

Влияние радиуса пульсарной трубки на  
изгибное гамма излучение полярных областей  
радиопульсаров с недипольным магнитным  
полем

Барсуков Д.П., Цыган А.И.  
*ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН*

# Аннотация

Рассматривается влияние радиуса пульсарной трубки открытых силовых линий магнитного поля на изгибное гамма-излучение полярных областей радиопульсара с недипольным магнитным полем. Пульсар рассматривается в модели "polar cap" со свободным истечением зарядов с поверхности нейтронной звезды. Учитывается влияние недипольности магнитного поля как на радиус кривизны силовых линий, так и на величину электрического поля. При рассмотрении генерации электрон-позитронных пар учитывается только рождение пар квантами изгибного излучения в магнитном поле. Показано, что наличие небольшой недипольности позволит радиопульсару не выключатся даже при значительном уменьшении радиуса пульсарной трубки. Например пульсар с  $B = 10^{13}$  Гс и  $P = 0.5$  сек при наличии 20% ( $\nu = 0.2$ ) недипольности будет продолжать работать даже при уменьшении радиуса пульсарной трубки в 5 раз. Также показано, что в зависимости электростатического потенциала в диоде от параметра недипольности  $\nu$  может наблюдаться максимум при значениях  $\nu = 0.5 - 0.7$ .

Показано, что профиль импульса в нетеплового рентгеновского излучения при  $\nu = 0.5 - 0.7$  может выглядеть практически также, как при  $\nu = 0.1 - 0.2$ .

Уменьшение радиуса пульсарной трубки может быть вызвано структурой токов в магнитосфере, которая приводит к тому, что пульсарный диод на поверхности нейтронной звезды занимает лишь малую часть пульсарной трубки, в остальной же части размещается внешний "annular gap" [1]. На размер пульсарной трубки влияет также наличие околопульсарного диска. Рассмотрено влияние на гамма-излучение полярных областей радиопульсара с недипольным магнитным полем околопульсарного диска в модели [2]. Рассмотрен также случай, когда изменение радиуса пульсарной трубки вызвано внешним магнитным полем [3]. В качестве источника магнитного поля может выступать как магнитный белый карлик, так и околопульсарный диск. Рассматривается также случай увеличения радиуса пульсарной трубки, что по-видимому также может быть вызвано токами в магнитосфере [4], околопульсарным диском [5] или внешним магнитным полем [3].

Работа поддержана программой "Ведущие научные школы РФ" (грант НШ-9879.2006.2).

- радиопульсар рассматривается согласно модели Голдрайха-Джулиана со свободным истечением электронов с поверхности нейтронной звезды
- пульсарный диод располагается на поверхности нейтронной звезды (модель "polar cap")

# Изменение радиуса пульсарной трубки

Искажение магнитосферы радиопульсара учитывается только в изменении радиуса пульсарной трубки  $\theta_0 a$ . Всюду считается, что сечение пульсарной трубки имеет форму круга и не учитывается смещение центра пульсарной трубки относительно оси главного диполя  $\vec{m}$ . Параметр  $d$  описывает уменьшение радиуса пульсарной трубки по сравнению с его значением в случае чисто дипольного магнитного поля.

$$d = \frac{\theta_0}{\theta_{0 \text{ dip}}}, \text{ где } \theta_{0 \text{ dip}} = \sqrt{\frac{\Omega a}{c}}$$

При этом поток магнитного поля  $F$  через пульсарную трубку считается равным:

$$F = F_{\text{dip}} d^2, \text{ где } F_{\text{dip}} = B_0 \pi \theta_0^2 a^2$$

здесь  $F_{\text{dip}}$  – величина потока магнитного поля через пульсарную трубку в случае чисто дипольного магнитного поля.

Все рассмотренные далее варианты искаженной трубки симметричны относительно плоскости  $(\vec{\Omega}, \vec{m})$ . Поэтому радиус пульсарной трубки находится следующим образом. А именно, ищутся силовые линии магнитного поля начинающиеся в точках

$$\vec{x} = a (\vec{e}_m \cos \mu + \vec{e}_n \sin \mu), \quad 0 \leq \mu \leq 2\pi$$

здесь  $a$  – радиус нейтронной звезды,  $\vec{e}_m = \frac{\vec{m}}{m}$  – единичный вектор вдоль оси главного диполя,  $\vec{e}_n$  – единичный вектор, перпендикулярный векторам  $\vec{\Omega}$  и  $\vec{m}$ . В качестве угла  $\theta_0$ , обозначающего границу пульсарной трубки, берется значение  $\mu$ , соответствующее последней силовой линии не пересекающей световой цилиндр.

## Влияние внешнего магнитного поля

Влияние внешнего магнитного поля на работу радиопульсара с дипольным магнитным полем было рассмотрено в [3].

Для нахождения радиуса пульсарной трубки ищутся силовые линии магнитного поля [3]:

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{3(\vec{m}\vec{r})\vec{r} - \vec{m}r^2}{r^5} + \vec{B}_c$$

вектор  $\vec{B}_c$  лежит в плоскости векторов  $\vec{m}$  и  $\vec{\Omega}$ ,  
 $\beta$  – угол между вектором  $\vec{B}_c$  и осью вращения пульсара  $\vec{\Omega}$ ,

$$\alpha_b = \frac{B_c}{B_0} \left( \frac{\Omega a}{c} \right)^{-3}$$

В случае когда у нас есть осевая симметрия, уравнение силовых линий можно найти аналитически и радиус пульсарной трубки оказывается равным [3]

$$d = \sqrt{\frac{1 - \alpha_b}{1 - \frac{\alpha_b}{\eta_{LC}^3}}}, \text{ при } \beta = \pi$$

$$d = \max \left( \sqrt[6]{\frac{27}{4} \frac{\alpha_b}{1 + \frac{\alpha_b}{\eta_{LC}^3}}}, \sqrt{\frac{1 + \alpha_b}{1 + \frac{\alpha_b}{\eta_{LC}^3}}} \right), \text{ при } \beta = 0$$

здесь  $\eta_{LC}$  – радиус светового цилиндра (измеренный в радиусах нейтронной звезды)

$$\eta_{LC} = \left( \frac{\Omega a}{c} \right)^{-1}$$

здесь  $2\alpha_b$  – отношение напряженности магнитного поля  $B_c$  к напряженности поля главного диполя на световом цилиндре в точке касания его последней замкнутой силовой линией.

# Влияние околопульсарного диска

В случае если вблизи радиопульсара находится околопульсарный диск, то его взаимодействие с магнитосферой пульсара может приводить к появлению электрических токов, что в некоторых ситуациях может вызвать изменение всей структуры магнитосферы и, как минимум, радиуса пульсарной трубки [2, 7, 8, 5]. В данной работе рассматривается влияние диска только в модели [2]. При нахождении радиуса пульсарной трубки магнитное поле считается равным

$$B_r = \frac{2m}{r^3} \left( \sin \theta \cos \phi \sin \chi + \frac{2}{\pi} \cos \chi \cos \theta \left( \arctan(X) + \frac{1 - Y}{X} \right) \right)$$

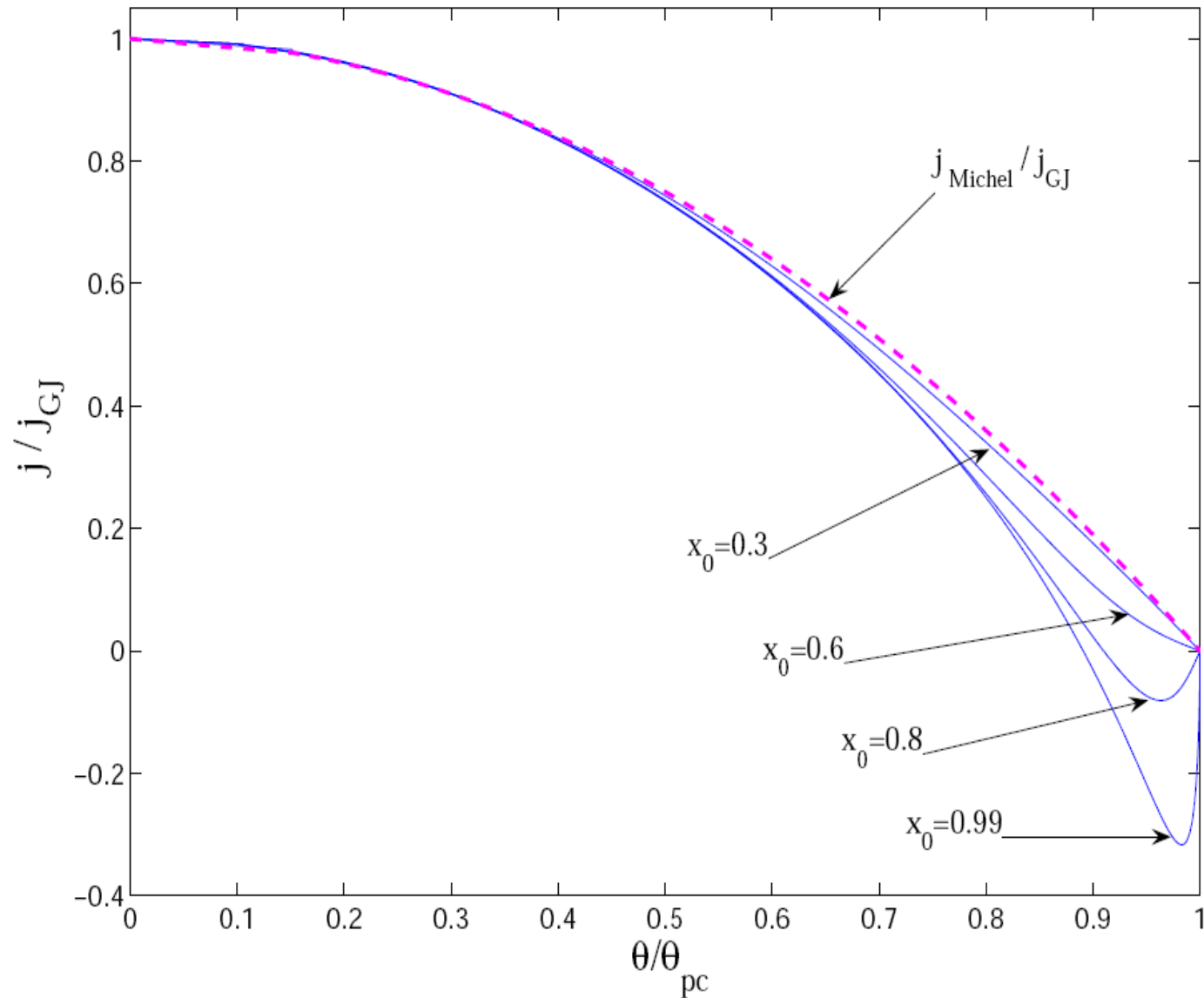
$$B_\theta = \frac{m}{r^3} \left( -\cos \theta \cos \phi \sin \chi + \frac{2}{\pi} \cos \chi \sin \theta \left( \arctan(X) + \frac{ctg^2 \theta}{X} \left( \frac{Y X^2}{\cos^2 \theta} \frac{r^2 + b^2}{b^2} - 1 \right) \right) \right)$$

$$B_\phi = \frac{m}{r^3} \sin \phi \sin \chi$$

$$X = b |\cos \theta| \sqrt{2 / \left( (r^2 - b^2) + r^2 / Y \right)}, \quad Y = r^2 / \sqrt{(r^2 - b^2)^2 + 4b^2 r^2 \cos^2 \theta}$$

здесь все величины даны в сферической системе координат  $(r, \theta, \phi)$  с осью  $Oz$  направленной вдоль оси вращения пульсара  $\vec{\Omega}$ ,  $b$  – внутренний радиус диска.

# Влияние магнитосферных токов



В работе [1] был найден профиль тока в пульсарной трубке. Видно, что он очень похож на профиль тока, соответствующего модели кольцевого зазора.



- влияние внешних факторов на структуру магнитосферы пульсара учитывается только в изменении радиуса пульсарной трубки
- сечение пульсарной трубки всюду считается кругом
- пренебрегается сдвигом центра пульсарной трубки относительно оси главного диполя

# Недипольное магнитное поле

Недипольность магнитного поля описывается используя следующую модель [6]. Предполагается, что нейтронная звезда радиуса  $a$  обладает магнитным дипольным моментом  $\vec{m}$  (так что поле на её магнитном полюсе равно  $B_0 = 2m/a^3$ ). Угол между вектором  $\vec{m}$  и осью вращения пульсара  $\vec{\Omega}$  считается равным  $\chi$ . В дальнейшем всюду предполагается  $\chi = 10^\circ$ .

На расстоянии  $a \Delta$  ( $\Delta < 1$ ) от поверхности (вглубь звезды) в области полюса нейтронной звезды располагается дополнительный магнитный диполь с магнитным моментом  $\vec{m}_1$ . Вектор  $\vec{m}_1$  перпендикулярен вектору  $\vec{m}$ , угол между  $\vec{m}_1$  и плоскостью  $(\vec{\Omega}, \vec{m})$  равен  $\gamma$ . Параметр  $\Delta$  всюду в дальнейшем полагается равным 0.1, что примерно соответствует толщине коры нейтронной звезды, и как предполагается, не приводит к быстрому распаду дополнительного диполя  $\vec{m}_1$ .

Введем сферическую систему координат  $(\eta = r/a, \theta, \phi)$ . При этом направим ось  $z$  – вдоль вектора  $\vec{m}$ , а ось  $x$  – вдоль вектора  $\vec{m}_1$ . Тогда используя малоугловое приближение  $\theta \ll 1$  выражение для суммарного магнитного поля  $\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_1$  записывается в следующем виде:

$$B_r = \frac{B_0}{\eta^3}, \quad B_\theta = \frac{B_0}{\eta^3} \left( \frac{\theta}{2} + \mu \cos \phi \right), \quad B_\phi = -\frac{B_0}{\eta^3} \mu \sin \phi$$

где  $\mu = \nu \left( \frac{\Delta \eta}{\eta - 1 + \Delta} \right)^3$ ,  $\nu = B_1/B_0$

Для нахождения кривизны силовых линий магнитного поля используется

$$\rho_c = 2\eta a \left( \frac{3}{2}\theta + \mu \left( \left( \frac{3(1-\Delta)}{\eta-1+\Delta} \right) - \frac{1}{2} \right) \right)^{-1}$$

# Электрическое поле

В случае тонкой пульсарной трубки (когда высота диода  $z_c = \eta_c - 1$  много больше радиуса трубки  $\theta_s$ ) электростатический потенциал может быть записан в следующем виде [9]:

$$\Phi = \frac{\Omega F}{2\pi c} (1 - \xi^2) \left( \left( 1 - \frac{k}{\eta^3} \right) f(\eta) - (1 - k) f(1) \right)$$

где  $F$  – магнитный поток через пульсарную трубку,  $\xi$  – расстояние поперек трубки ( $\xi = 1$  соответствует границе трубки, а  $\xi = 0$  – центральной силовой линии магнитного поля)

$$f(\eta) = (\cos \chi + \mu \sin \chi \cos \gamma) \frac{1}{\sqrt{1 + \mu^2}}$$

плотность электрического заряда в трубке можно найти по формуле (8) из [9]

$$\rho = \frac{\Omega B}{2\pi c} (1 - k) f(1)$$

здесь  $B$  – значение напряженности магнитного поля в точке  $(\eta, \xi, \phi)$ .

# Электрическое поле

В случае если  $z_c \ll 1$ ,  $z_c \ll \Delta$ ,  $\theta \ll 1$  и  $\sin \beta \ll \frac{\theta_s}{z_c}$  или  $\frac{z_c}{\theta_s}$ , где  $\beta$  – угол между вектором магнитного поля и поверхностью нейтронной звезды, потенциал (10) из [9] может быть переписан в следующем виде:

$$\Phi = 2\Phi_0 K_1 \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{\gamma_i^2} \left( z + \frac{F(z, \gamma_i)}{\gamma_i} \right) \frac{2}{k_i J_1(k_i)} J_0(k_i \xi)$$

где  $\Phi_0 = \frac{\Omega a}{c} B_s a$ ,  $B_s$  – величина магнитного поля в точке ( $\eta = 1$ ,  $\xi = 0$ ,  $\phi = 0$ ),  $\theta_s a$  – радиус пульсарной трубки (на поверхности нейтронной звезды),  $\chi$  – угол между  $\vec{m}$  и  $\vec{\Omega}$ ,  $\gamma_i = \frac{k_i}{\theta_s}$  и  $k_i$  – корни уравнения  $J_0(k) = 0$

$$F(z, \gamma) = - \frac{(1 - e^{-\gamma z})(1 + e^{-\gamma(z_c - z)})}{1 + e^{-\gamma z_c}}$$

$$K_0 = \frac{1}{\sqrt{1 + \nu^2}} \left( (1 - k) \cos \chi + \left(1 + \frac{k}{2}\right) \nu \sin \chi \cos \gamma \right)$$

$$K_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \nu^2}} \left( 3k + \frac{3\nu}{\Delta} \frac{\nu}{1 + \nu^2} (1 - \Delta)(1 - k) \right) \cos \chi$$

$$- \frac{3\nu}{\Delta} \frac{1}{(1 + \nu^2)^{3/2}} \left( 1 - \Delta + \frac{k}{2} + \frac{k}{2} \nu^2 \Delta \right) \sin \chi \cos \gamma$$

и плотность электрического заряда в трубке вычисляется по следующей формуле

$$\rho = \frac{\Omega B}{2\pi c} A(\xi) \quad A(\xi) = -K_0 - K_1 \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{\gamma_i} \frac{1 - e^{-\gamma_i z_c}}{1 + e^{-\gamma_i z_c}} \frac{2}{k_i J_1(k_i)} J_0(k_i \xi)$$

# Изгибное излучение

Интенсивность изгибного излучения вычисляется по следующей формуле:

$$\frac{dN}{dt d\gamma} = \frac{\sqrt{3}}{2\pi} \alpha_F \frac{c}{\rho_c} \beta \Gamma F \left( \frac{\gamma}{\gamma_c} \right) \frac{1}{\gamma_c}$$

$$\gamma_c = \frac{3}{4\pi} \frac{\lambda_c}{\rho_c} \beta \Gamma^3$$

$$F(\xi) = \int_{\xi}^{+\infty} K_{5/3}(s) ds$$

здесь  $\frac{dN}{dt d\gamma} d\gamma$  – число фотонов с энергией  $\gamma$  в интервале  $d\gamma$ , испускаемых электроном в точке  $x$  за 1 с,

$\gamma = \frac{\hbar\omega}{mc^2}$  – энергия фотона в единицах  $mc^2$ ,  $\omega$  – его частота,  $\Gamma$  – лоренц-фактор электрона в точке  $x$ ,

$\beta = \frac{\sqrt{\Gamma^2 - 1}}{\Gamma}$ ,  $\lambda_c = \frac{h}{mc^2}$  – комптоновская длина волны электрона,  $\alpha_F$  – постоянная тонкой структуры,

$\rho_c$  – радиус кривизны силовых линий магнитного поля в точке  $x$ .

# Коэффициент поглощения фотона

При вычислении коэффициента поглощения фотона, используется следующее выражение:

$$k(x, \gamma, \Psi) = \frac{3}{16} \sqrt{\frac{3}{2}} \alpha_F \frac{2\pi}{\lambda_c} \frac{B}{B_{cr}} \sin \Psi \exp \left( -\frac{8}{3} \frac{B_{cr}}{B \gamma \sin \Psi} \right)$$

где  $\gamma$  – энергия фотона в единицах  $mc^2$ ,  $B = B(x)$  – величина магнитного поля в точке  $x$ ,  $\Psi$  – угол между импульсом гамма-кванта и вектором магнитного поля  $\vec{B}$ . При  $\gamma \leq 2$  коэффициент  $k$  считается равным нулю.

$$k(x, \gamma, \Psi) = 0, \quad \text{при } \gamma \leq 2$$

нужно отметить, что данное выражение не корректно вблизи порога

$$\gamma \sin \Psi \sim 2 \div 4$$

## Высота верхней обкладки пульсарного диода

Высота верхней обкладки пульсарного диода  $z_c$  выбирается таким образом, чтобы коэффициент умножения электрон-позитронных пар  $Q$  был равен 0.1 в точке  $(z = z_c, \xi = \frac{1}{2}, \phi = 0)$

$$Q \left( z = z_c, \xi = \frac{1}{2}, \phi = 0 \right) = 0.1$$

Если в интервале  $0 \leq z_c \leq 2$  не удалось найти значения  $z_c$  удовлетворяющего вышеприведенному условию, то пульсар считается выключенным. В этом случае при нахождении интенсивности гамма-излучения формально полагалось значение  $z_c$  равное 2

$$z_c = 2$$

- при нахождении интенсивности гамма-излучения пульсара учитывается только изгибающее излучение первичных позитронов
- при нахождении высоты верхней обкладки пульсарного диода учитывается только генерация электрон-позитронных пар, связанная с поглощением в магнитном поле фотонов изгибающего излучения первичных электронов
- при нахождении коэффициента умножения  $Q$  электрон-позитронных пар и интенсивности гамма-излучения магнитное поле считается чисто дипольным на больших высотах (и совпадающим с полем главного диполя  $\vec{m}$ )
- не учитывается рост потенциала вызванный Аронсовским членом на больших высотах для выключенных радиопульсаров
- пренебрегается всеми эффектами ОТО, кроме учета вклада общерелятивистского эффекта увлечения инерциальных систем отсчета в электрическое поле



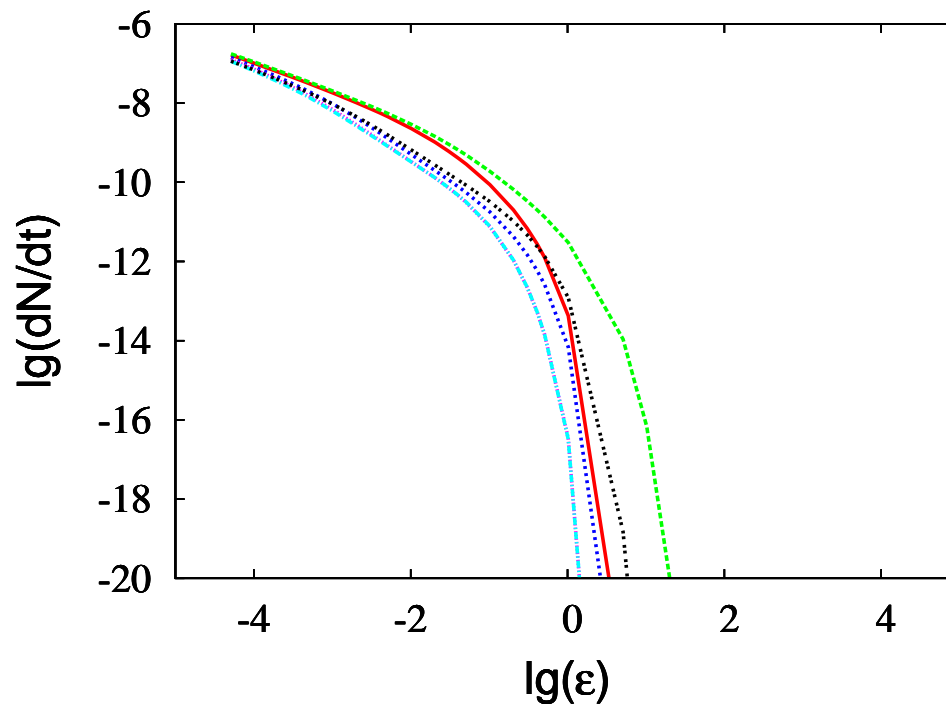
## Используемые значения параметров

$$B = 0.2 B_{cr}, P = 0.5 \text{ с}$$
$$\chi = 10^\circ, \Delta = 0.1, k = 0.15$$

| $\nu$   | $z_c, 10^{-2}$ | $\Gamma, 10^5$ | $\nu$                             | $z_c, 10^{-2}$ | $\Gamma, 10^5$ |
|---|----------------|----------------|-----------------------------------|----------------|----------------|
| $d = 0.2, \gamma = \pi$                                     |                |                | $d = 0.2, \gamma = \frac{\pi}{2}$ |                |                |
| <b>0.0</b>  | <b>200.0</b>   | <b>26.1</b>    | <b>0.0</b>                        | <b>200.0</b>   | <b>26.1</b>    |
| <b>0.1</b>  | <b>200.0</b>   | <b>29.5</b>    | <b>0.1</b>                        | <b>200.0</b>   | <b>26.8</b>    |
| <b>0.2</b>  | <b>2.72</b>    | <b>9.77</b>    | <b>0.2</b>                        | <b>5.21</b>    | <b>11.5</b>    |
| <b>0.3</b>  | <b>1.54</b>    | <b>7.87</b>    | <b>0.3</b>                        | <b>2.23</b>    | <b>7.71</b>    |
| <b>0.4</b>  | <b>1.15</b>    | <b>7.50</b>    | <b>0.4</b>                        | <b>1.50</b>    | <b>7.13</b>    |
| <b>0.5</b>  | <b>0.98</b>    | <b>7.79</b>    | <b>0.5</b>                        | <b>1.21</b>    | <b>7.32</b>    |
| <b>0.6</b>  | <b>0.94</b>    | <b>8.83</b>    | <b>0.6</b>                        | <b>1.10</b>    | <b>8.18</b>    |
| <b>0.7</b>  | <b>1.05</b>    | <b>11.7</b>    | <b>0.7</b>                        | <b>1.16</b>    | <b>10.4</b>    |
| <b>0.8</b>  | <b>0.79</b>    | <b>8.69</b>    | <b>0.8</b>                        | <b>0.98</b>    | <b>9.30</b>    |
| $d = 0.363, \gamma = \pi, \frac{\Omega b}{c} = \frac{1}{3}$ |                |                | $d = 0.5, \gamma = \pi$           |                |                |
| <b>0.0</b>  | <b>200.0</b>   | <b>85.9</b>    | <b>0.0</b>                        | <b>200.0</b>   | <b>163.0</b>   |
| <b>0.1</b>  | <b>3.21</b>    | <b>14.5</b>    | <b>0.1</b>                        | <b>1.93</b>    | <b>14.1</b>    |
| <b>0.2</b>  | <b>1.31</b>    | <b>9.49</b>    | <b>0.2</b>                        | <b>1.12</b>    | <b>9.35</b>    |
| <b>0.3</b>  | <b>0.94</b>    | <b>8.17</b>    | <b>0.3</b>                        | <b>0.85</b>    | <b>8.01</b>    |
| <b>0.4</b>  | <b>0.78</b>    | <b>7.91</b>    | <b>0.4</b>                        | <b>0.72</b>    | <b>7.78</b>    |
| <b>0.5</b>  | <b>0.70</b>    | <b>8.43</b>    | <b>0.5</b>                        | <b>0.66</b>    | <b>8.41</b>    |
| <b>0.6</b>  | <b>0.70</b>    | <b>10.4</b>    | <b>0.6</b>                        | <b>0.67</b>    | <b>11.0</b>    |
| <b>0.7</b>  | <b>0.73</b>    | <b>13.4</b>    | <b>0.7</b>                        | <b>0.61</b>    | <b>10.3</b>    |
| <b>0.8</b>  | <b>0.54</b>    | <b>7.56</b>    | <b>0.8</b>                        | <b>0.50</b>    | <b>6.96</b>    |

| $\nu$   | $z_c, 10^{-2}$ | $\Gamma, 10^5$ | $\nu$                   | $z_c, 10^{-2}$ | $\Gamma, 10^5$ |
|---|----------------|----------------|-------------------------|----------------|----------------|
| $d = 0.71, \gamma = \pi, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = \pi$ |                |                | $d = 1.0, \gamma = \pi$ |                |                |
| <b>0.0</b>  | <b>45.3</b>    | <b>230.0</b>   | <b>0.0</b>              | <b>14.7</b>    | <b>248.0</b>   |
| <b>0.1</b>  | <b>1.59</b>    | <b>13.5</b>    | <b>0.1</b>              | <b>1.47</b>    | <b>12.9</b>    |
| <b>0.2</b>  | <b>1.03</b>    | <b>8.99</b>    | <b>0.2</b>              | <b>0.90</b>    | <b>8.74</b>    |
| <b>0.3</b>  | <b>0.81</b>    | <b>7.76</b>    | <b>0.3</b>              | <b>0.80</b>    | <b>7.72</b>    |
| <b>0.4</b>  | <b>0.69</b>    | <b>7.64</b>    | <b>0.4</b>              | <b>0.70</b>    | <b>7.80</b>    |
| <b>0.5</b>  | <b>0.65</b>    | <b>8.48</b>    | <b>0.5</b>              | <b>0.66</b>    | <b>9.03</b>    |
| <b>0.6</b>  | <b>0.68</b>    | <b>12.4</b>    | <b>0.6</b>              | <b>0.75</b>    | <b>16.8</b>    |
| <b>0.7</b>  | <b>0.56</b>    | <b>8.62</b>    | <b>0.7</b>              | <b>0.54</b>    | <b>7.63</b>    |
| $d = 1.22, \gamma = \pi, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = 0$   |                |                | $d = 1.5, \gamma = \pi$ |                |                |
| <b>0.0</b>  | <b>9.47</b>    | <b>239.0</b>   | <b>0.0</b>              | <b>6.0</b>     | <b>245.0</b>   |
| <b>0.1</b>  | <b>1.44</b>    | <b>12.6</b>    | <b>0.1</b>              | <b>1.42</b>    | <b>12.5</b>    |
| <b>0.2</b>  | <b>0.99</b>    | <b>8.73</b>    | <b>0.2</b>              | <b>1.0</b>     | <b>8.88</b>    |
| <b>0.3</b>  | <b>0.81</b>    | <b>7.85</b>    | <b>0.3</b>              | <b>0.81</b>    | <b>8.15</b>    |
| <b>0.4</b>  | <b>0.71</b>    | <b>8.08</b>    | <b>0.4</b>              | <b>0.72</b>    | <b>8.61</b>    |
| <b>0.5</b>  | <b>0.68</b>    | <b>9.79</b>    | <b>0.5</b>              | <b>0.71</b>    | <b>11.3</b>    |
| <b>0.6</b>  | <b>0.67</b>    | <b>12.5</b>    | <b>0.6</b>              | <b>0.62</b>    | <b>9.65</b>    |
| <b>0.7</b>  | <b>0.53</b>    | <b>7.22</b>    | <b>0.7</b>              | <b>0.51</b>    | <b>6.86</b>    |

# Гамма-излучение пульсарной трубки



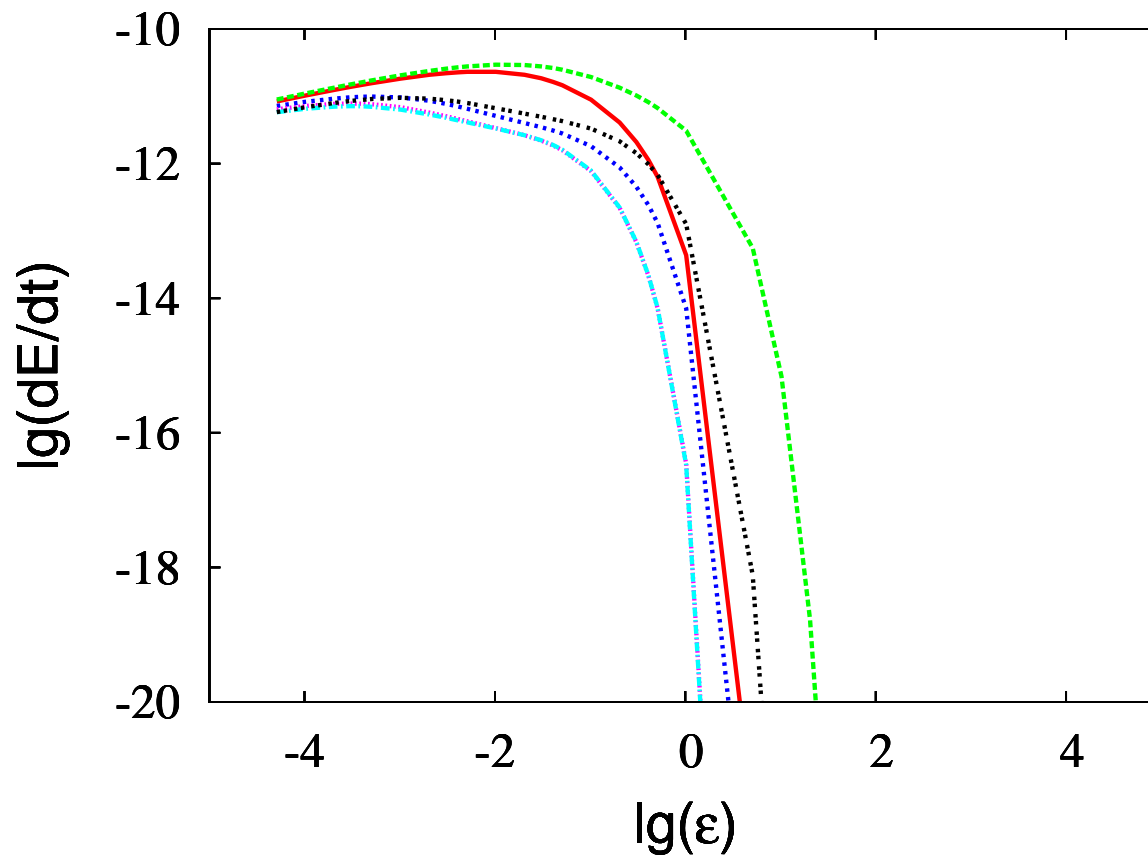
**Усредненный по времени спектр гамма-излучения пульсарной трубки для**

$B = 0.2$ ,  $P = 0.5$ ,  $\chi = 10^\circ$ ,  $k = 0.15$ ,  $\Delta = 0.1$ ,  $\gamma = \pi$ ,  $d = 0.2$

**Сплошная (красная) кривая соответствует дипольному полю ( $\nu = 0$ ), штриховая с длинным штрихом (зеленая)–  $\nu = 0.1$ , штриховая с коротким штрихом (синяя)–  $\nu = 0.2$ , пунктирная (фиолетовая)–  $\nu = 0.3$ , штрих-пунктирная (сине-зеленая)–  $\nu = 0.5$ , пунктирная со сдвоенным пунктиром (черная)–  $\nu = 0.7$ .**

**Интенсивность гамма-излучения  $\frac{dN}{dt}$  измеряется в принимаемом потоке  $\frac{\text{Фотон}}{\text{см}^2 \text{сек МэВ}}$  от источника, находящегося на расстоянии 1кпс. Энергия фотонов  $\epsilon$  измеряется в МэВ.**

**Для случаев  $\nu = 0$  и  $\nu = 0.1$  показана оценка интенсивности гамма-излучения снизу– пульсар выключен по генерации электрон-позитронных пар изгибным излучением в магнитном поле.**



**Усредненный по времени спектр гамма-излучения пульсарной трубки для**

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.2$

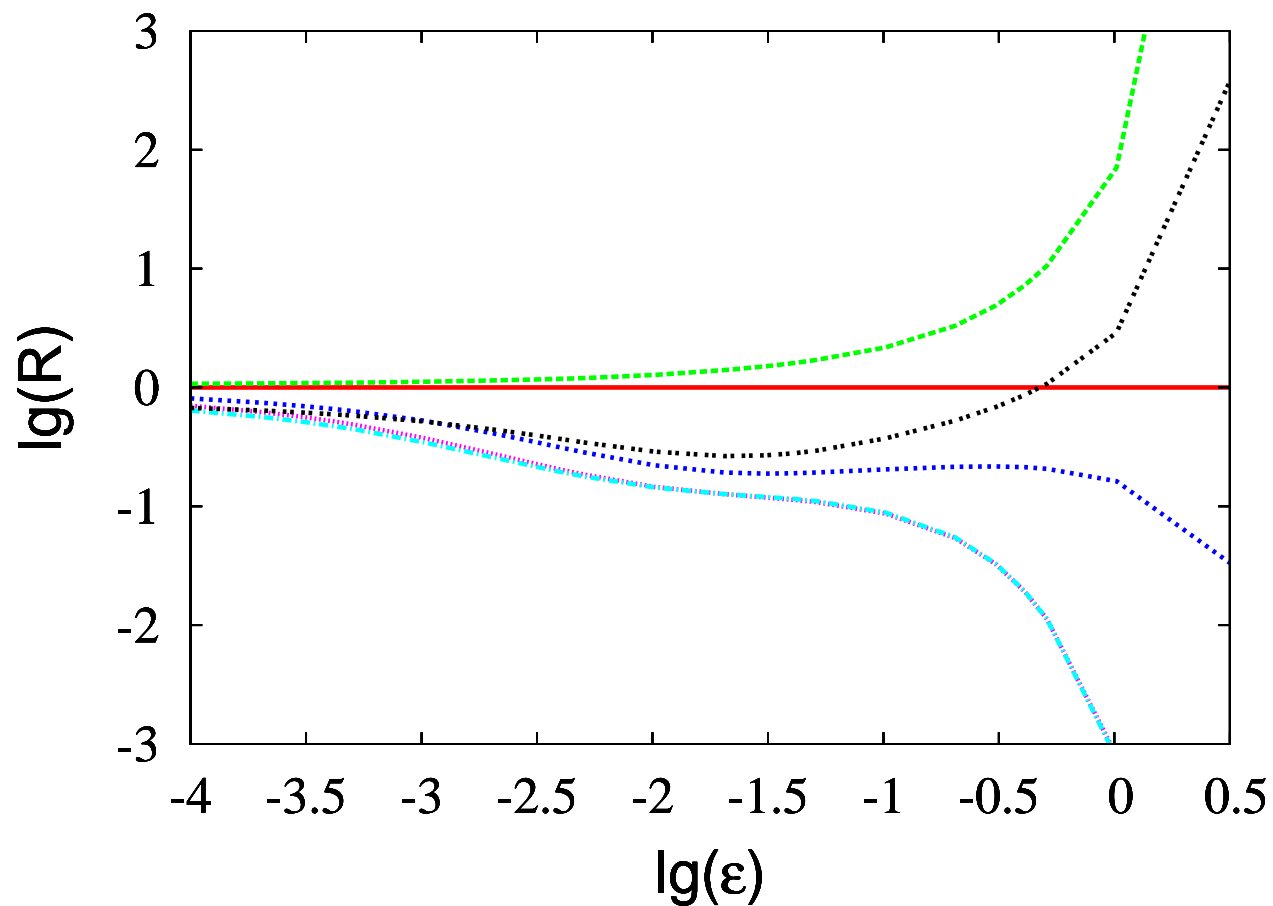
**Угол между лучом зрения и осью вращения пульсара равен  $10^\circ$ ,**

**Сплошная (красная) кривая соответствует дипольному полю ( $\nu = 0$ ), штриховая с длинным штрихом (зеленая)–  $\nu = 0.1$ , штриховая с коротким штрихом (синяя)–  $\nu = 0.2$ , пунктирная (фиолетовая)–  $\nu = 0.3$ , штрих-пунктирная (сине-зеленая)–  $\nu = 0.5$ , пунктирная со сдвоенным пунктиром (черная)–  $\nu = 0.7$ .**

**Интенсивность гамма-излучения  $\frac{dE}{dt}$  измеряется в принимаемой энергии  $\frac{\text{МэВ}}{\text{см}^2 \text{сек МэВ}}$  от источника,**

