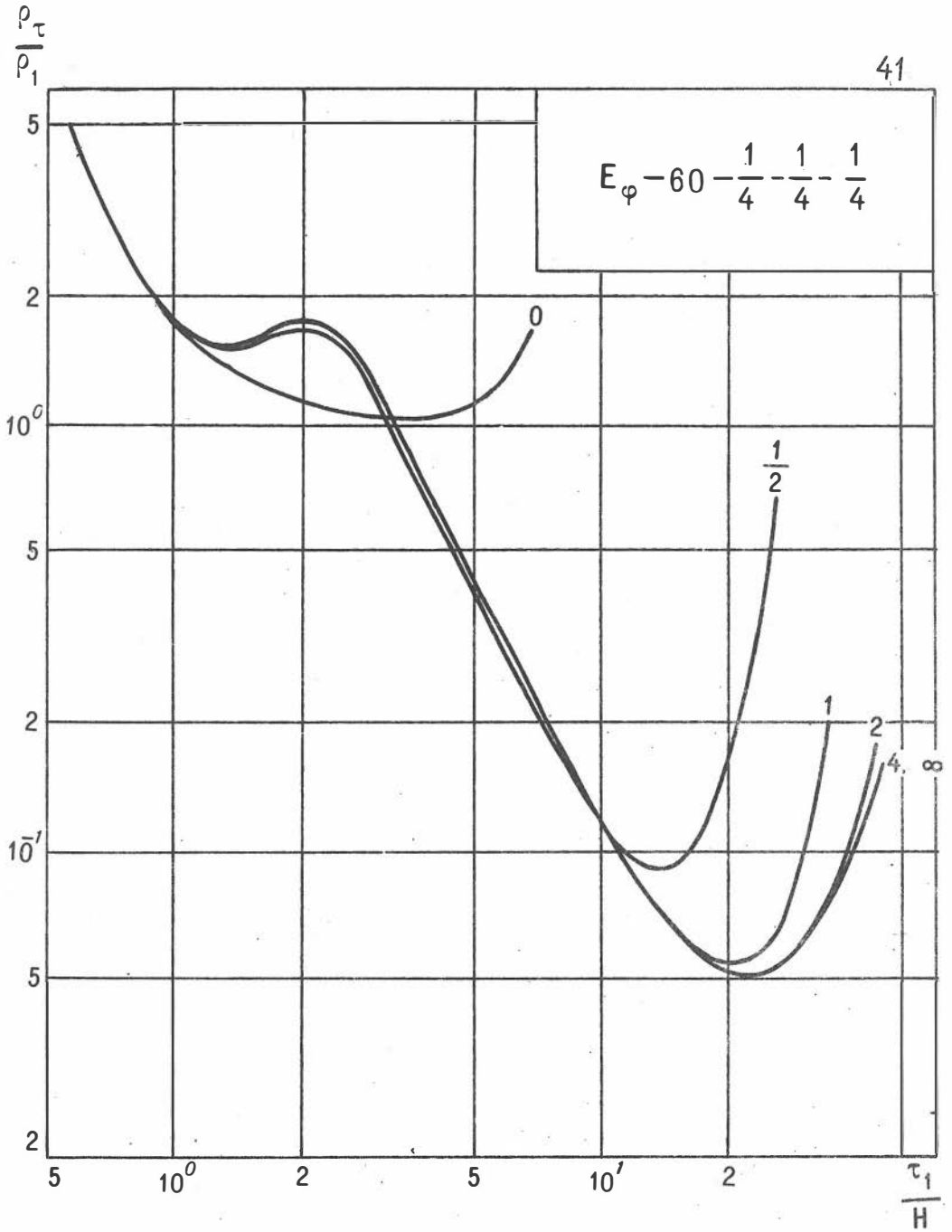

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 60 - \frac{1}{8} - \frac{1}{4} - 1$
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. 8

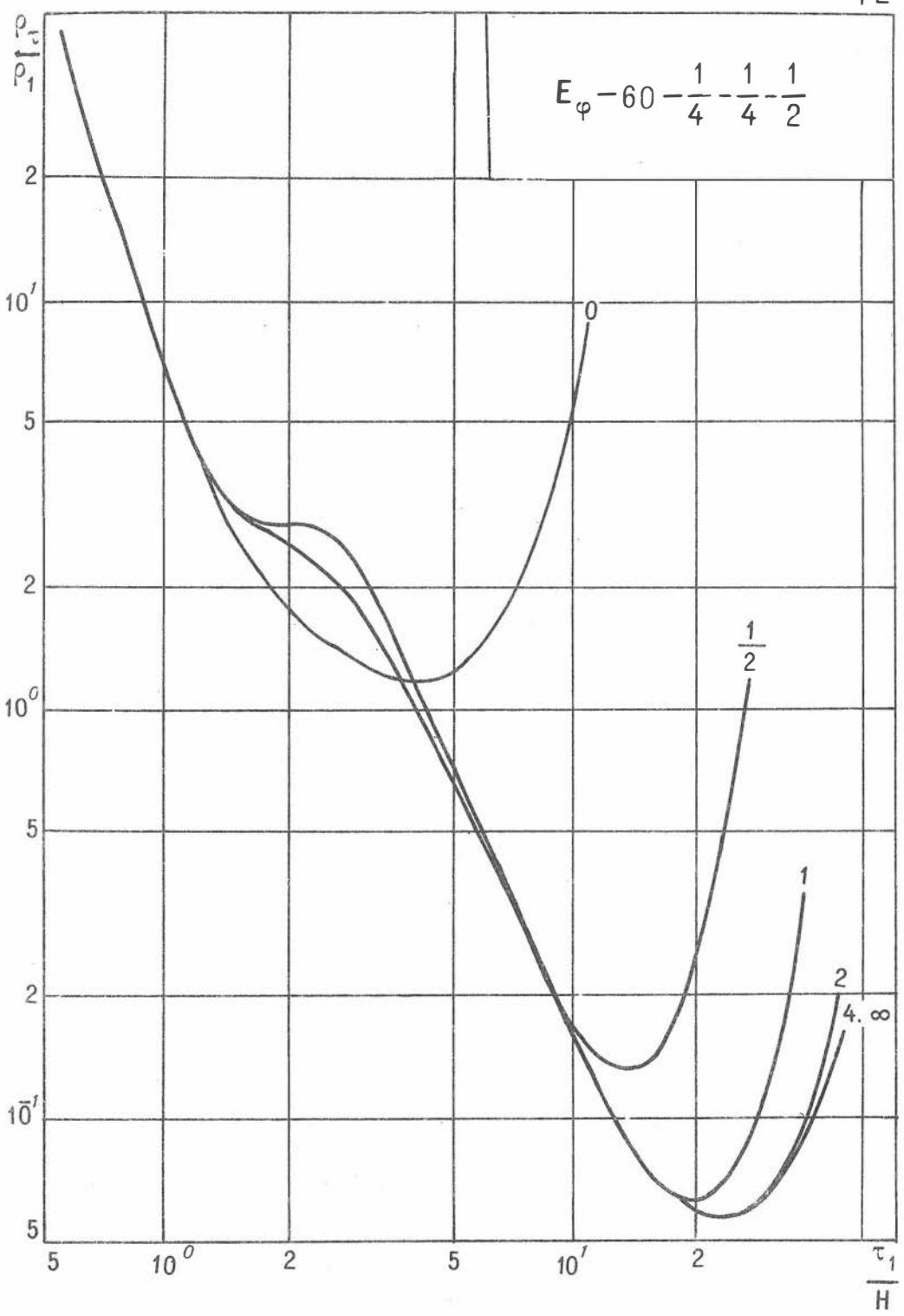

$E_\varphi - 60 - \frac{1}{8} - \frac{5}{8} - \frac{1}{4}$
$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4, ∞

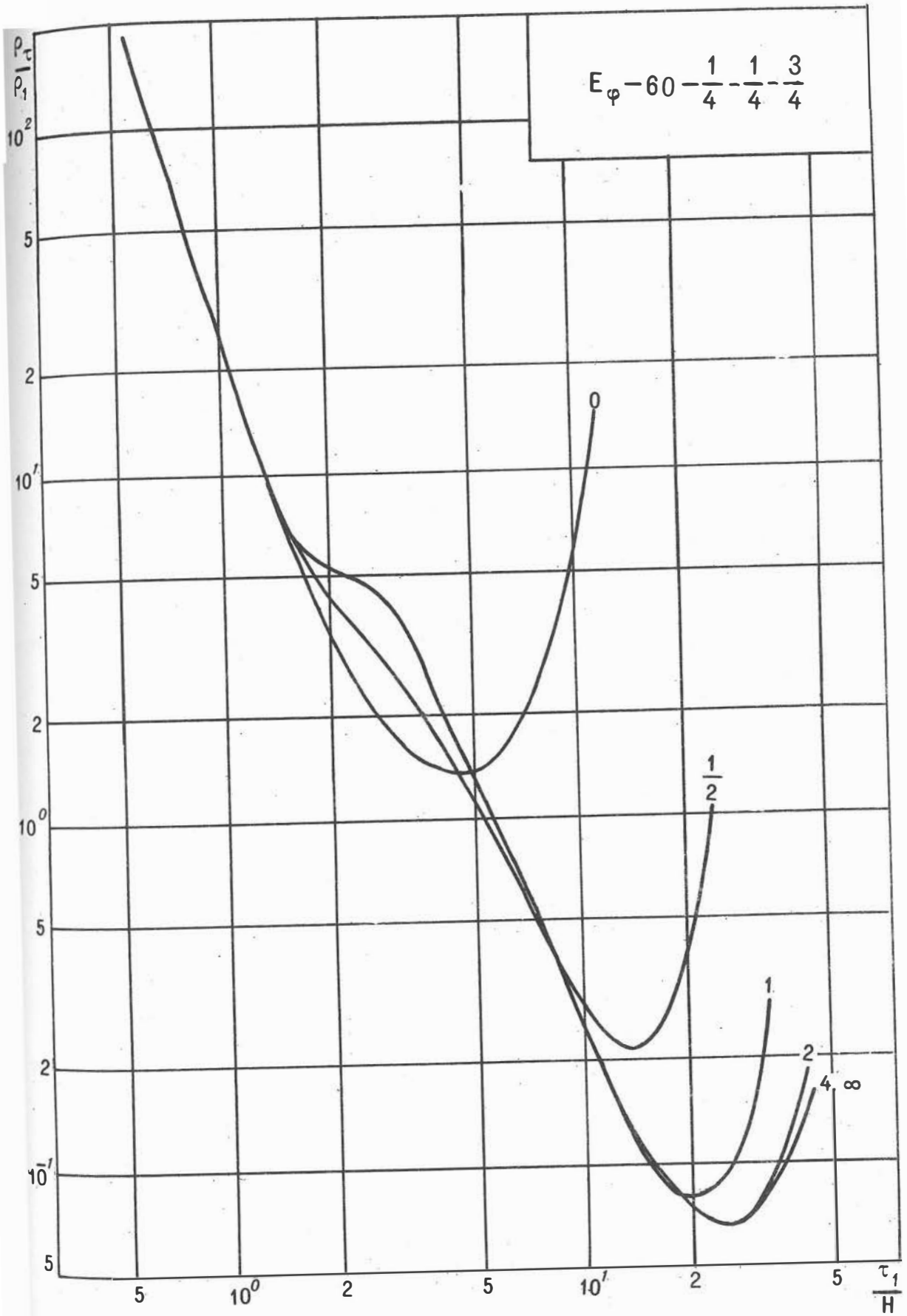

$E_\varphi - 60 - \frac{1}{8} - \frac{5}{8} - \frac{1}{2}$
$\frac{\rho_x}{\rho_1}$
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4, 8
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{x_1}{H}$

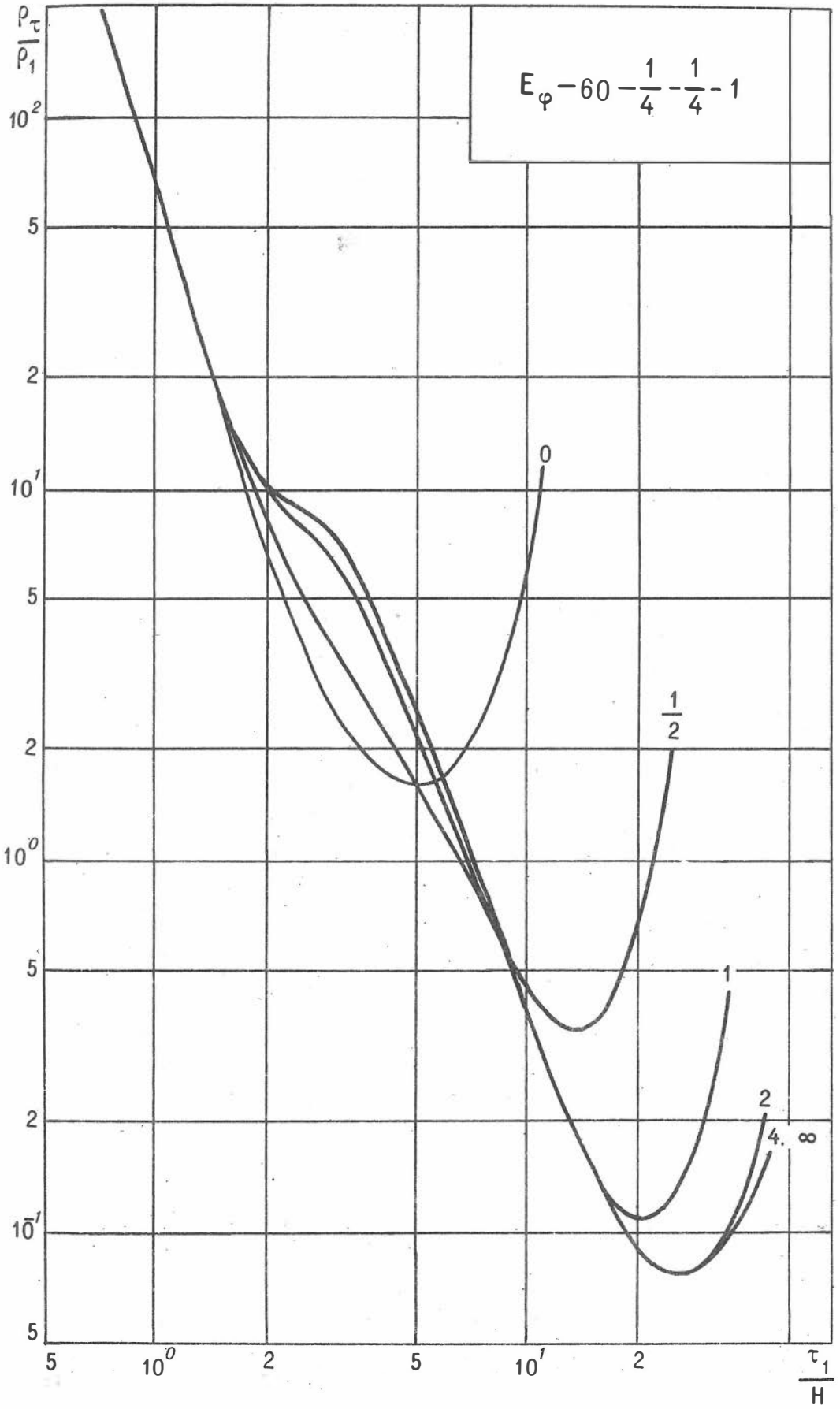

$E_\varphi - 60 - \frac{1}{8} - \frac{5}{8} - \frac{3}{4}$
$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
0
1/2
1
2
4, ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