**находящегося на расстоянии 1кпс. Энергия фотонов  $\epsilon$  измеряется в МэВ.**

**Для случаев  $\nu = 0$  и  $\nu = 0.1$  показана оценка интенсивности гамма-излучения снизу– пульсар выключен по генерации электрон-позитронных пар изгибным излучением в магнитном поле.**

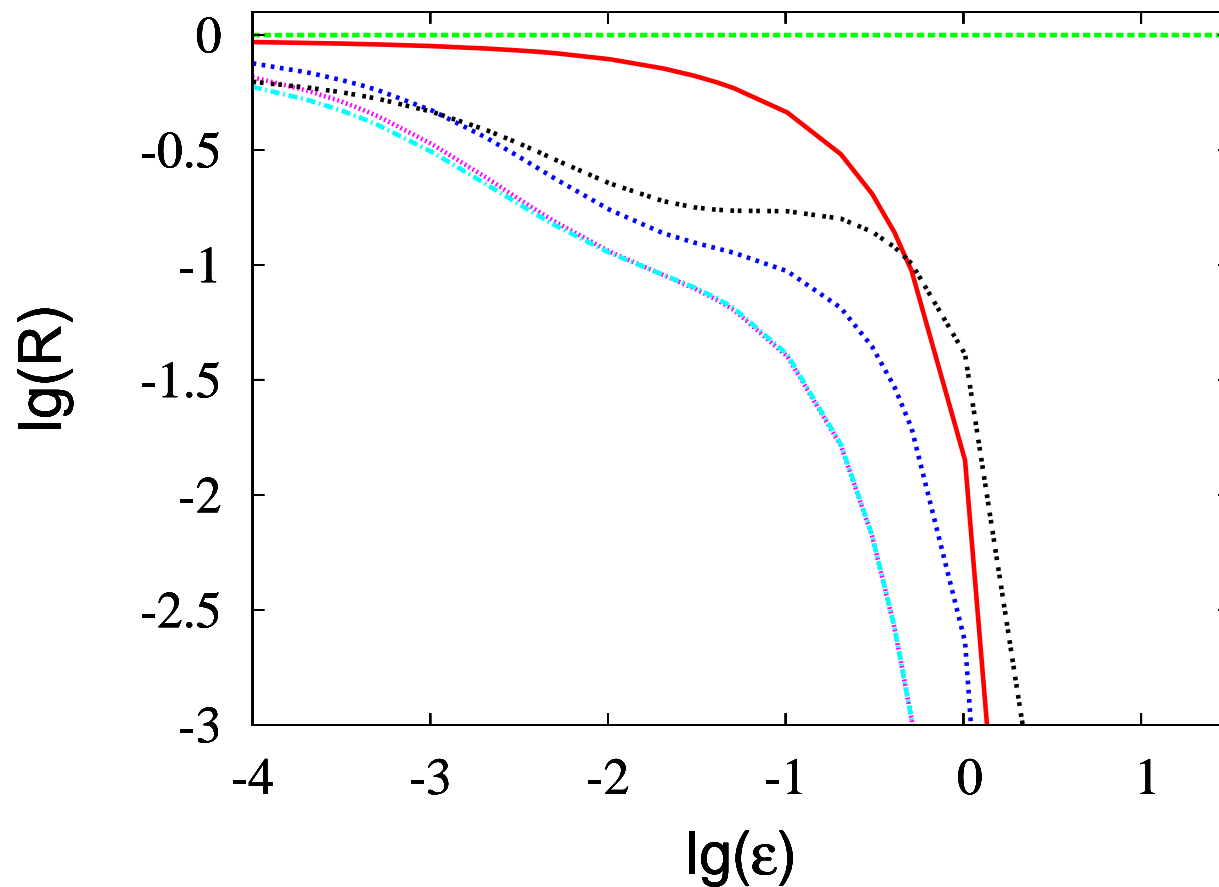


**Отношение  $R$  интенсивностей гамма-излучения к интенсивности для чисто дипольного случая  $\nu = 0.0$ .**

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.2$

**Угол между лучом зрения и осью вращения пульсара равен  $10^\circ$ ,**

**Сплошная (красная) кривая соответствует дипольному полю ( $\nu = 0$ ), штриховая с длинным штрихом (зеленая)–  $\nu = 0.1$ , штриховая с коротким штрихом (синяя)–  $\nu = 0.2$ , пунктирная (фиолетовая)–  $\nu = 0.3$ , штрих-пунктирная (сине-зеленая)–  $\nu = 0.5$ , пунктирная со сдвоенным пунктиром (черная)–  $\nu = 0.7$ .**

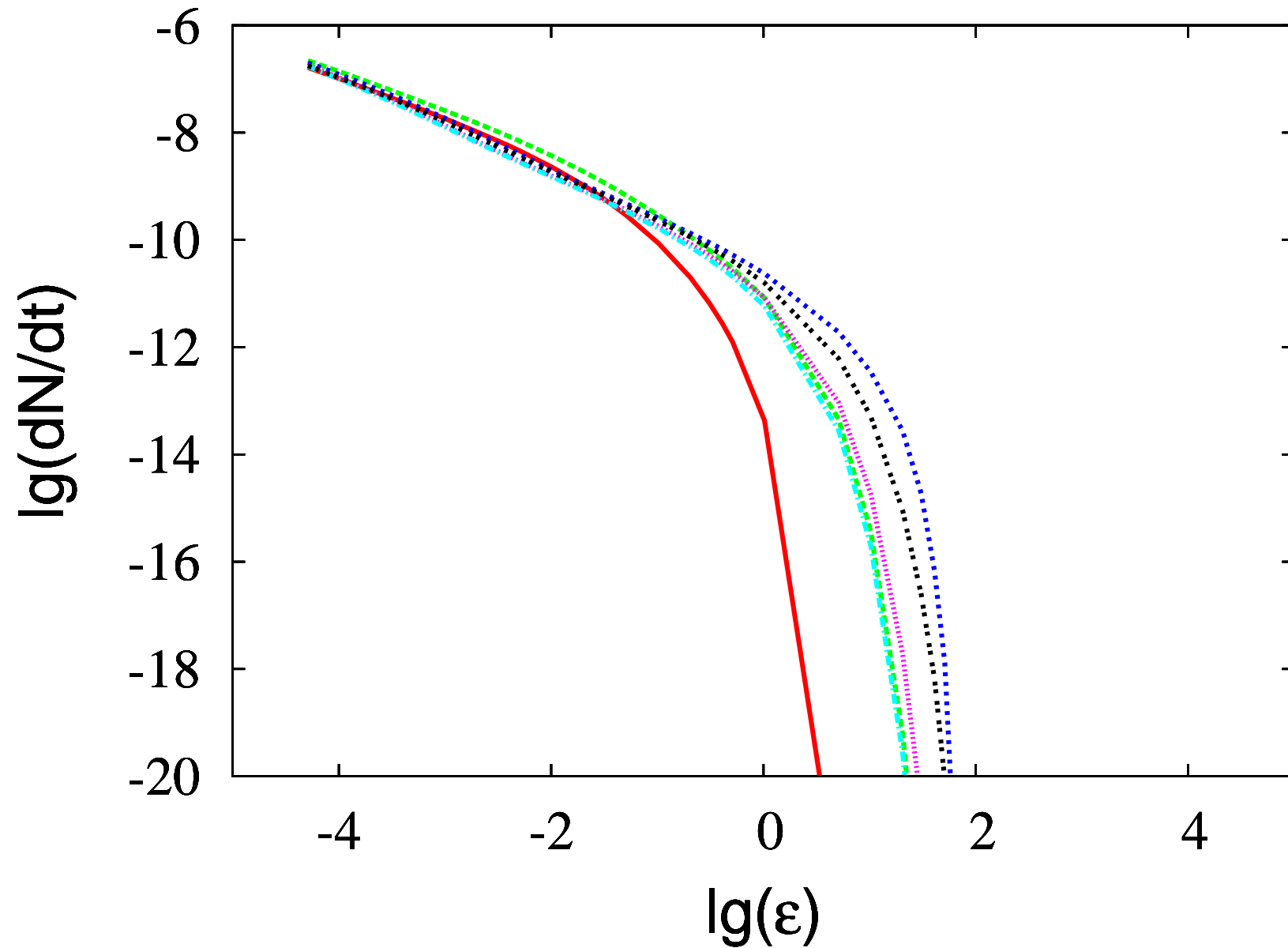


**Отношение  $R$  интенсивностей гамма-излучения к интенсивности для случая  $\nu = 0.1$ .**

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.2$

**Угол между лучом зрения и осью вращения пульсара равен  $10^\circ$ ,**

**Сплошная (красная) кривая соответствует дипольному полю ( $\nu = 0$ ), штриховая с длинным штрихом (зеленая)–  $\nu = 0.1$ , штриховая с коротким штрихом (синяя)–  $\nu = 0.2$ , пунктирная (фиолетовая)–  $\nu = 0.3$ , штрих-пунктирная (сине-зеленая)–  $\nu = 0.5$ , пунктирная со сдвоенным пунктиром (черная)–  $\nu = 0.7$ .**

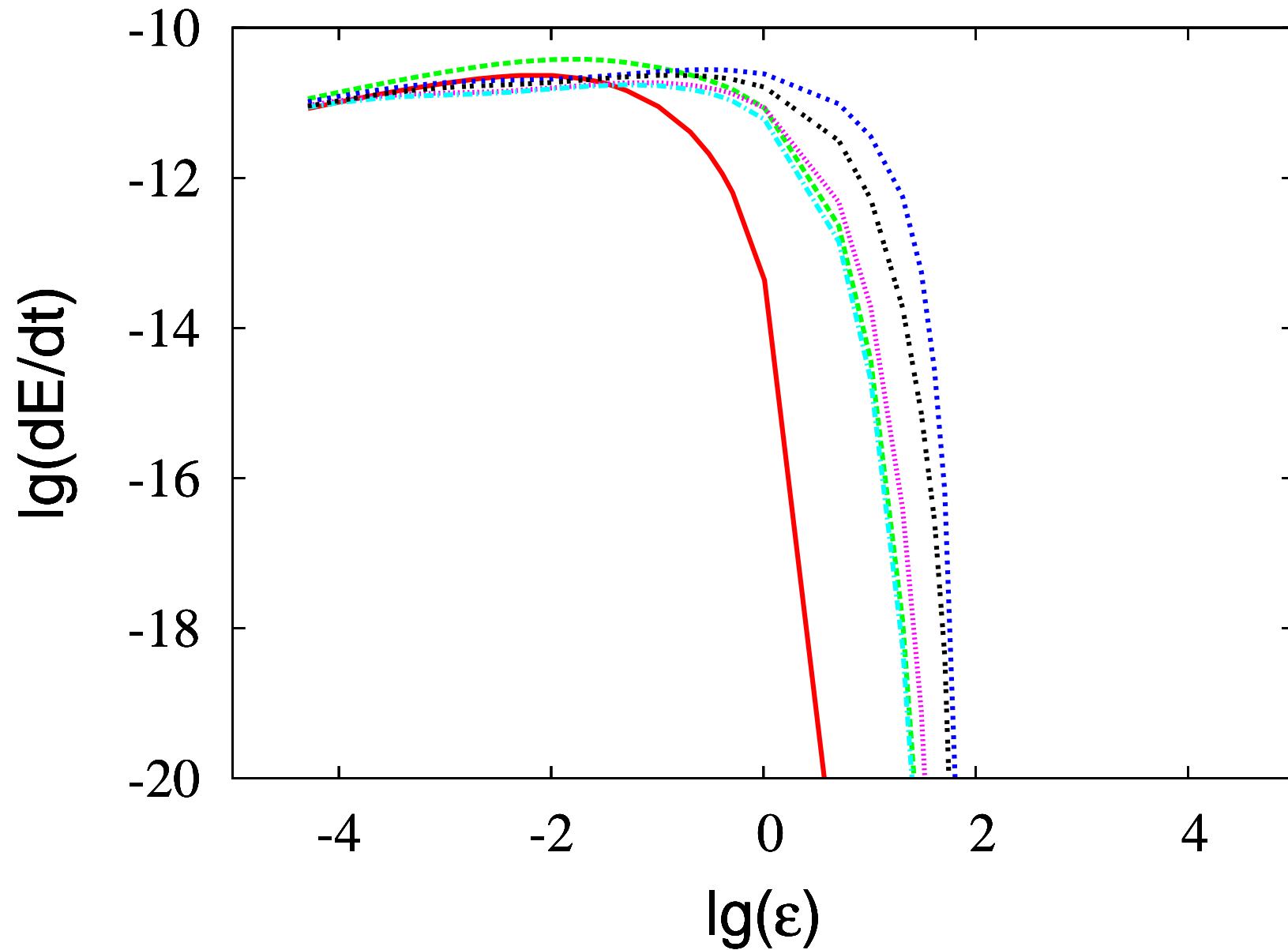


То же, что на рис.1

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \frac{\pi}{2}, d = 0.2$

Для случаев  $\nu = 0$  и  $\nu = 0.1$  — пульсар выключен.

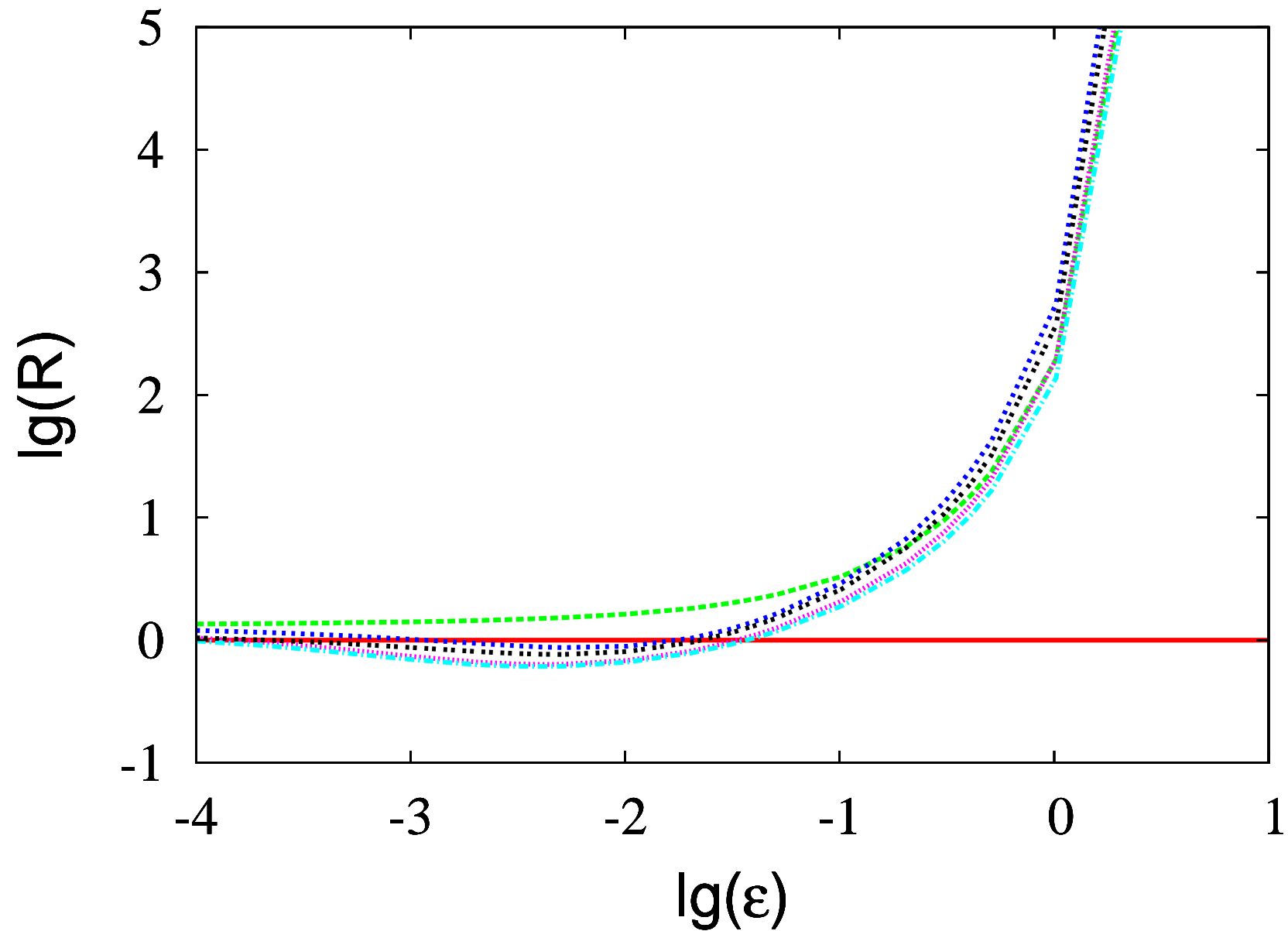




То же, что на рис.2

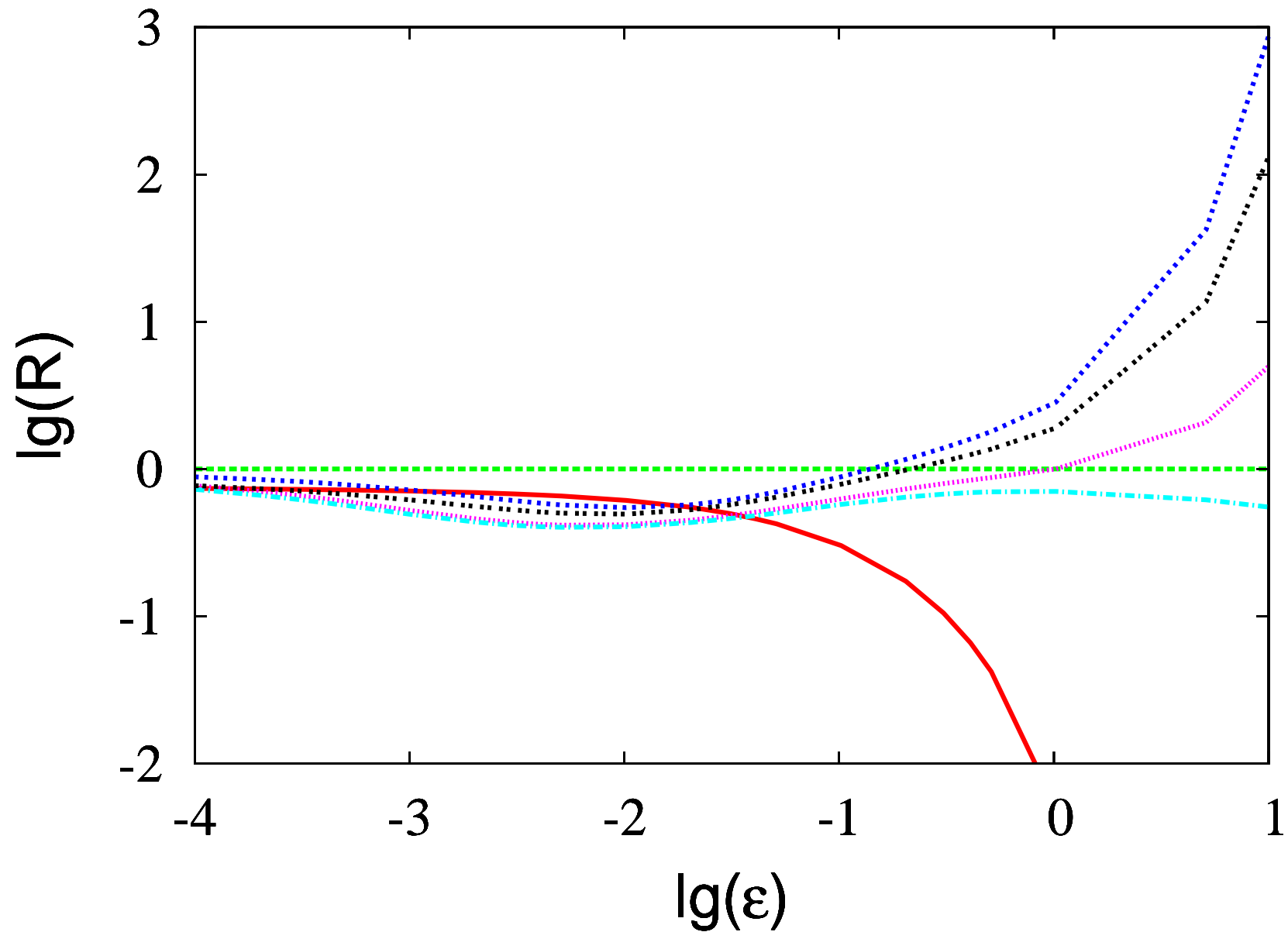
$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \frac{\pi}{2}, d = 0.2$

Для случаев  $\nu = 0$  и  $\nu = 0.1$  — пульсар выключен.



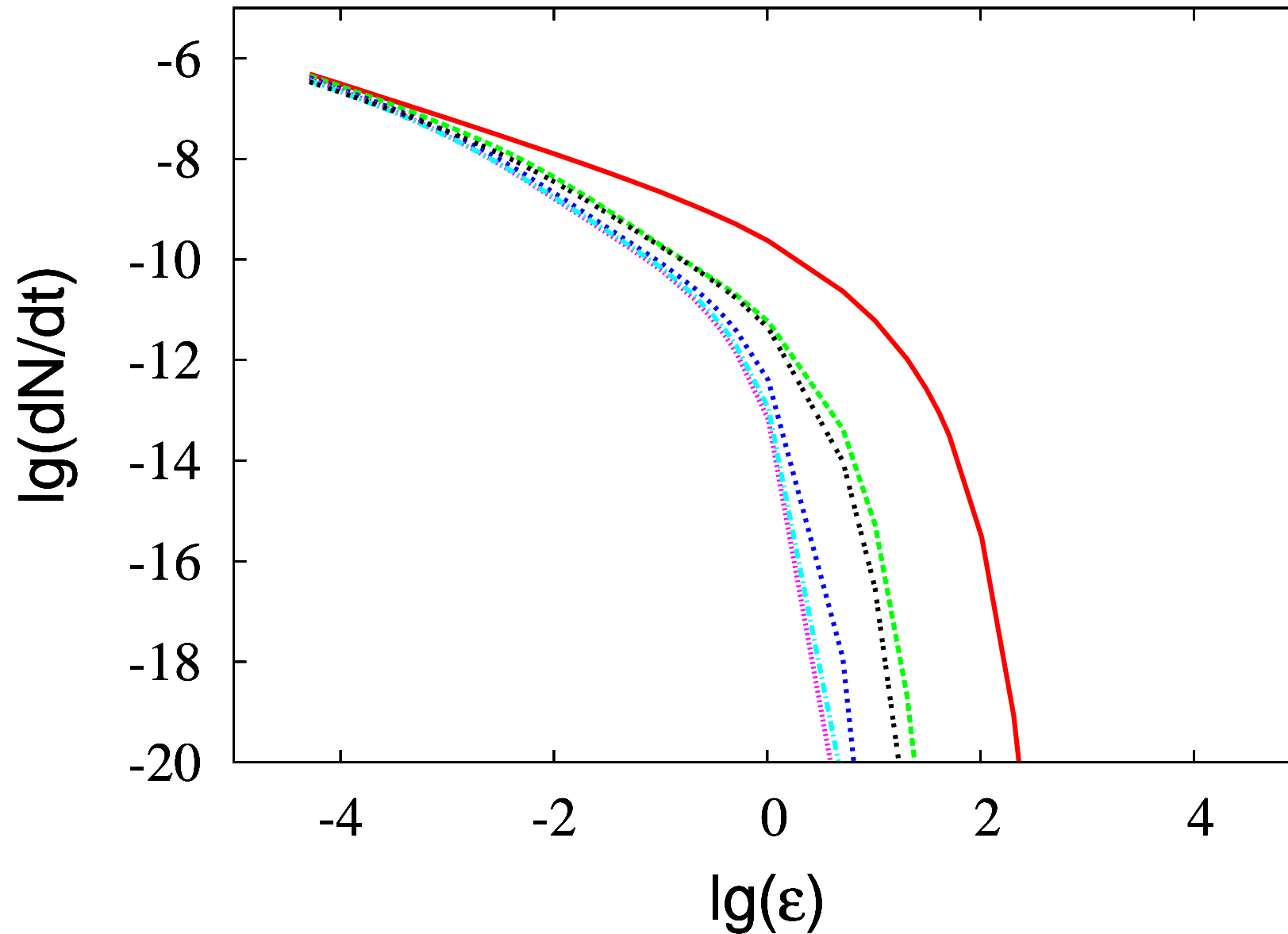
То же, что на рис.3

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \frac{\pi}{2}, d = 0.2$



То же, что на рис.4

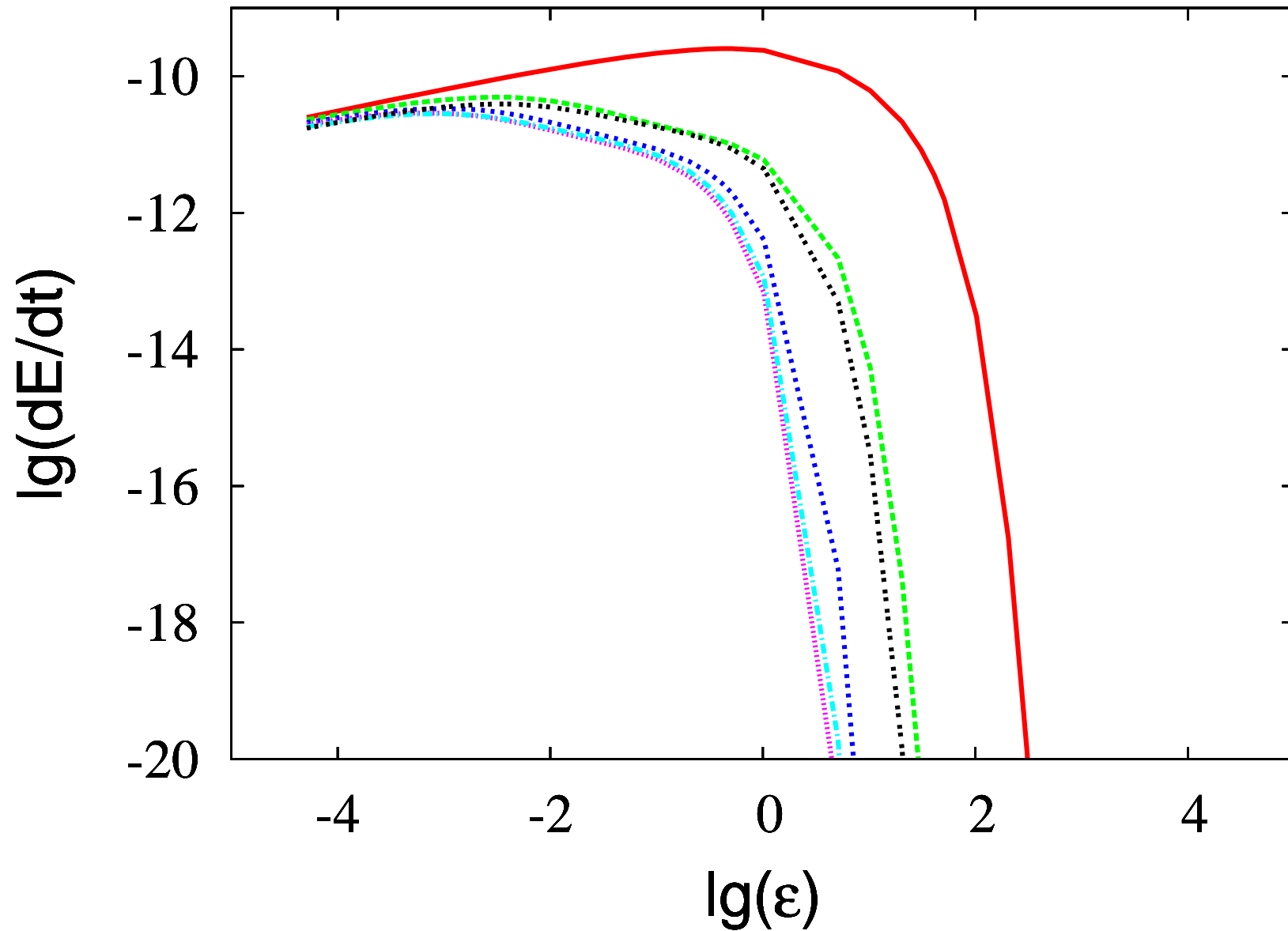
$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \frac{\pi}{2}, d = 0.2$



То же, что на рис.1

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.363, \frac{\Omega b}{c} = \frac{1}{3}$

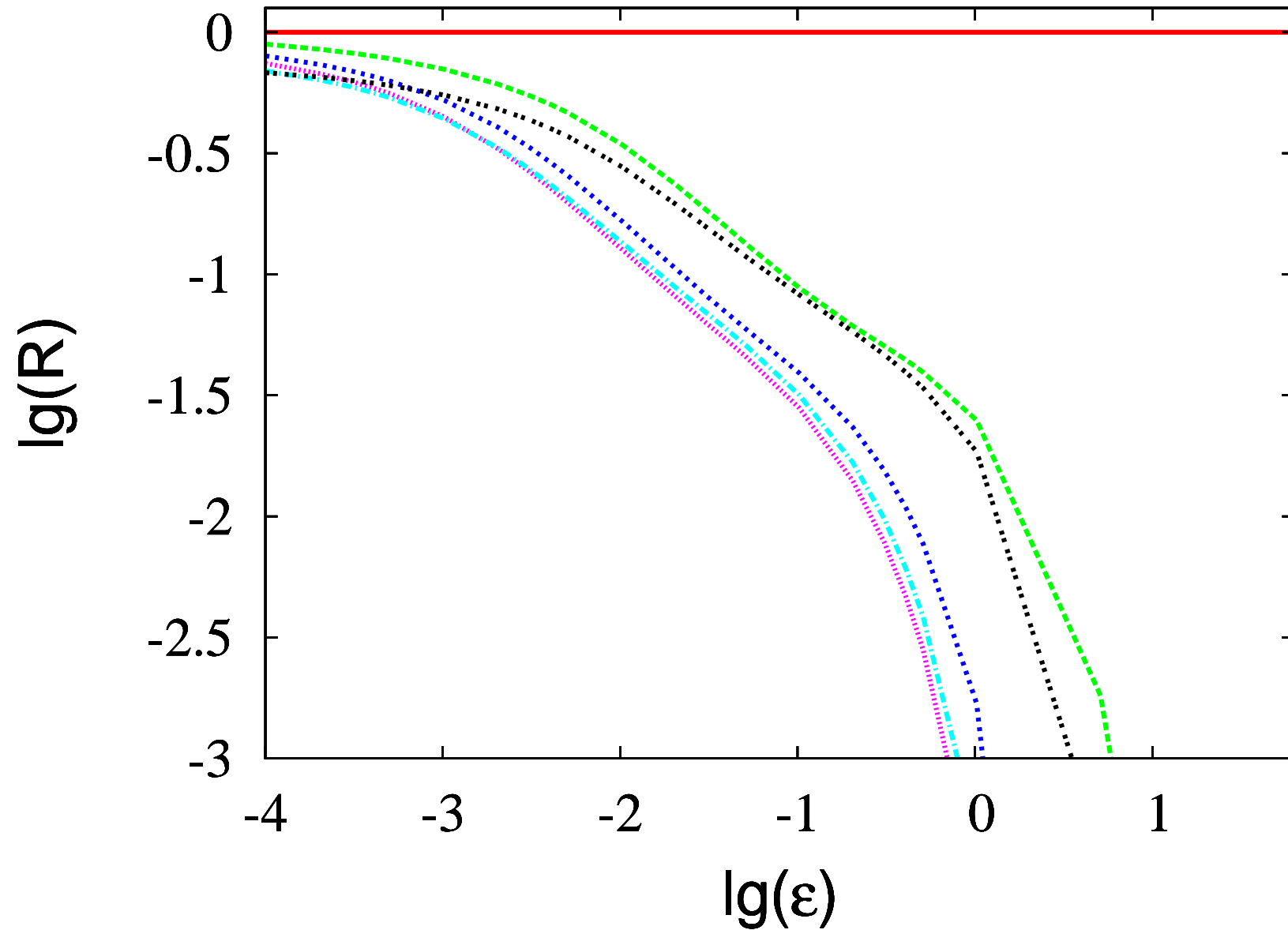
Для случая чисто дипольного поля ( $\nu = 0$ ) пульсар выключен.



То же, что на рис.2

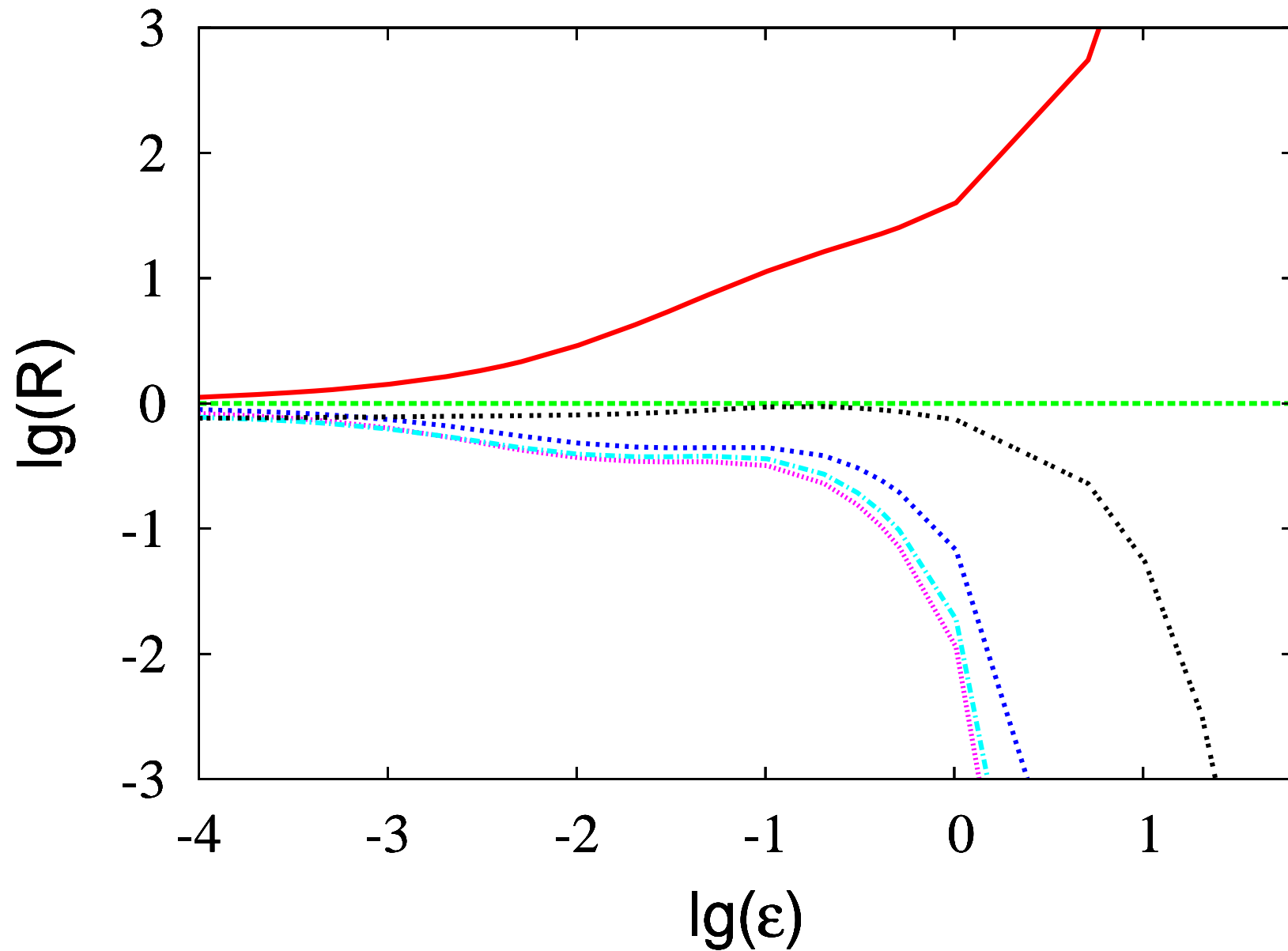
$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.363, \frac{\Omega b}{c} = \frac{1}{3}$

Для случая чисто дипольного поля ( $\nu = 0$ ) пульсар выключен.



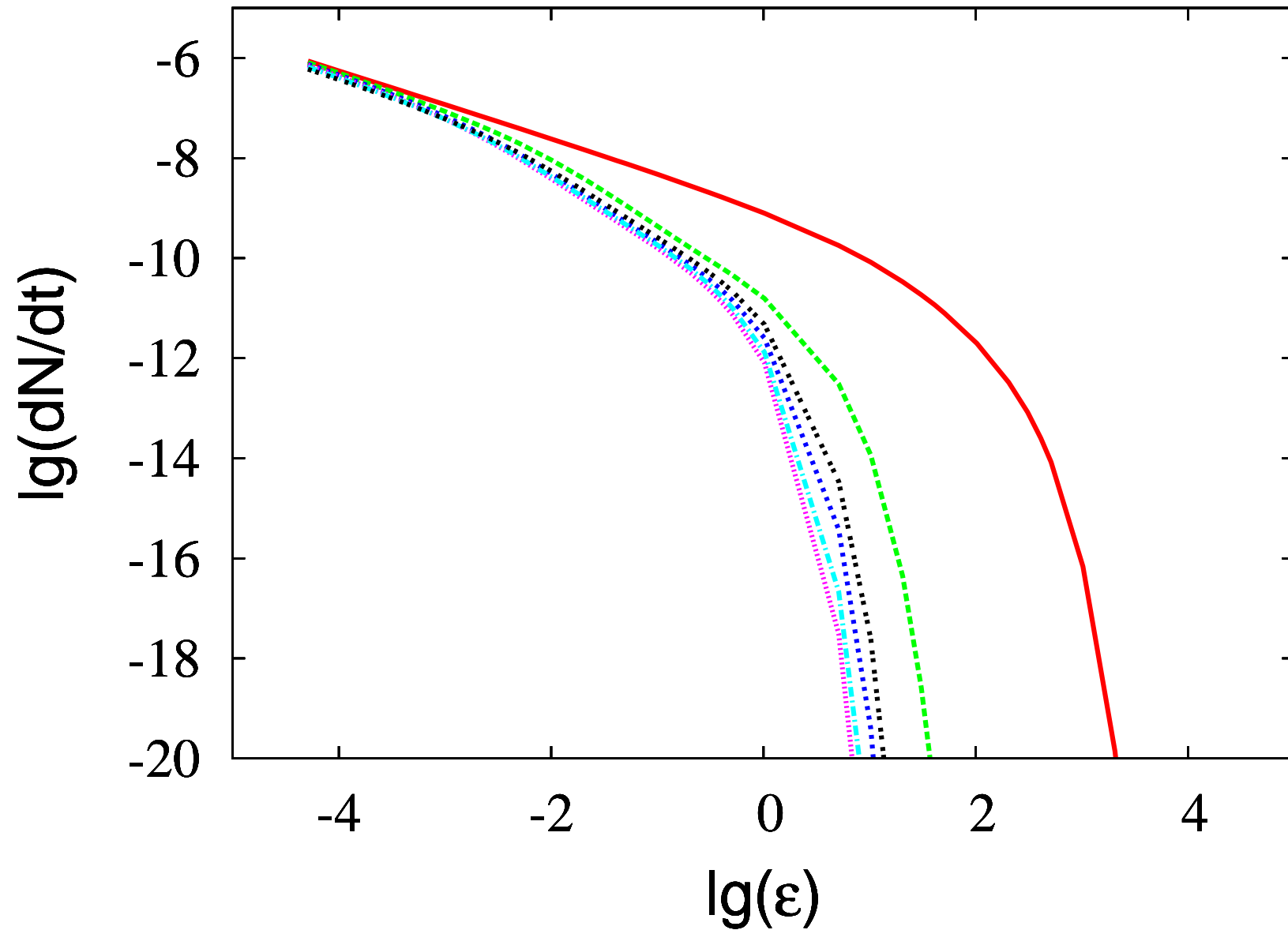
То же, что на рис.3

$$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.363, \frac{\Omega b}{c} = \frac{1}{3}$$



То же, что на рис.4

$$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.363, \frac{\Omega b}{c} = \frac{1}{3}$$

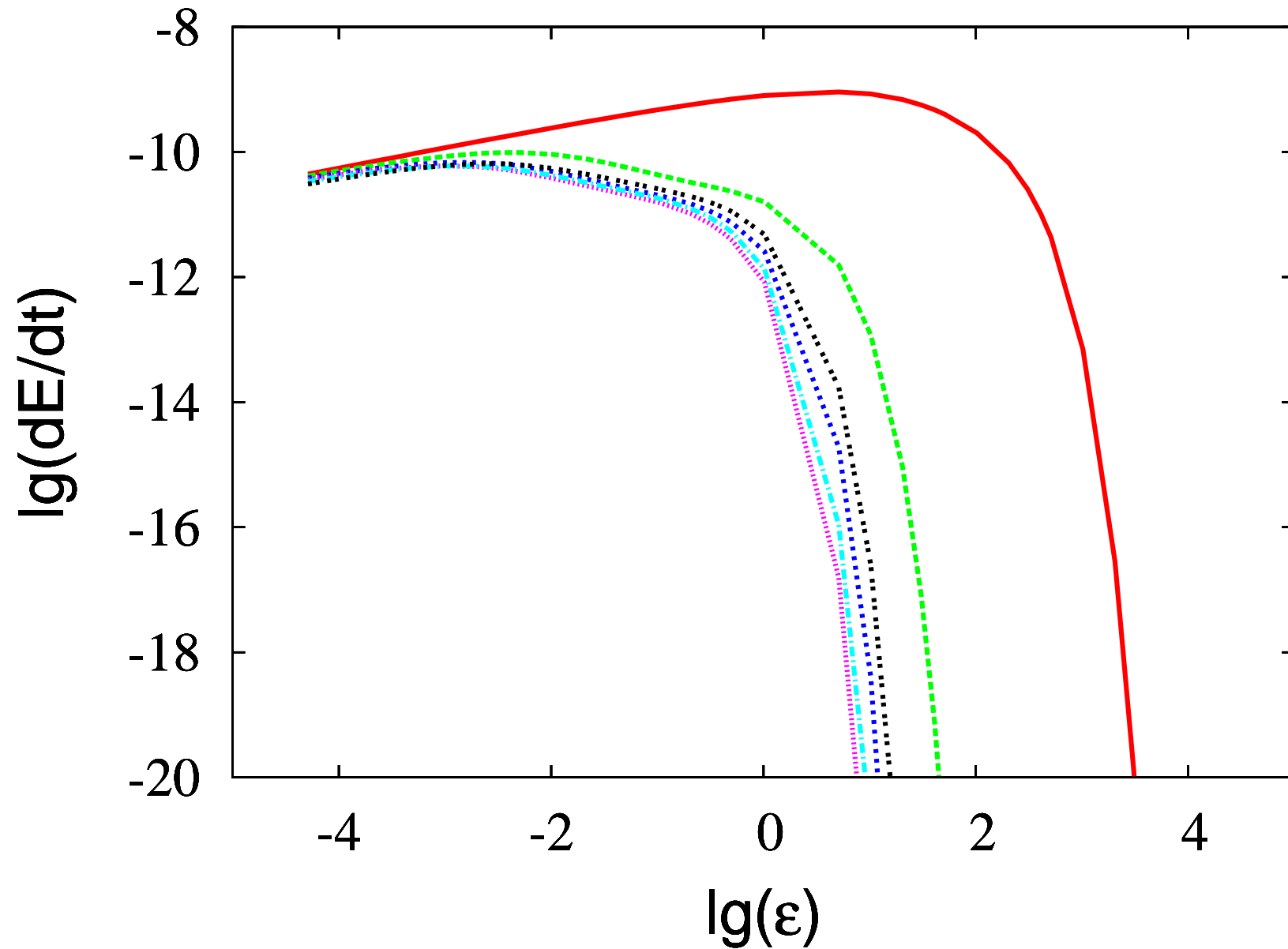


То же, что на рис.1

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.5$

Для случая чисто дипольного поля ( $\nu = 0$ ) пульсар выключен.

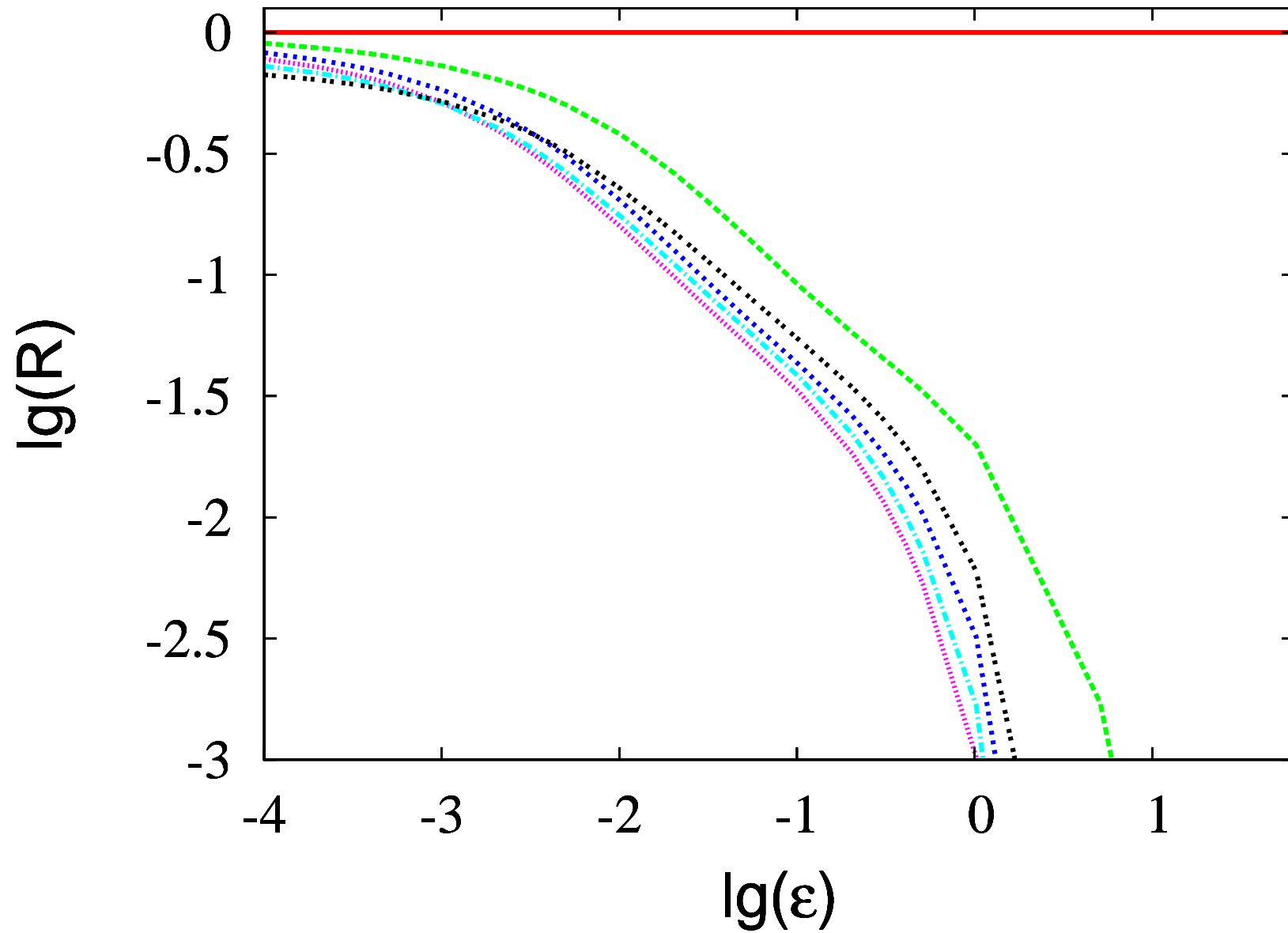




То же, что на рис.2

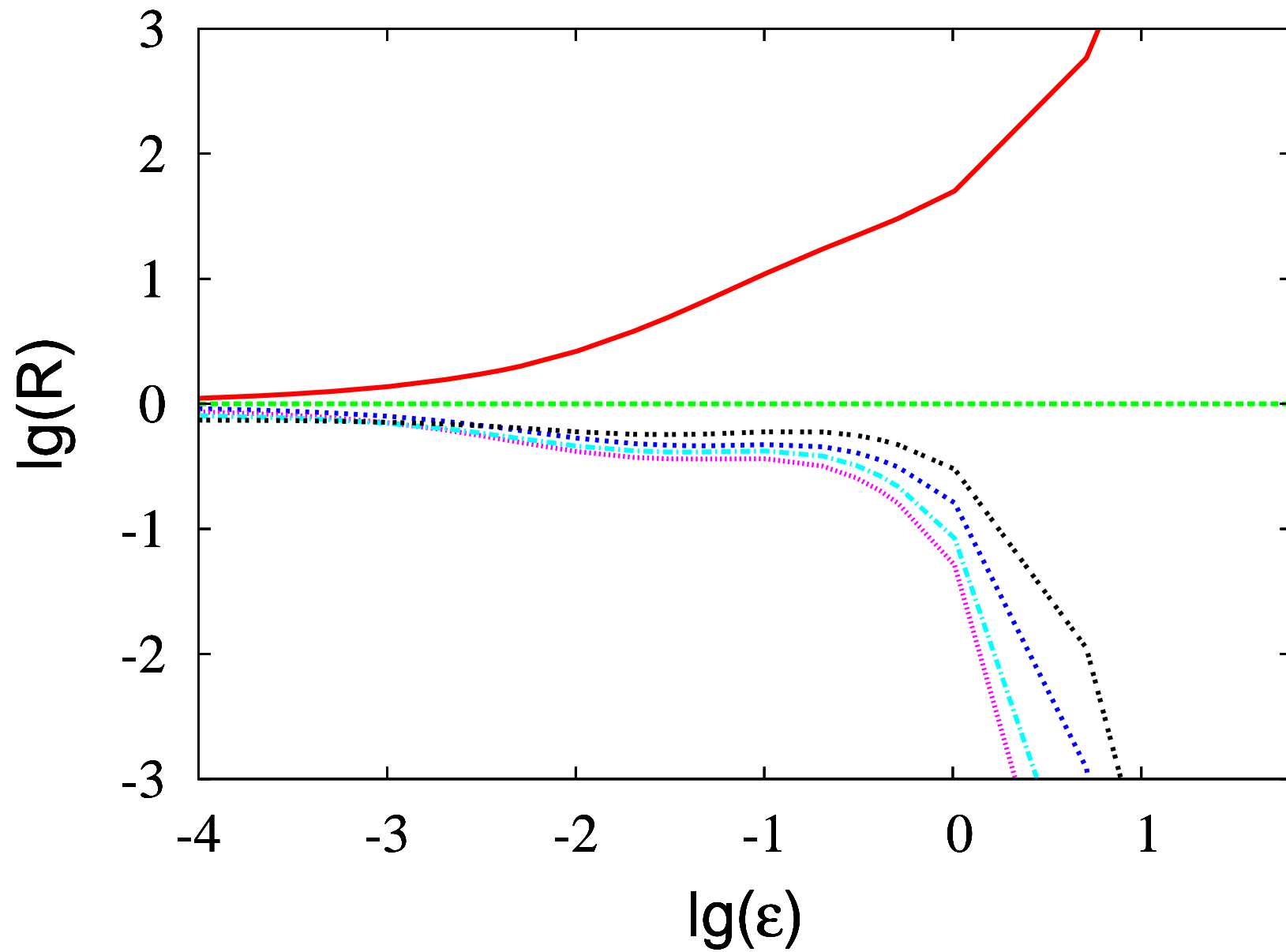
$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.5$

Для случая чисто дипольного поля ( $\nu = 0$ ) пульсар выключен.



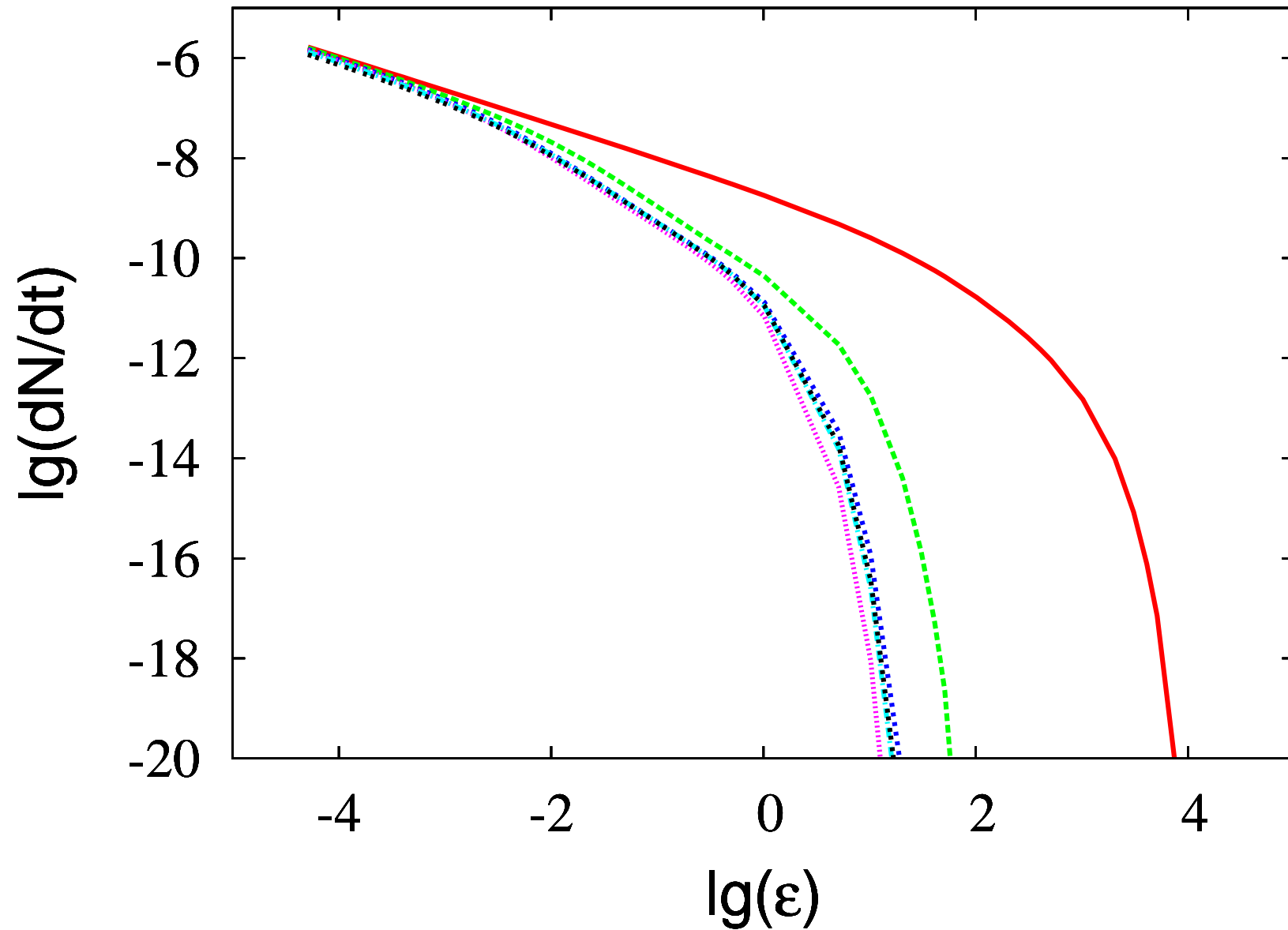
То же, что на рис.3

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^0, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.5$



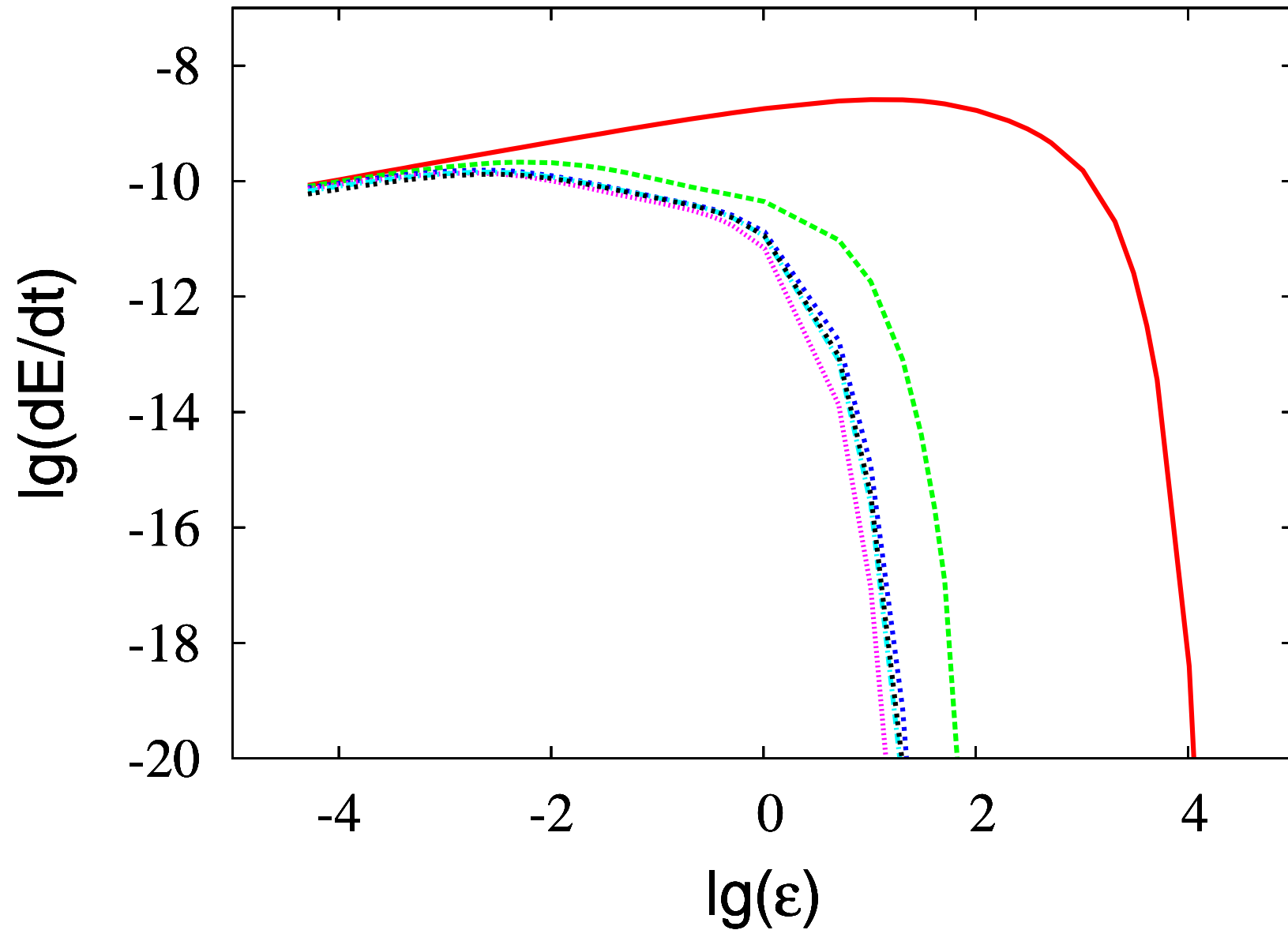
То же, что на рис.4

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.5$



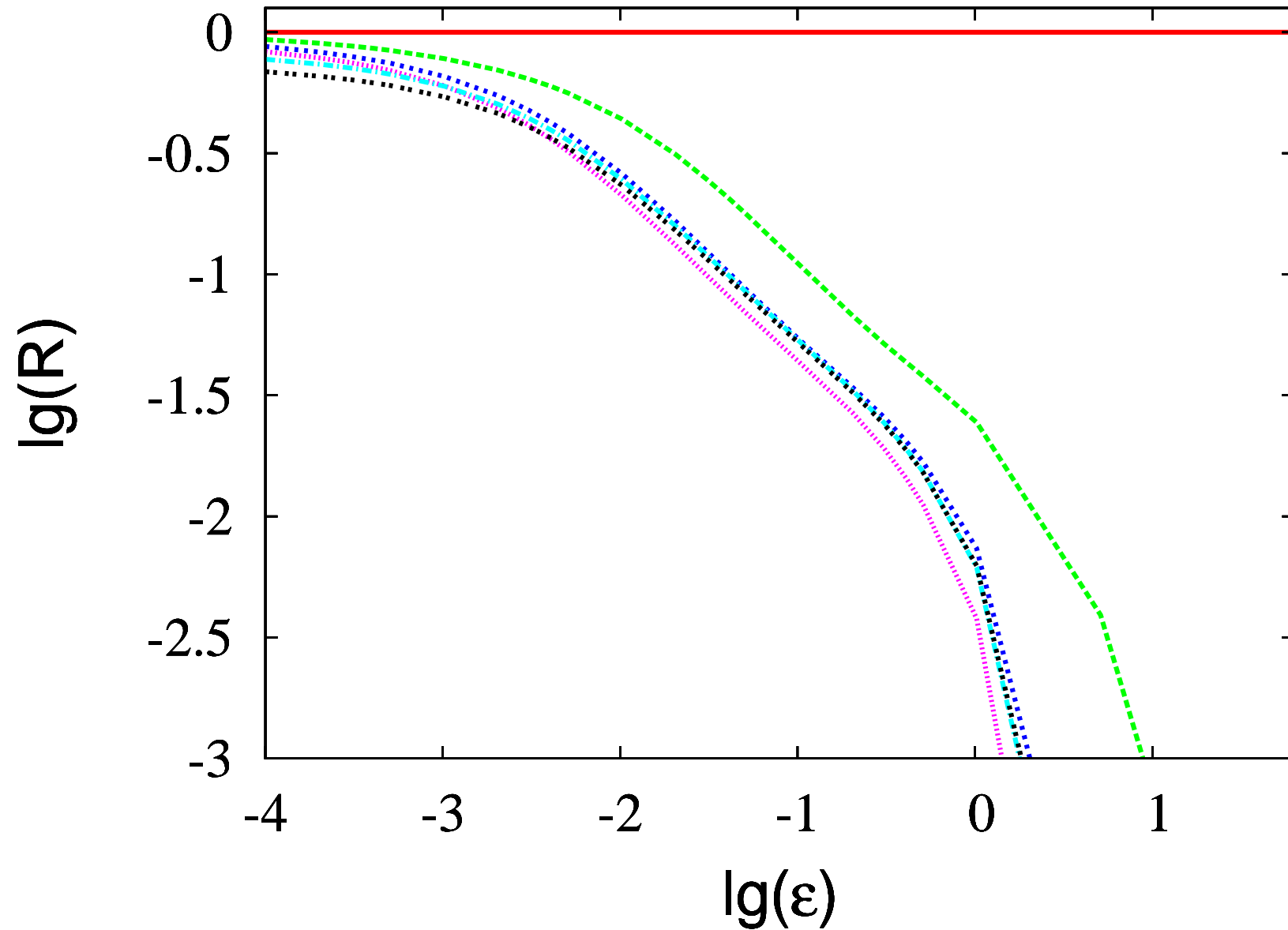
**То же, что на рис.1**

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.71, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = \pi$



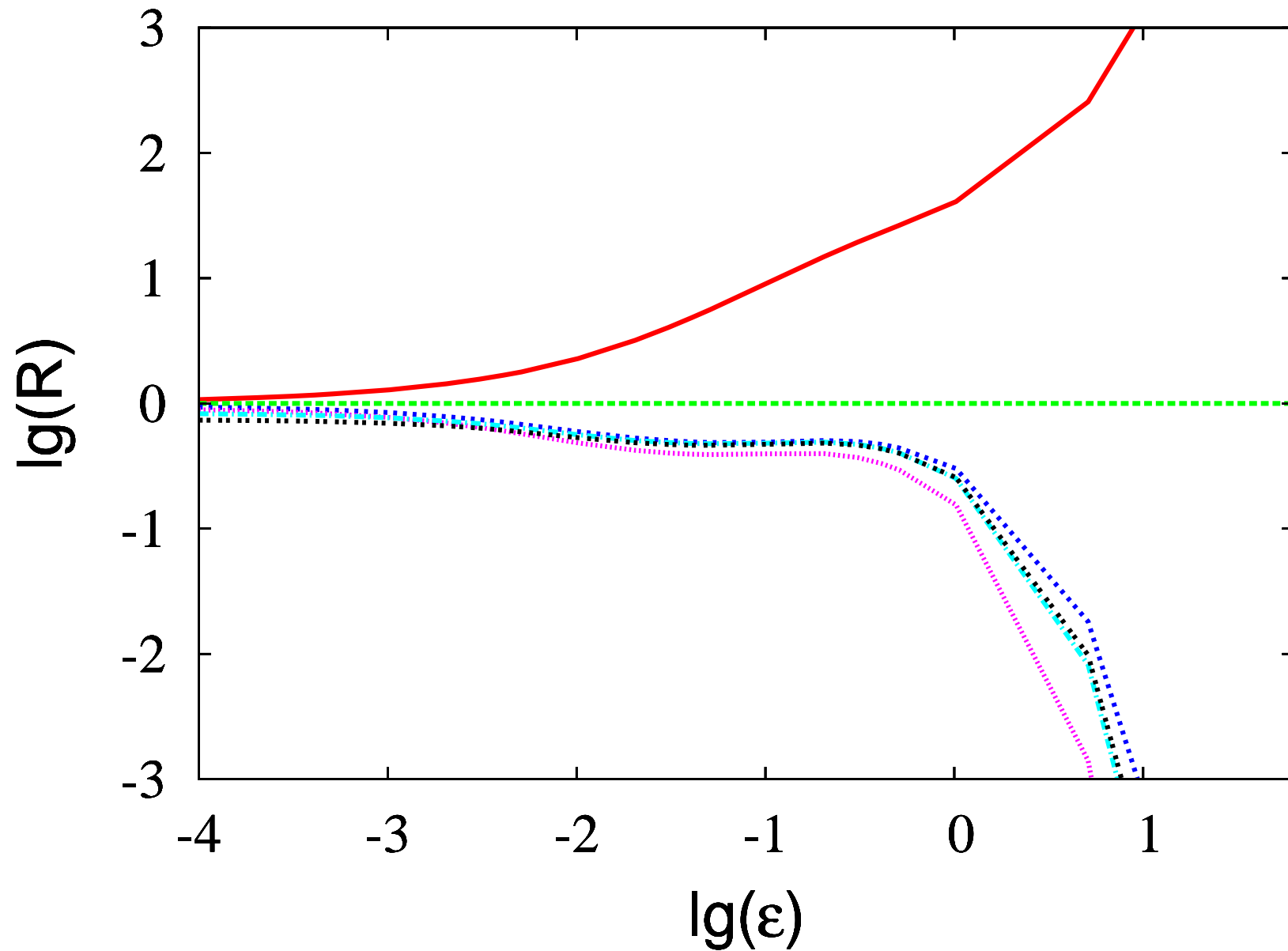
**То же, что на рис.2**

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.71, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = \pi$



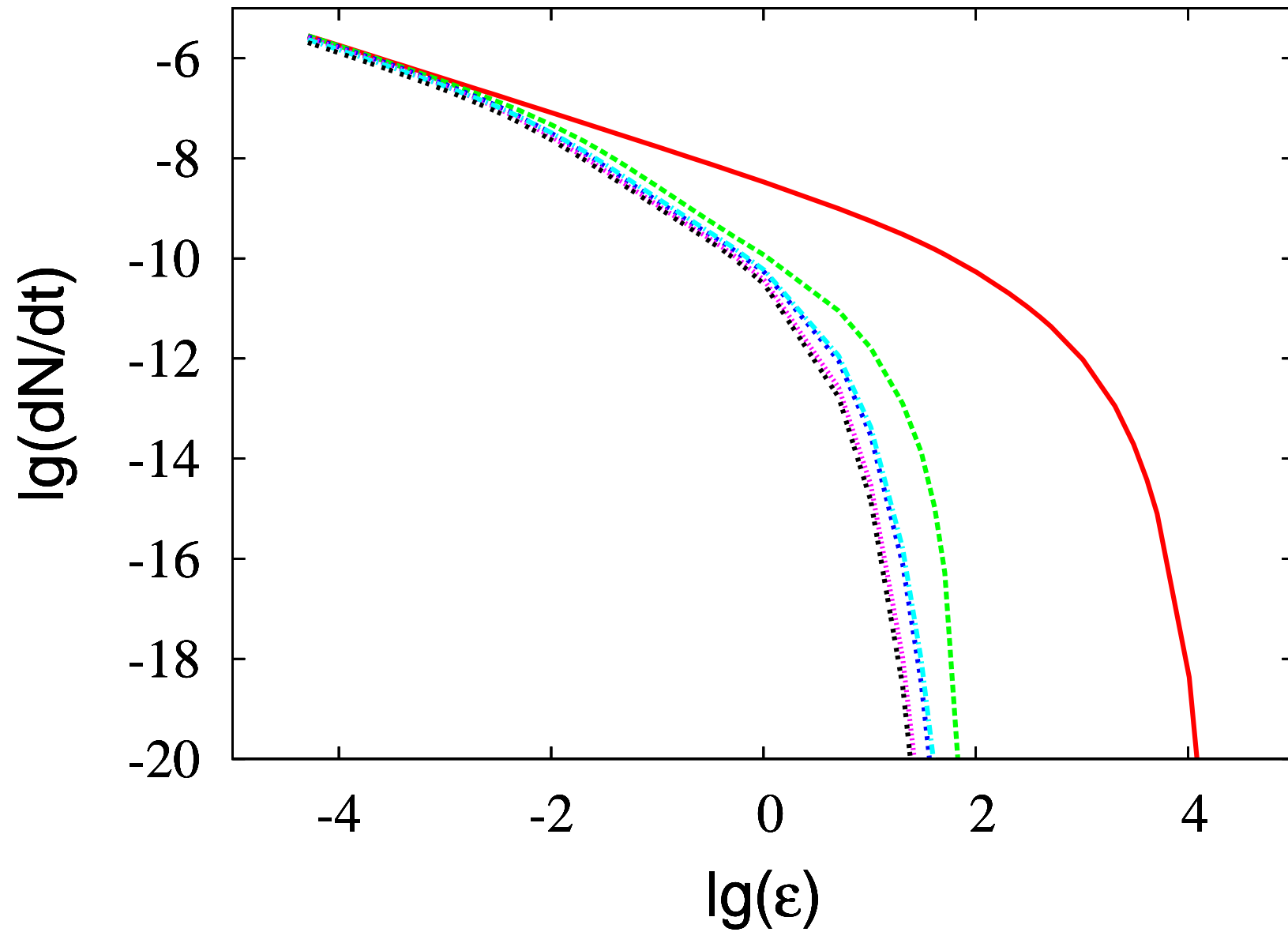
**То же, что на рис.3**

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.71, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = \pi$



То же, что на рис.4

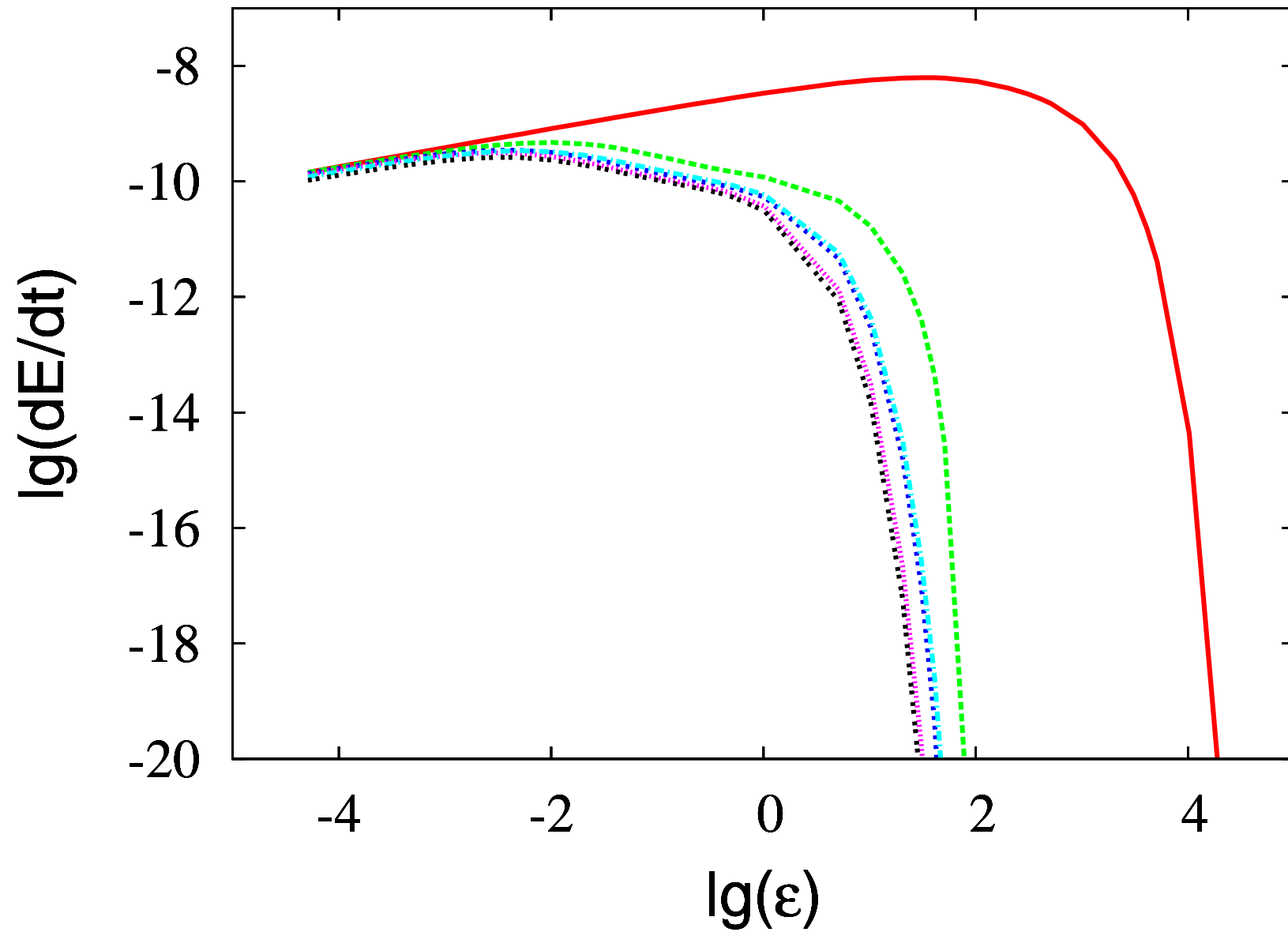
$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.71, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = \pi$



**То же, что на рис.1**

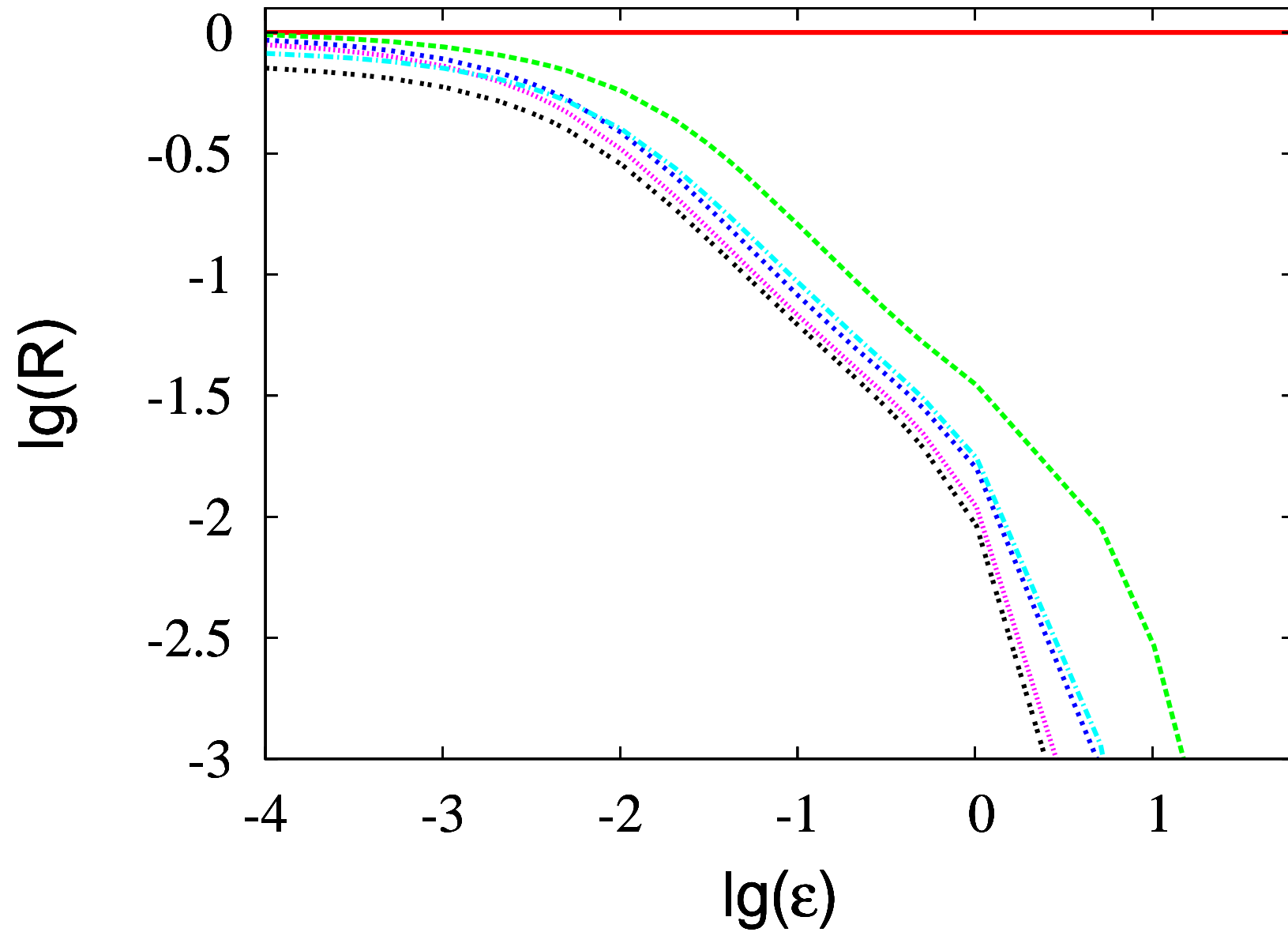
$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^{\circ}, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.0$