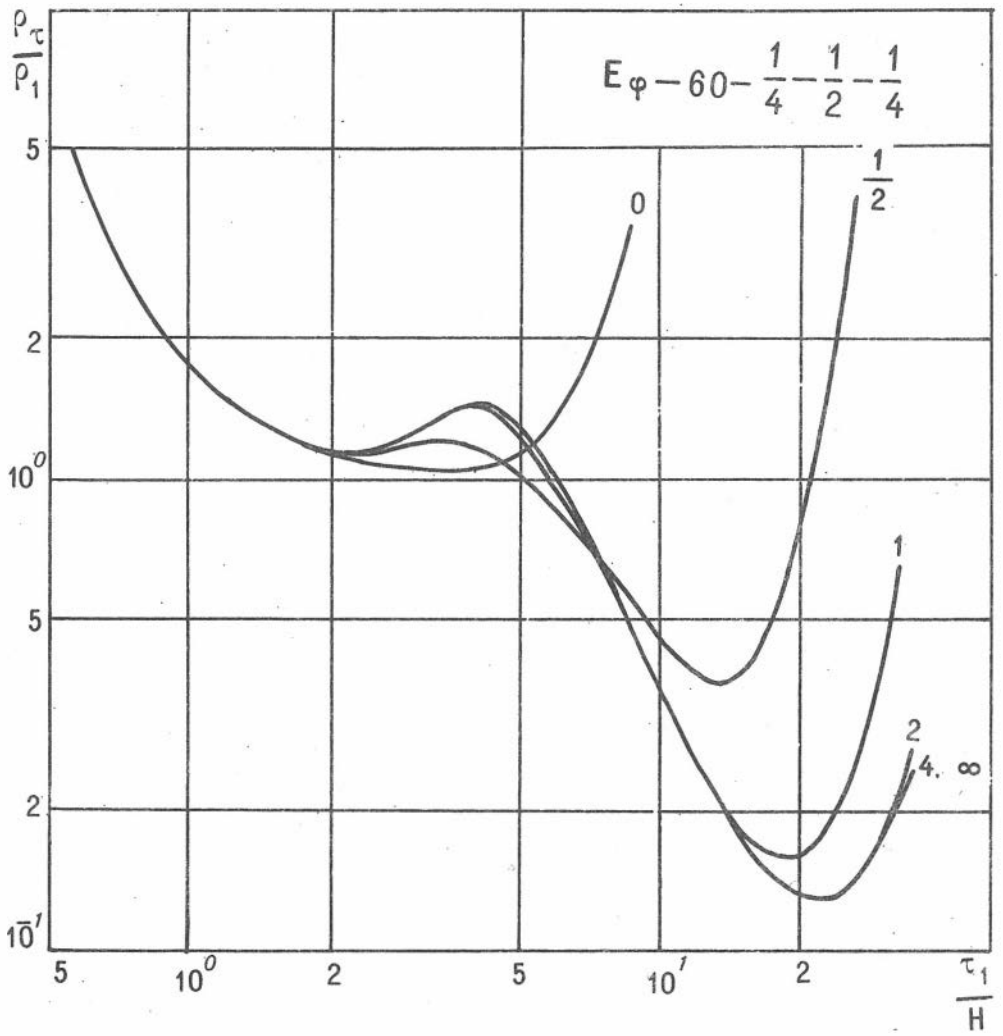

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 60 - \frac{1}{8} - \frac{5}{8} - 1$
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

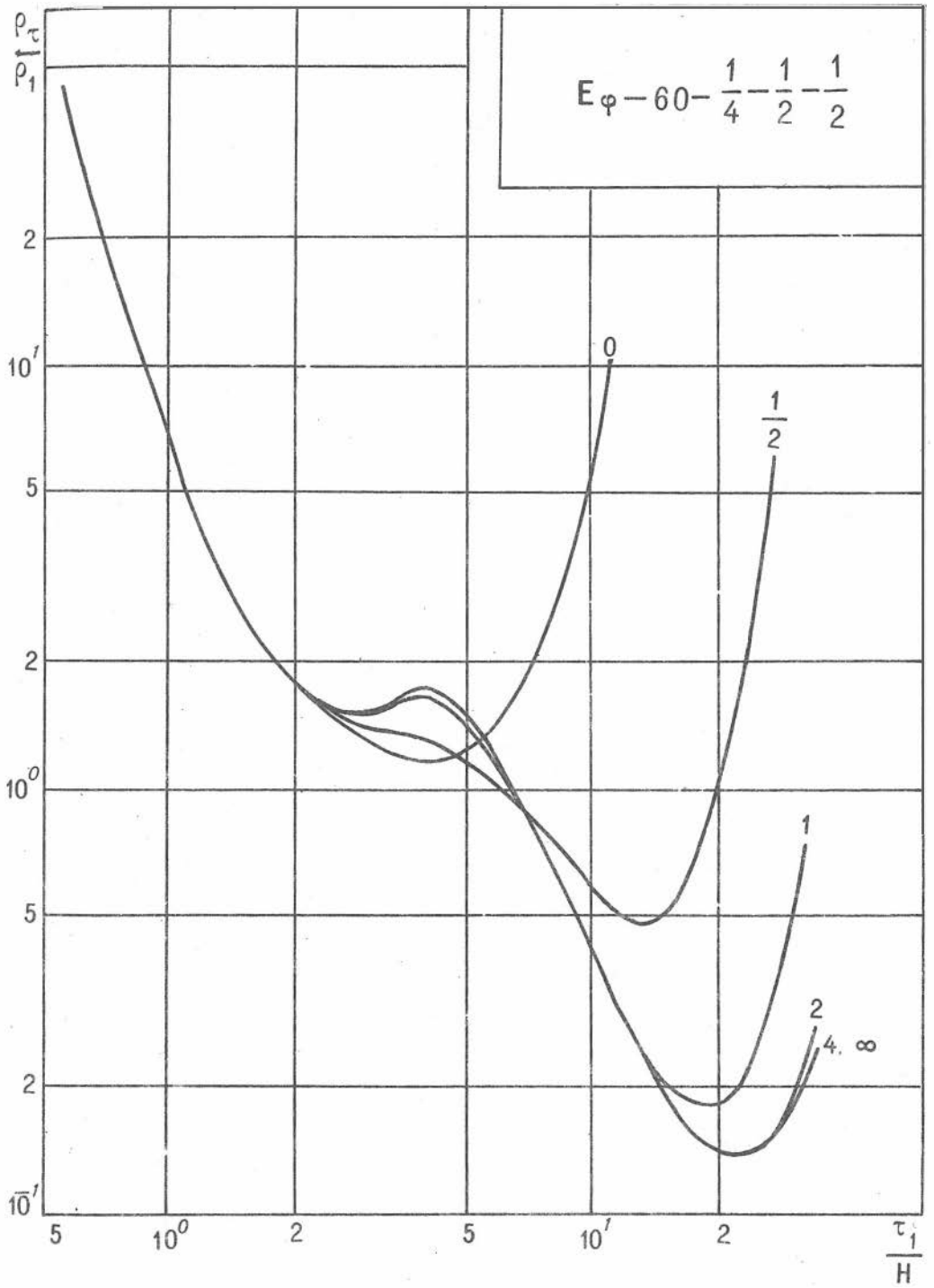

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 60 - \frac{1}{4} - \frac{1}{4} - \frac{1}{4}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4
8
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
5
2
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

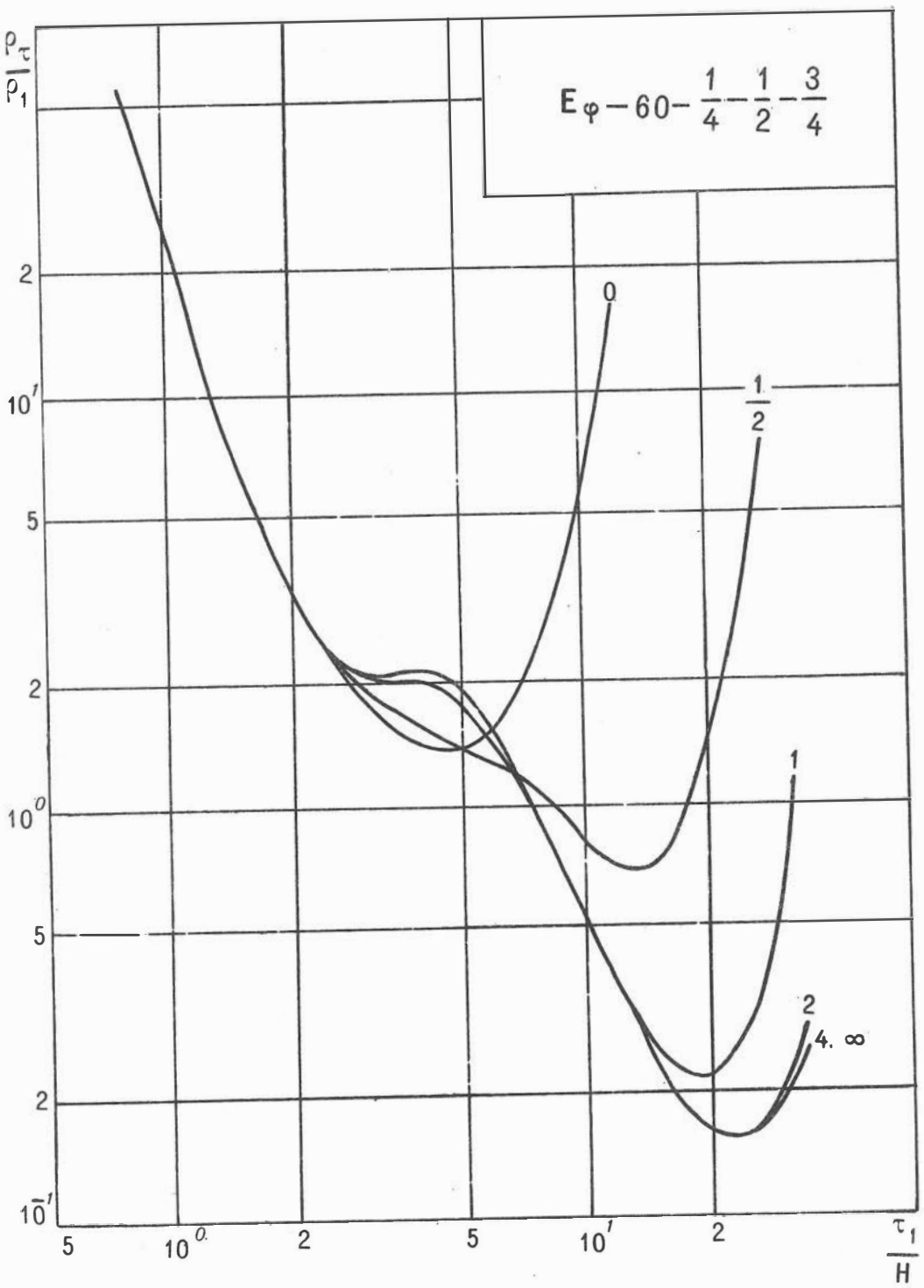

$\frac{\rho_\perp}{\rho_1}$
$E_\varphi - 60 - \frac{1}{4} - \frac{1}{4} - \frac{1}{2}$
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
5
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

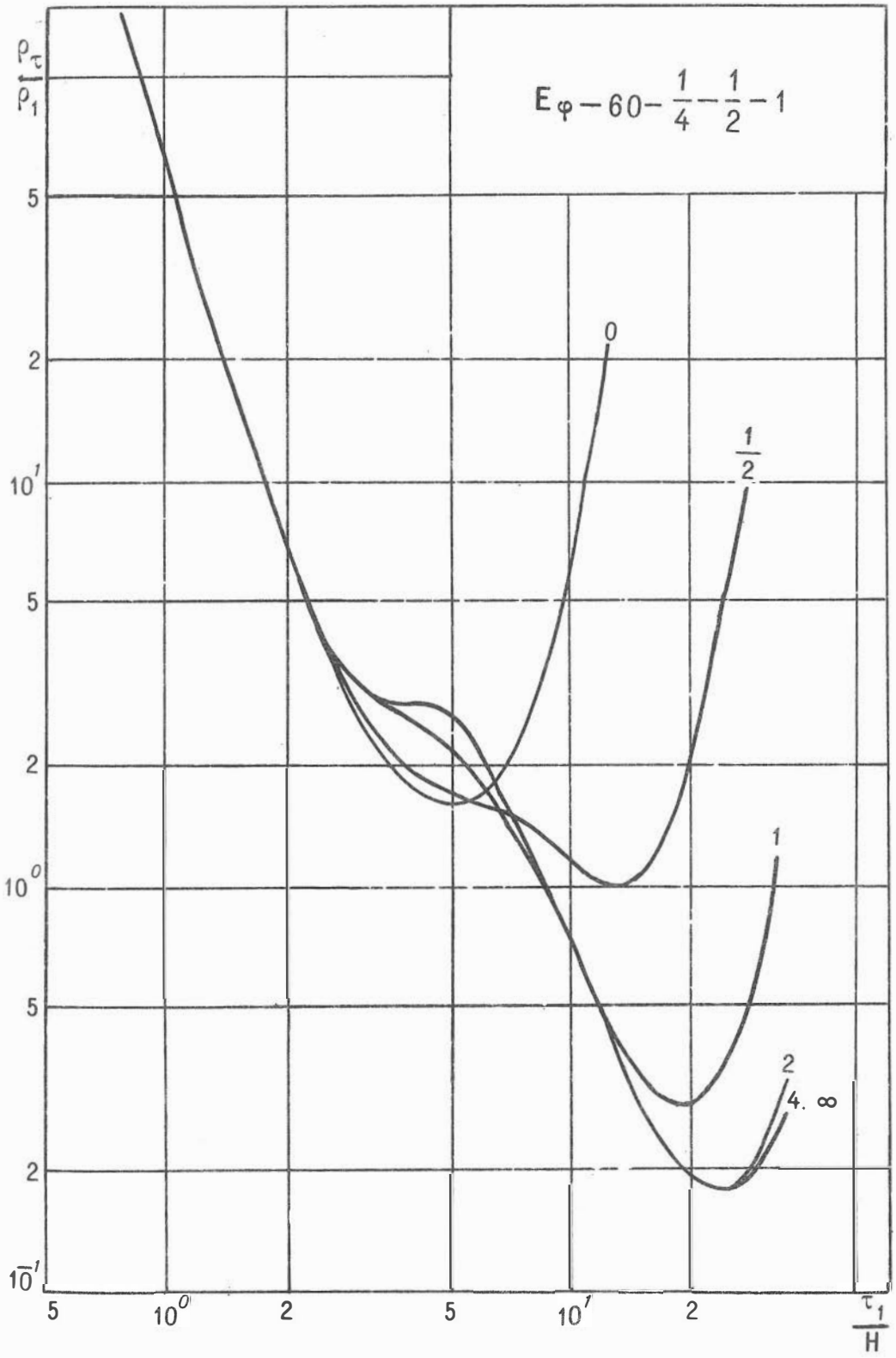

$E_\varphi - 60 - \frac{1}{4} - \frac{1}{4} - \frac{3}{4}$
$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
5
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4, ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
5
$\frac{\tau_1}{H}$