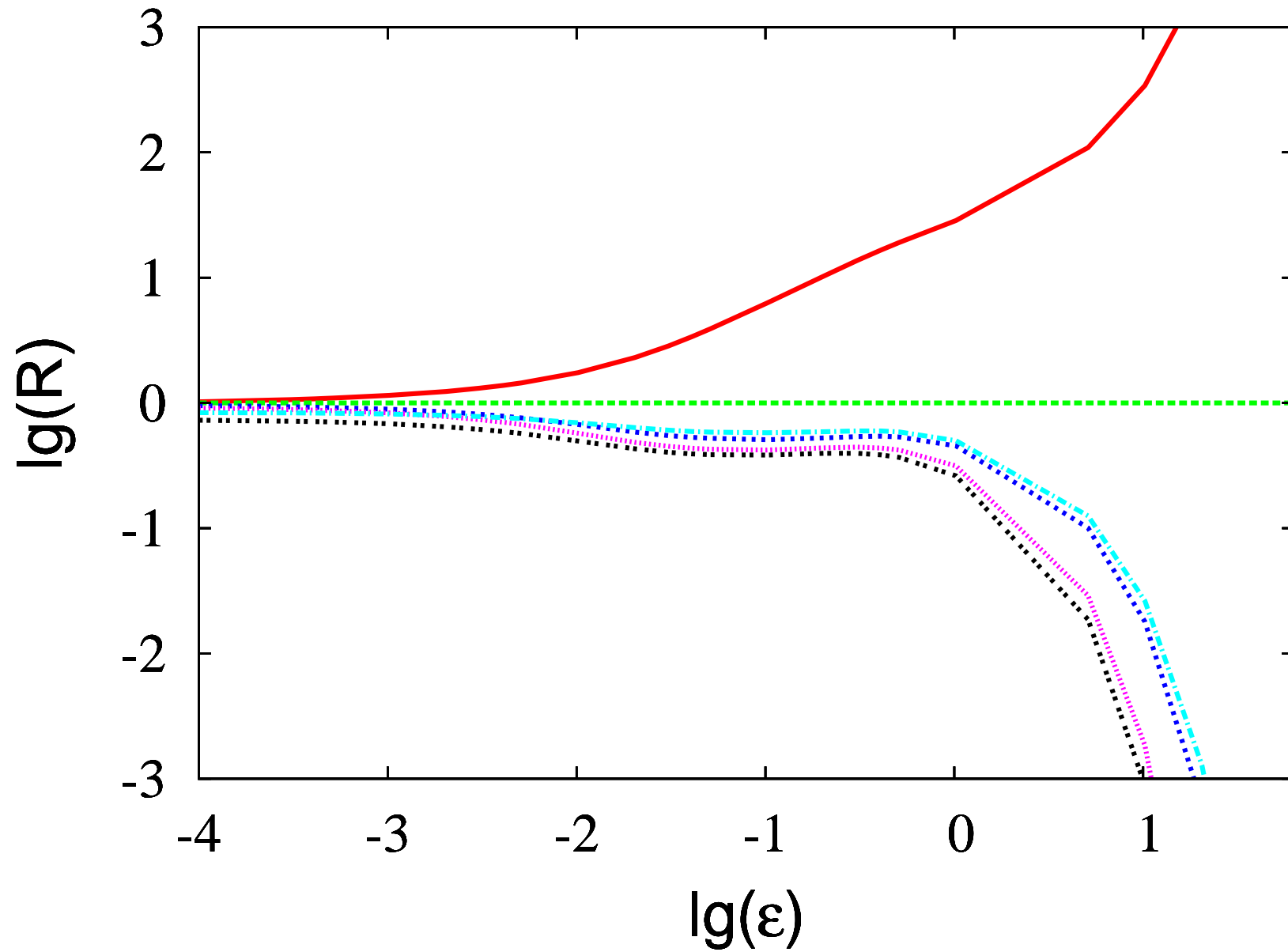
То же, что на рис.2

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.0$



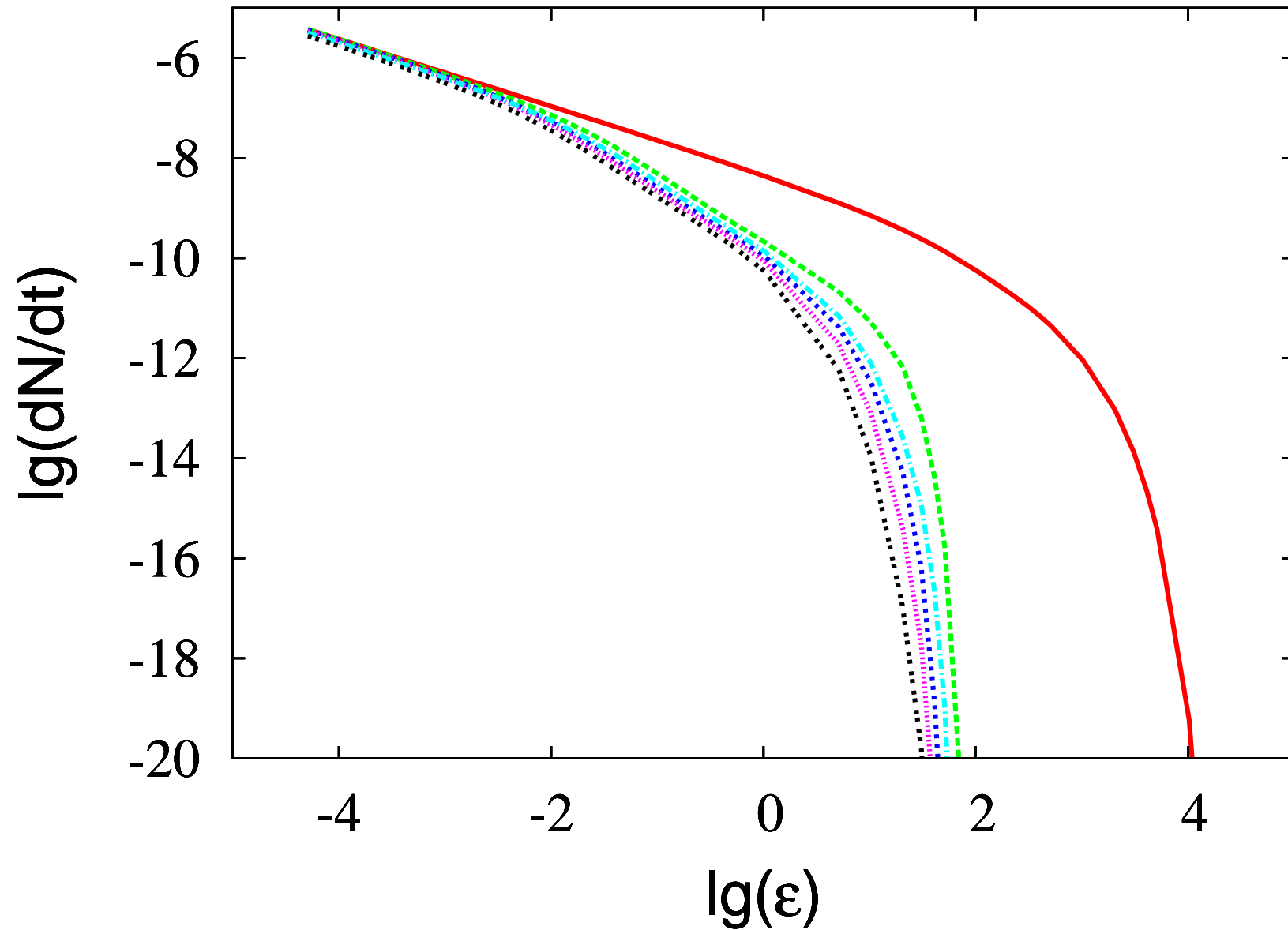
То же, что на рис.3

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^{\circ}, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.0$



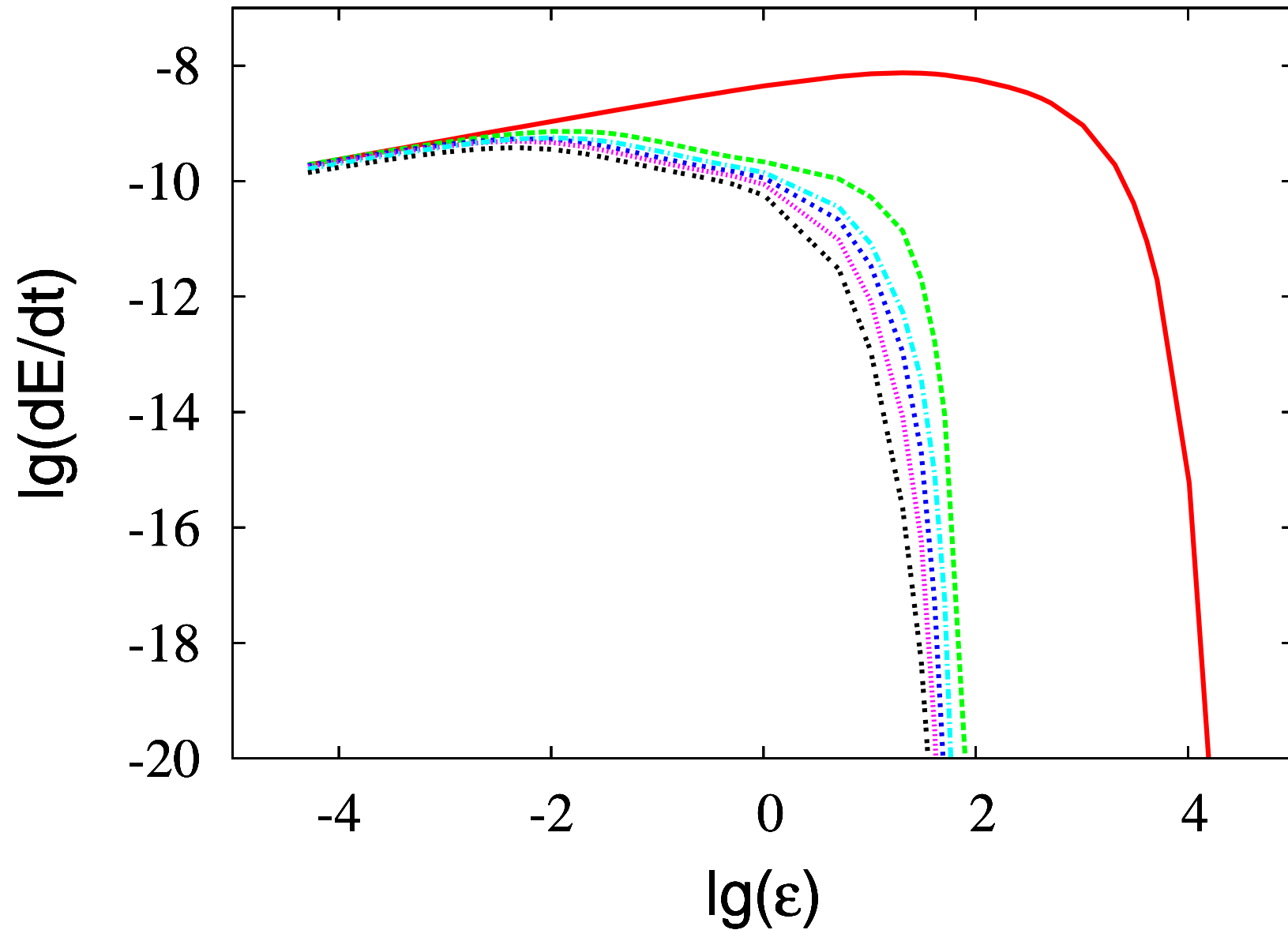
То же, что на рис.4

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.0$



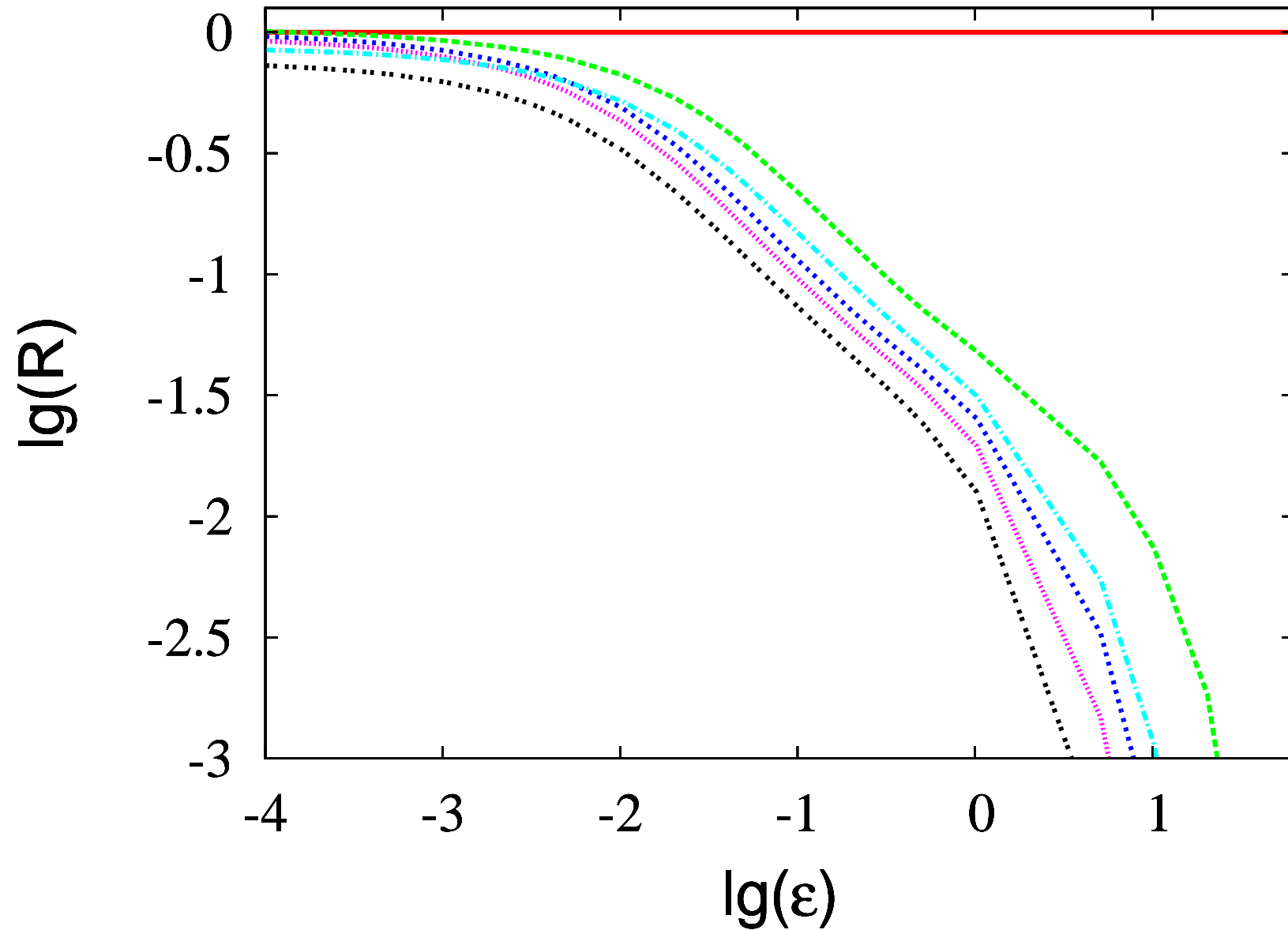
**То же, что на рис.1**

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.22, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = 0$



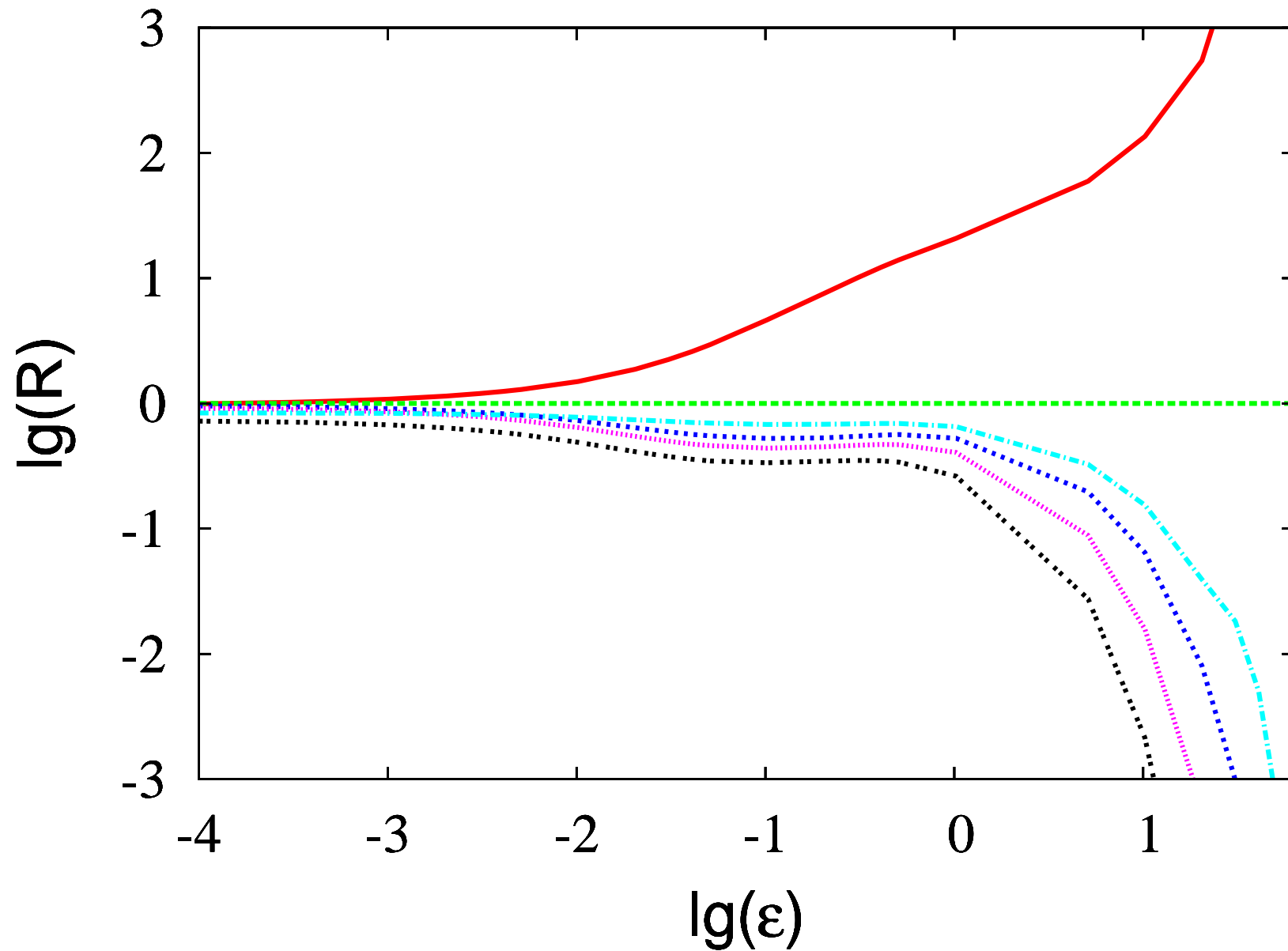
То же, что на рис.2

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.22, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = 0$



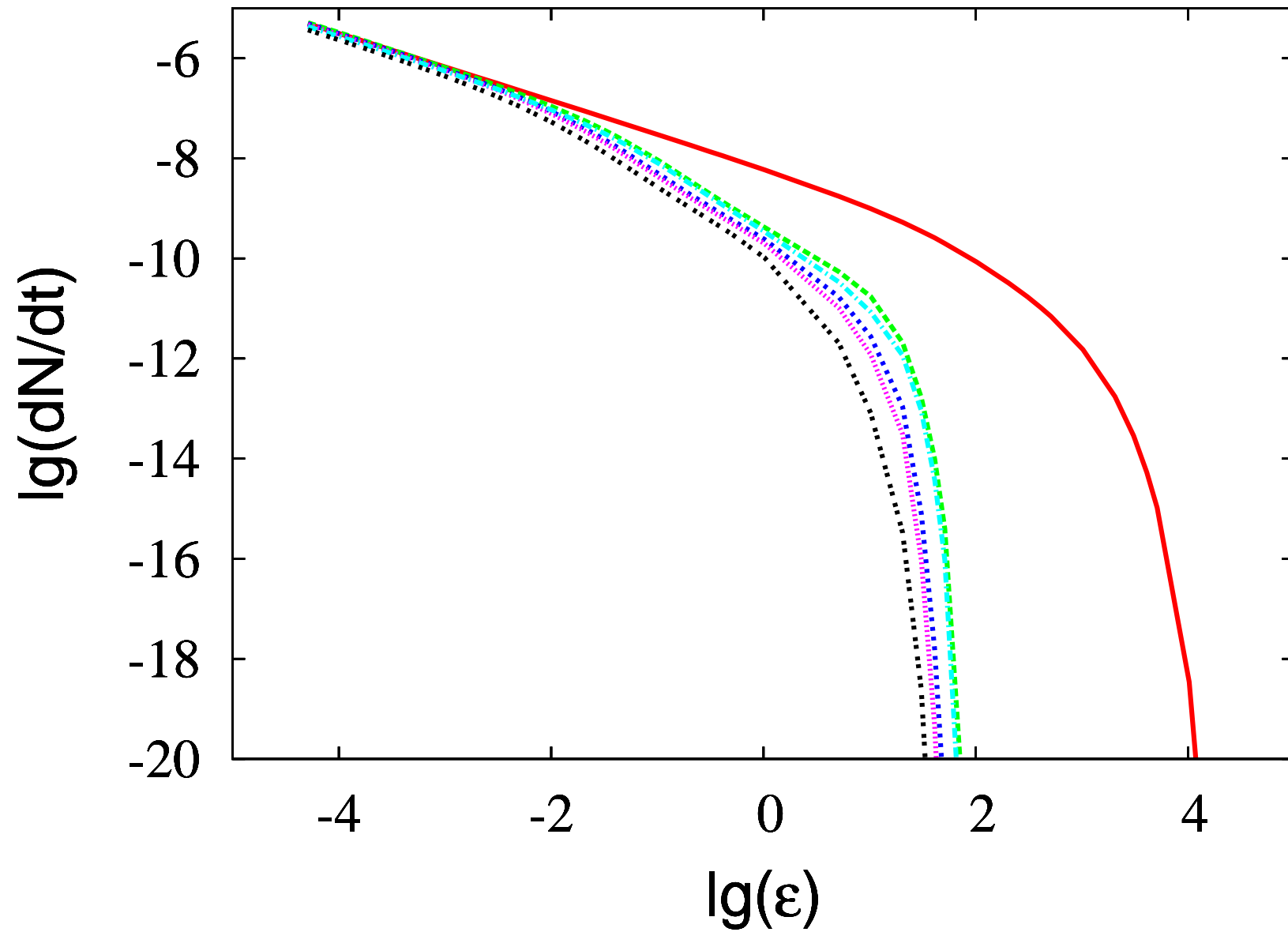
То же, что на рис.3

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.22, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = 0$



То же, что на рис.4

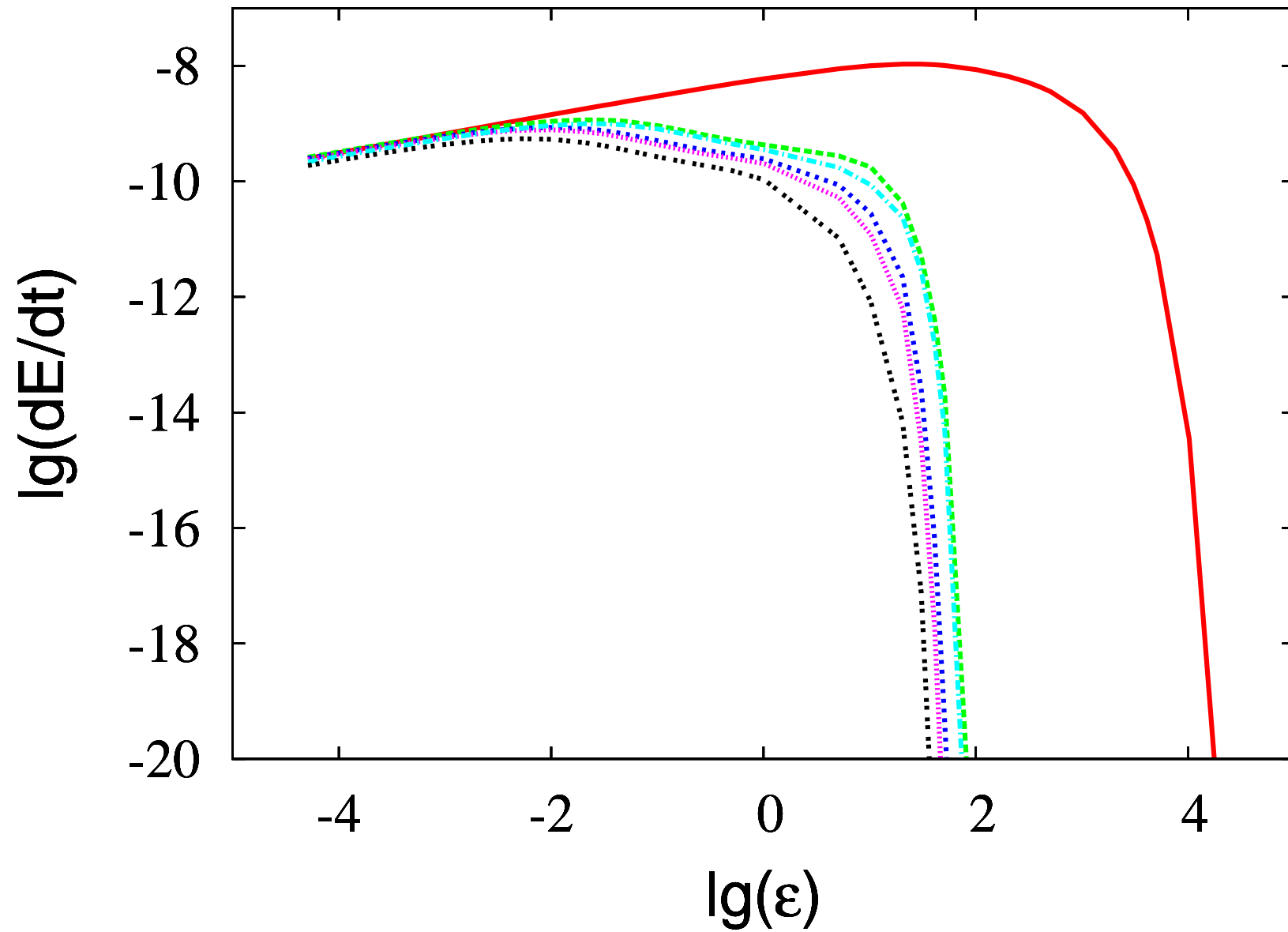
$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.22, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = 0$



**То же, что на рис.1**

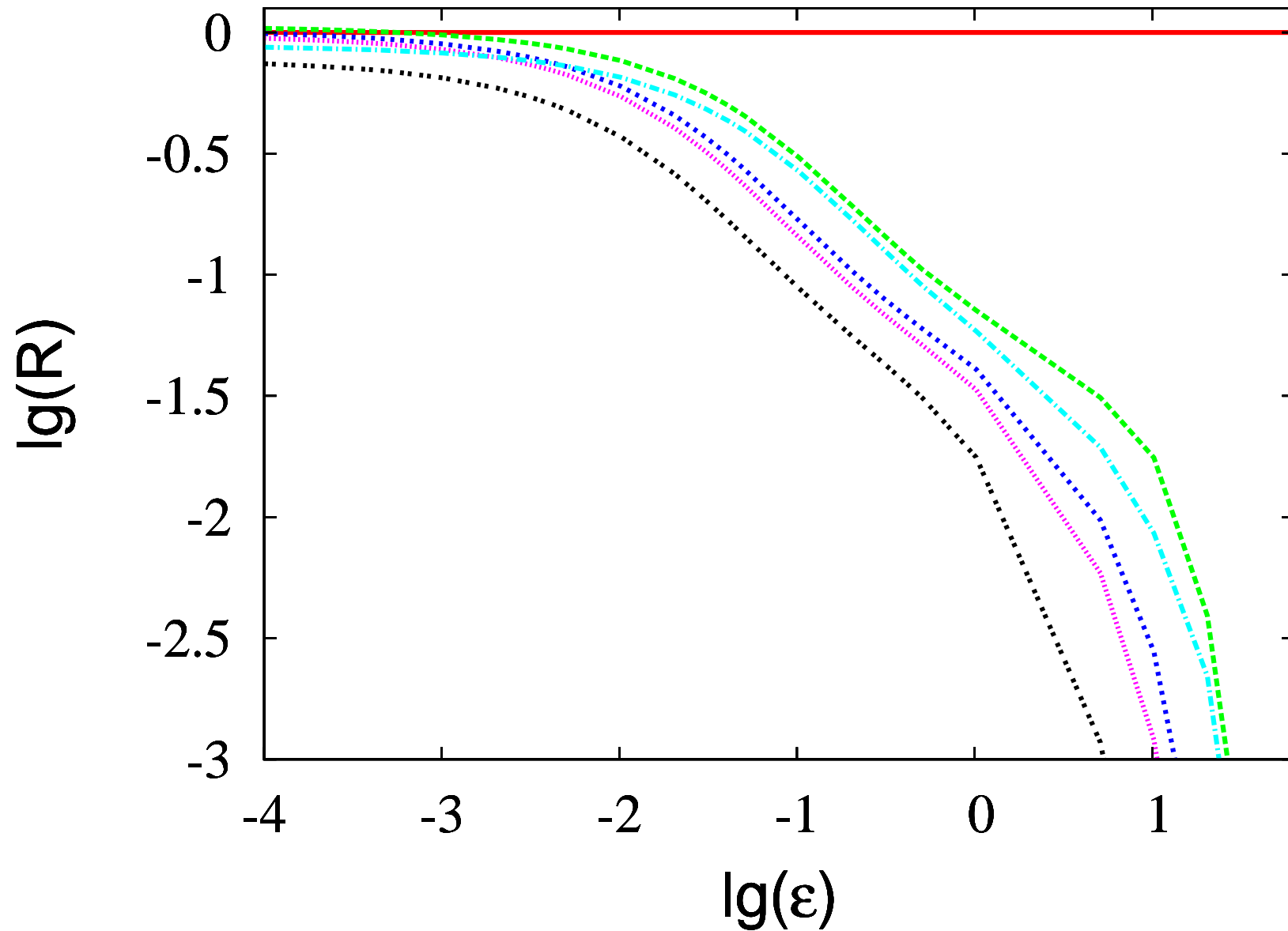
$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^{\circ}, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.5$





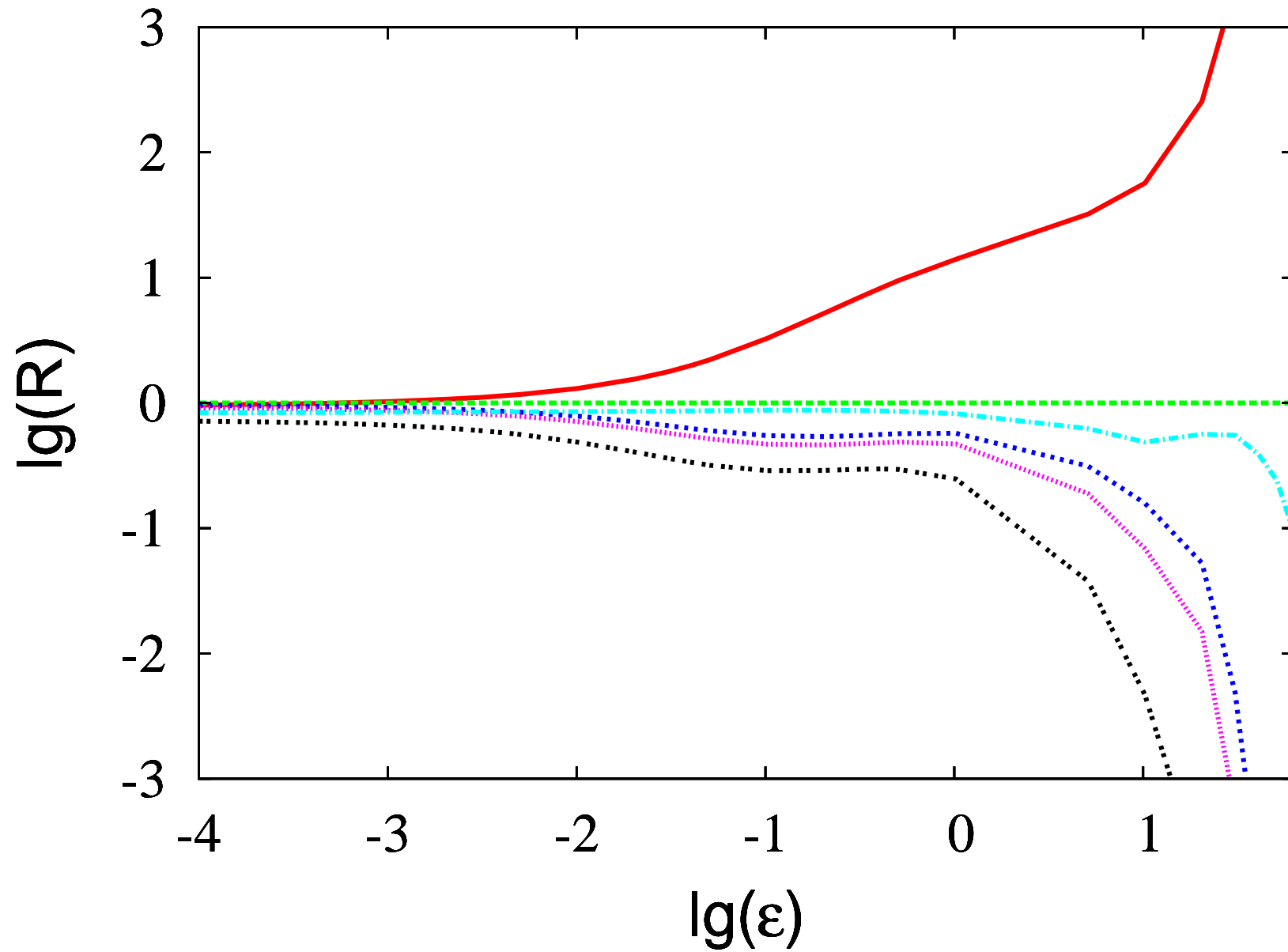
То же, что на рис.2

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^{\circ}, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.5$



То же, что на рис.3

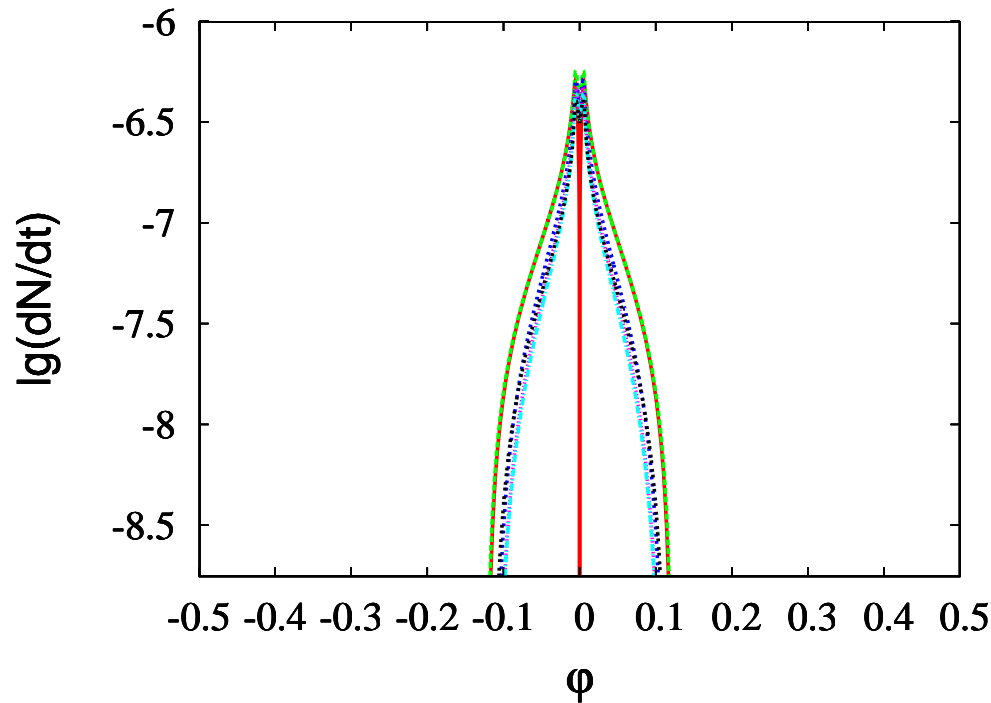
$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^0, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.5$



То же, что на рис.4

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.5$

# Форма импульса

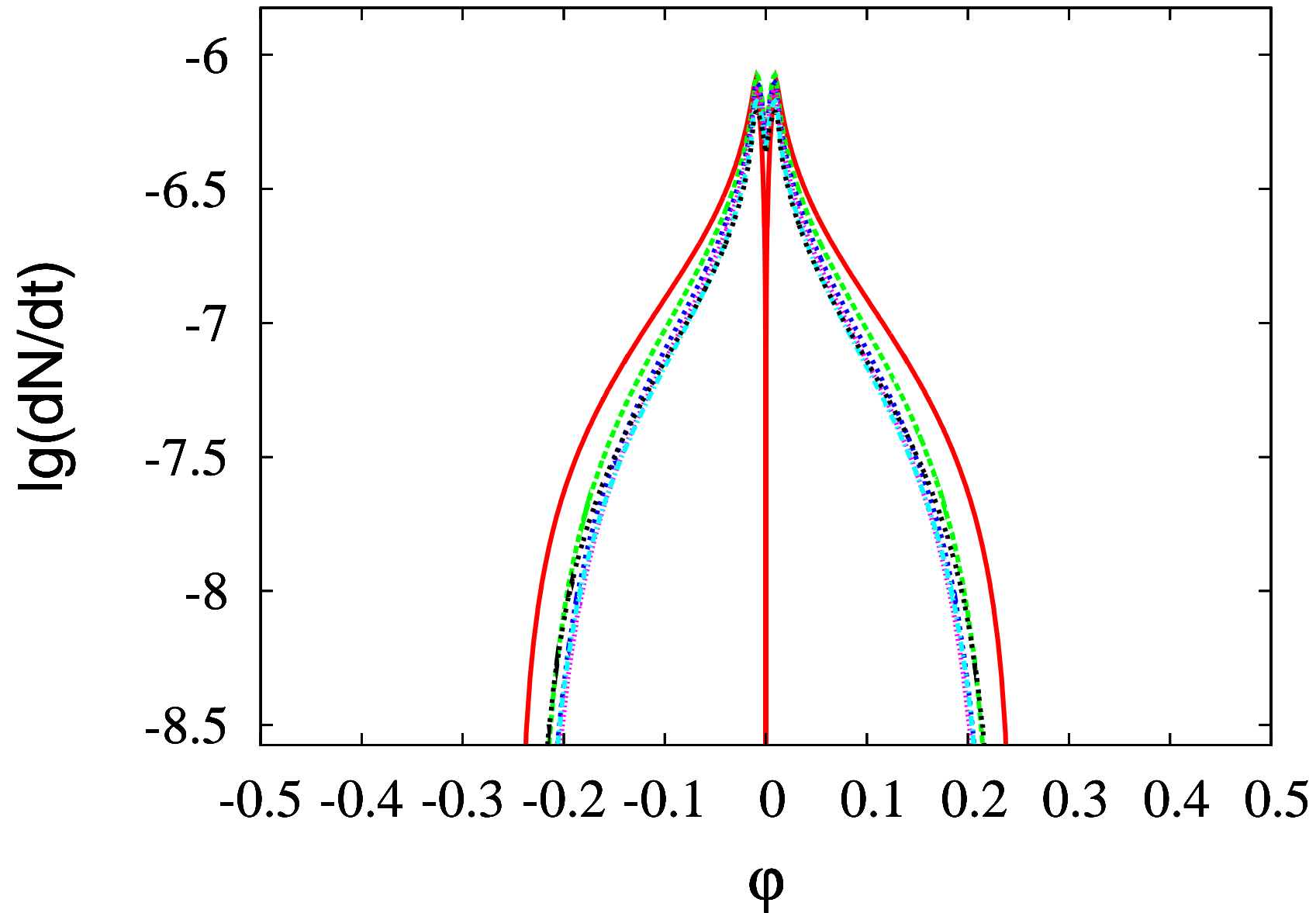


**Форма импульса гамма-излучения пульсарной трубки для**

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.2$

**Сплошная (красная) кривая соответствует дипольному полю ( $\nu = 0$ ), штриховая с длинным штрихом (зеленая)–  $\nu = 0.1$ , штриховая с коротким штрихом (синяя)–  $\nu = 0.2$ , пунктирная (фиолетовая)–  $\nu = 0.3$ , штрих-пунктирная (сине-зеленая)–  $\nu = 0.5$ , пунктирная со сдвоенным пунктиром (черная)–  $\nu = 0.7$ .**

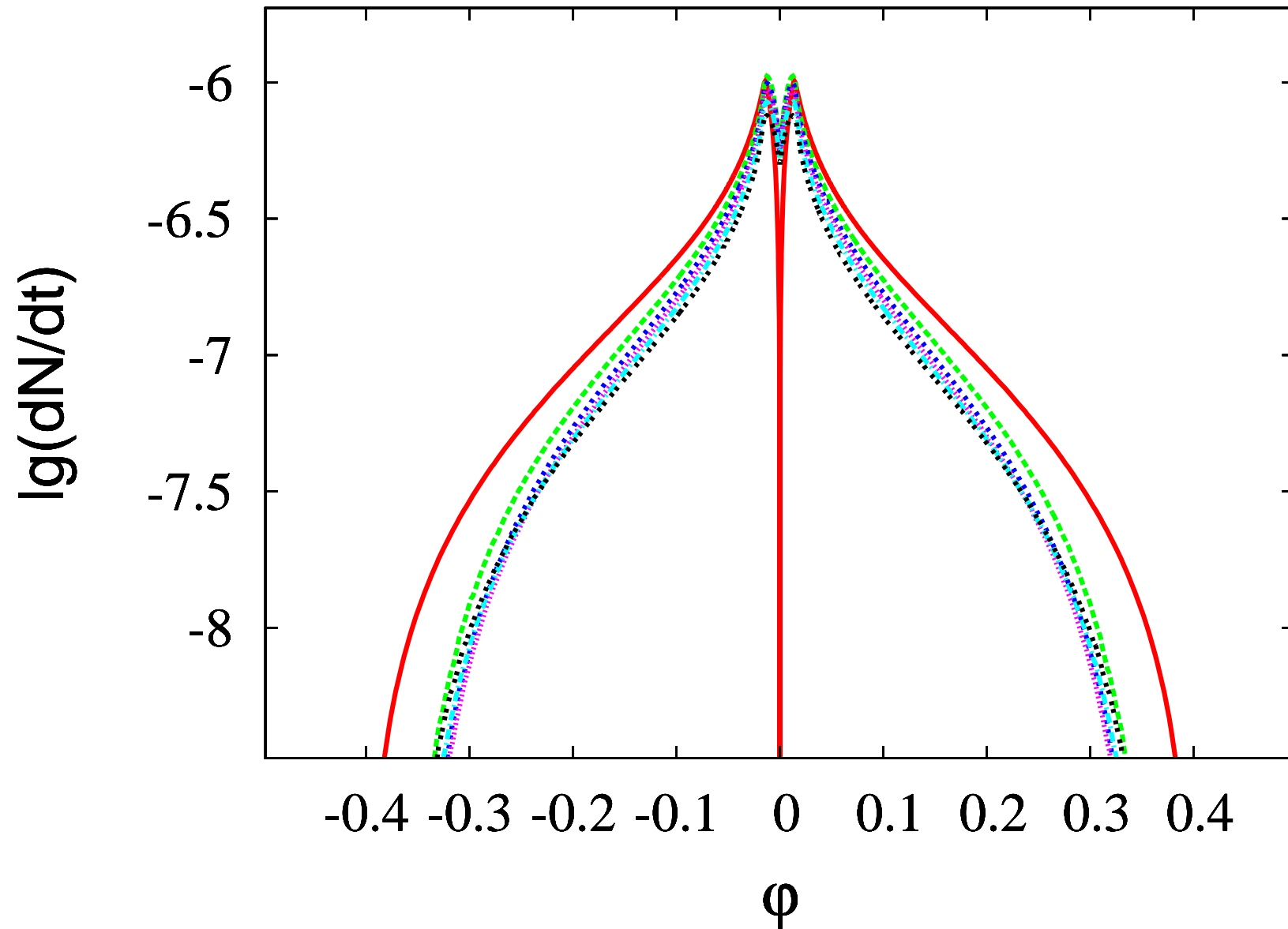
**Интенсивность гамма-излучения  $\frac{dN}{dt}$  измеряется в принимаемом потоке  $\frac{\text{Фотон}}{\text{см}^2 \text{сек МэВ}}$  от источника, находящегося на расстоянии 1кпс. Энергия фотонов равна 100 эВ.**



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.363, \frac{\Omega b}{c} = \frac{1}{3}$

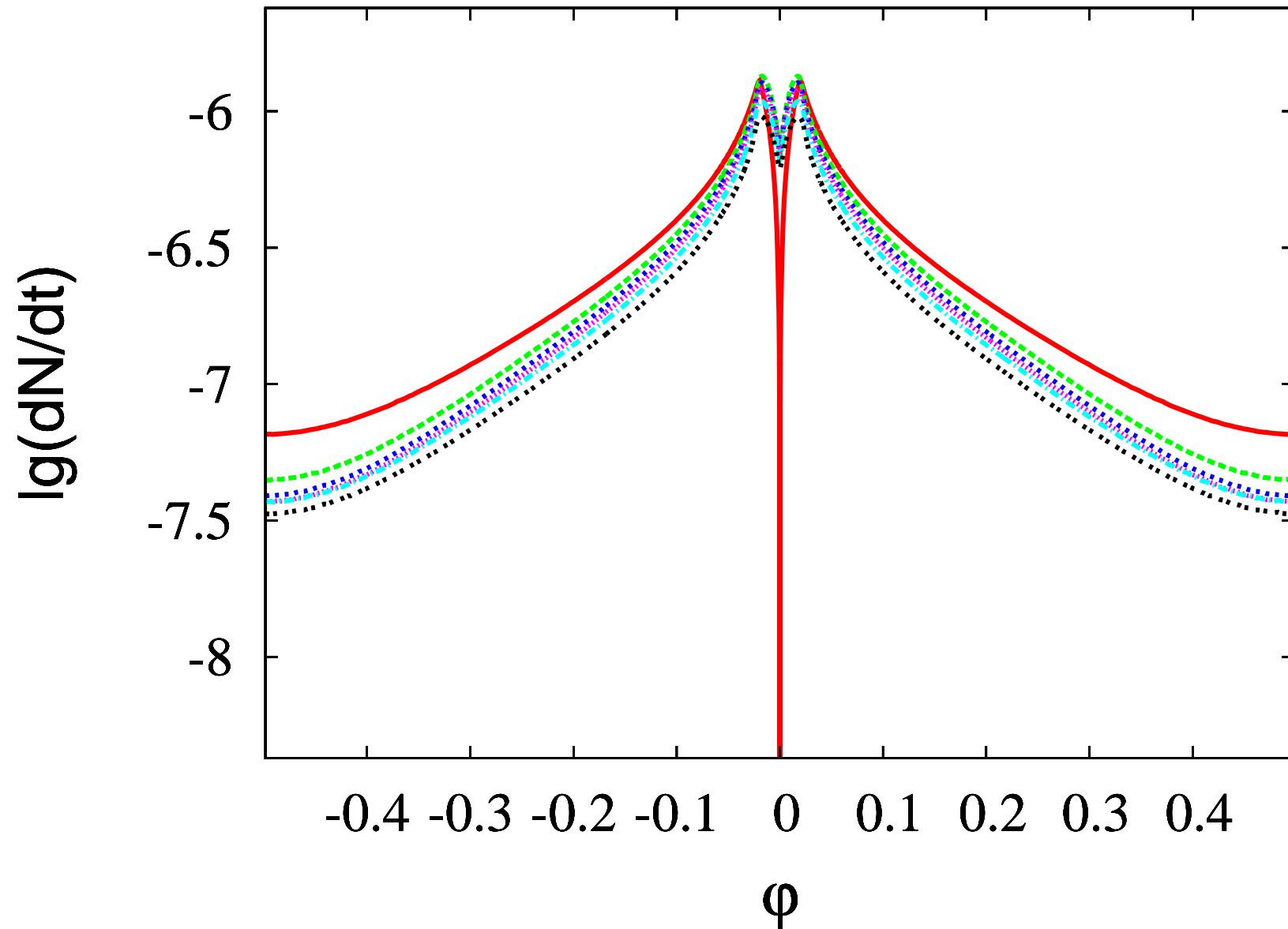
Энергия фотонов равна 100 эВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.5$

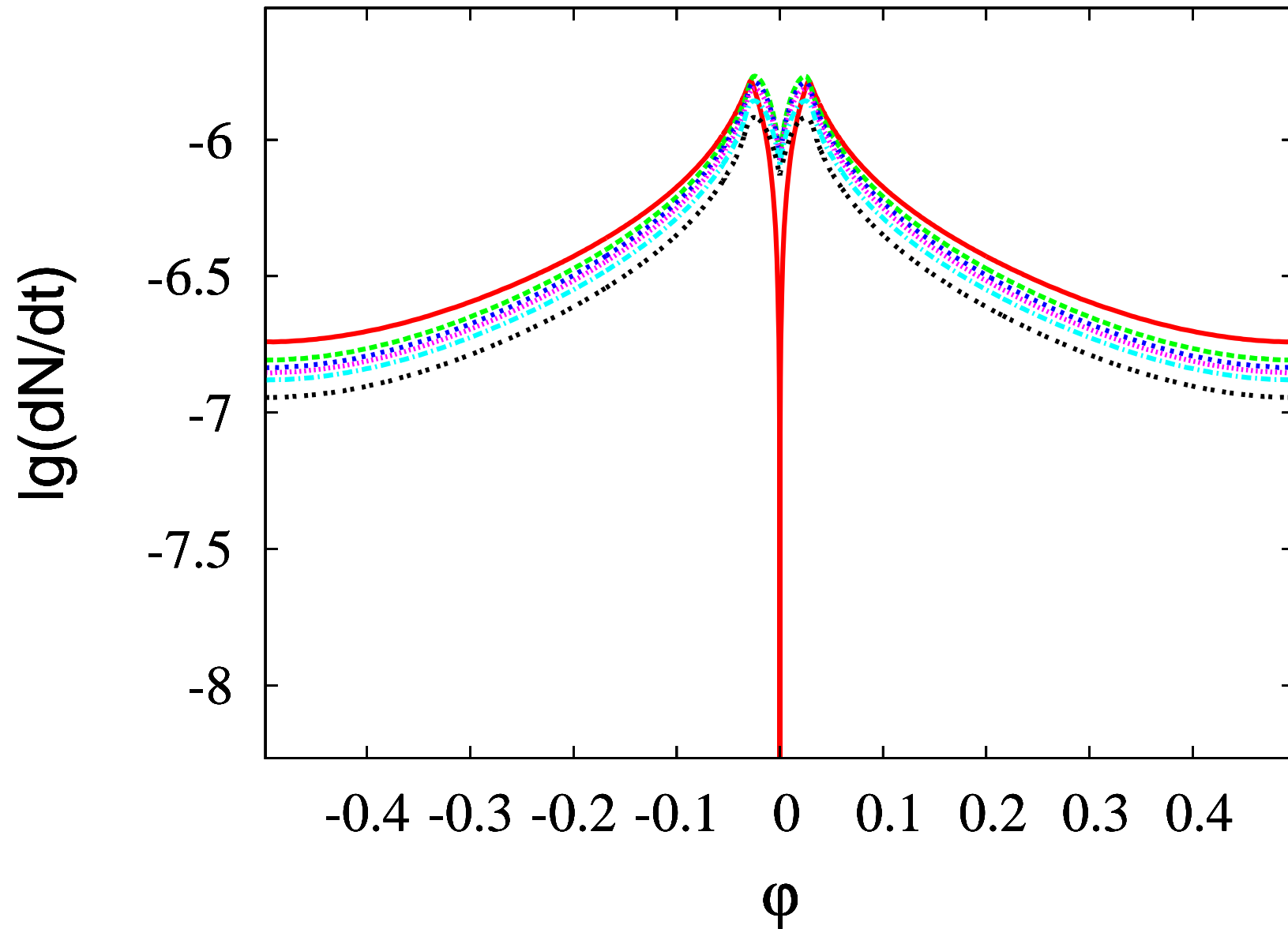
Энергия фотонов равна 100 эВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.71, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = \pi$

Энергия фотонов равна 100 эВ.

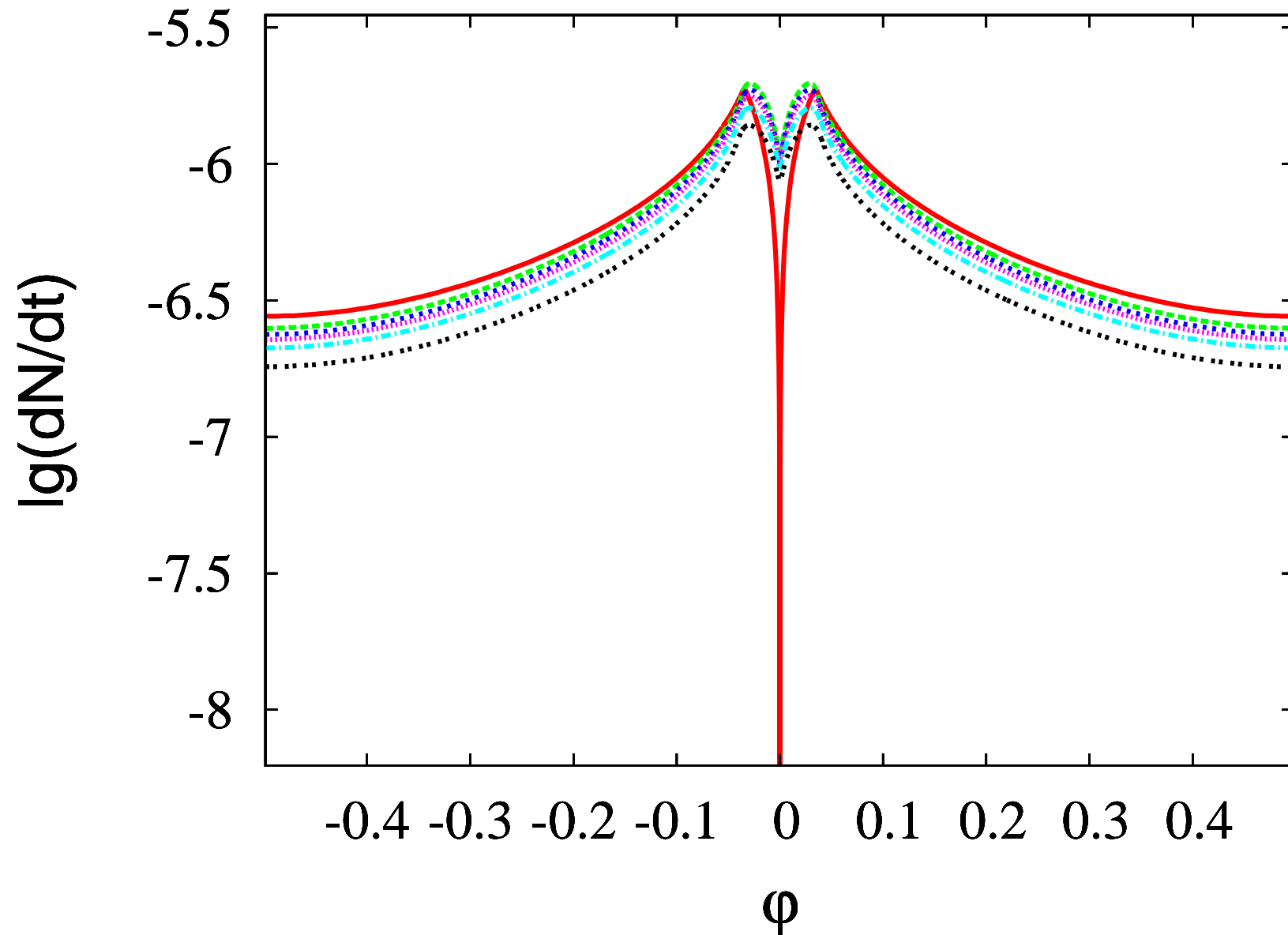


То же, что на рис.5

$B = 0.2$ ,  $P = 0.5$ ,  $\chi = 10^\circ$ ,  $k = 0.15$ ,  $\Delta = 0.1$ ,  $\gamma = \pi$ ,  $d = 1.0$

Энергия фотонов равна 100 эВ.

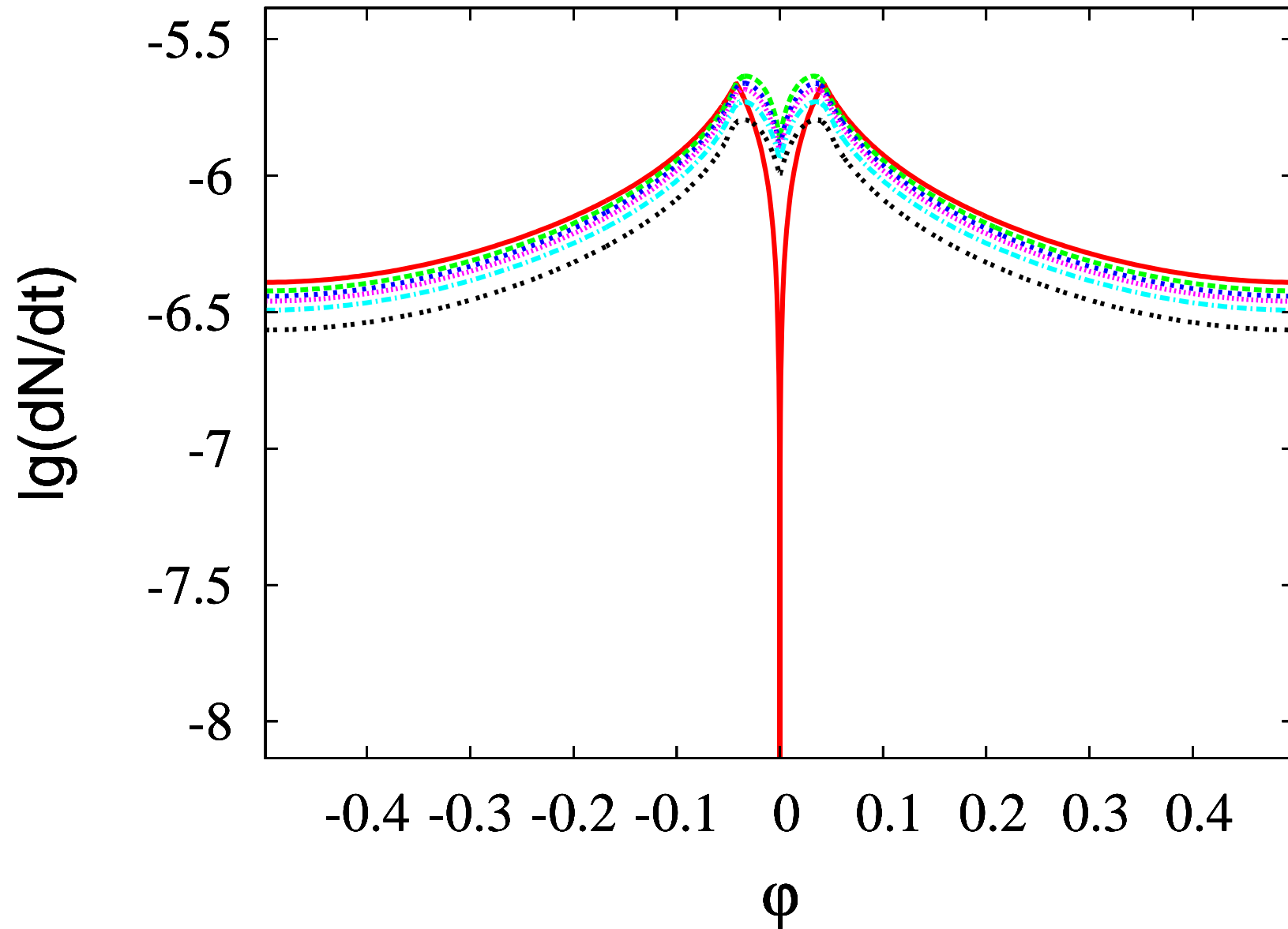




То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.22, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = 0$

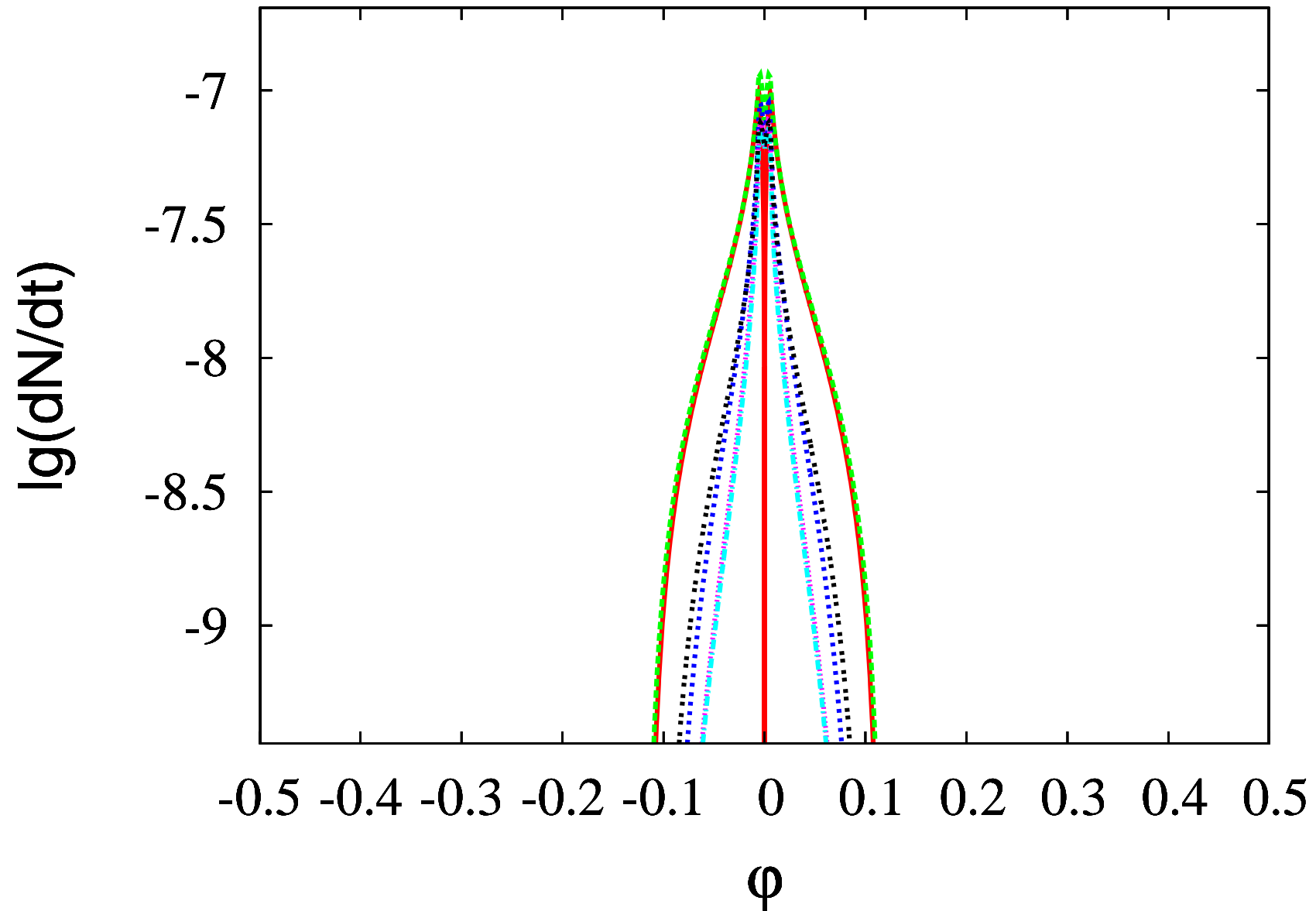
Энергия фотонов равна 100 эВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.5$

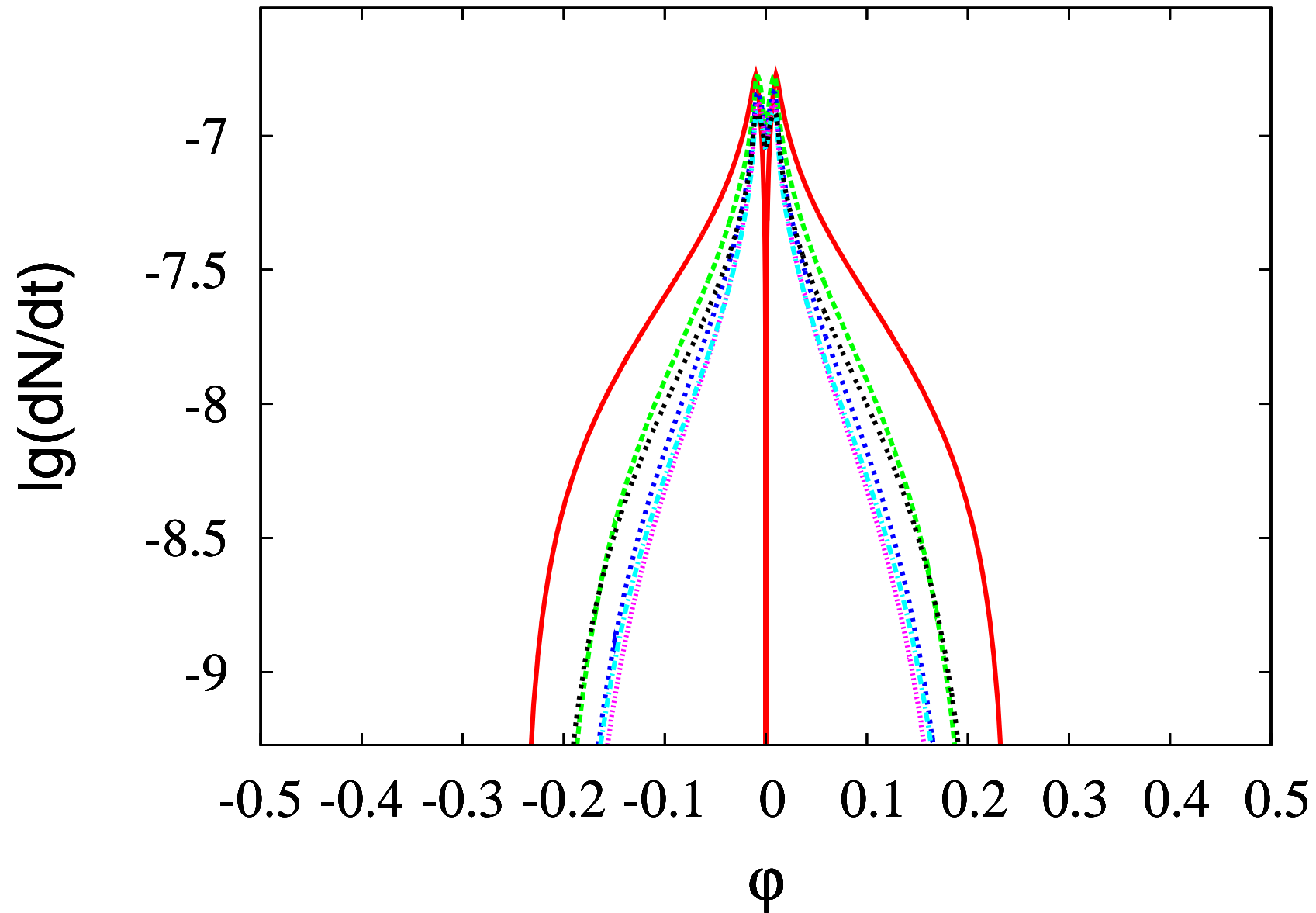
Энергия фотонов равна 100 эВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2$ ,  $P = 0.5$ ,  $\chi = 10^\circ$ ,  $k = 0.15$ ,  $\Delta = 0.1$ ,  $\gamma = \pi$ ,  $d = 0.2$

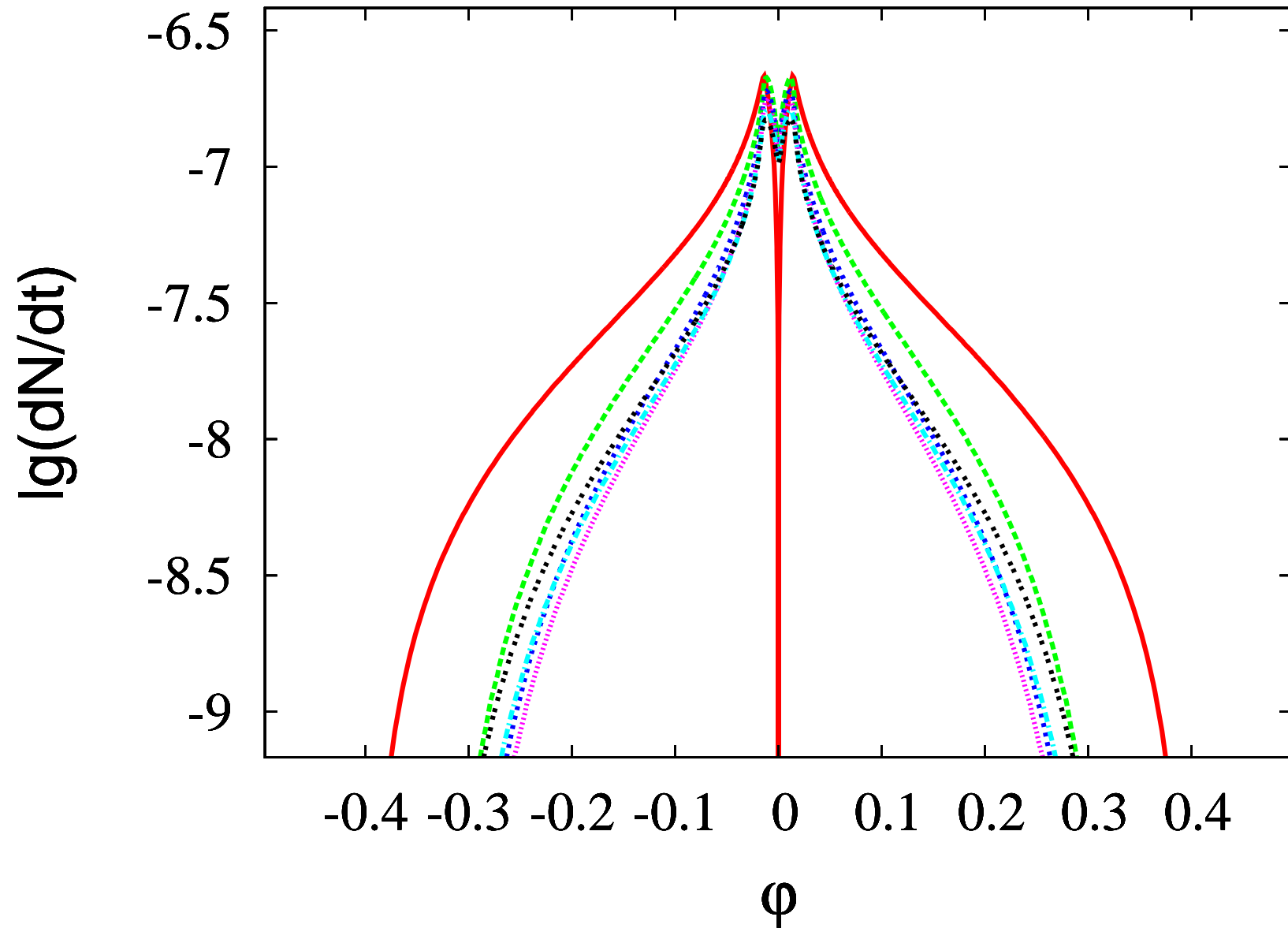
Энергия фотонов равна 1 кэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.363, \frac{\Omega b}{c} = \frac{1}{3}$

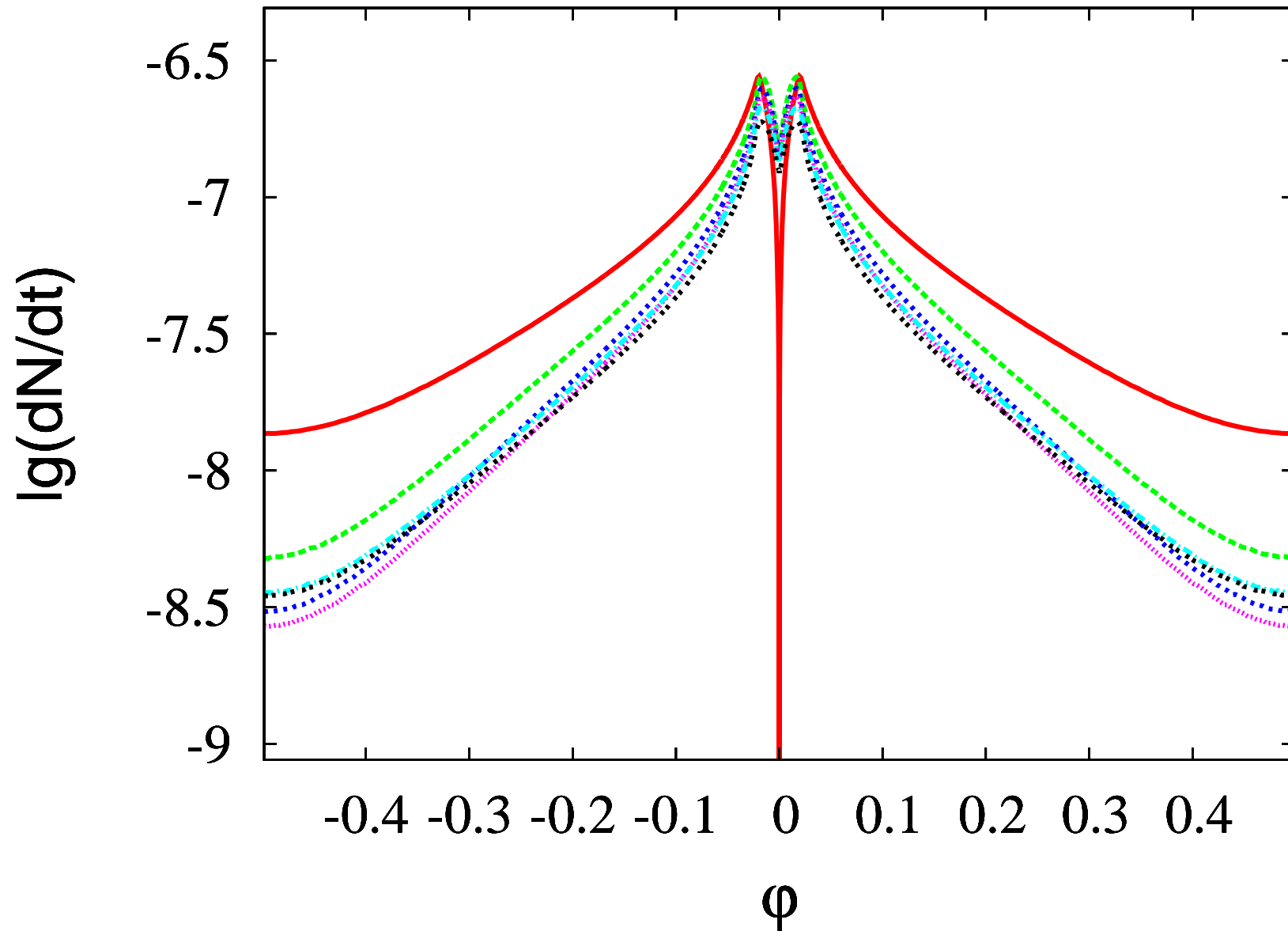
Энергия фотонов равна 1 кэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.5$

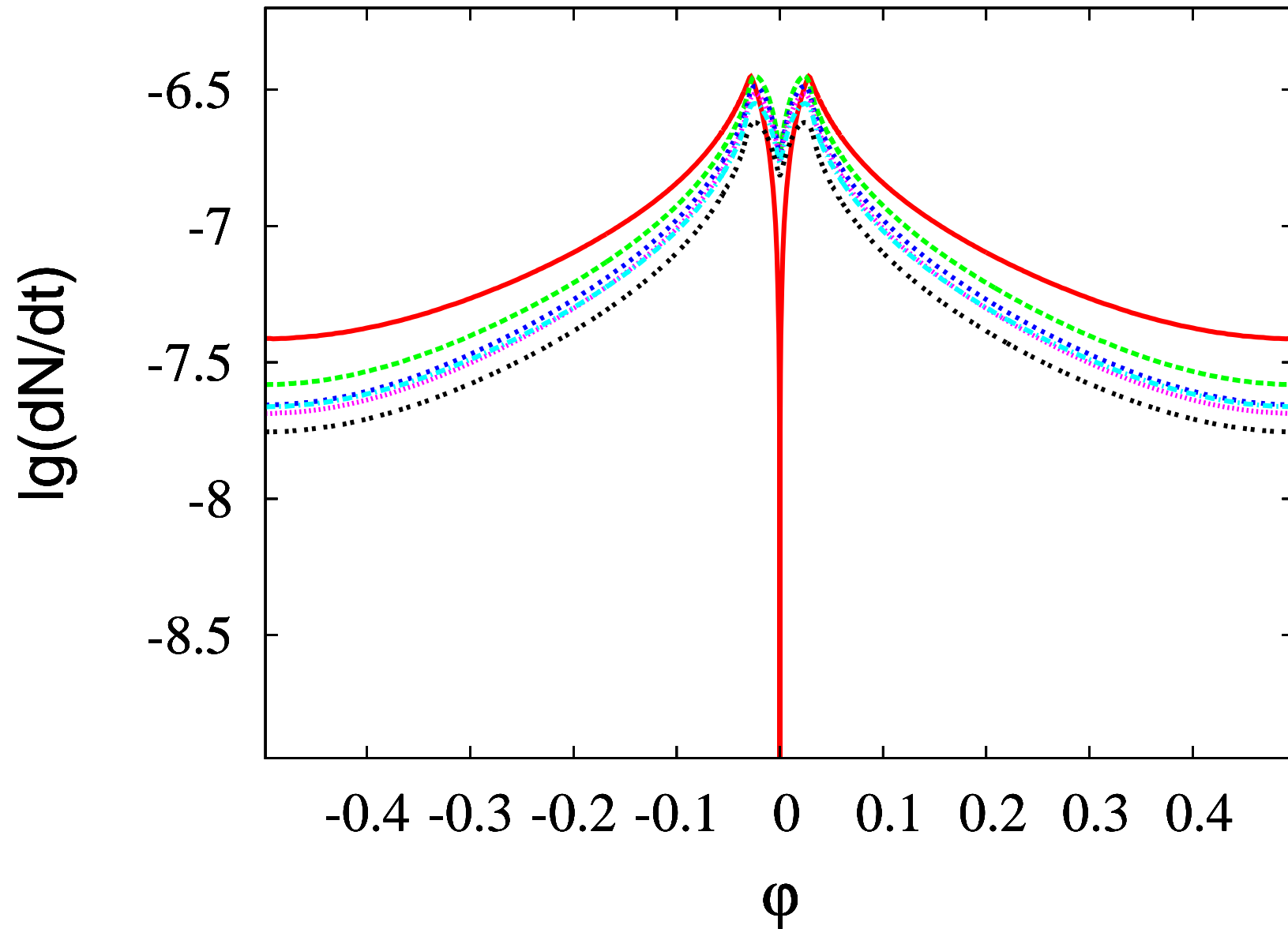
Энергия фотонов равна 1 кэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.71, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = \pi$

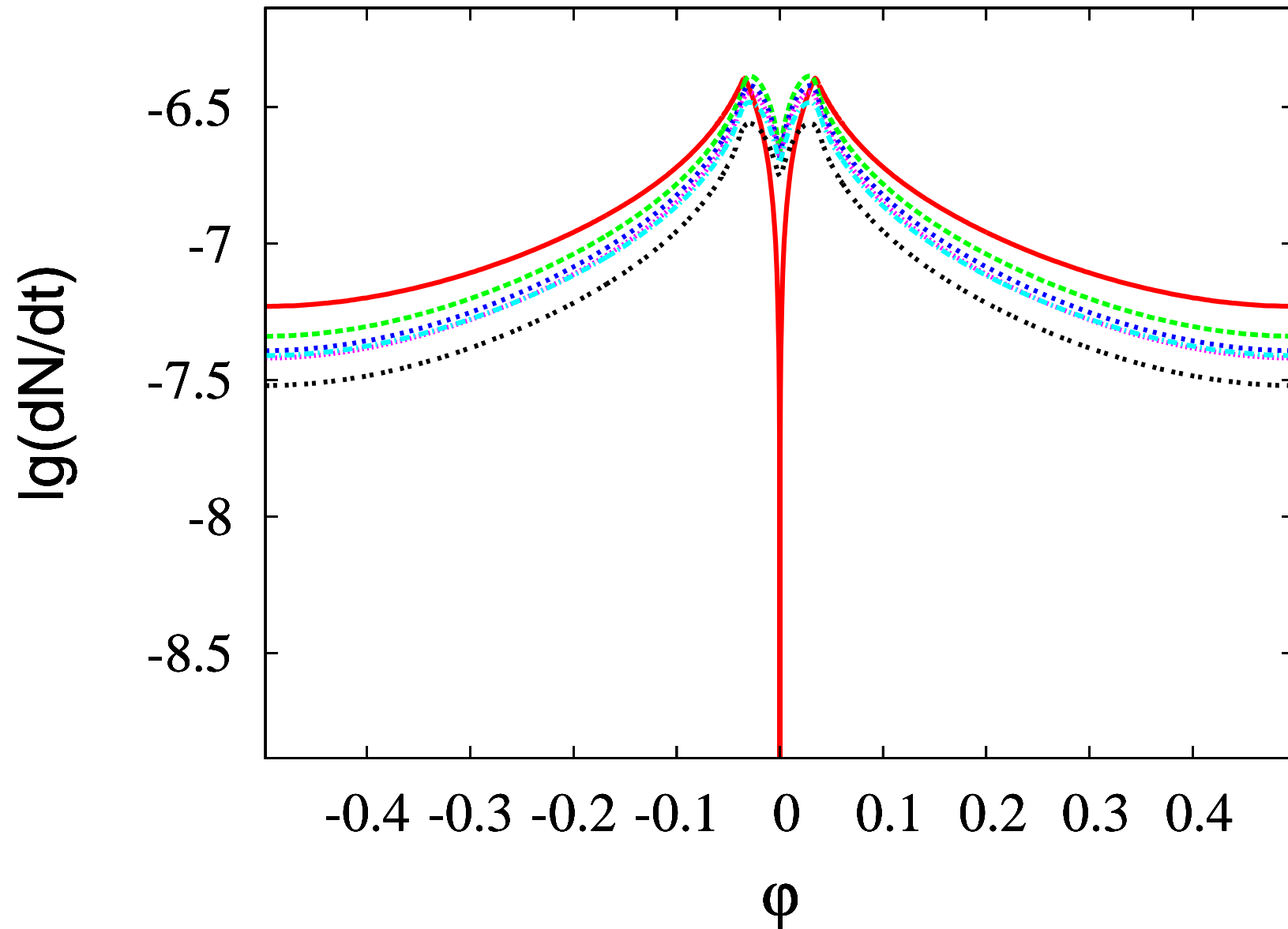
Энергия фотонов равна 1 кэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.0$

Энергия фотонов равна 1 кэВ.