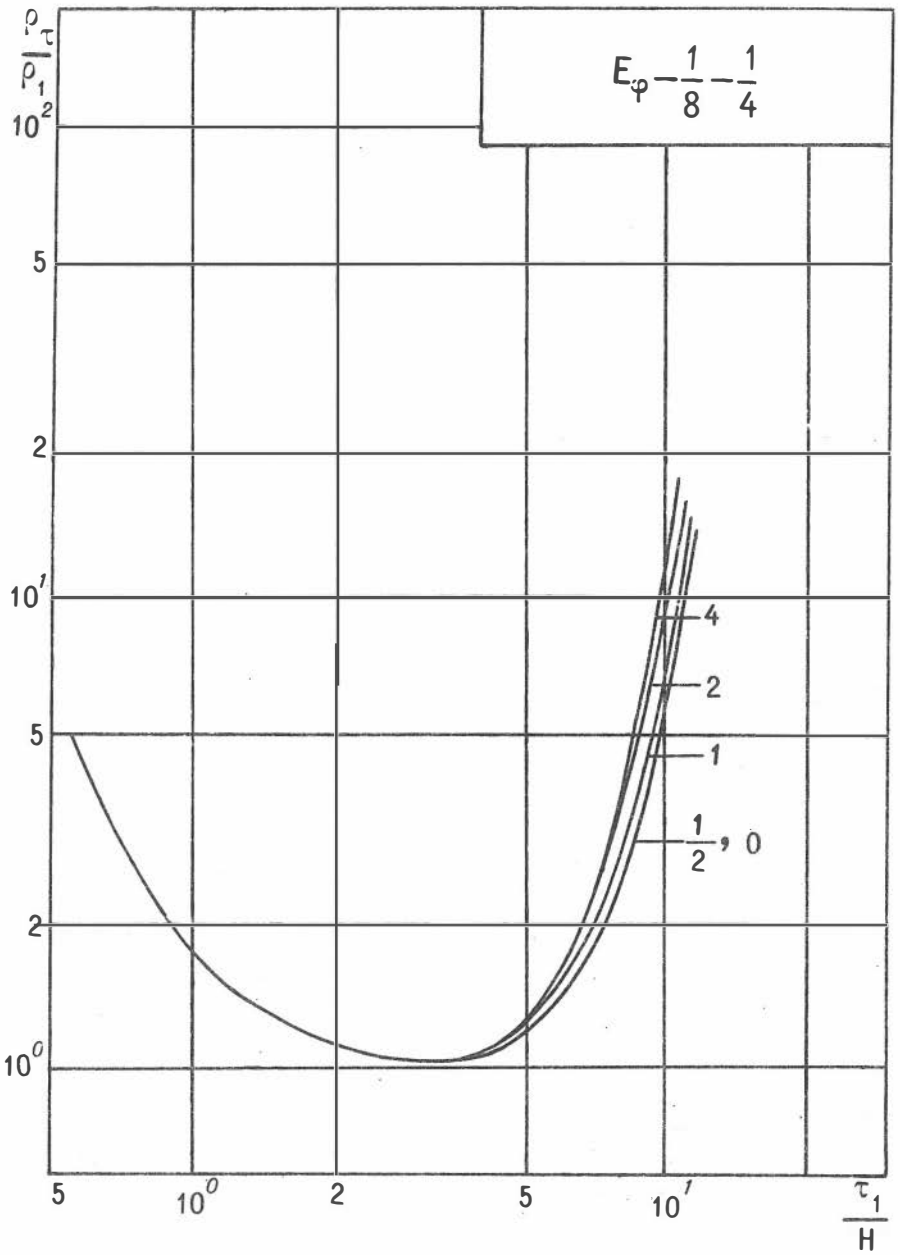

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 60 - \frac{1}{4} - \frac{1}{4} - 1$
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
5
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4.
∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

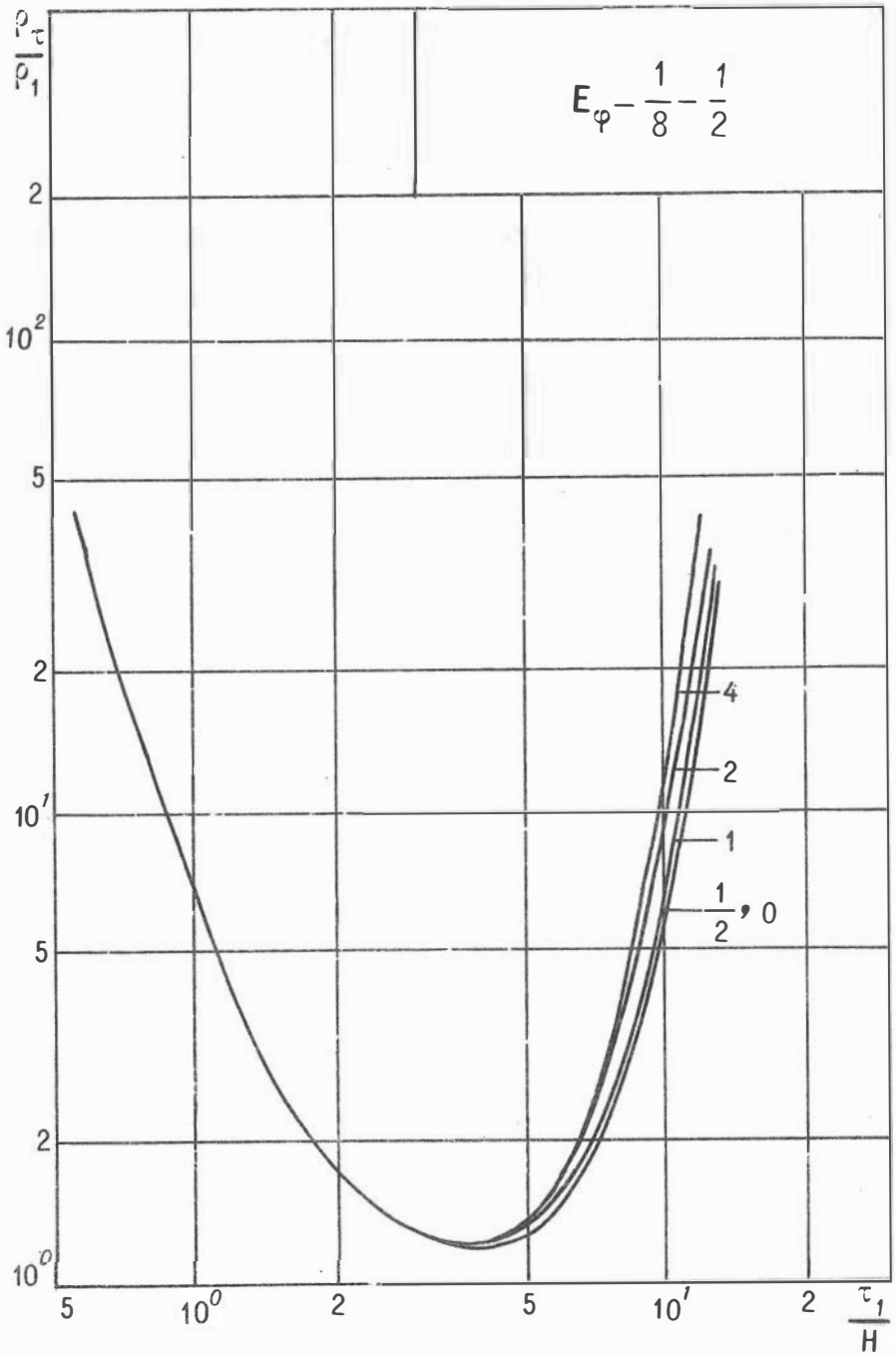

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 60 - \frac{1}{4} - \frac{1}{2} - \frac{1}{4}$
5
2
$10^0$
5
2
$10^1$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4
∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

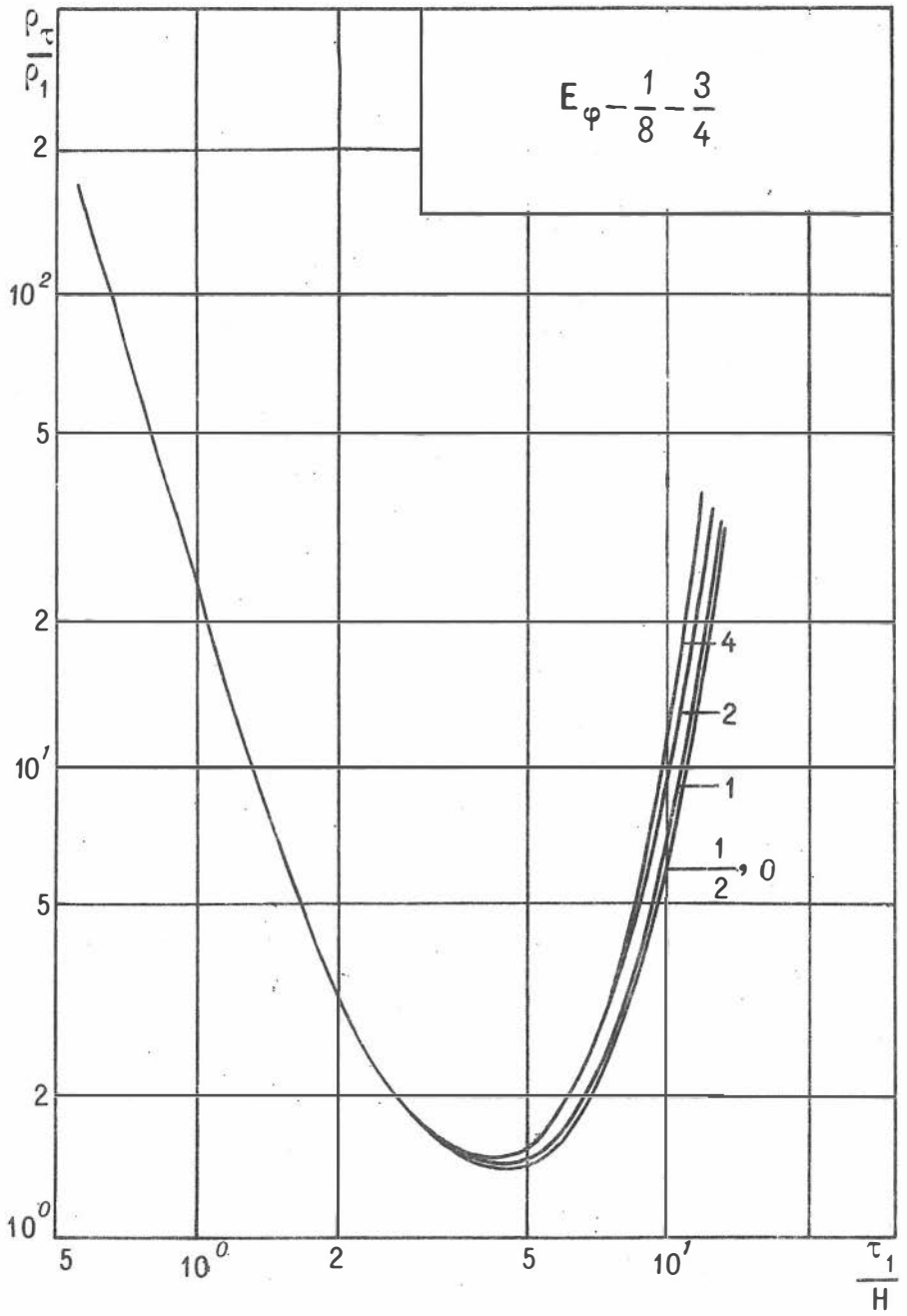

$E_\varphi - 60 - \frac{1}{4} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}$
$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4, ∞

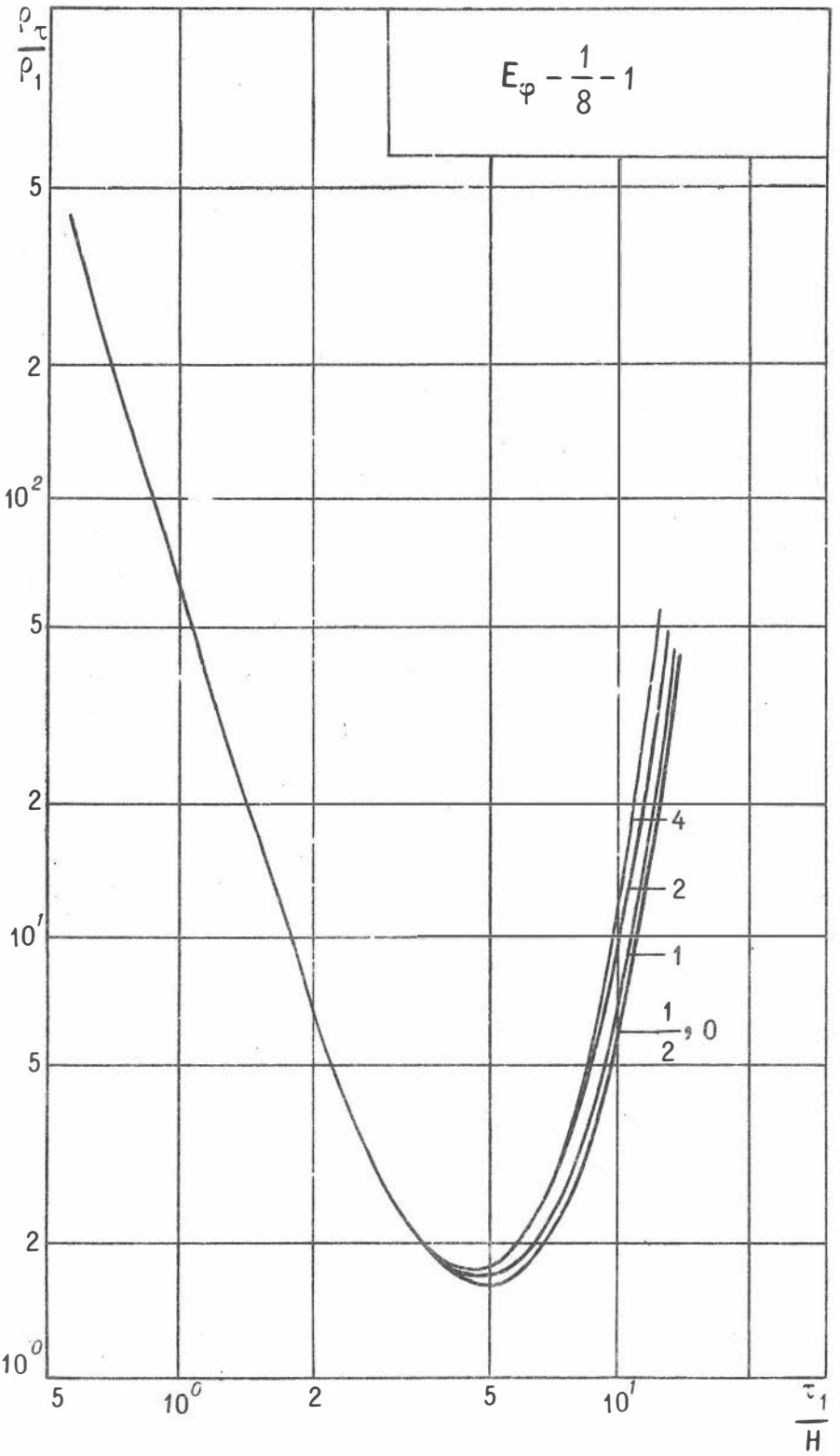

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 60 - \frac{1}{4} - \frac{1}{2} - \frac{3}{4}$
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞