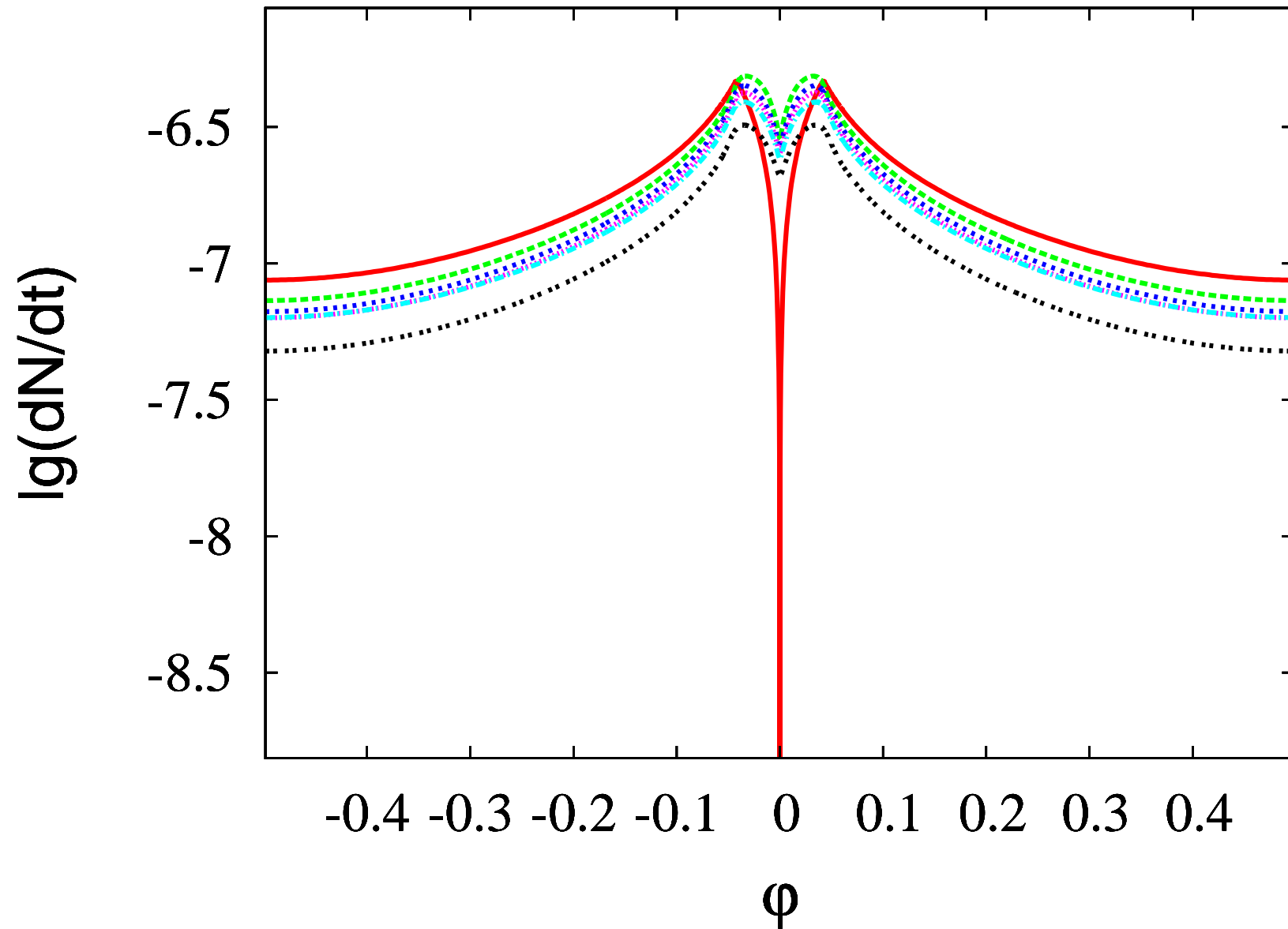


То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.22, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = 0$

Энергия фотонов равна 1 кэВ.

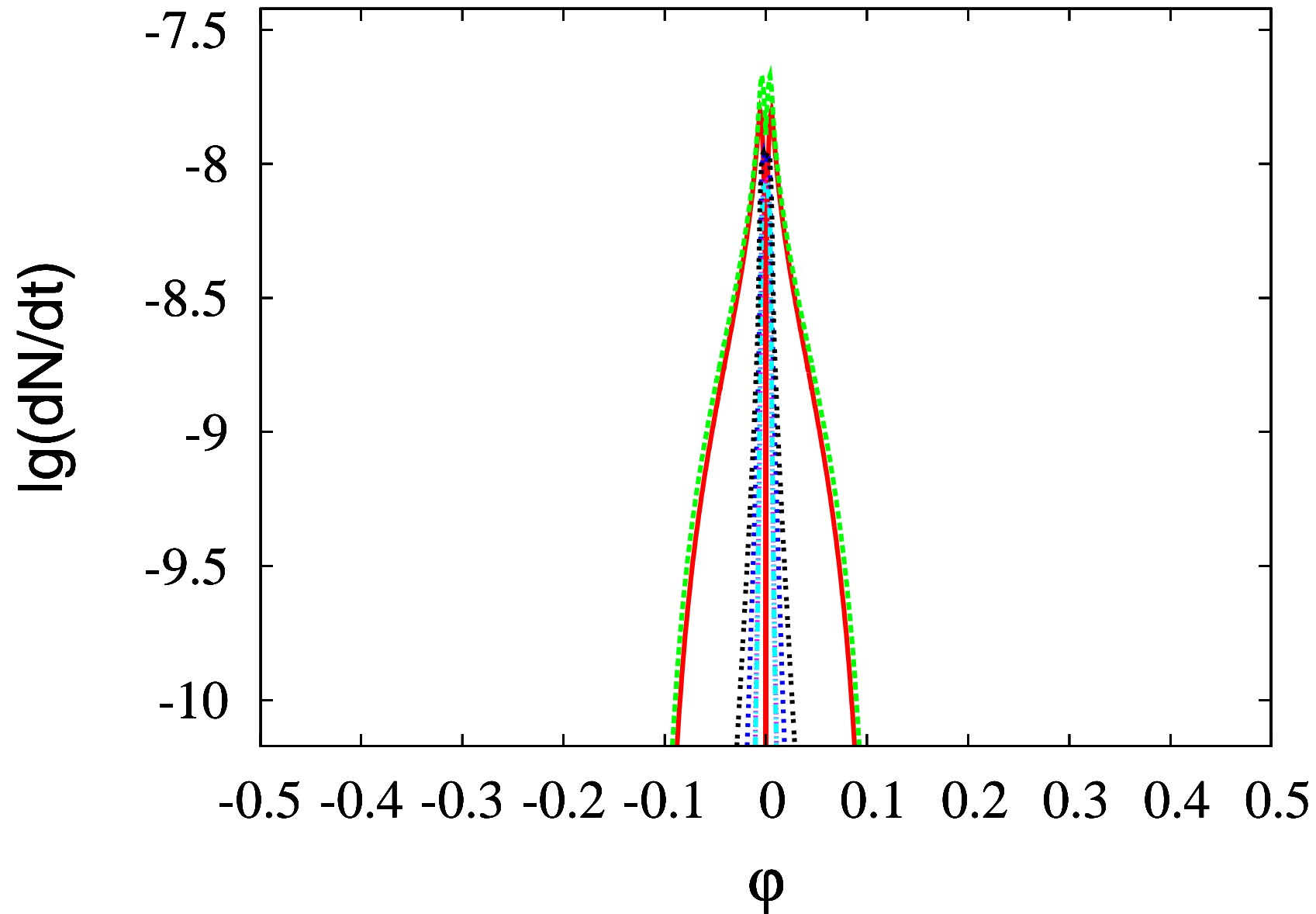




То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.5$

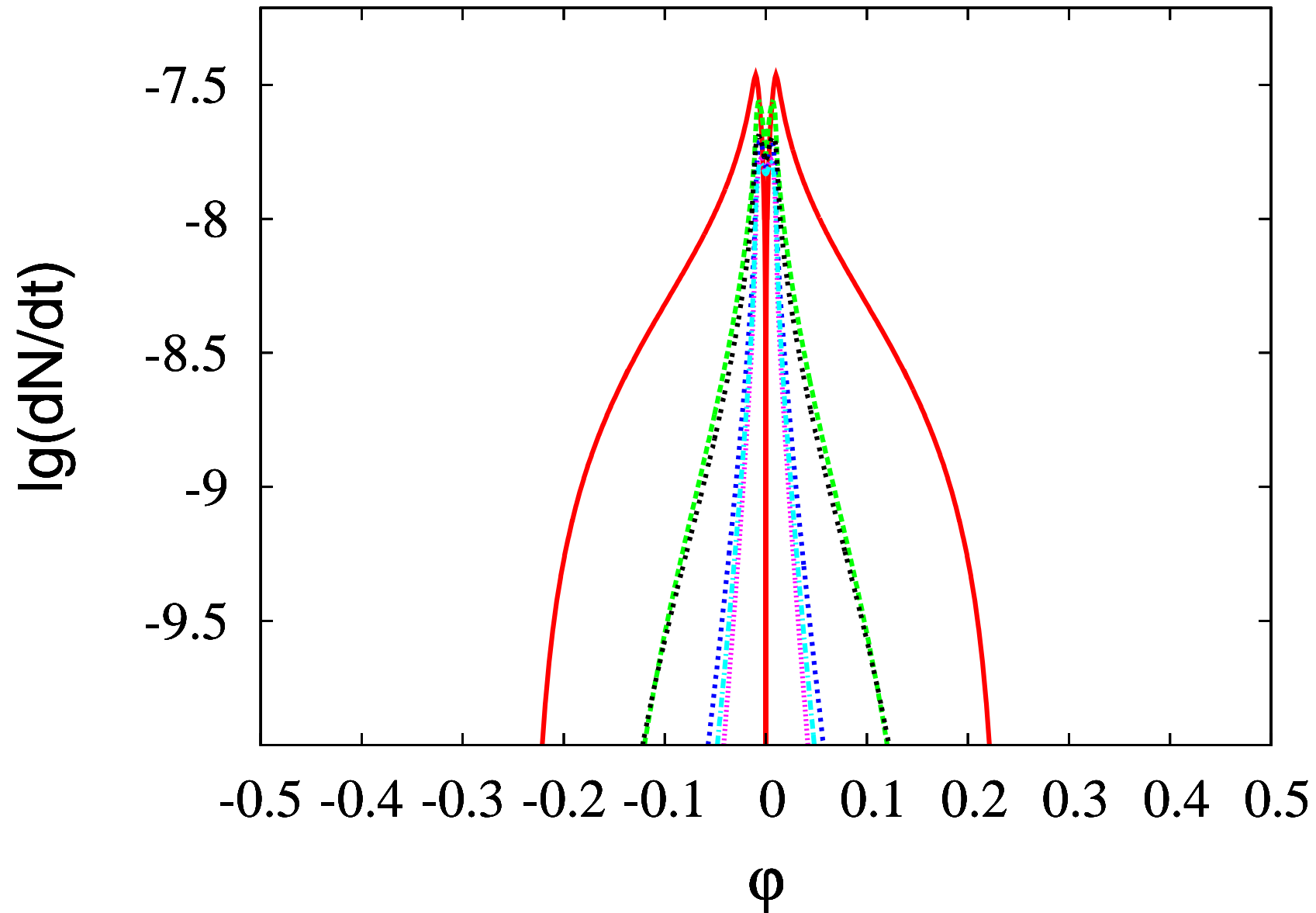
Энергия фотонов равна 1 кэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.2$

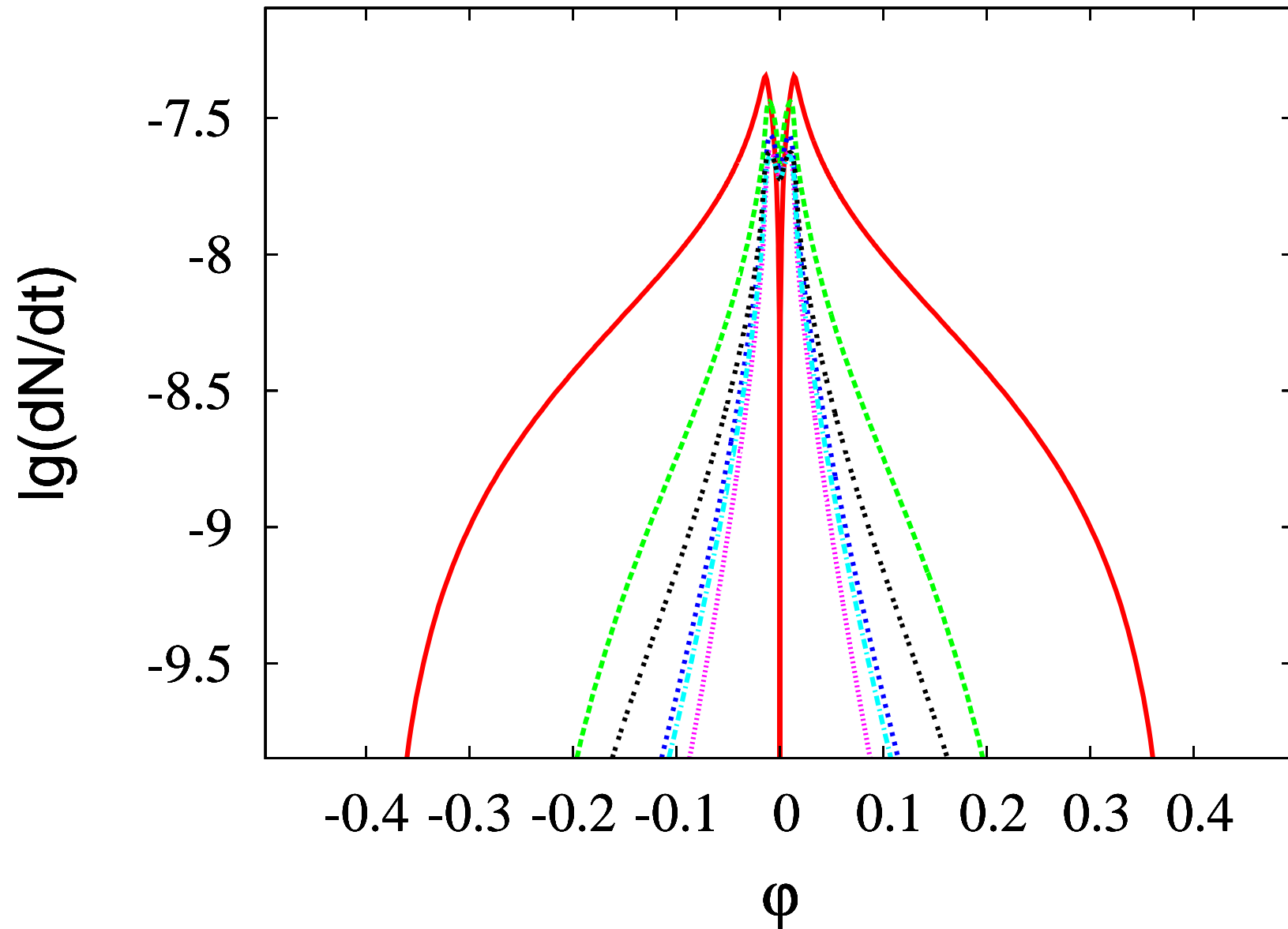
Энергия фотонов равна 10 кэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.363, \frac{\Omega b}{c} = \frac{1}{3}$

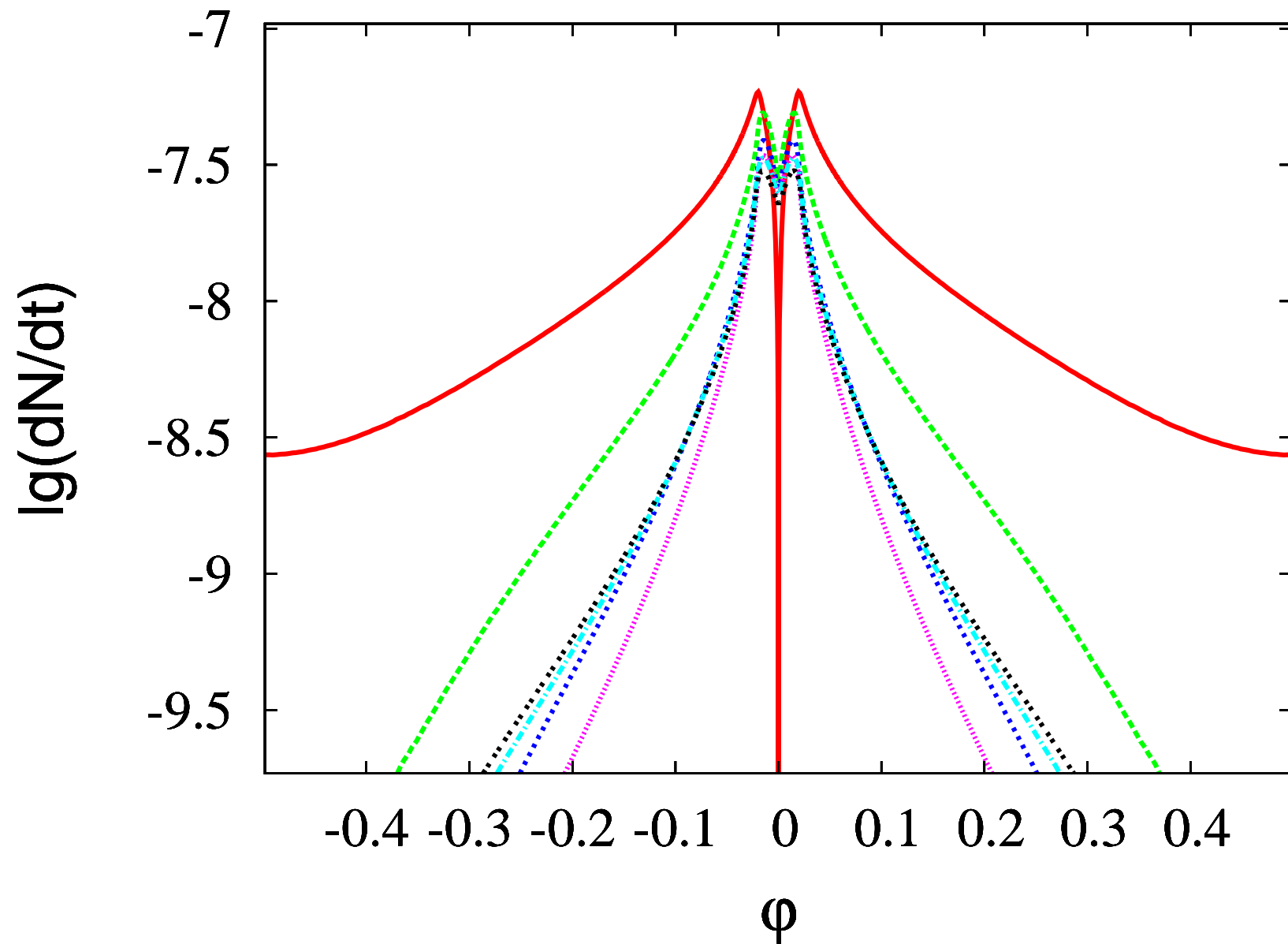
Энергия фотонов равна 10 кэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.5$

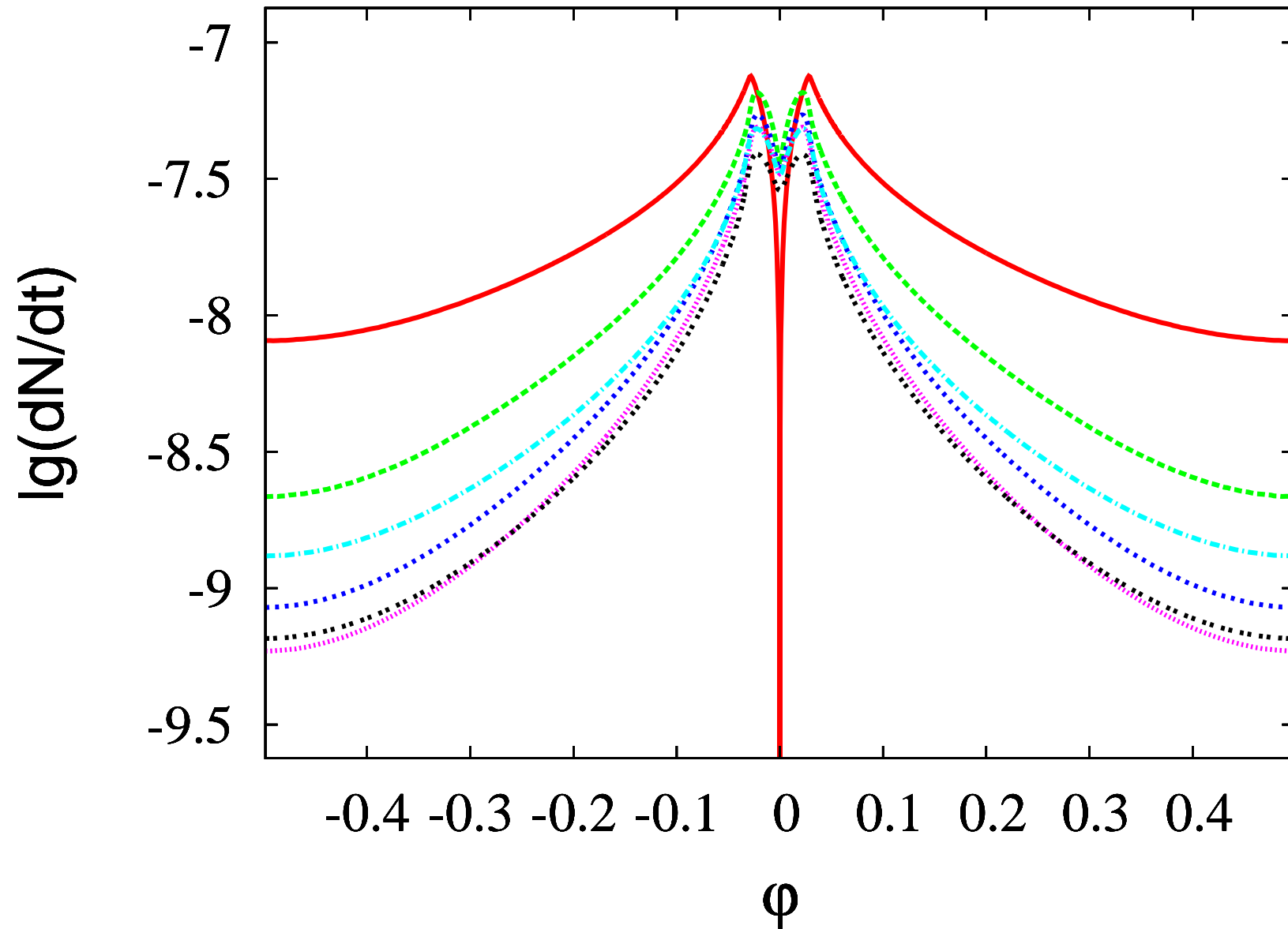
Энергия фотонов равна 10 кэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.71, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = \pi$

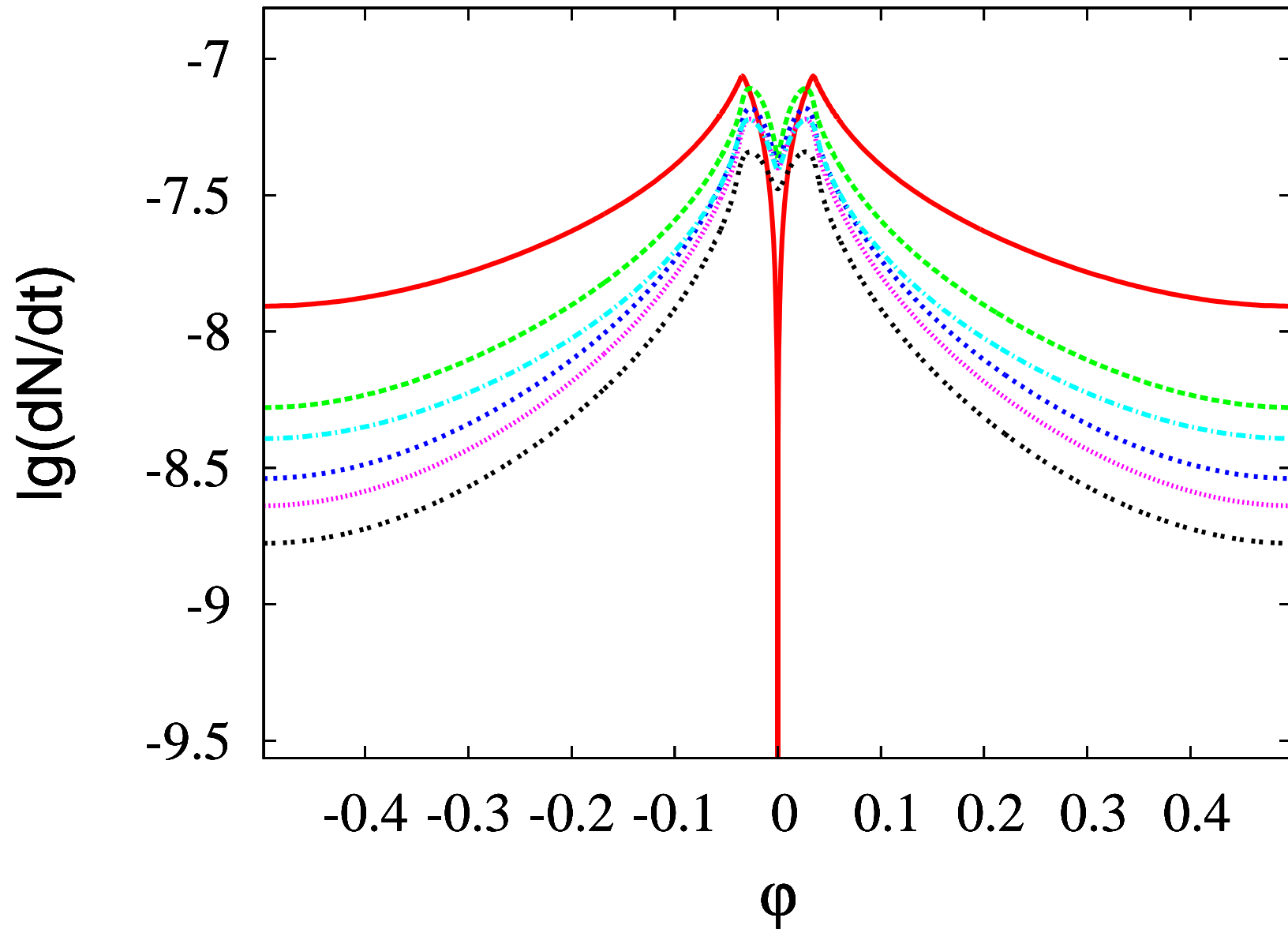
Энергия фотонов равна 10 кэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.0$

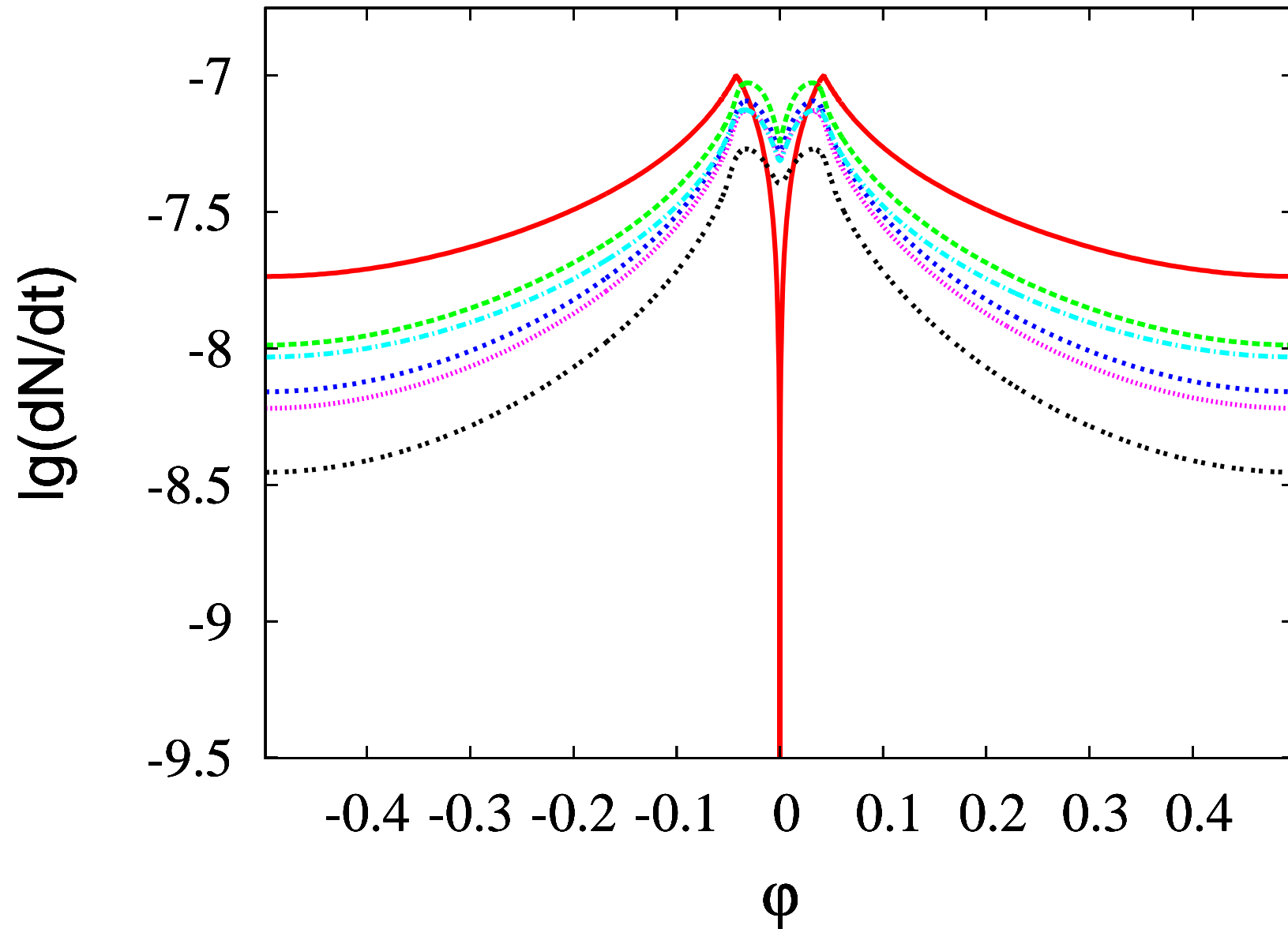
Энергия фотонов равна 10 кэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.22, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = 0$

Энергия фотонов равна 10 кэВ.

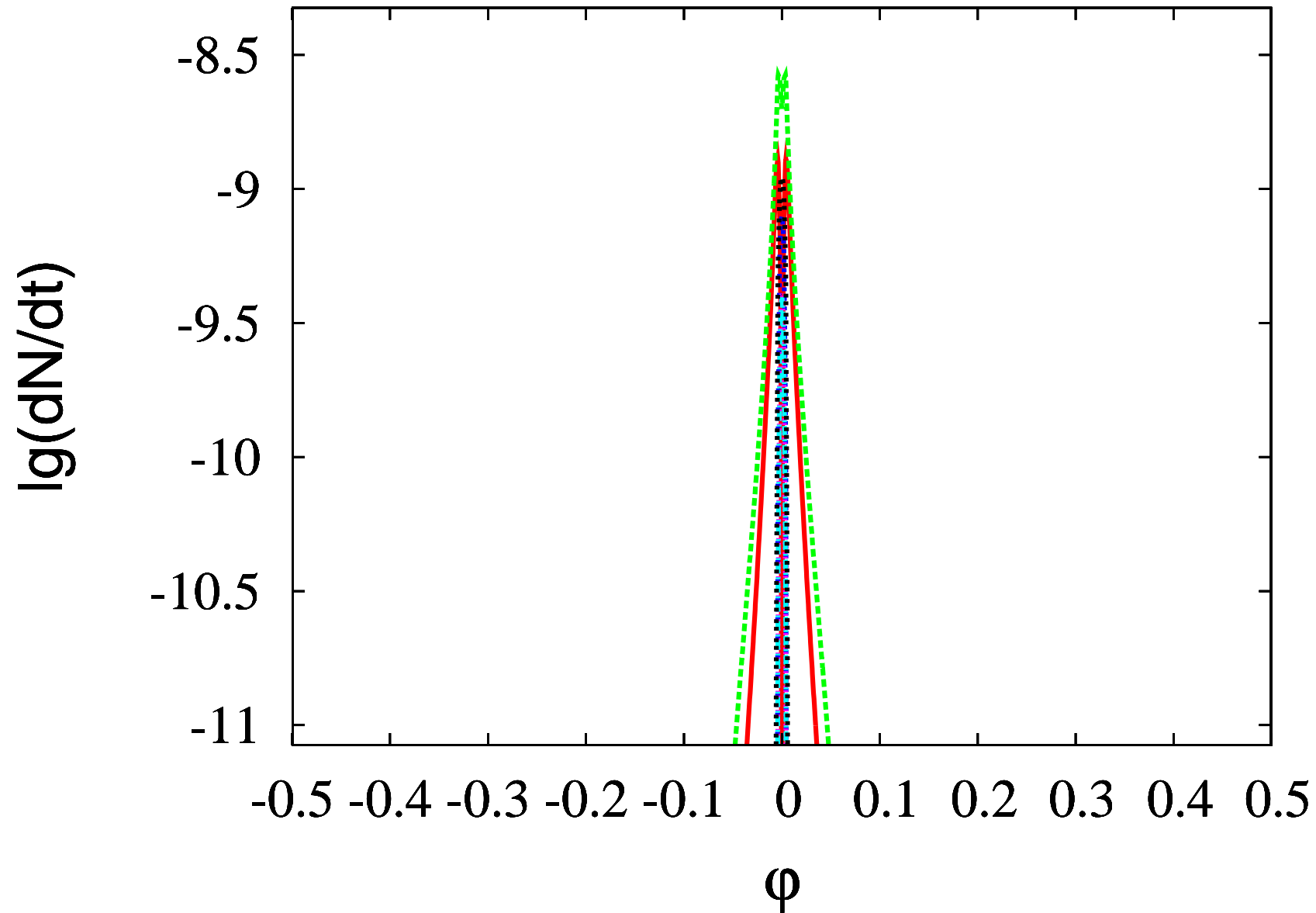


То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.5$

Энергия фотонов равна 10 кэВ.

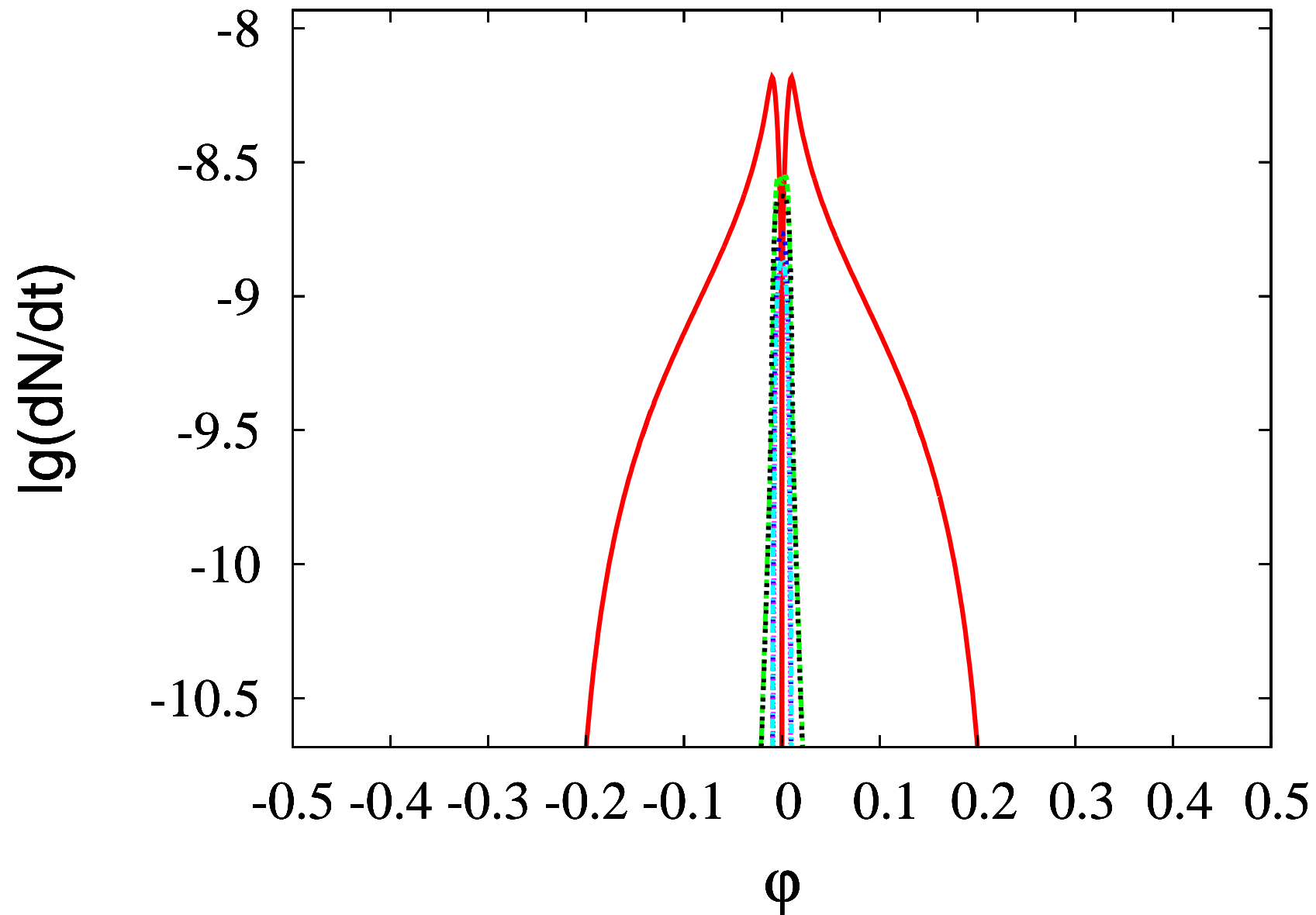




То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.2$

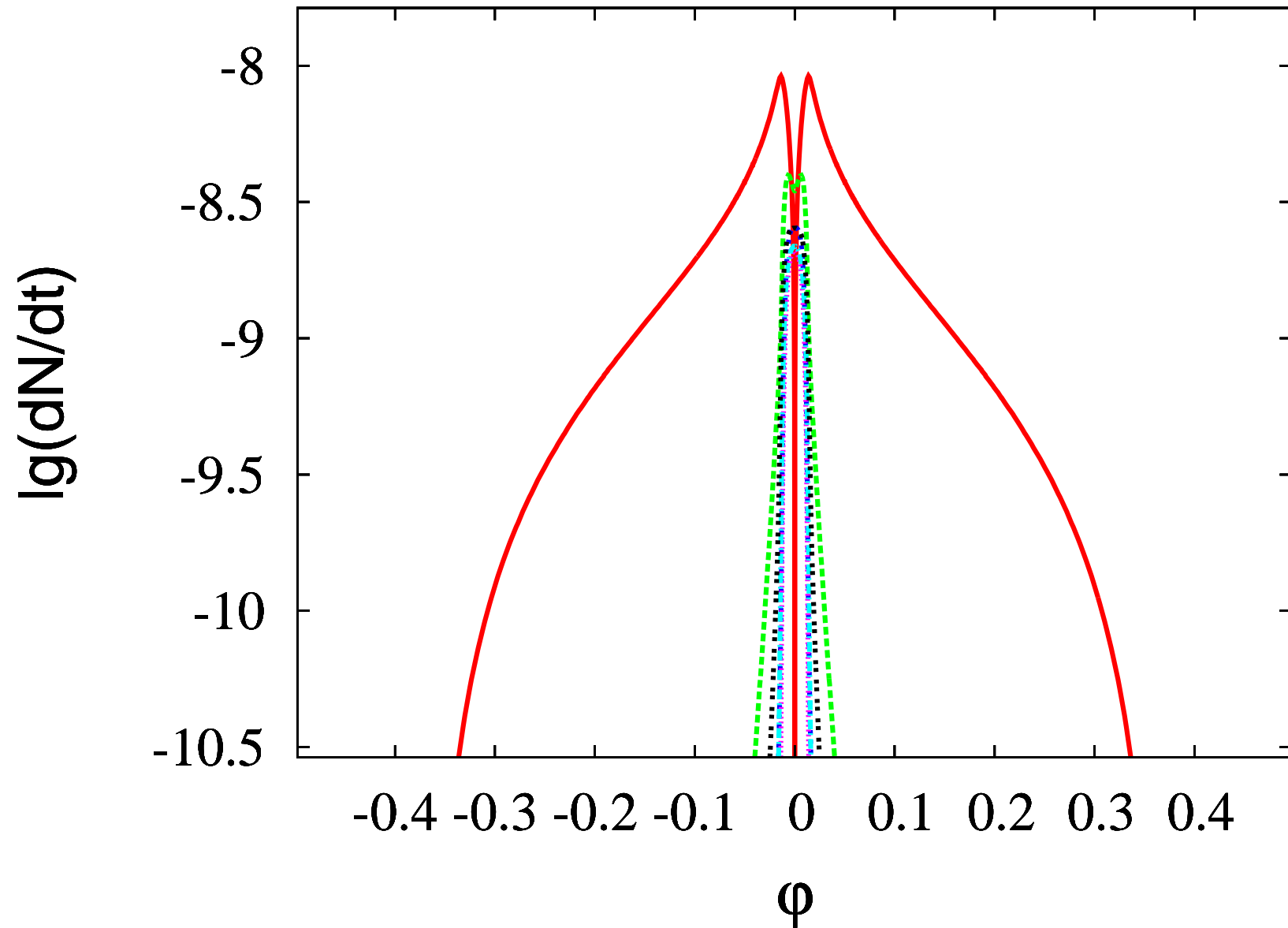
Энергия фотонов равна 100 кэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.363, \frac{\Omega b}{c} = \frac{1}{3}$

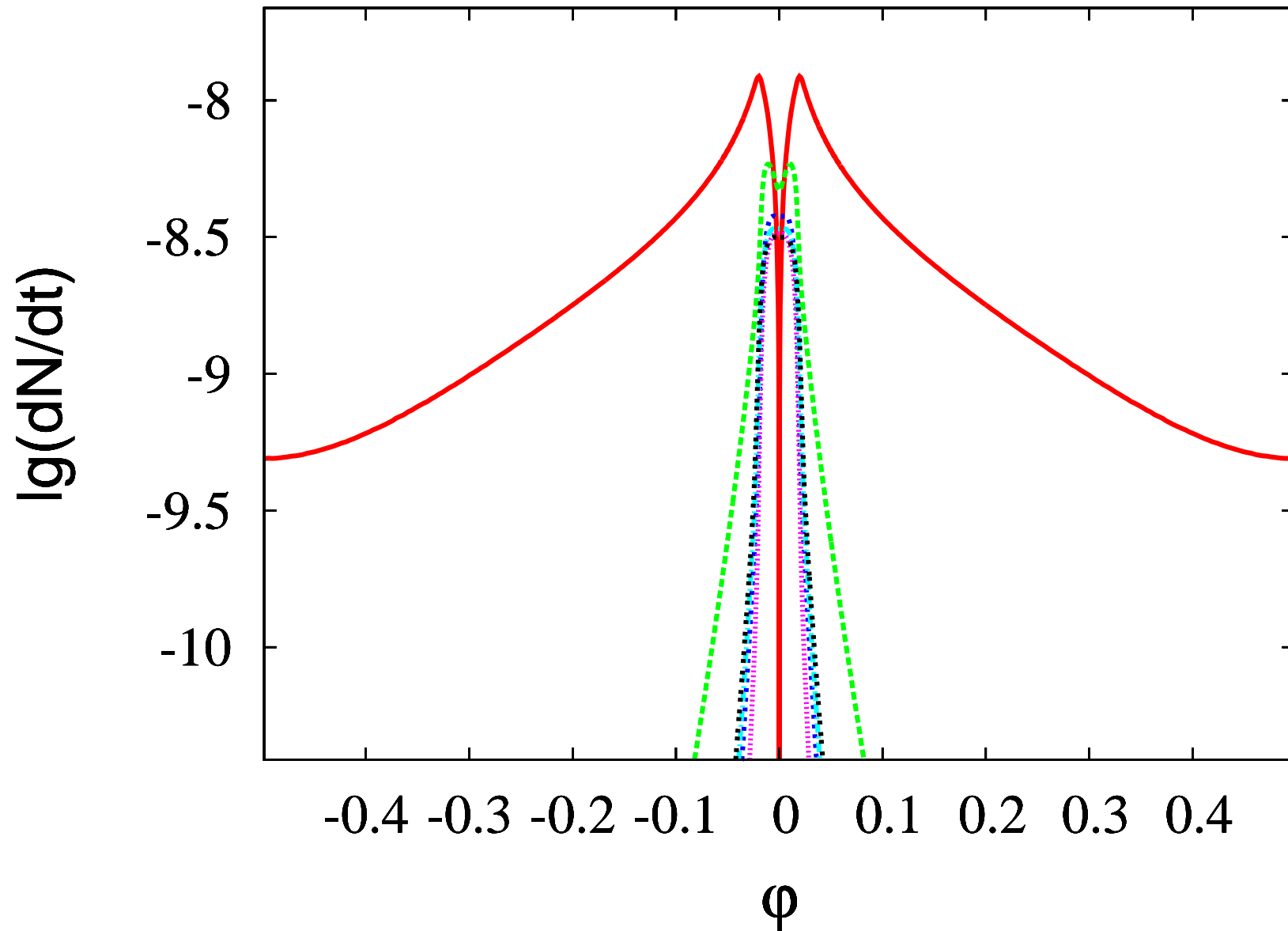
Энергия фотонов равна 100 кэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.5$

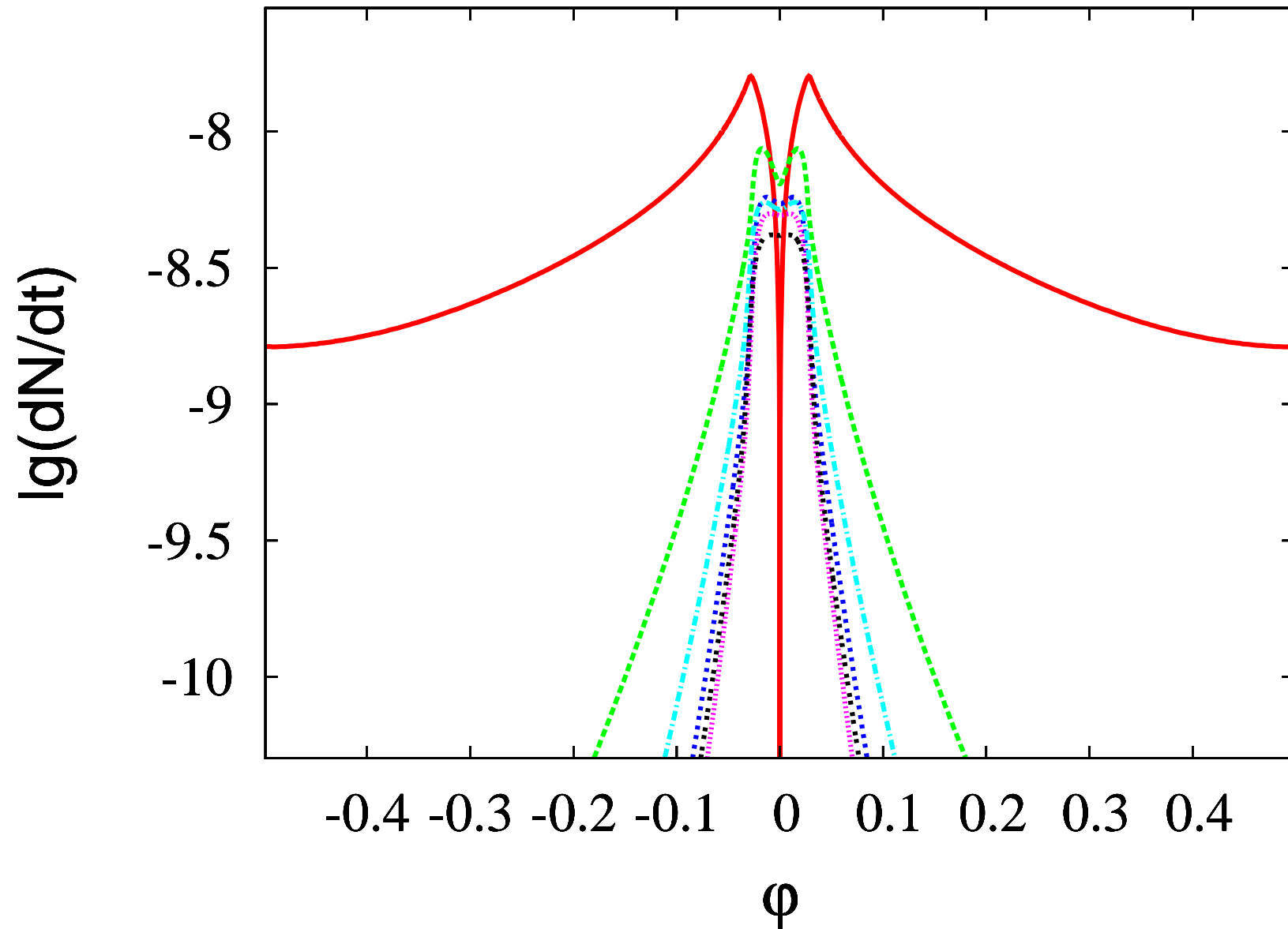
Энергия фотонов равна 100 кэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.71, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = \pi$

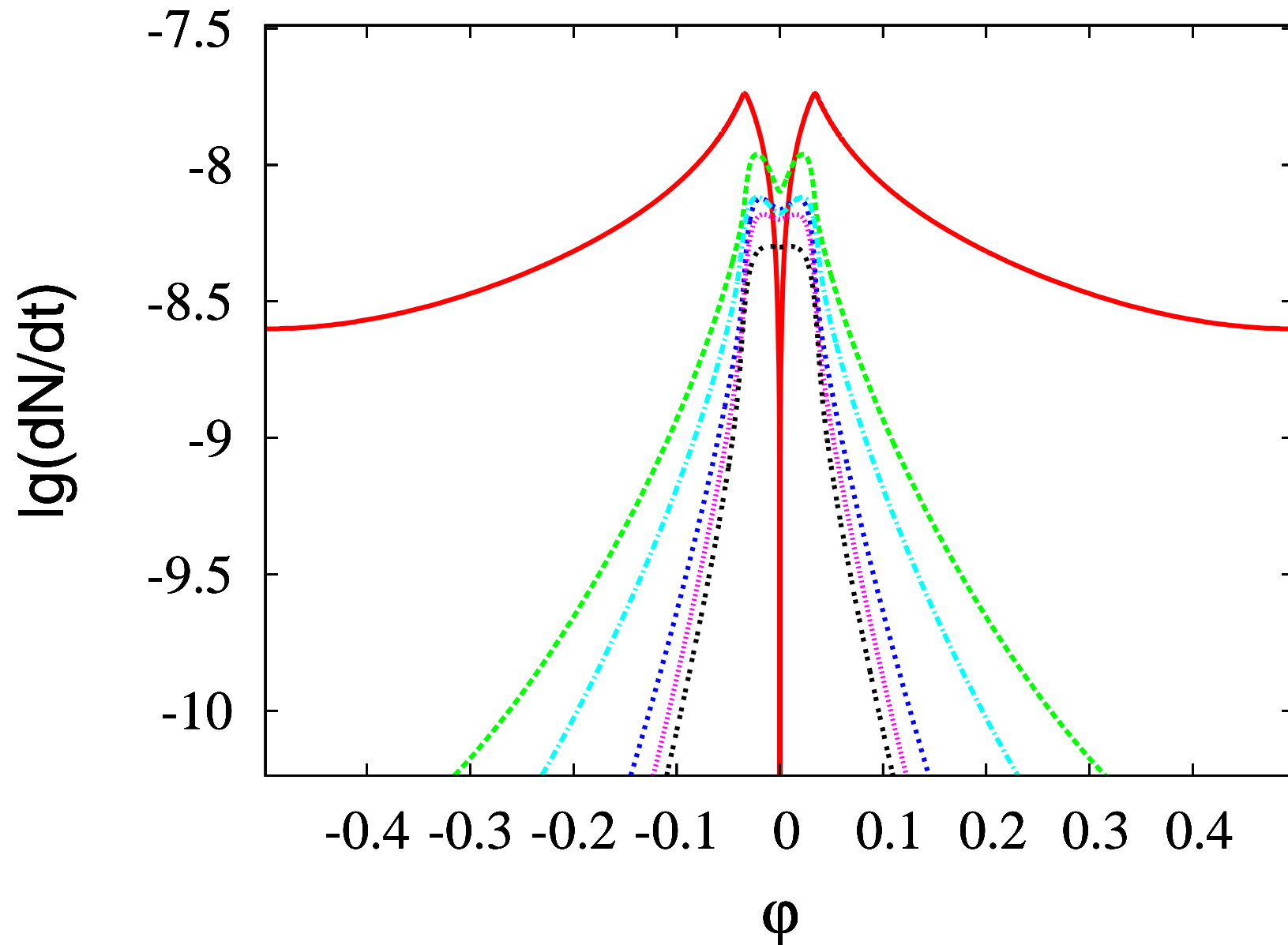
Энергия фотонов равна 100 кэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.0$

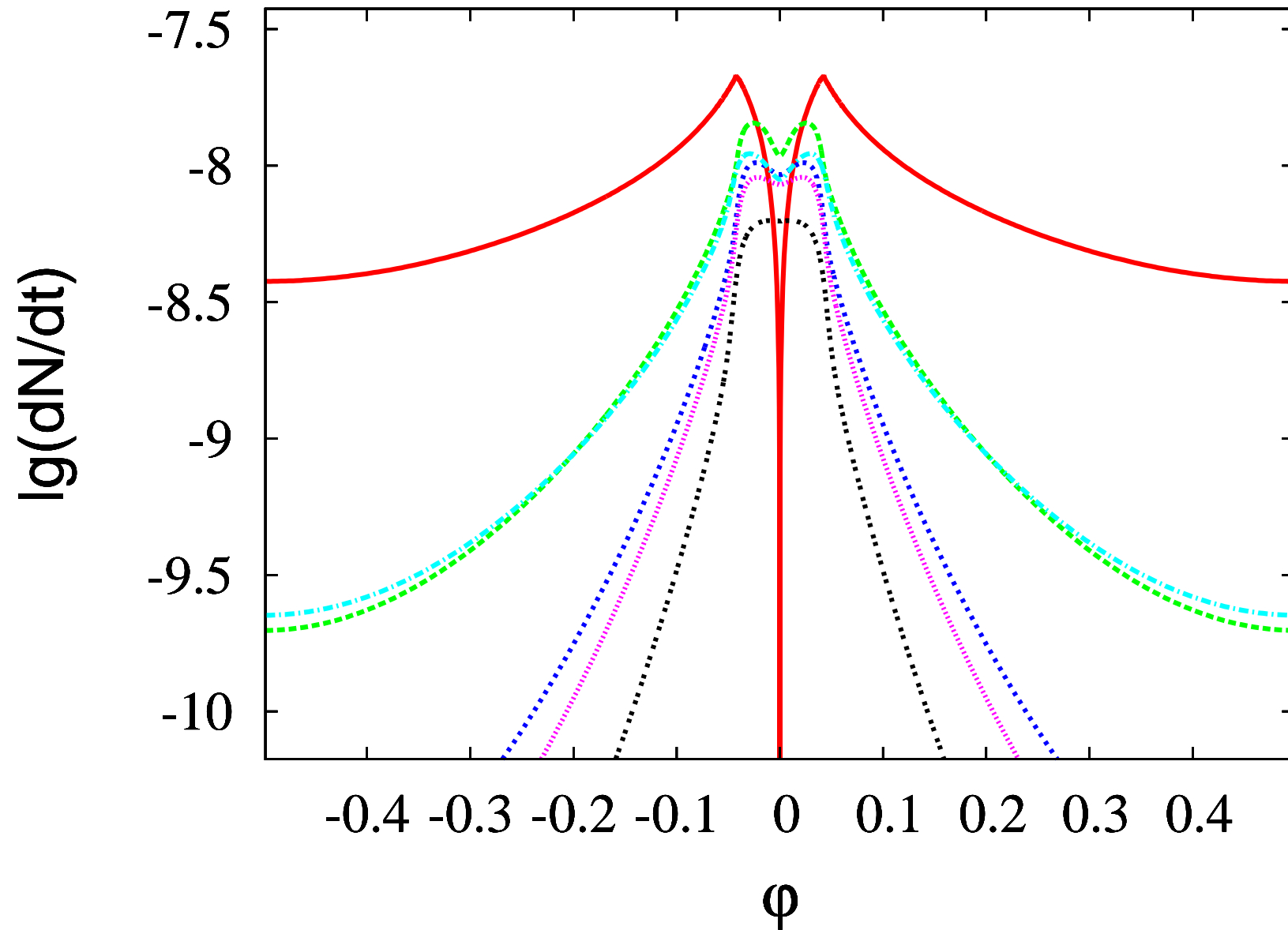
Энергия фотонов равна 100 кэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.22, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = 0$

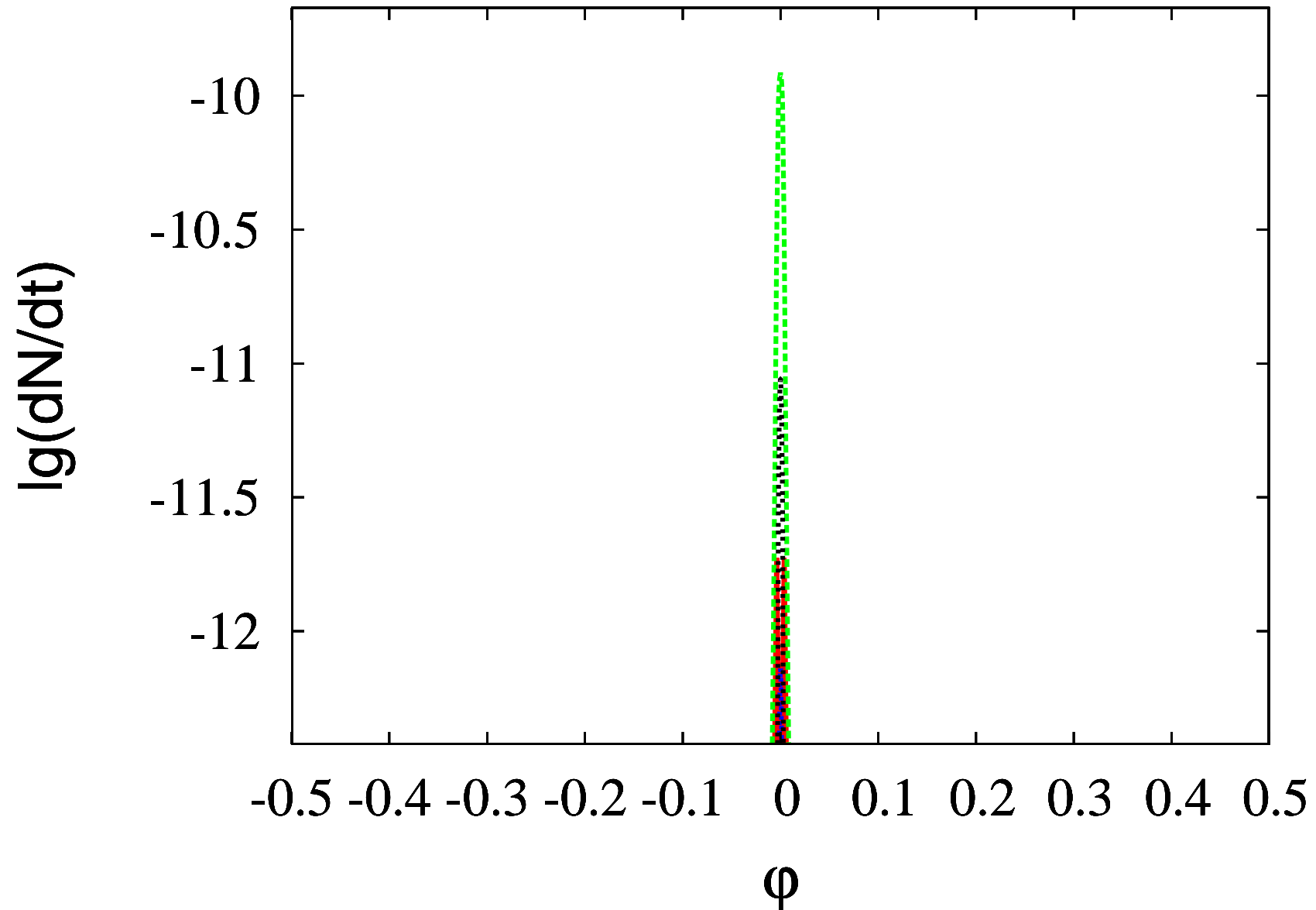
Энергия фотонов равна 100 кэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.5$

Энергия фотонов равна 100 кэВ.

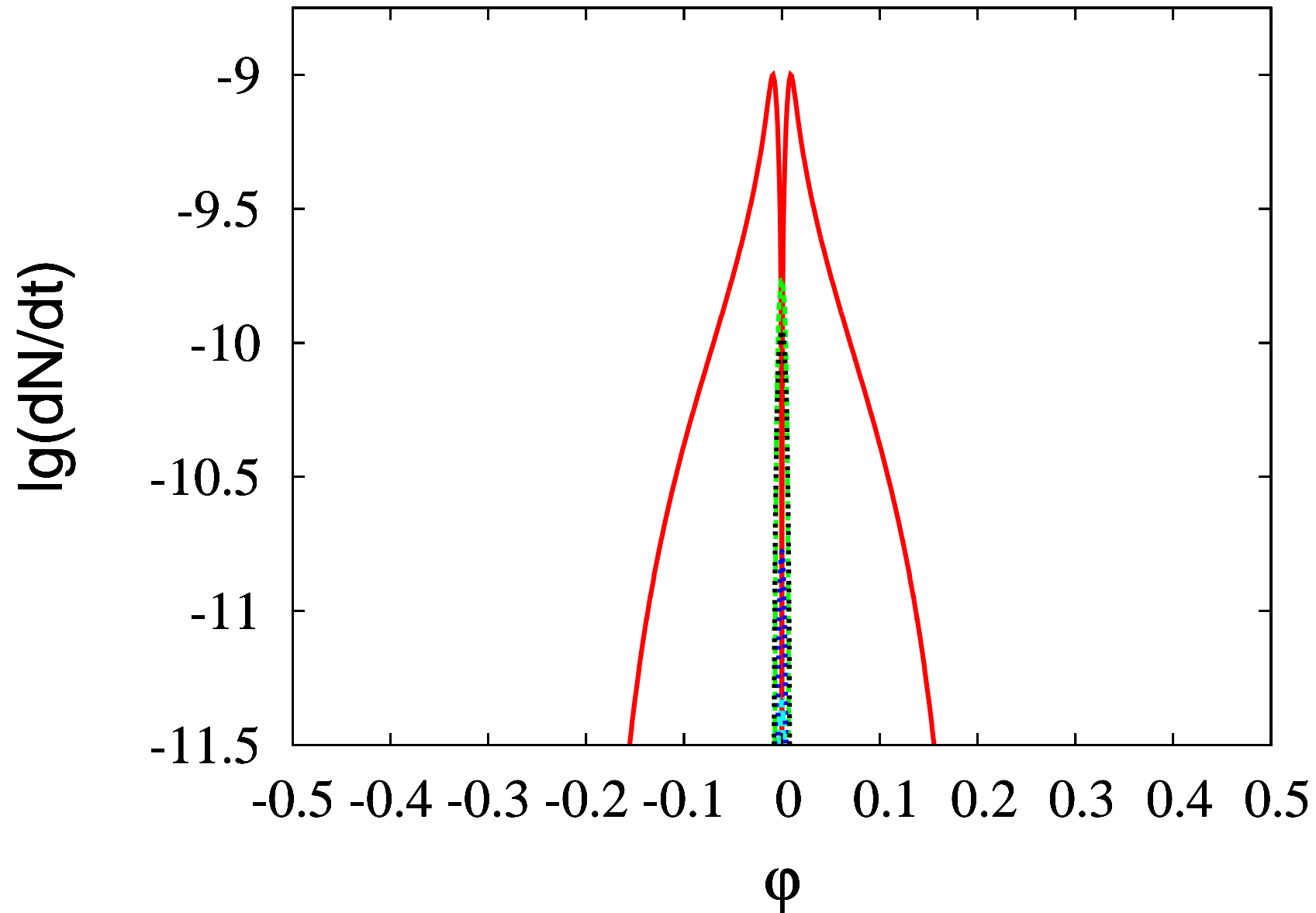


То же, что на рис.5

$B = 0.2$ ,  $P = 0.5$ ,  $\chi = 10^\circ$ ,  $k = 0.15$ ,  $\Delta = 0.1$ ,  $\gamma = \pi$ ,  $d = 0.2$

Энергия фотонов равна 1 МэВ.

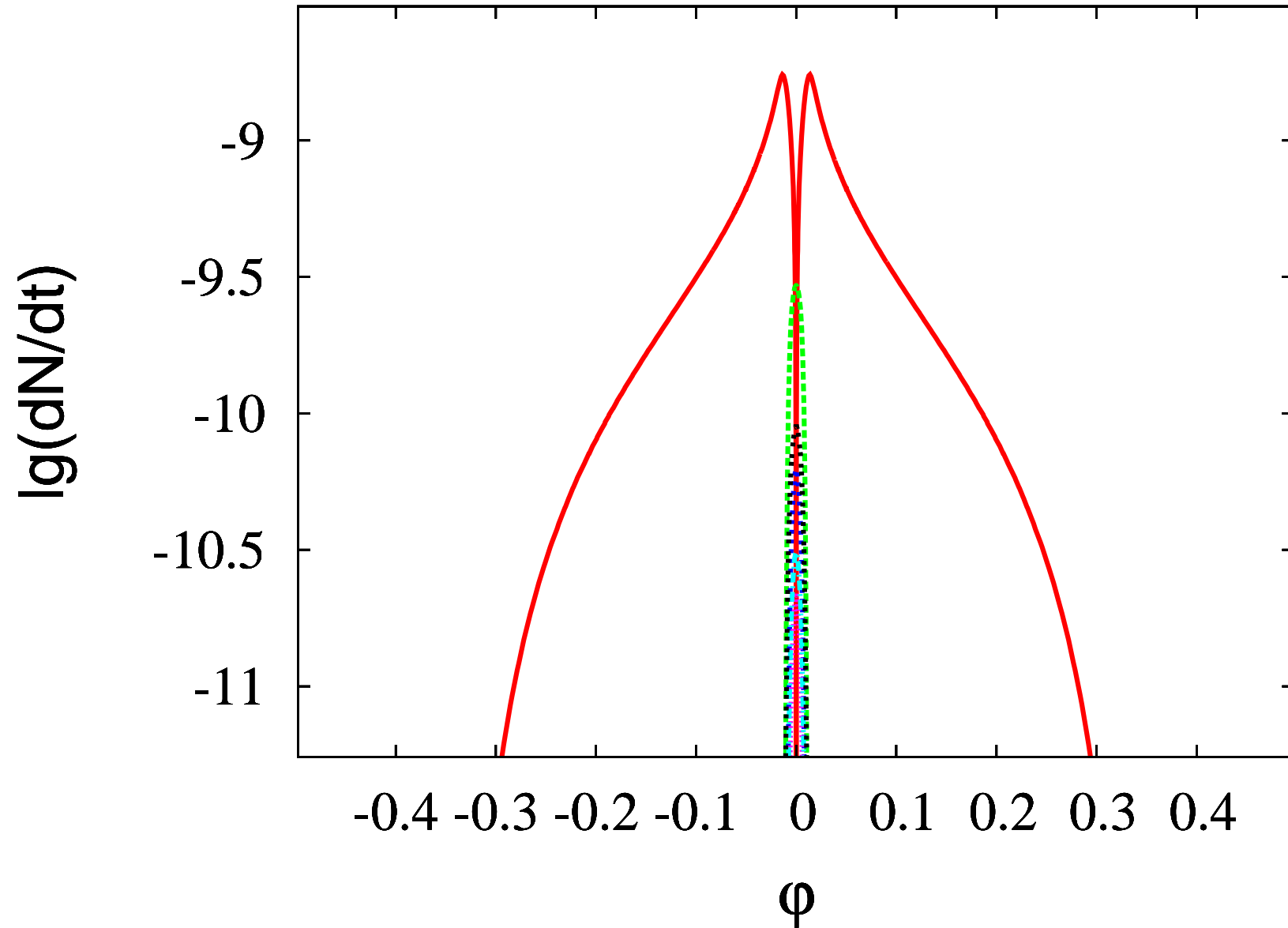




То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.363, \frac{\Omega b}{c} = \frac{1}{3}$

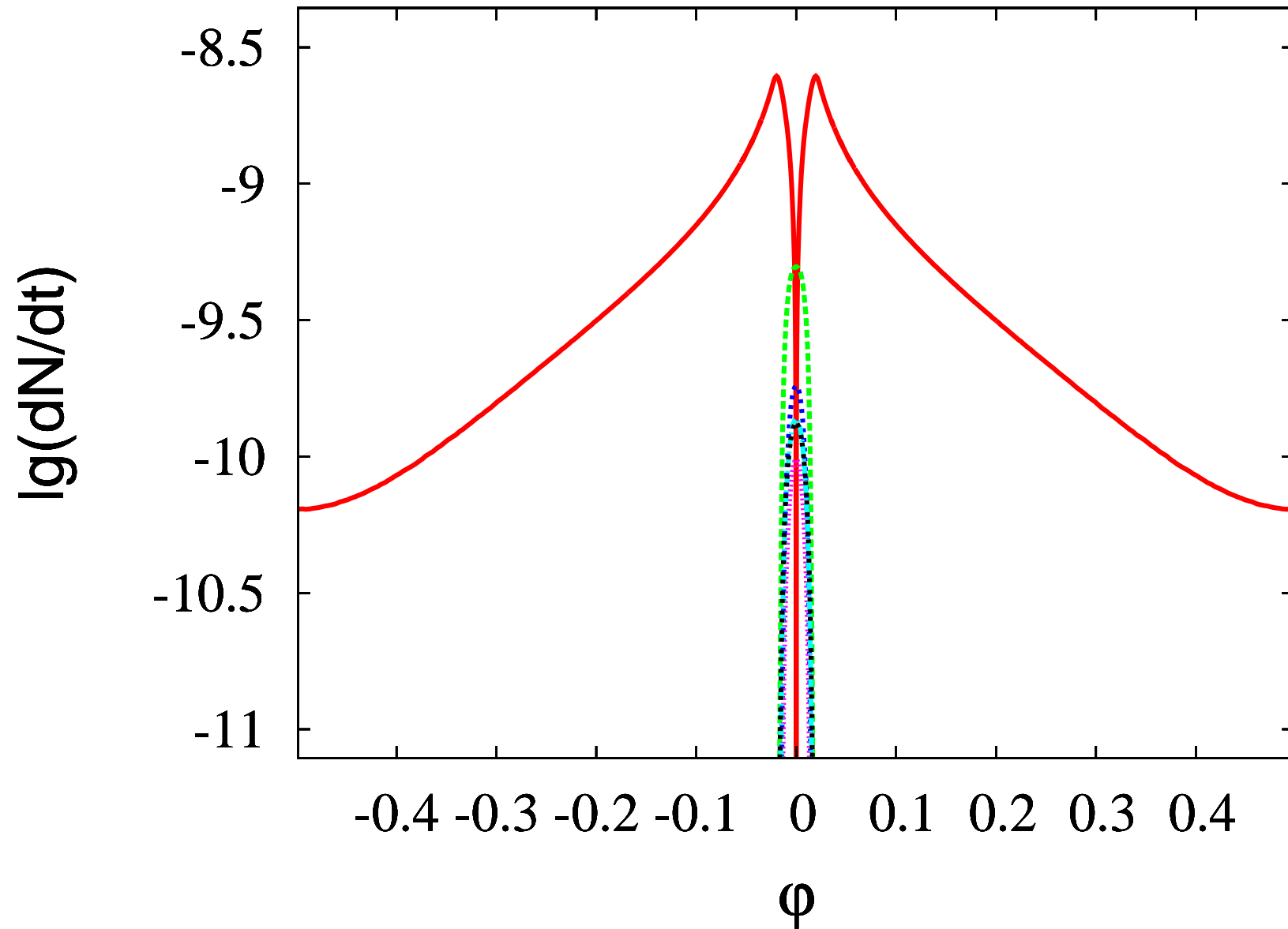
Энергия фотонов равна 1 МэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.5$