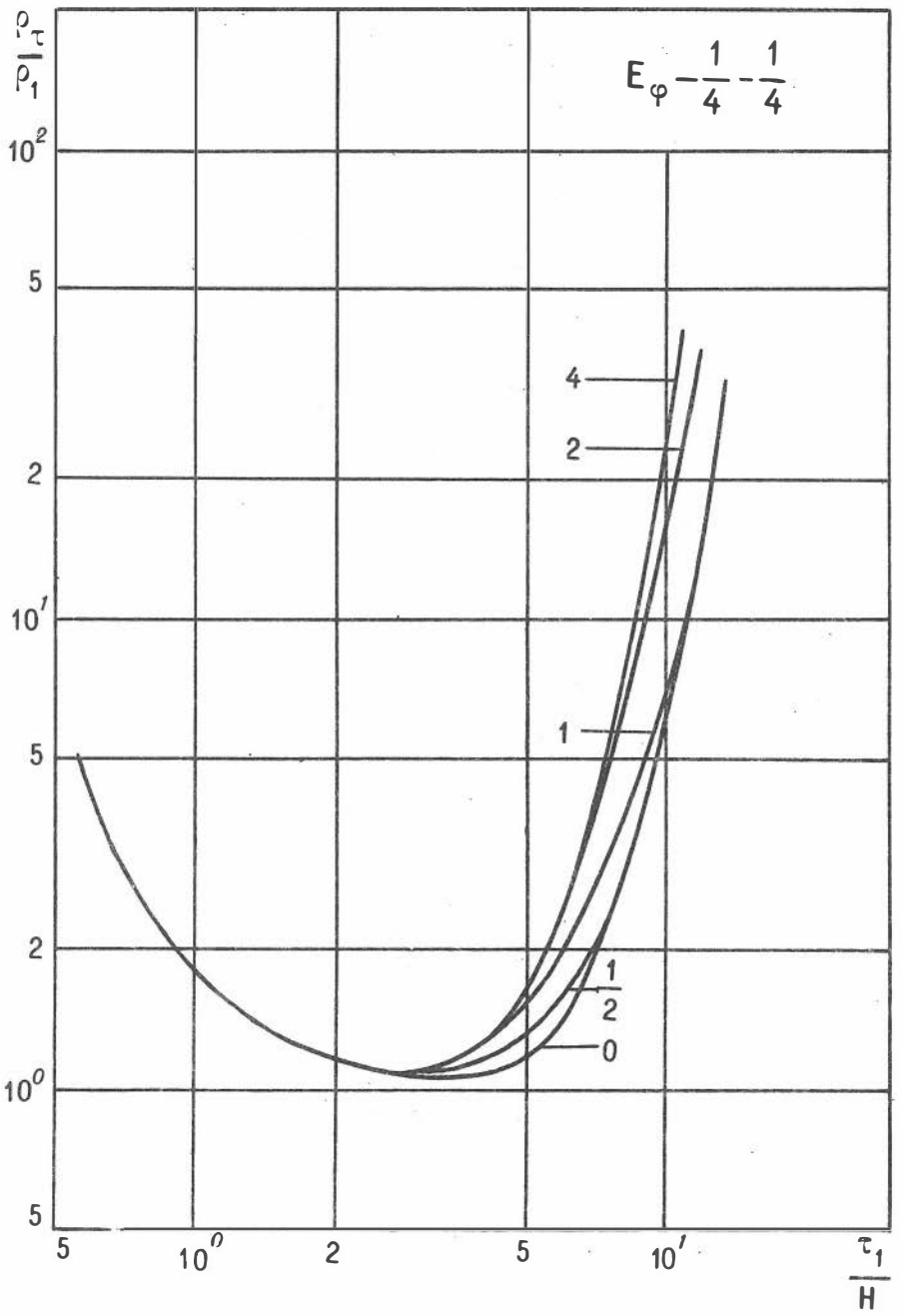

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - 60 - \frac{1}{4} - \frac{1}{2} - 1$
0
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
$10^{-1}$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$

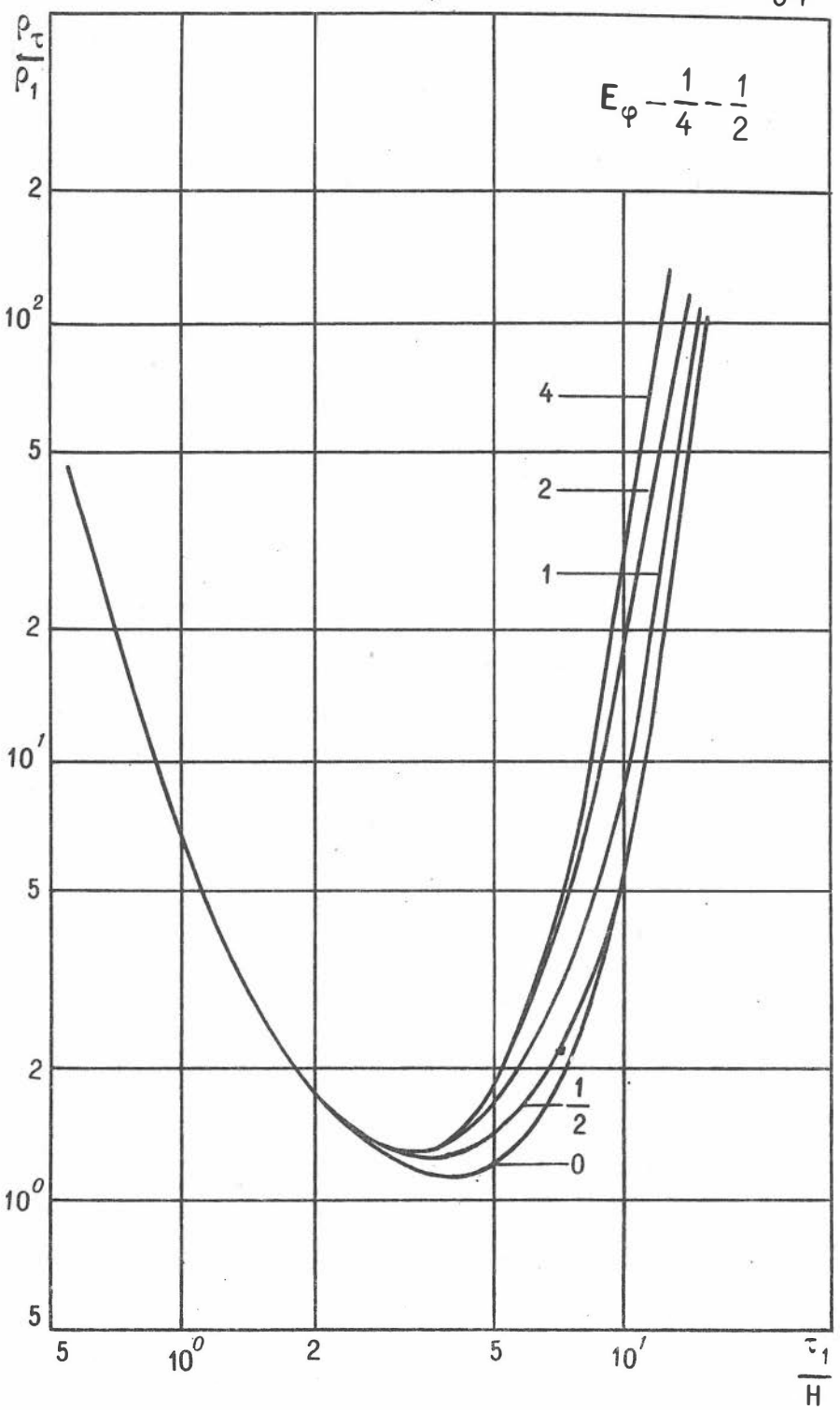

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
$E_\varphi - \frac{1}{8} - \frac{1}{4}$
4
2
1
$\frac{1}{2}$, 0
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$

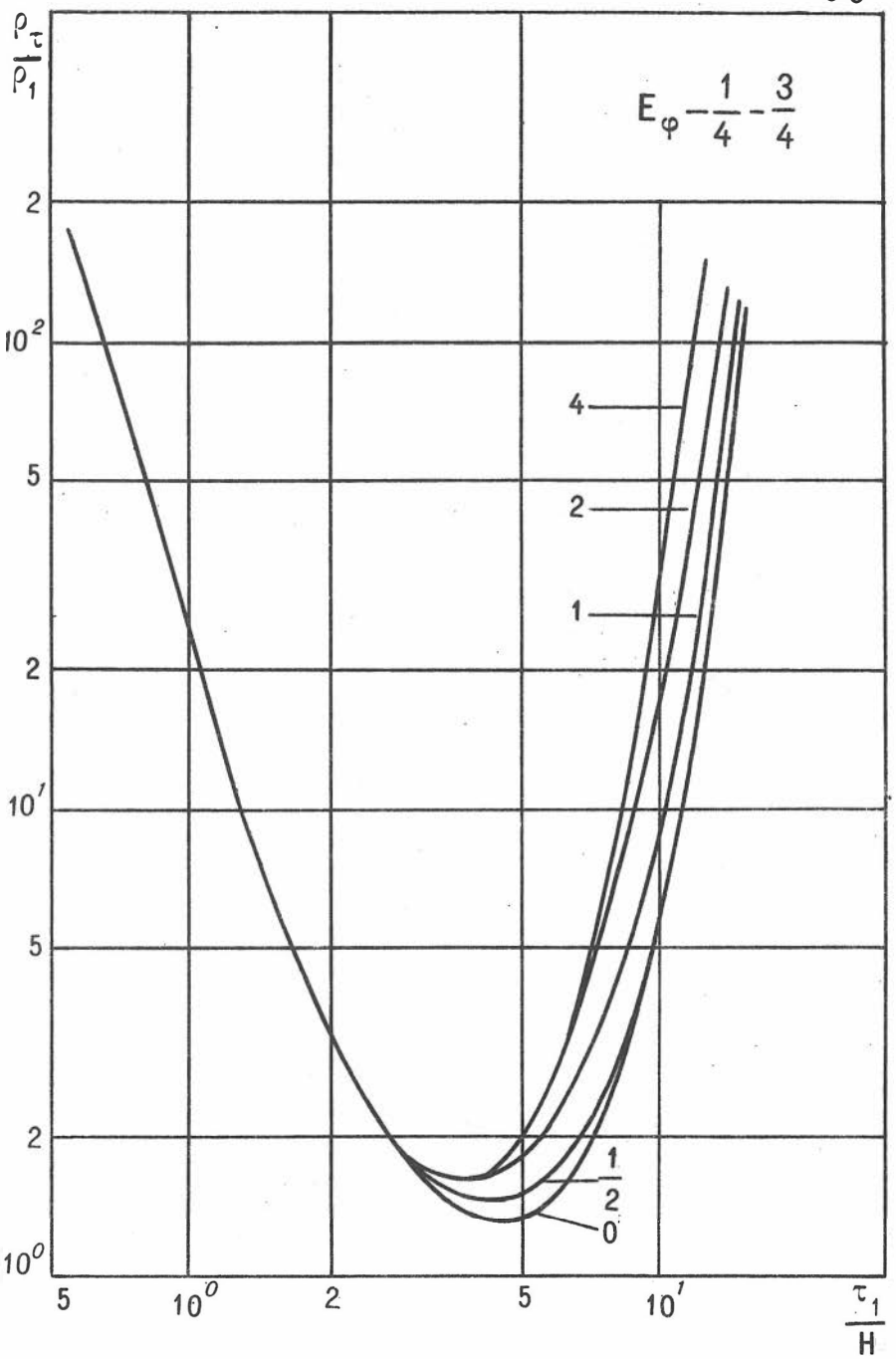

$E_\varphi - \frac{1}{8} - \frac{1}{2}$
$\rho_1 / \rho_2$
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
2
$\frac{\tau_1}{H}$
4
2
1
$\frac{1}{2}$, 0

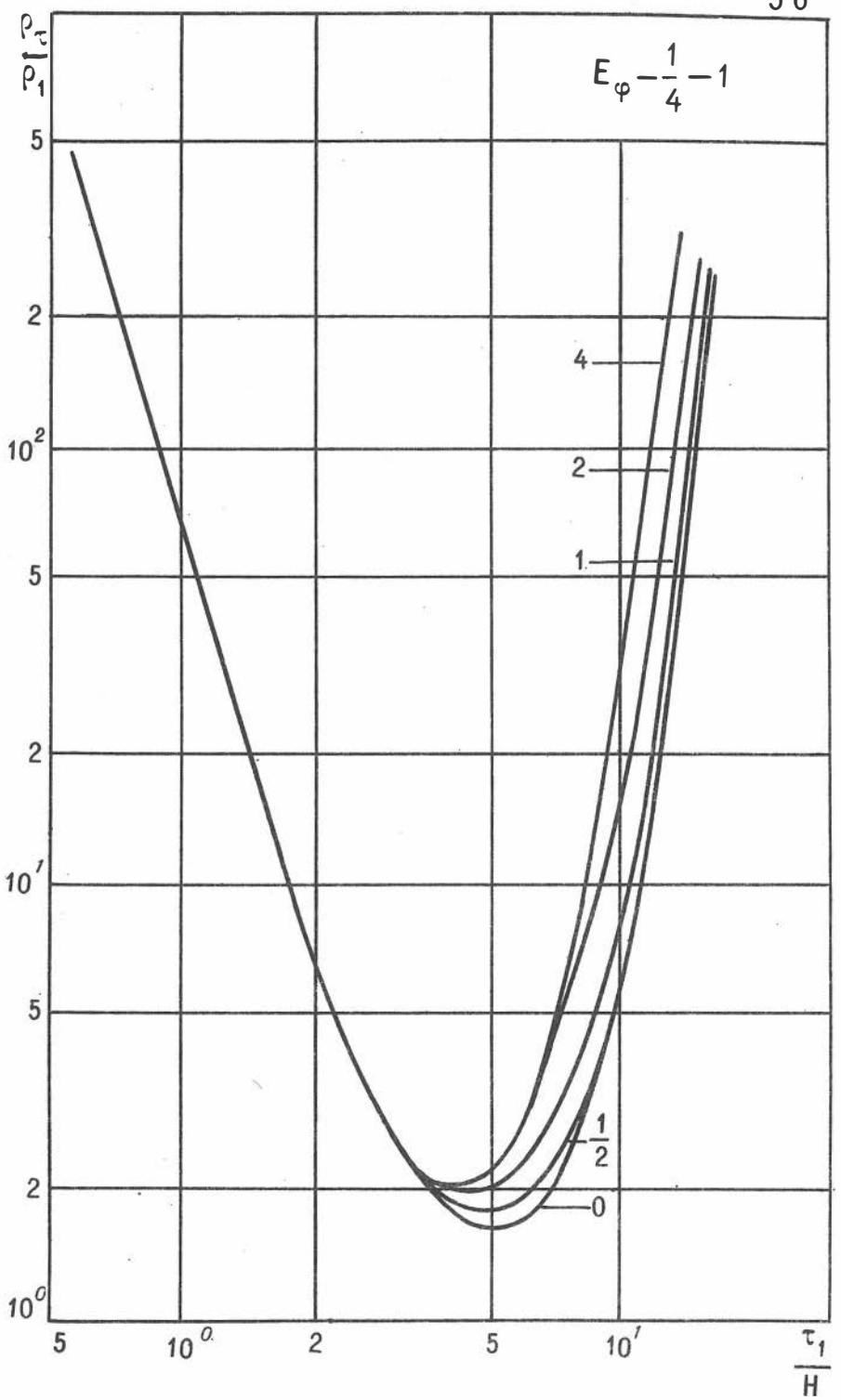

$\frac{\rho}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{8} - \frac{3}{4}$
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
4
2
1
$\frac{1}{2}$, 0
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$

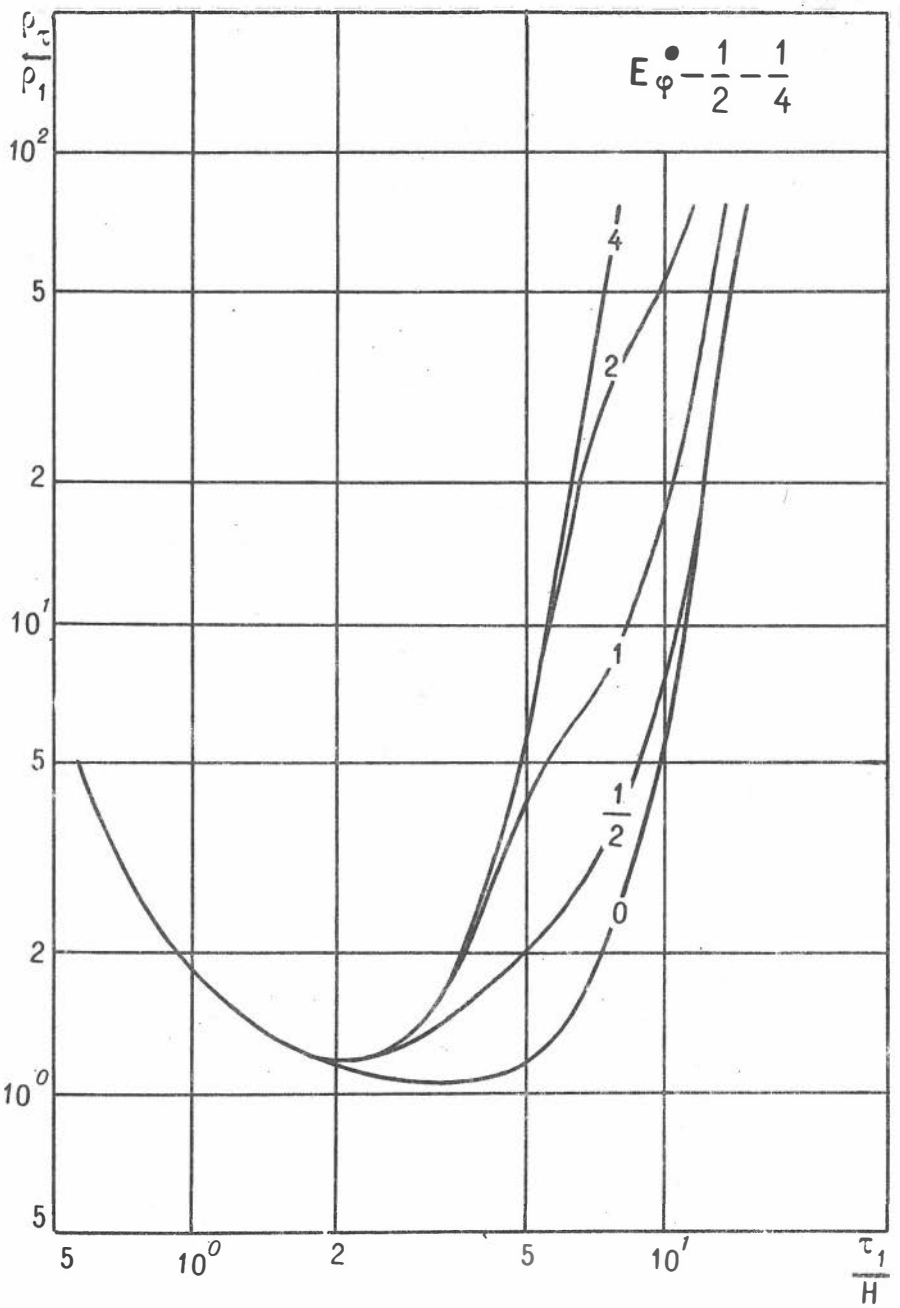

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{8} - 1$
5
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$
4
2
1
$\frac{1}{2}$, 0


$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{4} - \frac{1}{4}$
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
4
2
1
$\frac{1}{2}$
0
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$

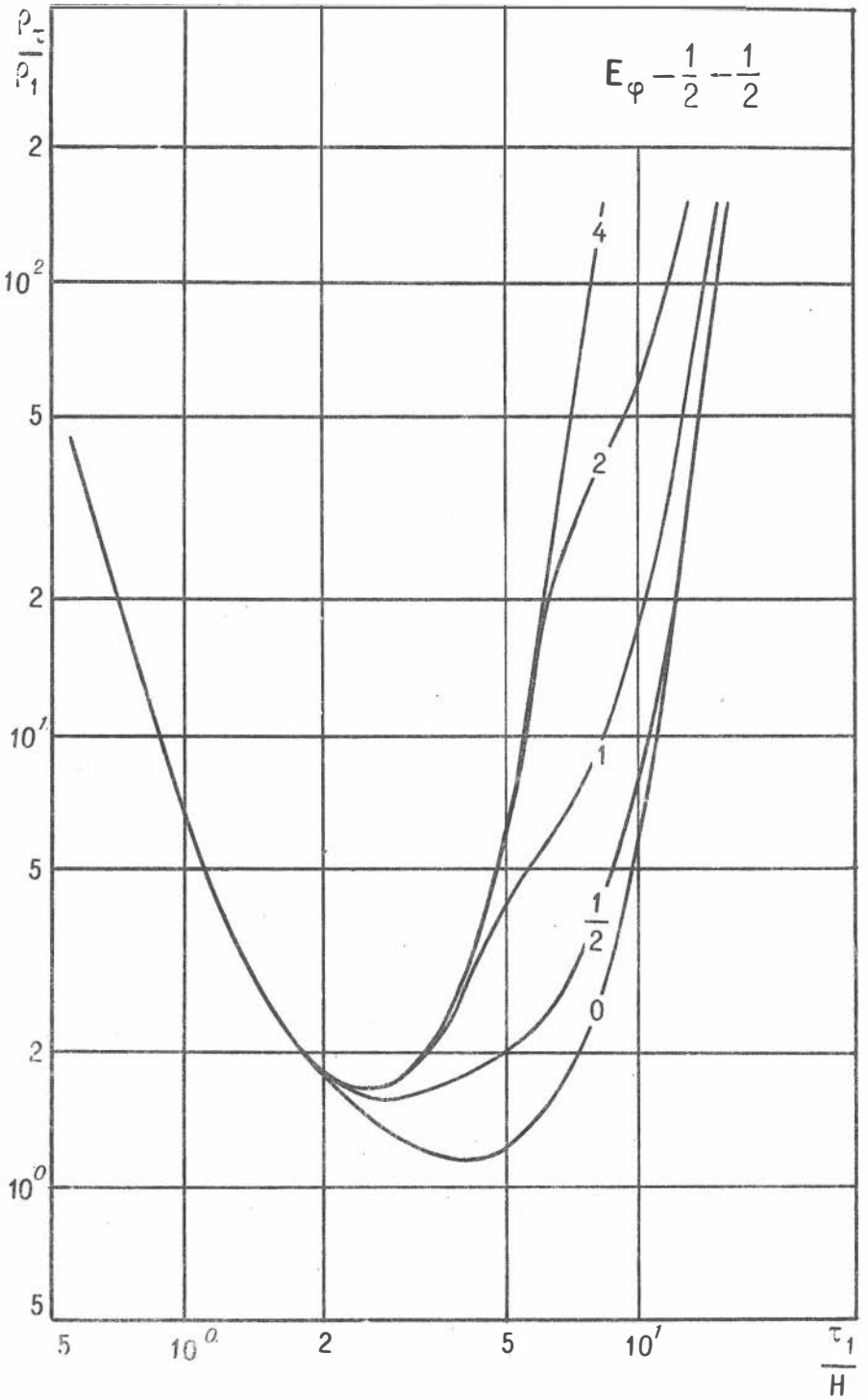

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{4} - \frac{1}{2}$
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
4
2
1
$\frac{1}{2}$
0
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$

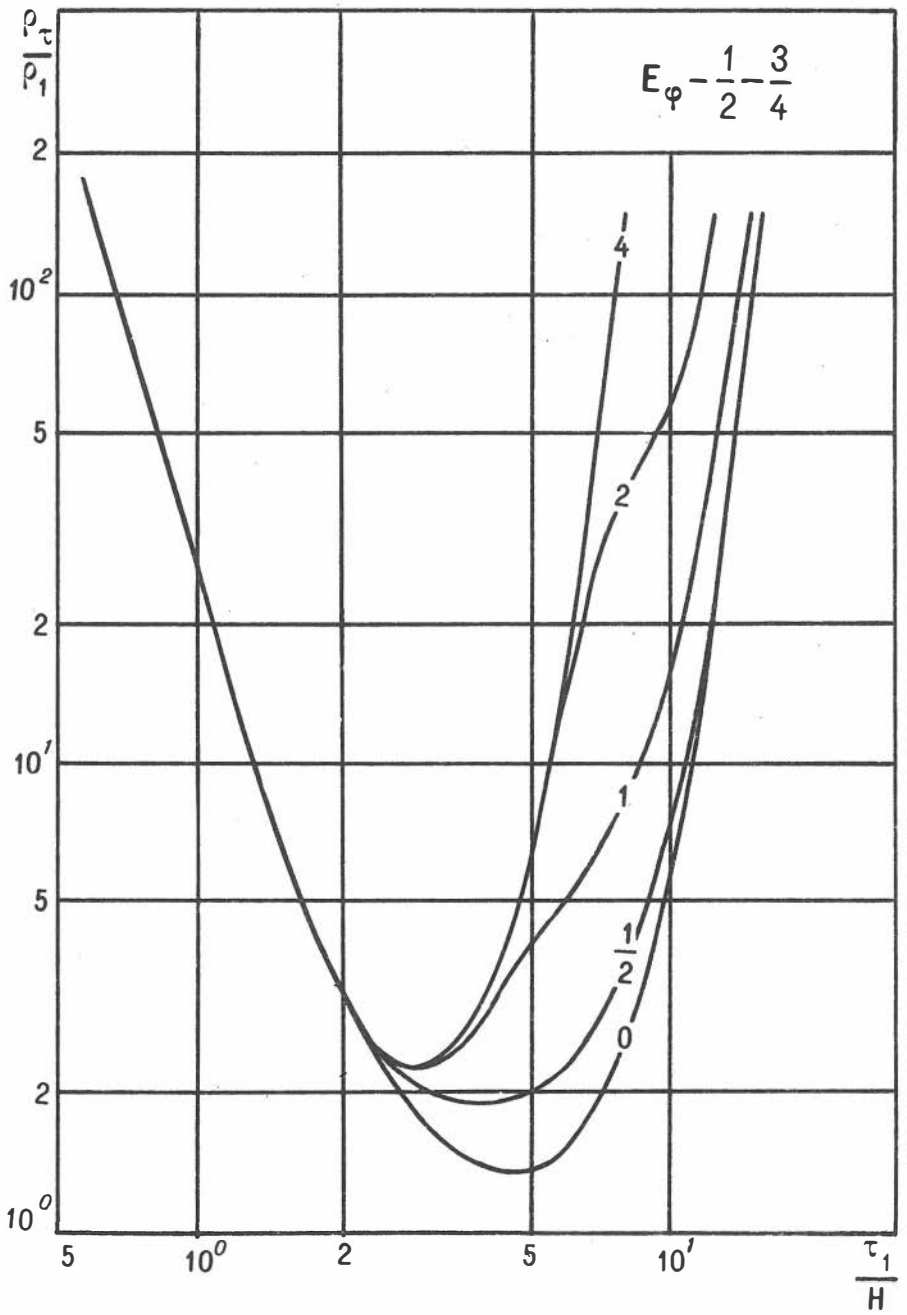

$\frac{\rho_{\tau_1}}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{4} - \frac{3}{4}$
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
4
2
1
$\frac{1}{2}$
0
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$

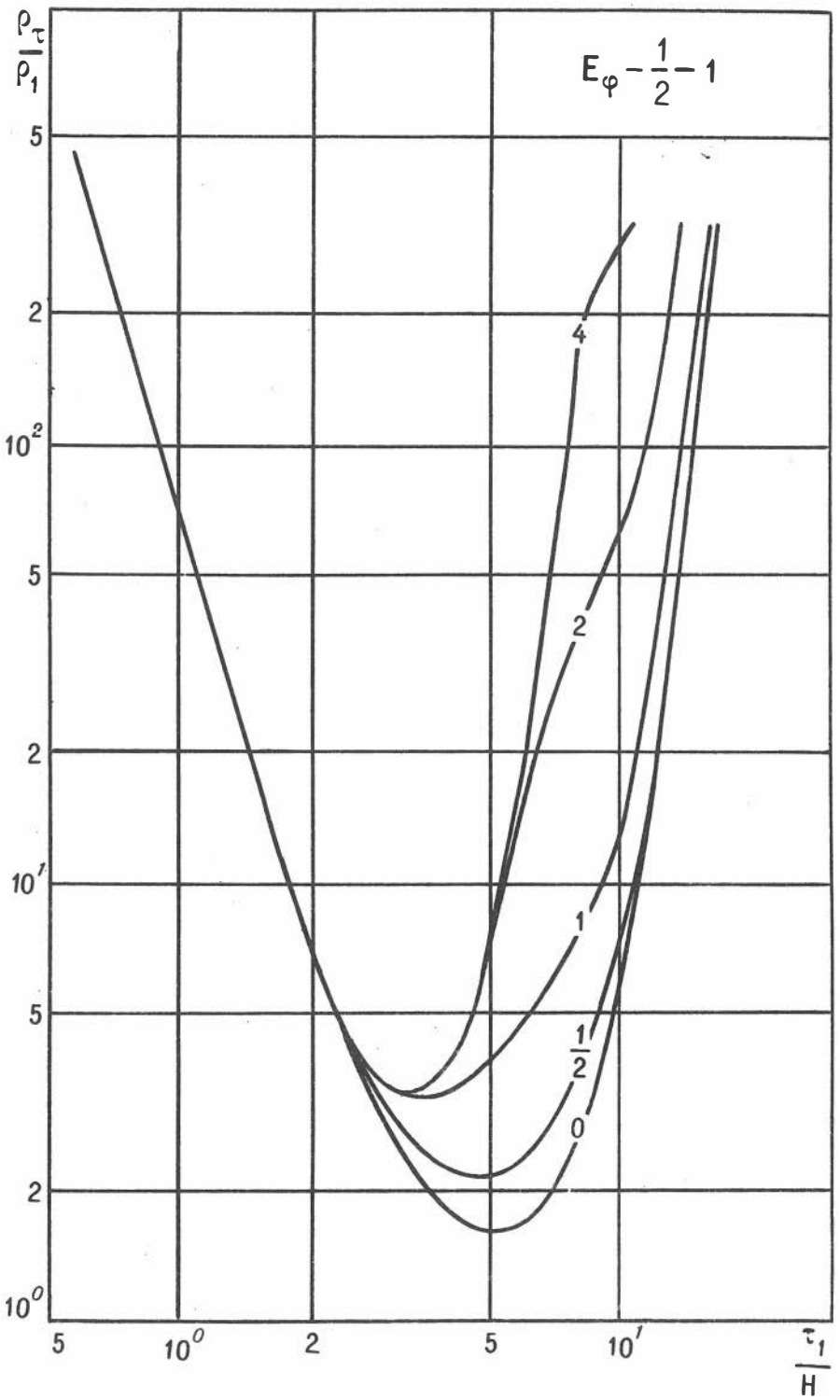

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{4} - 1$
5
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
4
2
1
$\frac{1}{2}$
0
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$

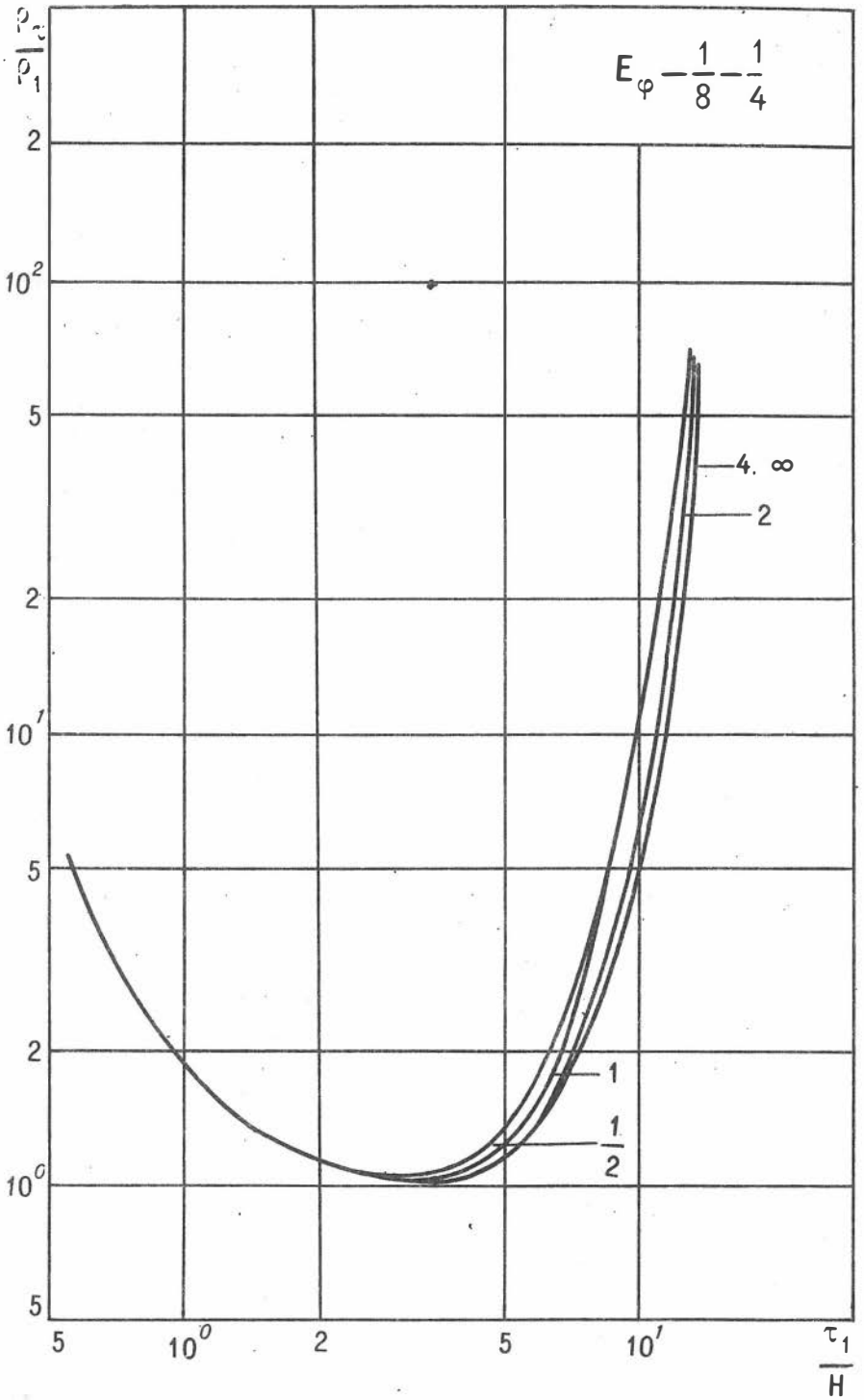


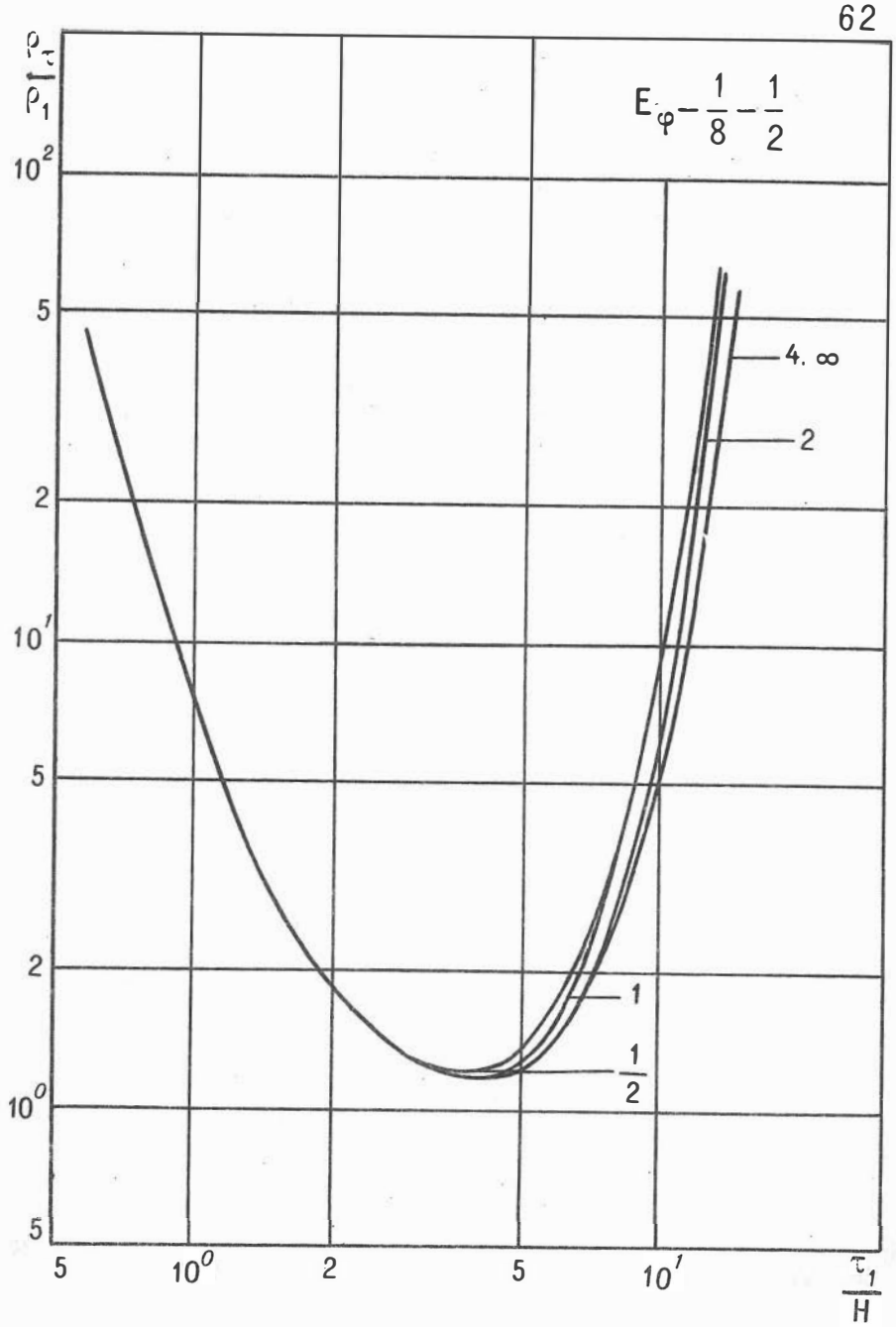
$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi^\bullet - \frac{1}{2} - \frac{1}{4}$
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
4
2
1
$\frac{1}{2}$
0
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$

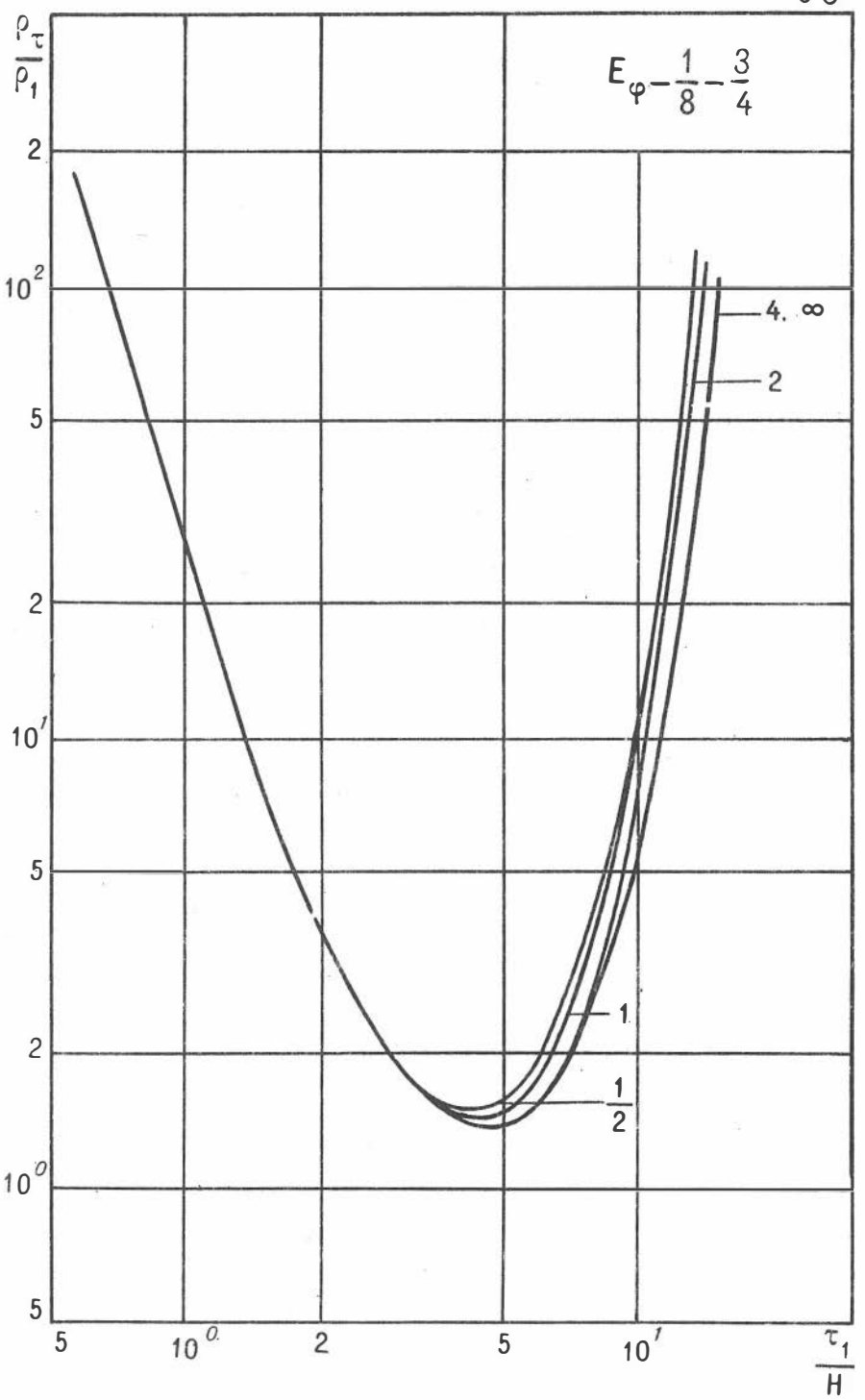

$\frac{\rho_2}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}$
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
4
2
1
$\frac{1}{2}$
0
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$

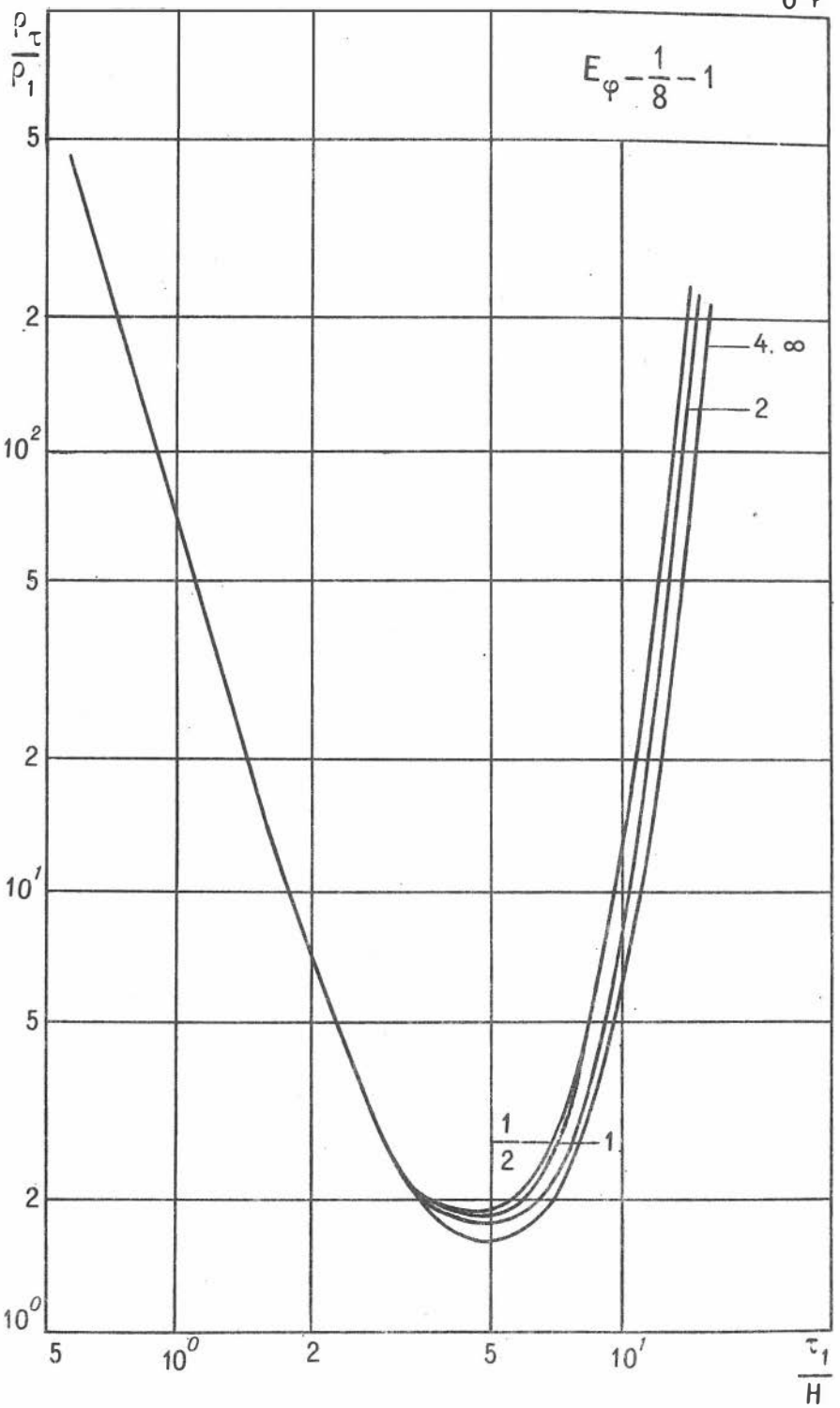

$\frac{\rho_t}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{2} - \frac{3}{4}$
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$
4
2
1
$\frac{1}{2}$
0

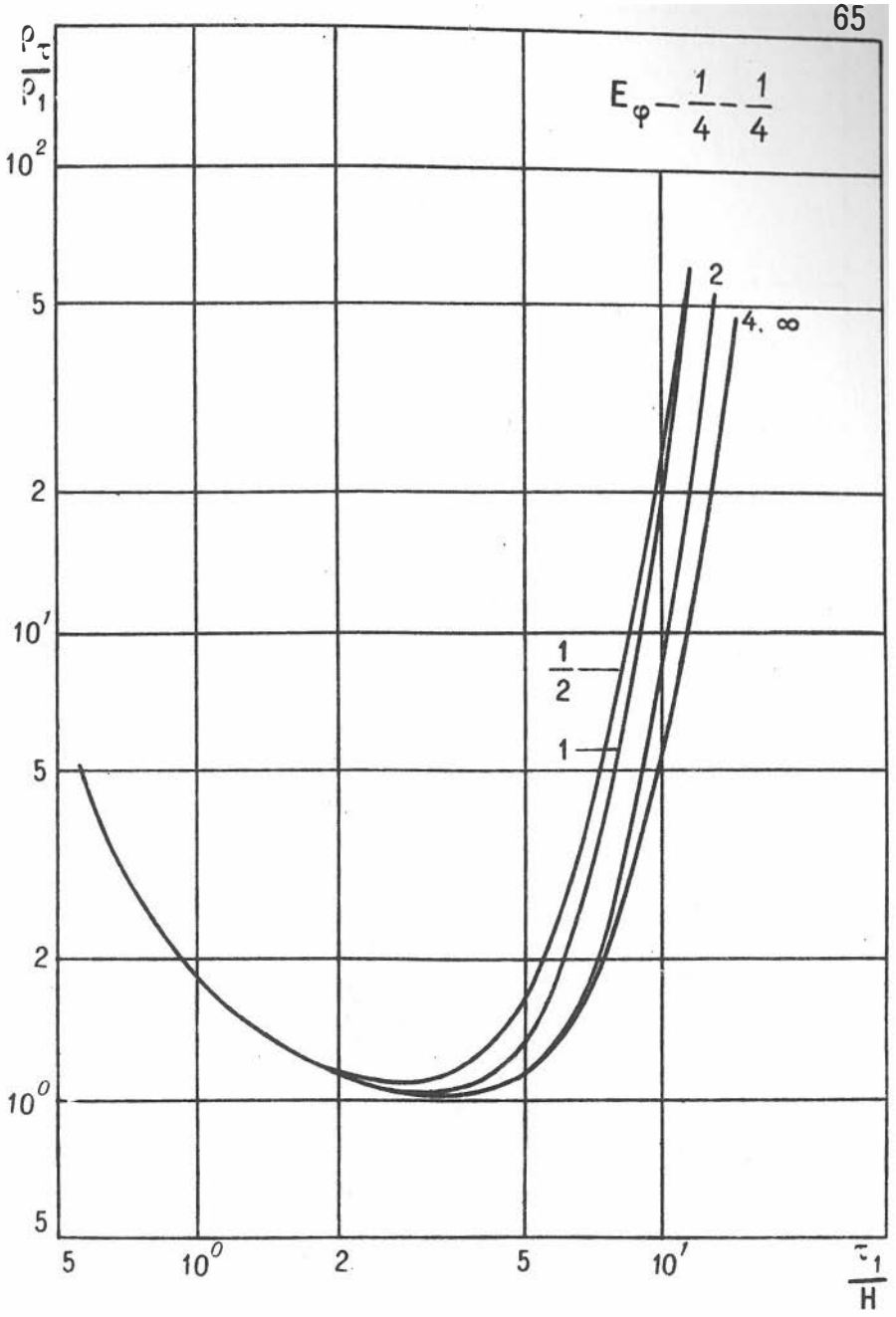

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{2} - 1$
5
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$
4
2
1
$\frac{1}{2}$
0

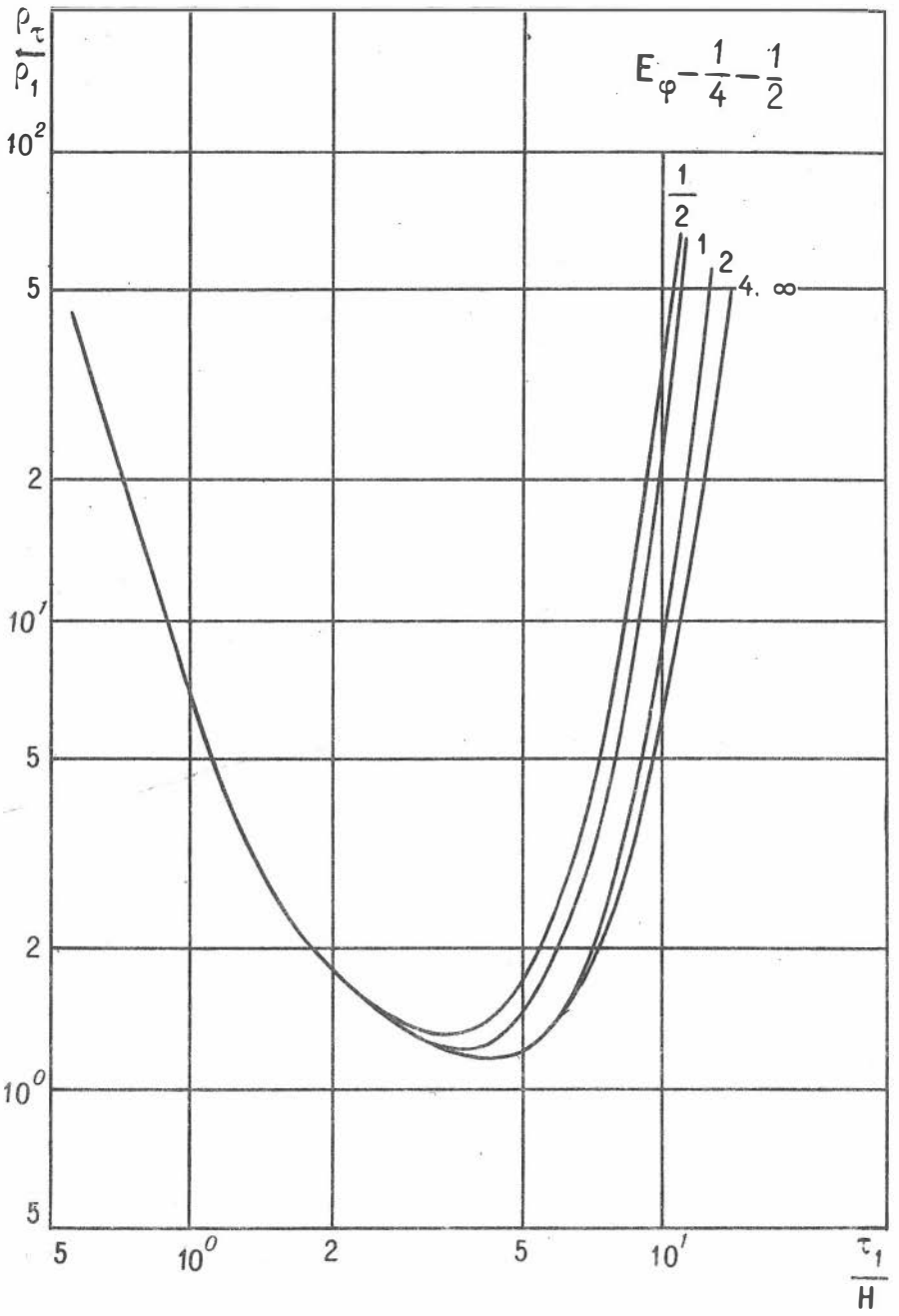

$\frac{\rho_2}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{8} - \frac{1}{4}$
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
4. ∞
2
1
$\frac{1}{2}$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$

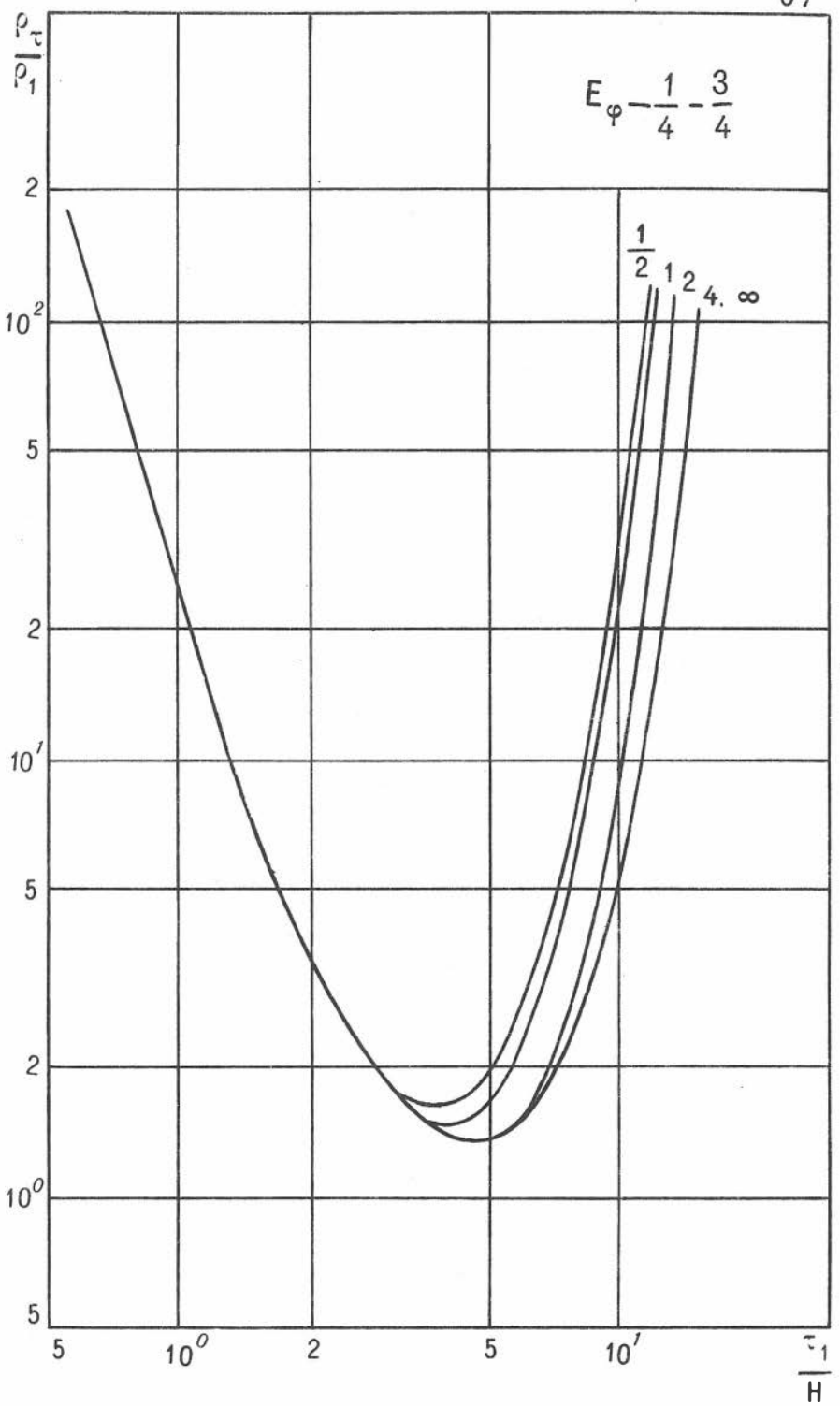

$\rho_\tau$
$\rho_1$
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
$E_\varphi - \frac{1}{8} - \frac{1}{2}$
4. ∞
2
1
$\frac{1}{2}$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$

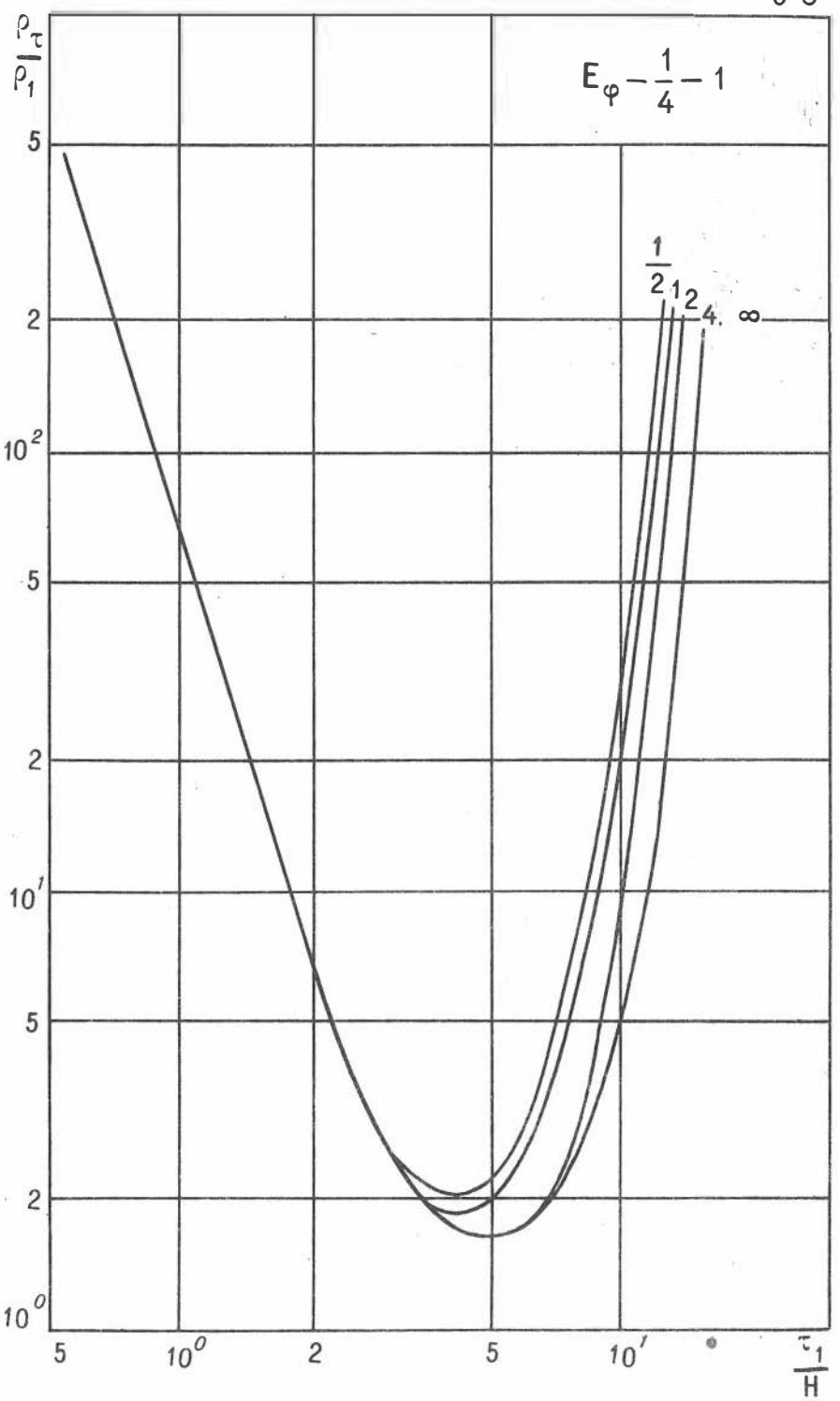

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{8} - \frac{3}{4}$
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
4, ∞
2
1
$\frac{1}{2}$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$

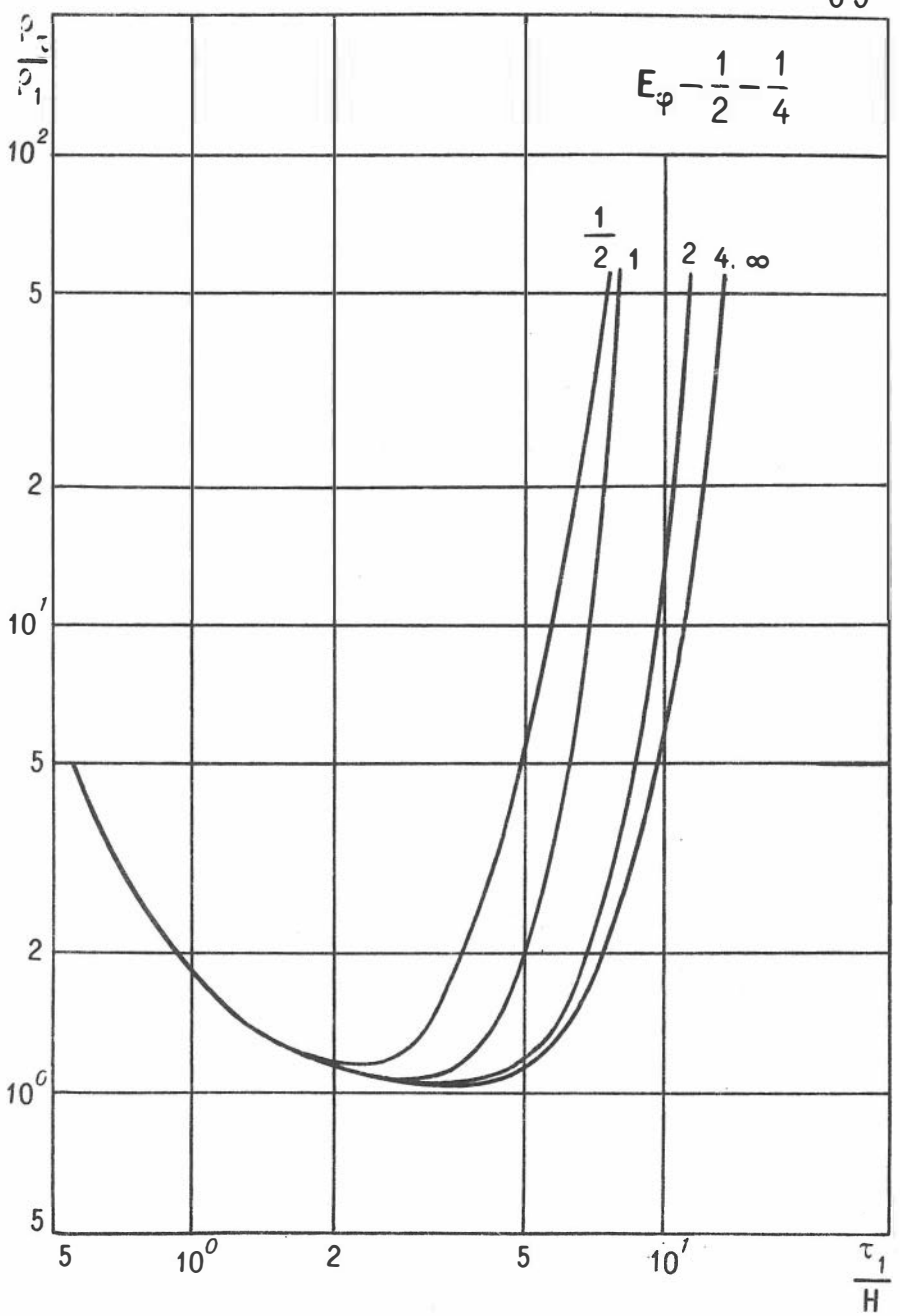

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{8} - 1$
5
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
4. ∞
2
1
$\frac{1}{2}$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$

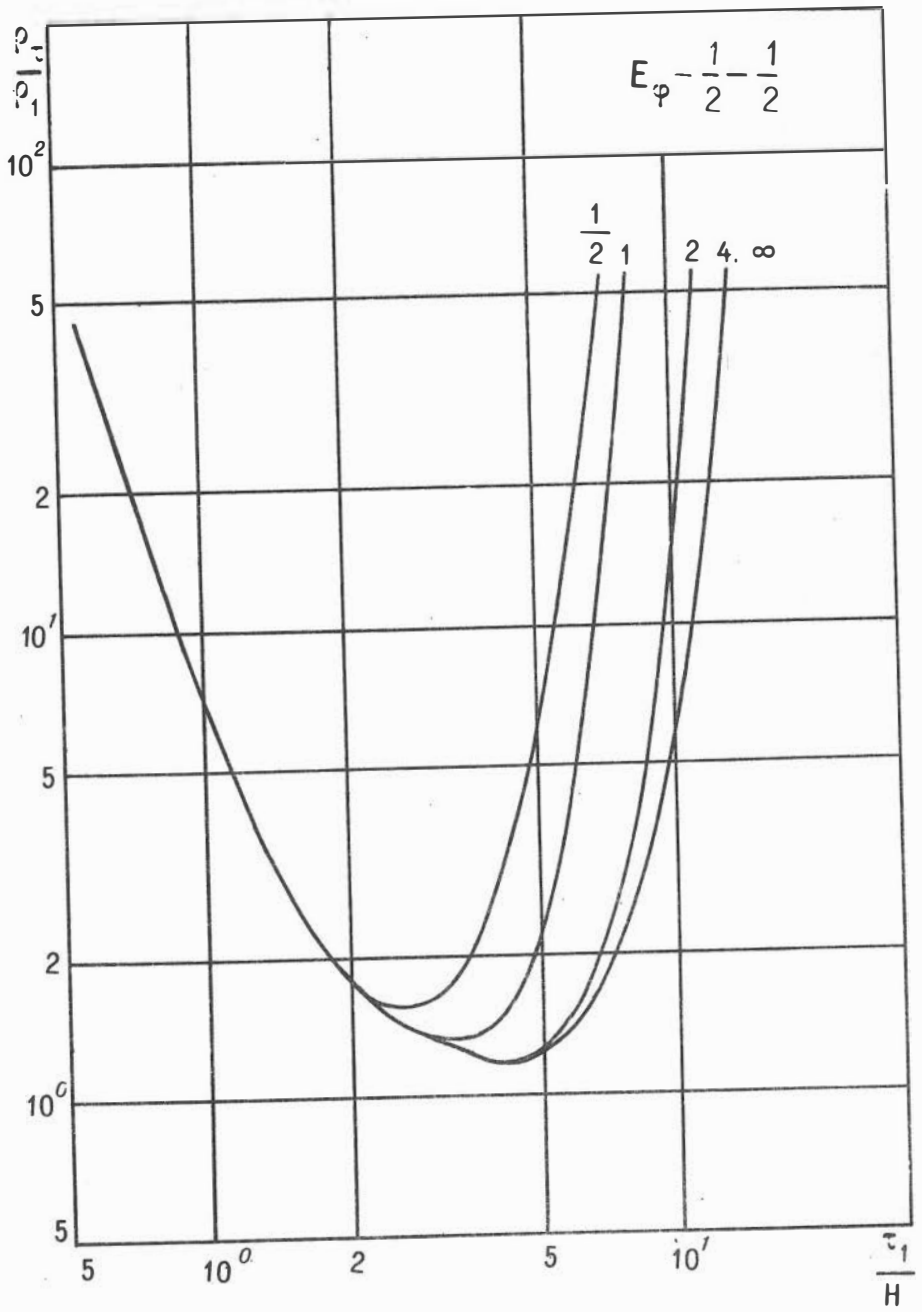

$\frac{\rho_t}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{4} - \frac{1}{4}$
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
2
4. ∞
$\frac{1}{2}$
1
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{t_1}{H}$

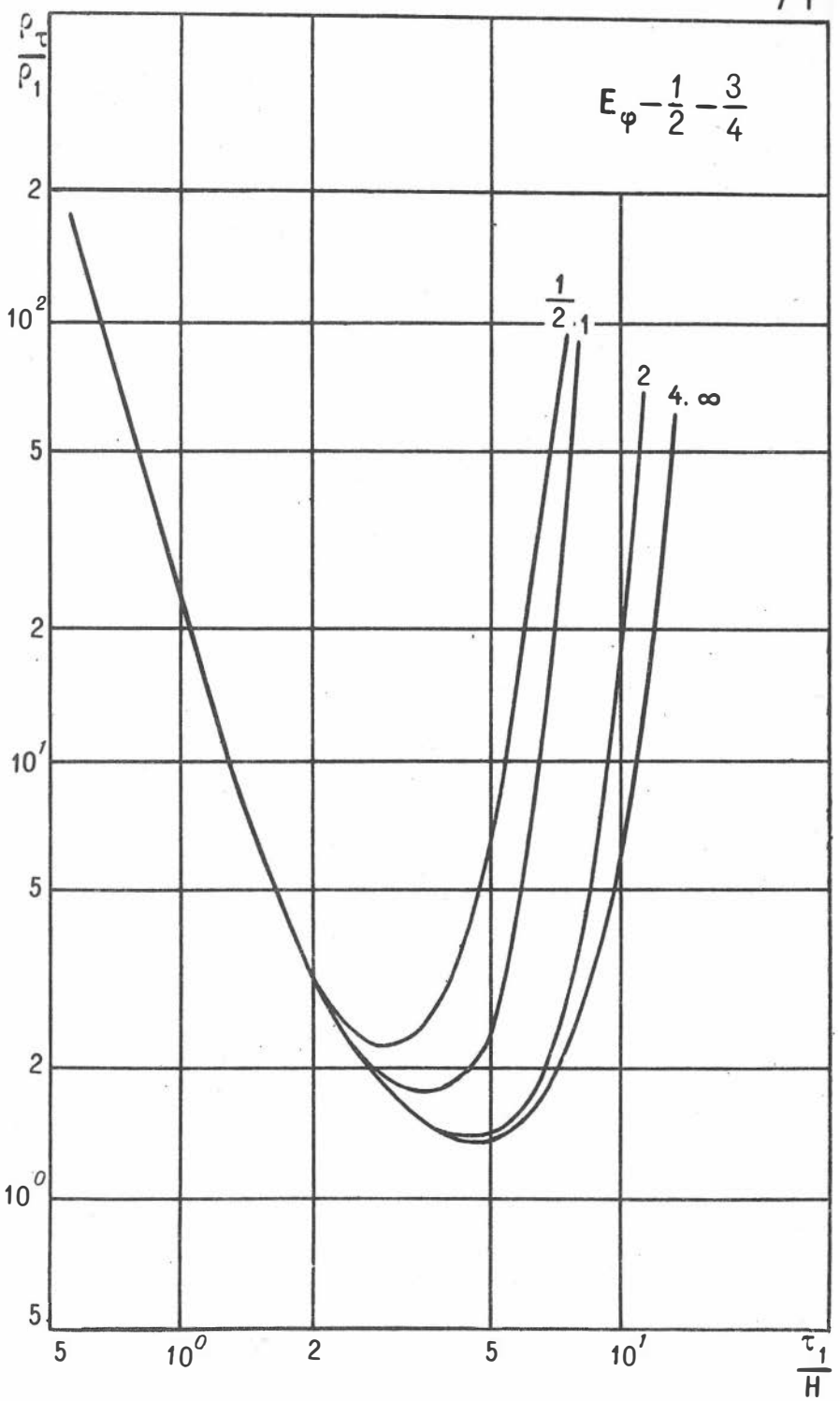

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{4} - \frac{1}{2}$
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
1/2
1
2
4.
∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$

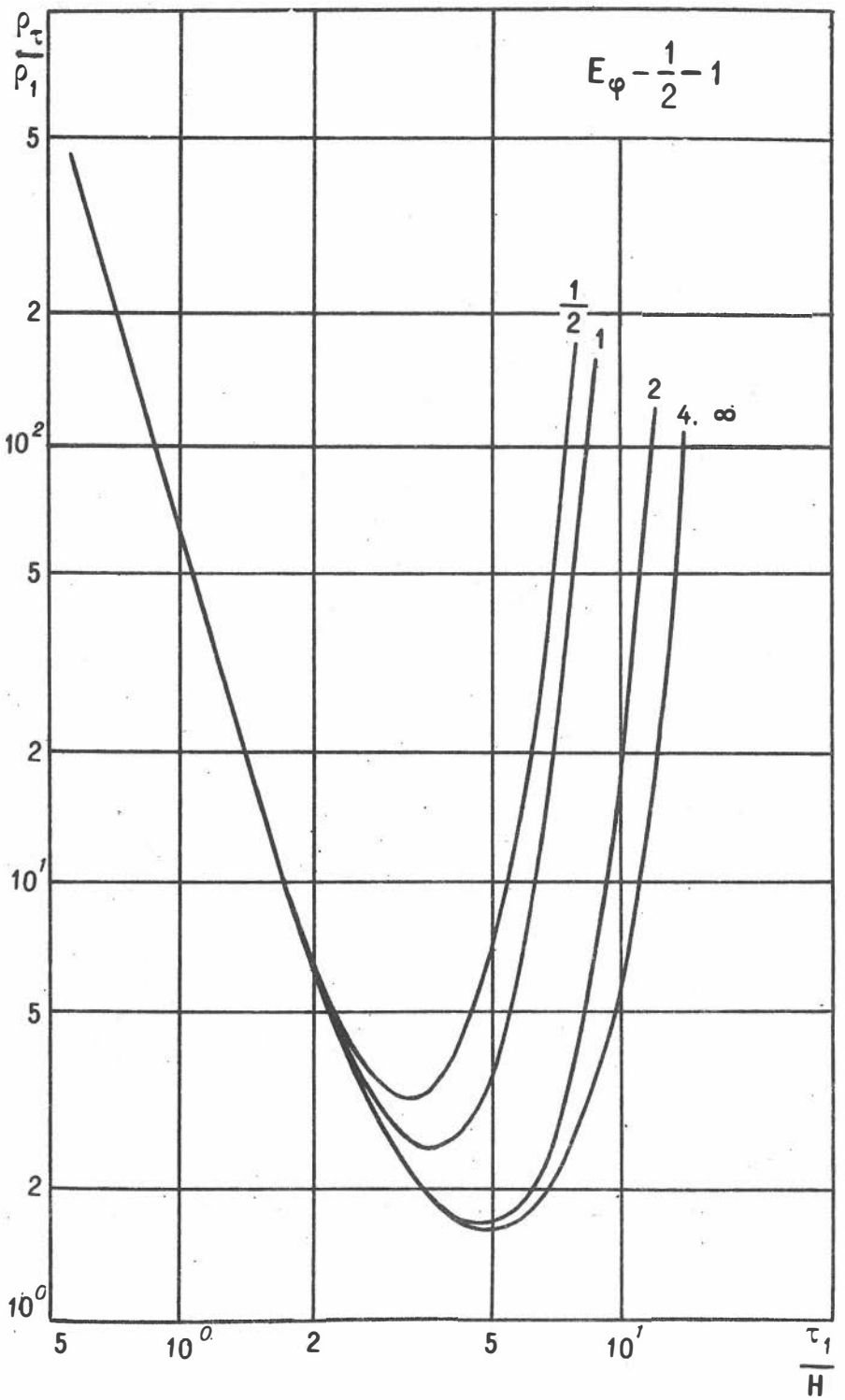

$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{4} - \frac{3}{4}$
$\frac{1}{2}$ 1 2 4. ∞
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$


$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{4} - 1$
5
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$
$\frac{1}{2}$
1
2
4
∞


$\frac{\rho_t}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{2} - \frac{1}{4}$
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
$\frac{1}{2}$ 1 2 4. ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$


$E_\varphi - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}$
$\frac{1}{2}$ 1 2 4. ∞
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$


$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{2} - \frac{3}{4}$
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
1/2
1
2
4. ∞
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$


$\frac{\rho_\tau}{\rho_1}$
$E_\varphi - \frac{1}{2} - 1$
5
2
$10^2$
5
2
$10^1$
5
2
$10^0$
5
$10^0$
2
5
$10^1$
$\frac{\tau_1}{H}$
$\frac{1}{2}$
1
2
4. ∞