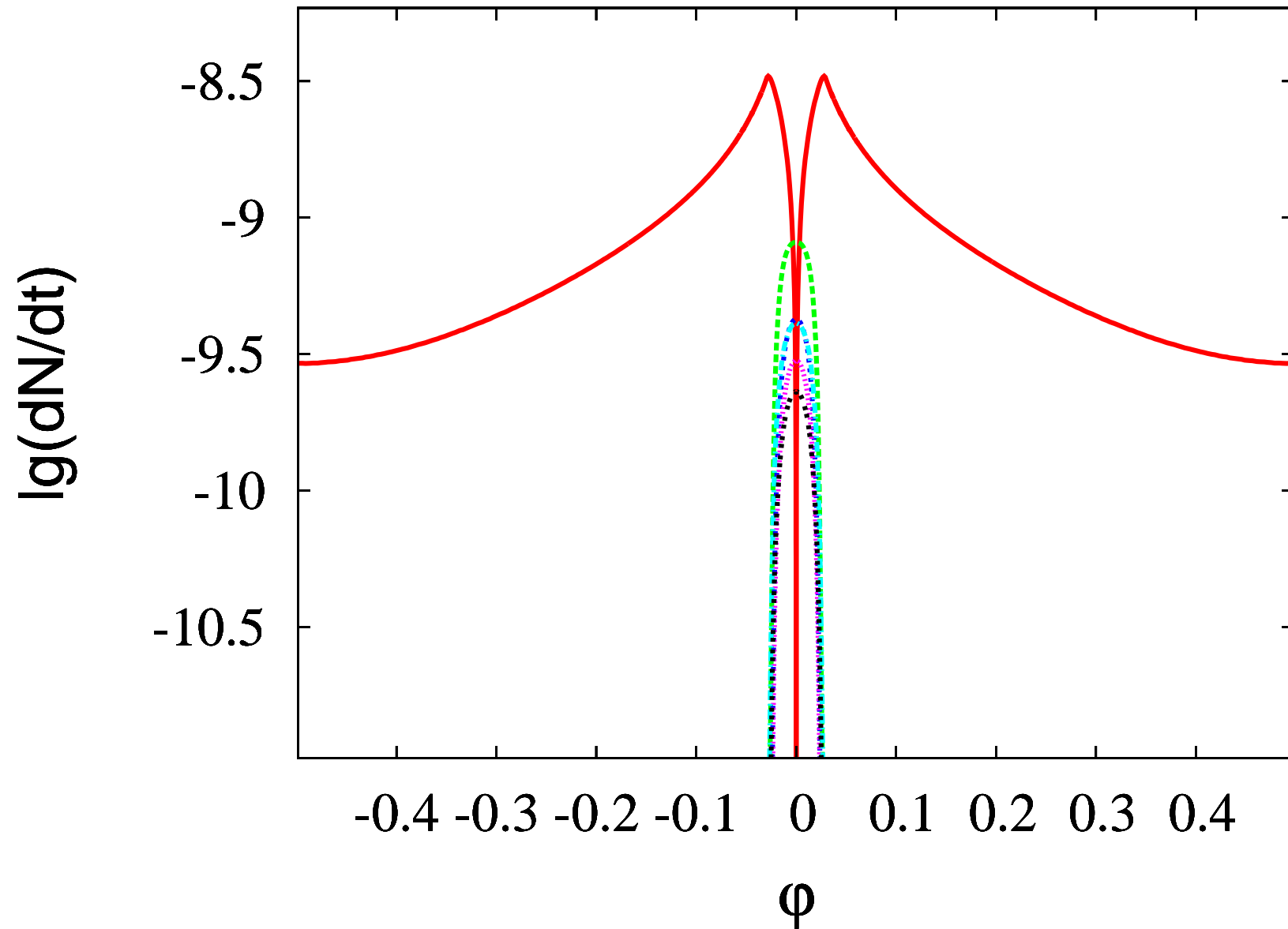
Энергия фотонов равна 1 МэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.71, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = \pi$

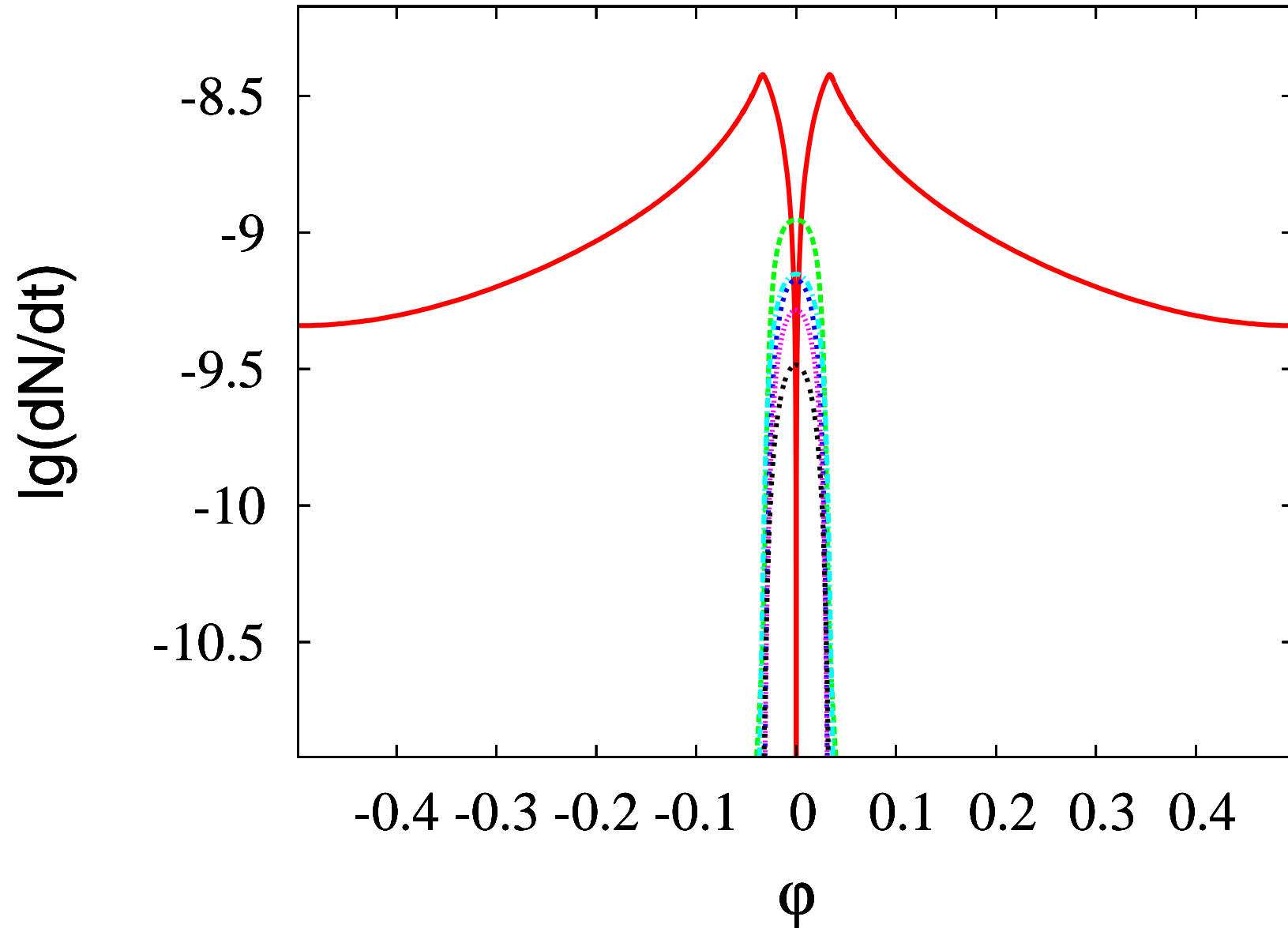
Энергия фотонов равна 1 МэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.0$

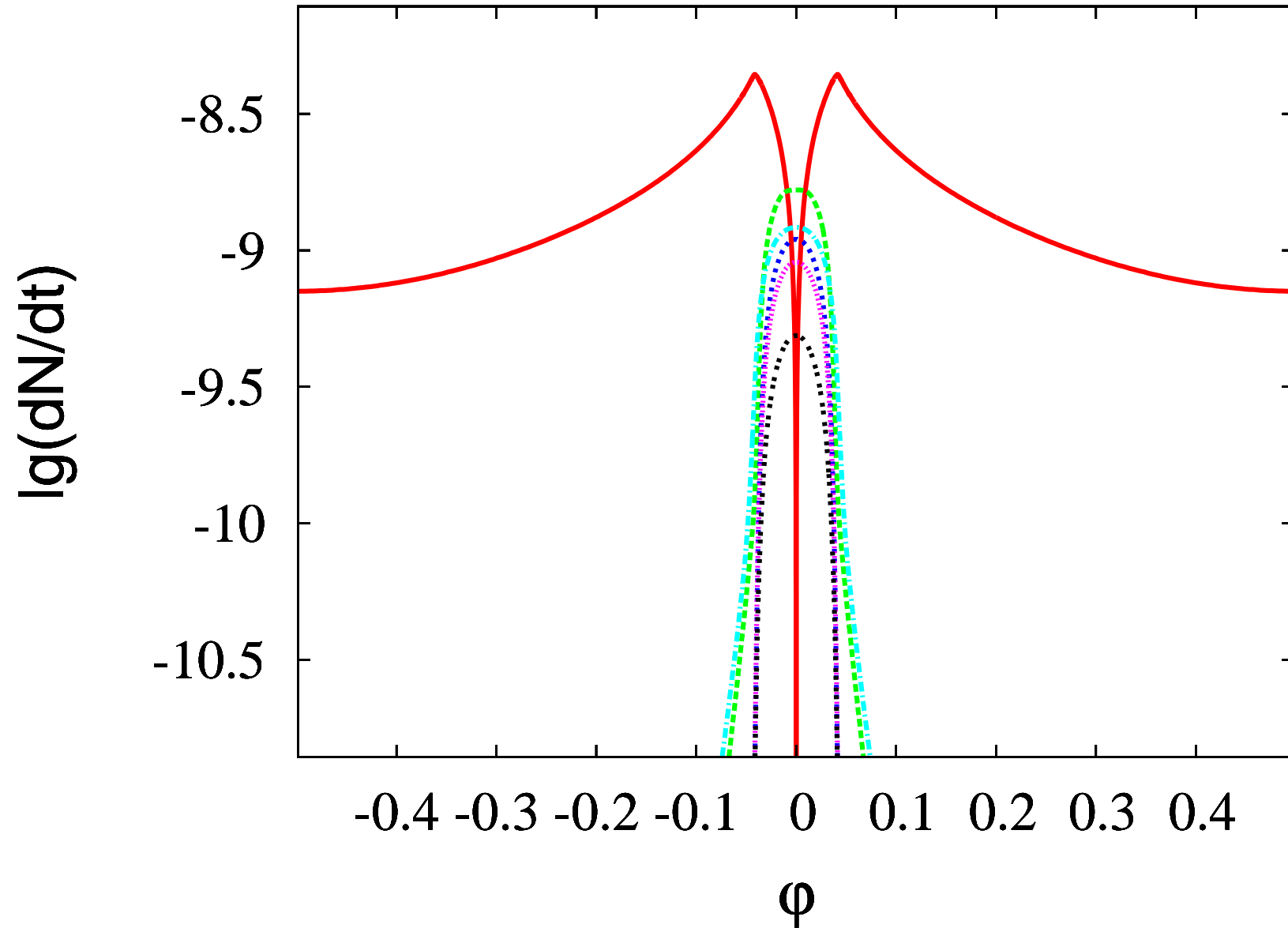
Энергия фотонов равна 1 МэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.22, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = 0$

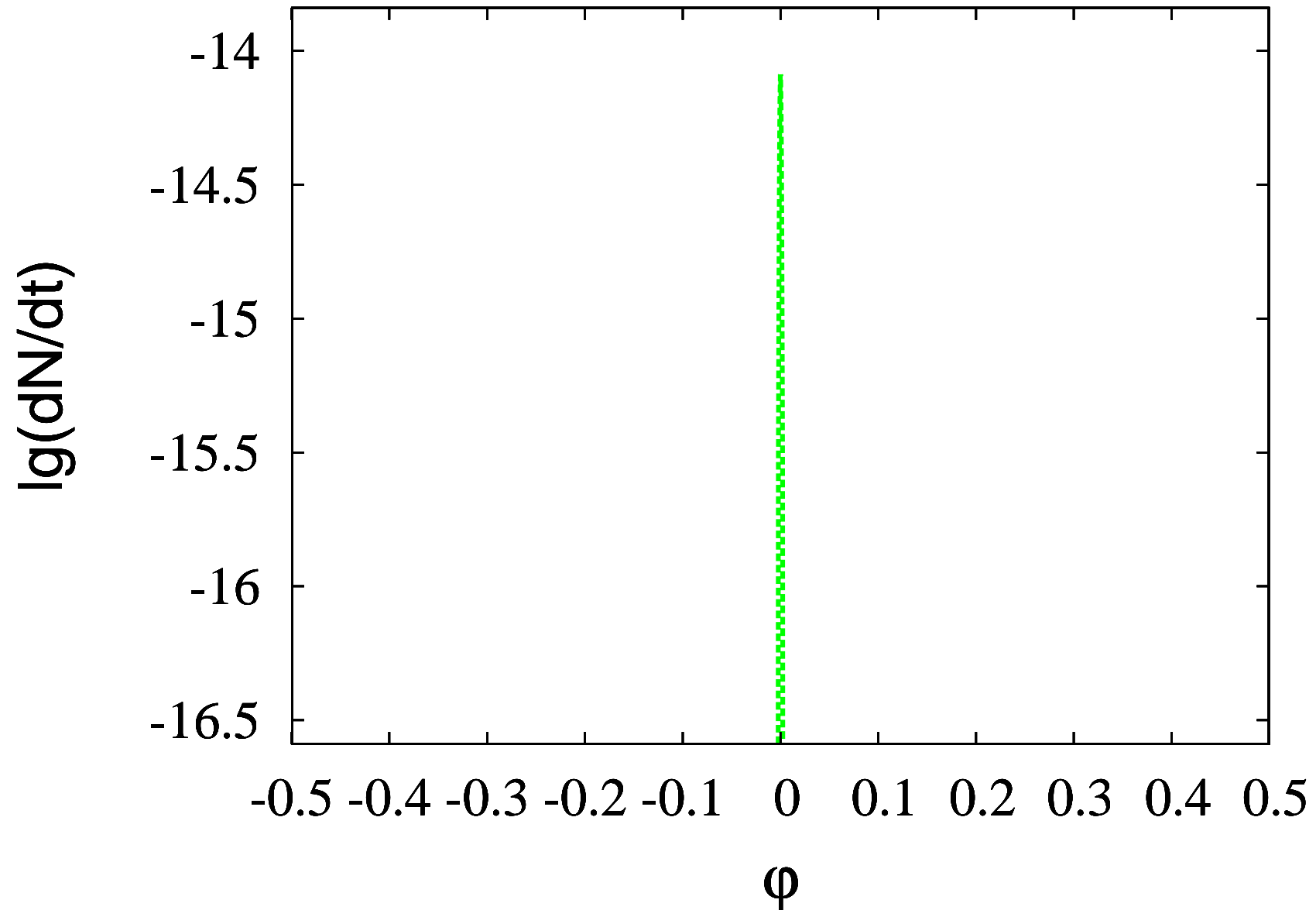
Энергия фотонов равна 1 МэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2$ ,  $P = 0.5$ ,  $\chi = 10^\circ$ ,  $k = 0.15$ ,  $\Delta = 0.1$ ,  $\gamma = \pi$ ,  $d = 1.5$

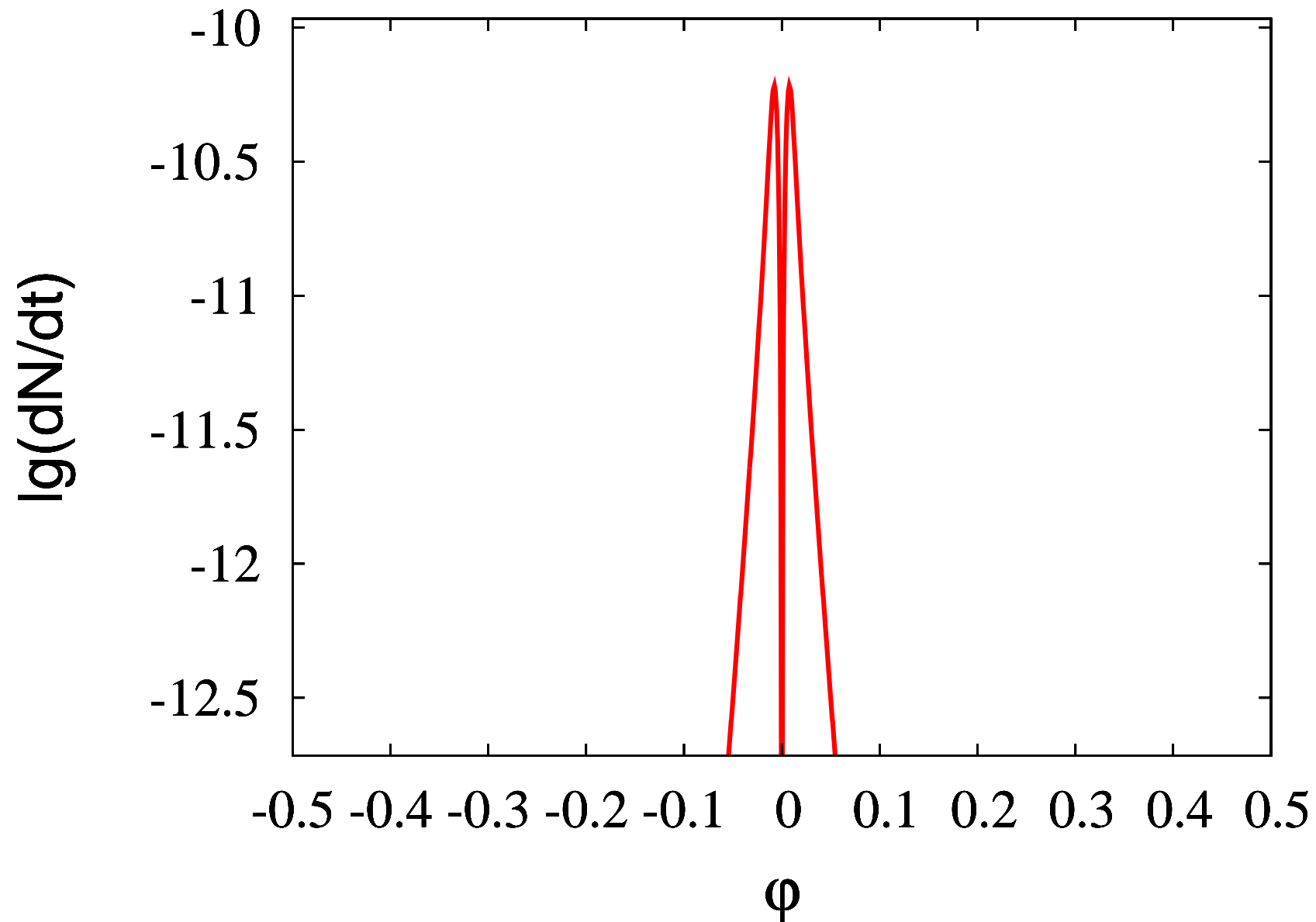
Энергия фотонов равна 1 МэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2$ ,  $P = 0.5$ ,  $\chi = 10^\circ$ ,  $k = 0.15$ ,  $\Delta = 0.1$ ,  $\gamma = \pi$ ,  $d = 0.2$

Энергия фотонов равна 10 МэВ.

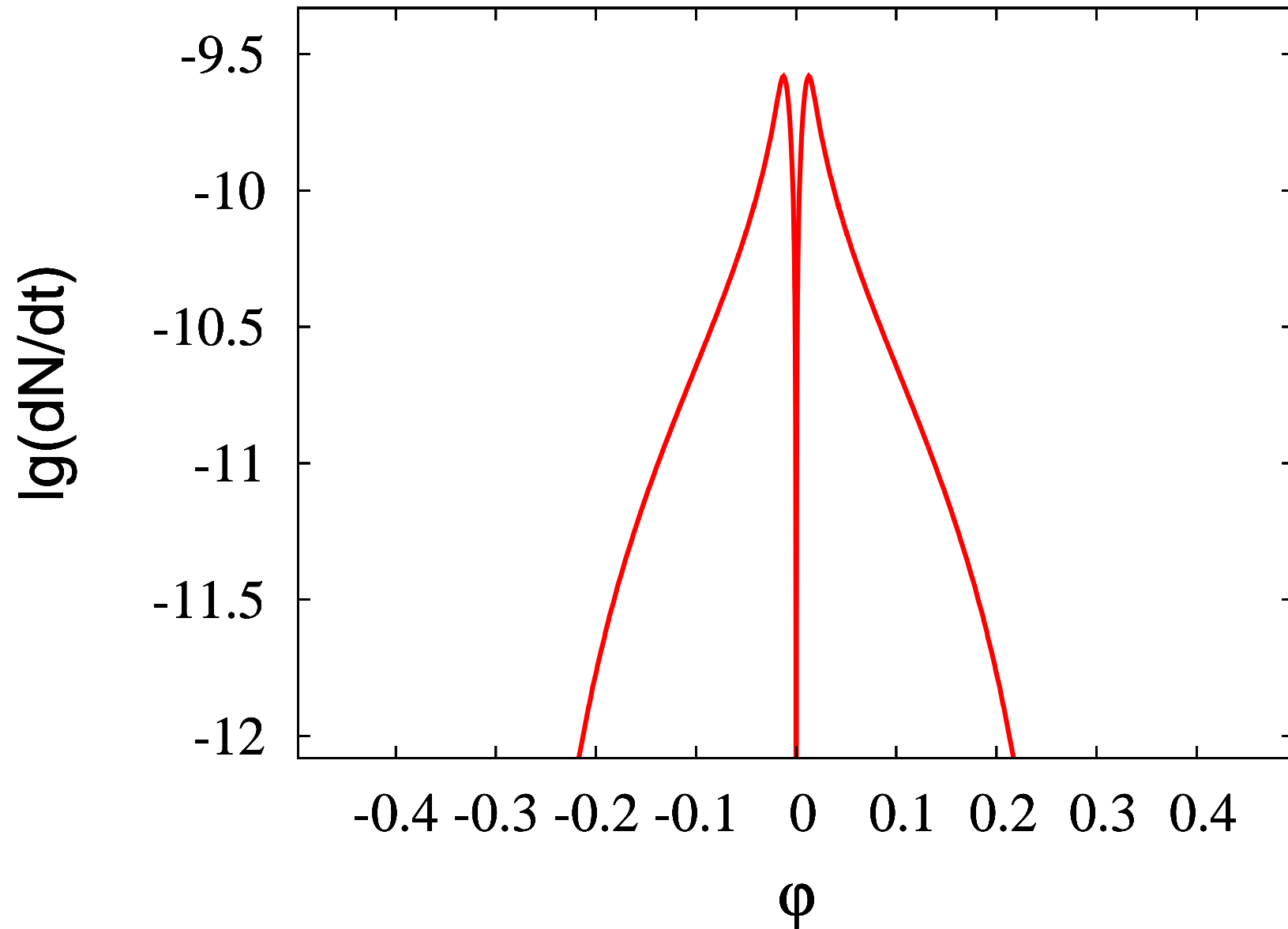


То же, что на рис.5

$B = 0.2$ ,  $P = 0.5$ ,  $\chi = 10^\circ$ ,  $k = 0.15$ ,  $\Delta = 0.1$ ,  $\gamma = \pi$ ,  $d = 0.363$ ,  $\frac{\Omega b}{c} = \frac{1}{3}$

Энергия фотонов равна 10 МэВ.

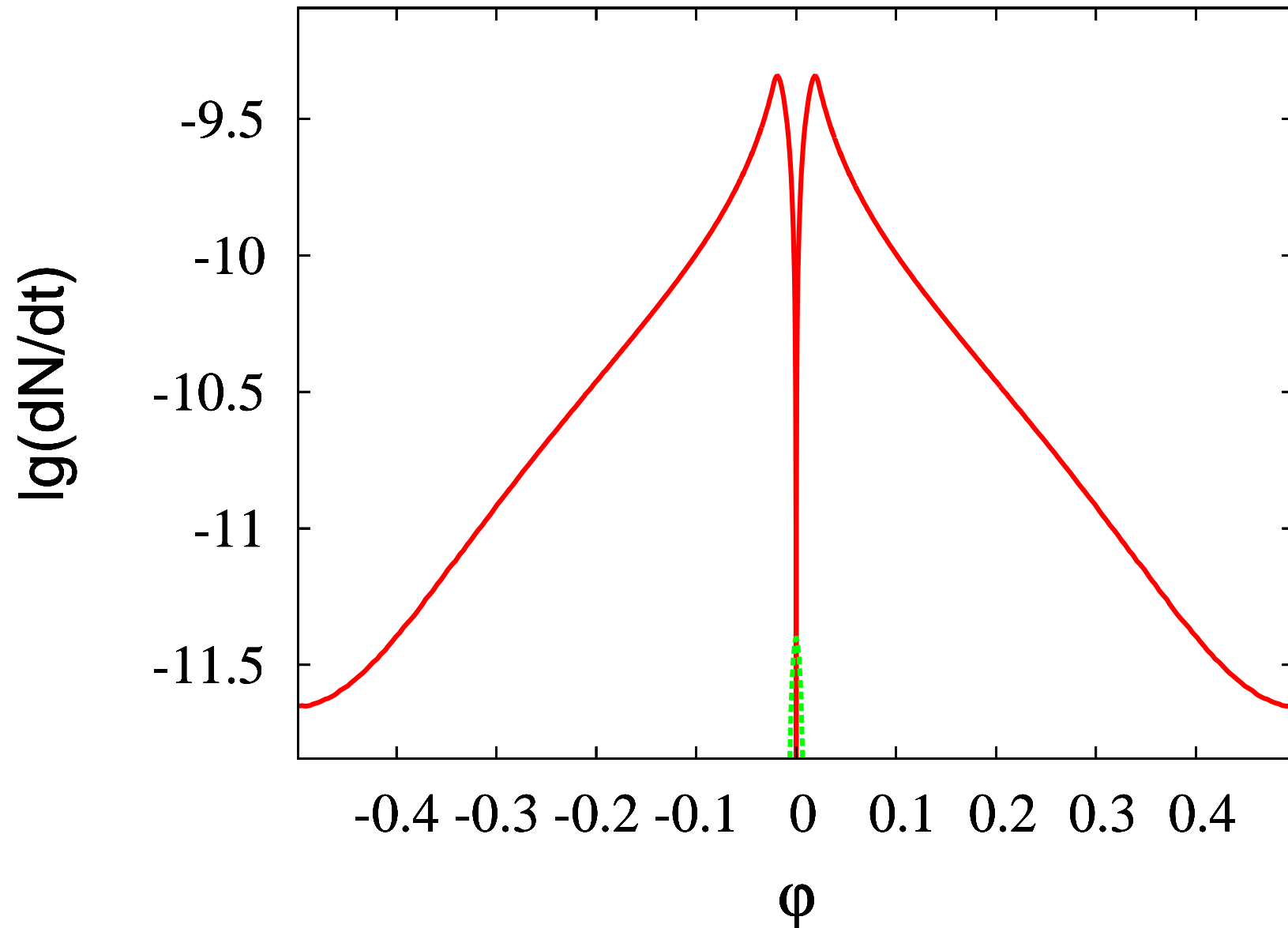




То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.5$

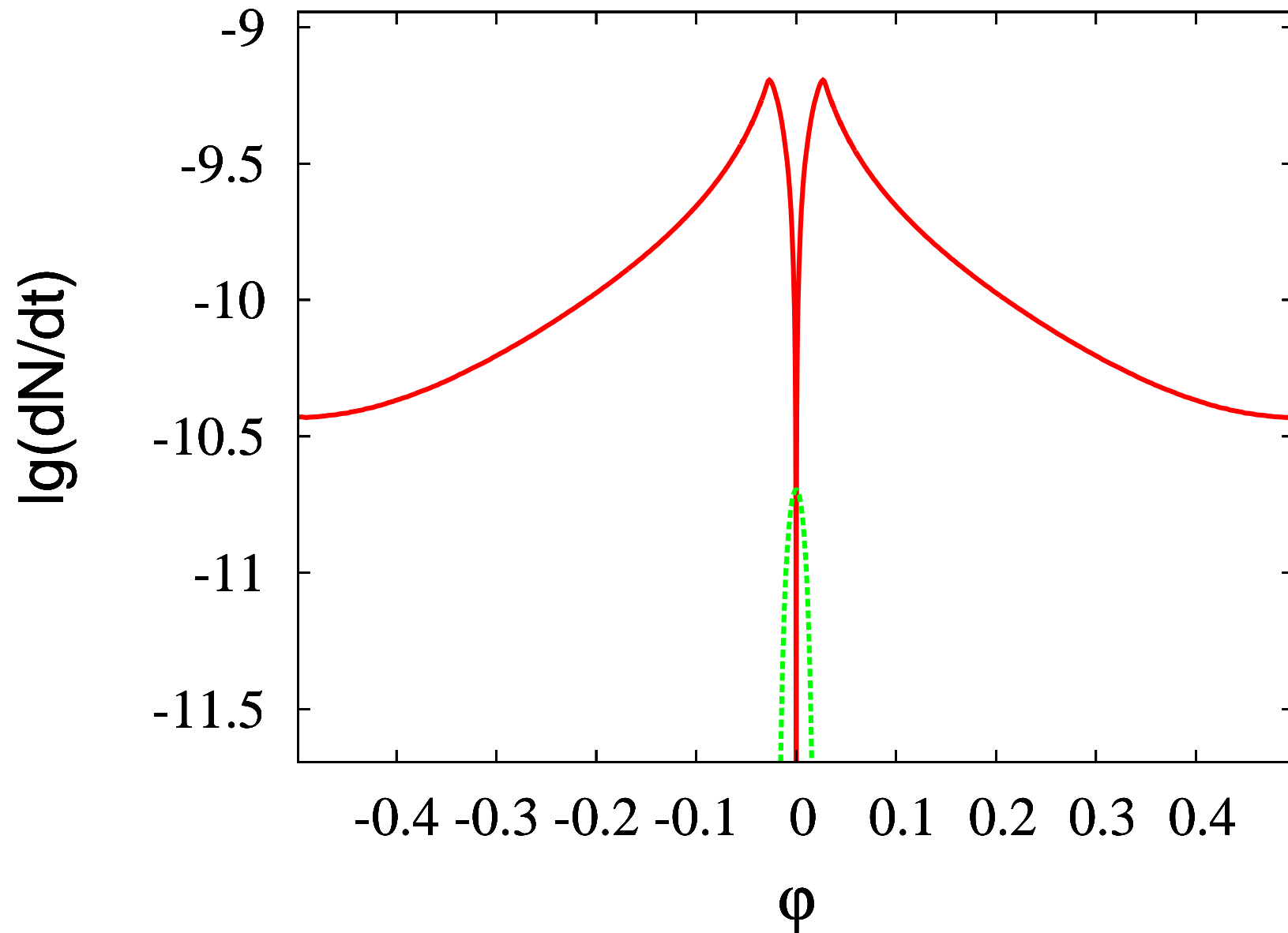
Энергия фотонов равна 10 МэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 0.71, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = \pi$

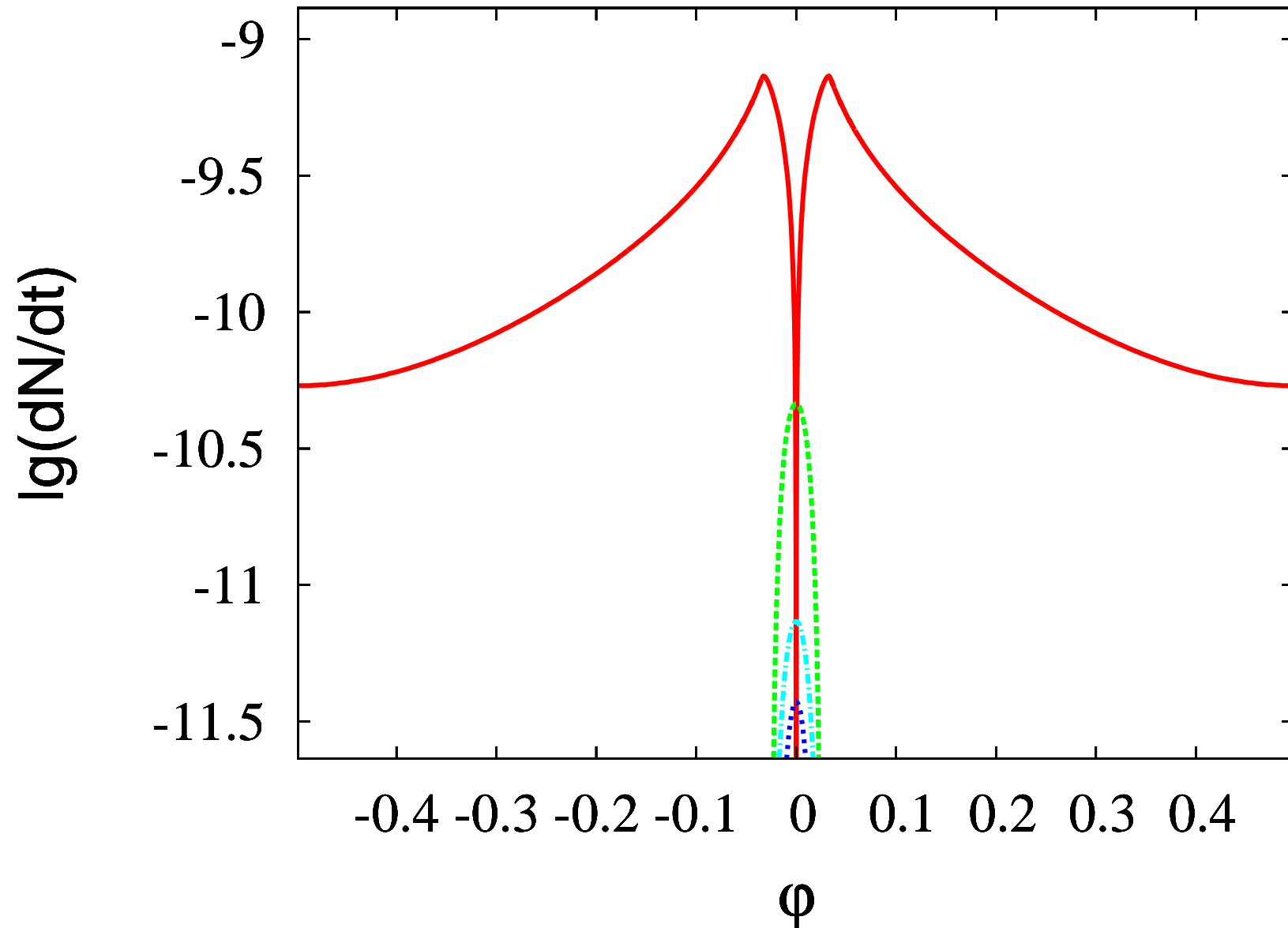
Энергия фотонов равна 10 МэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.0$

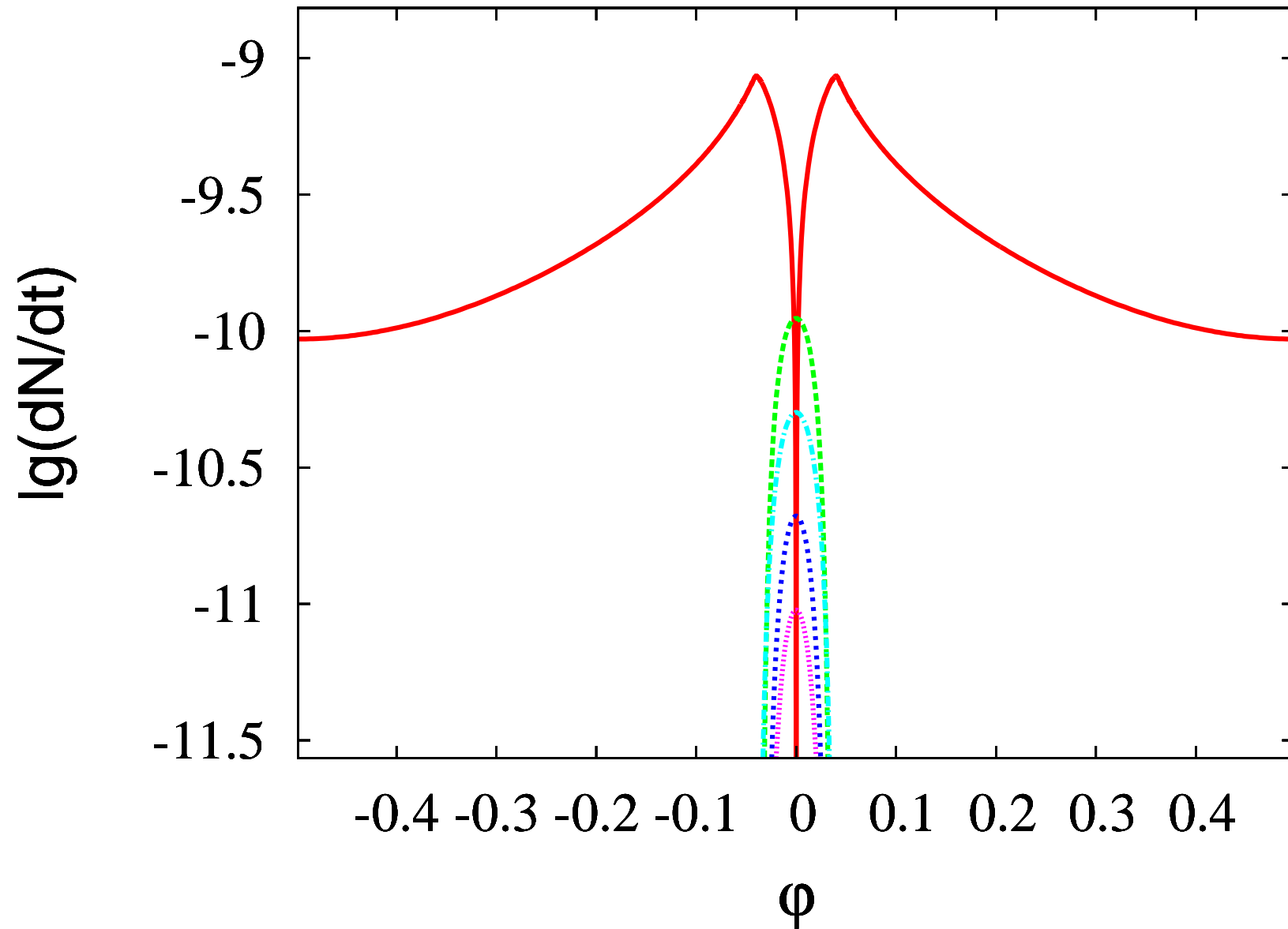
Энергия фотонов равна 10 МэВ.



То же, что на рис.5

$B = 0.2, P = 0.5, \chi = 10^\circ, k = 0.15, \Delta = 0.1, \gamma = \pi, d = 1.22, \alpha_b = \frac{1}{2}, \beta = 0$

Энергия фотонов равна 10 МэВ.

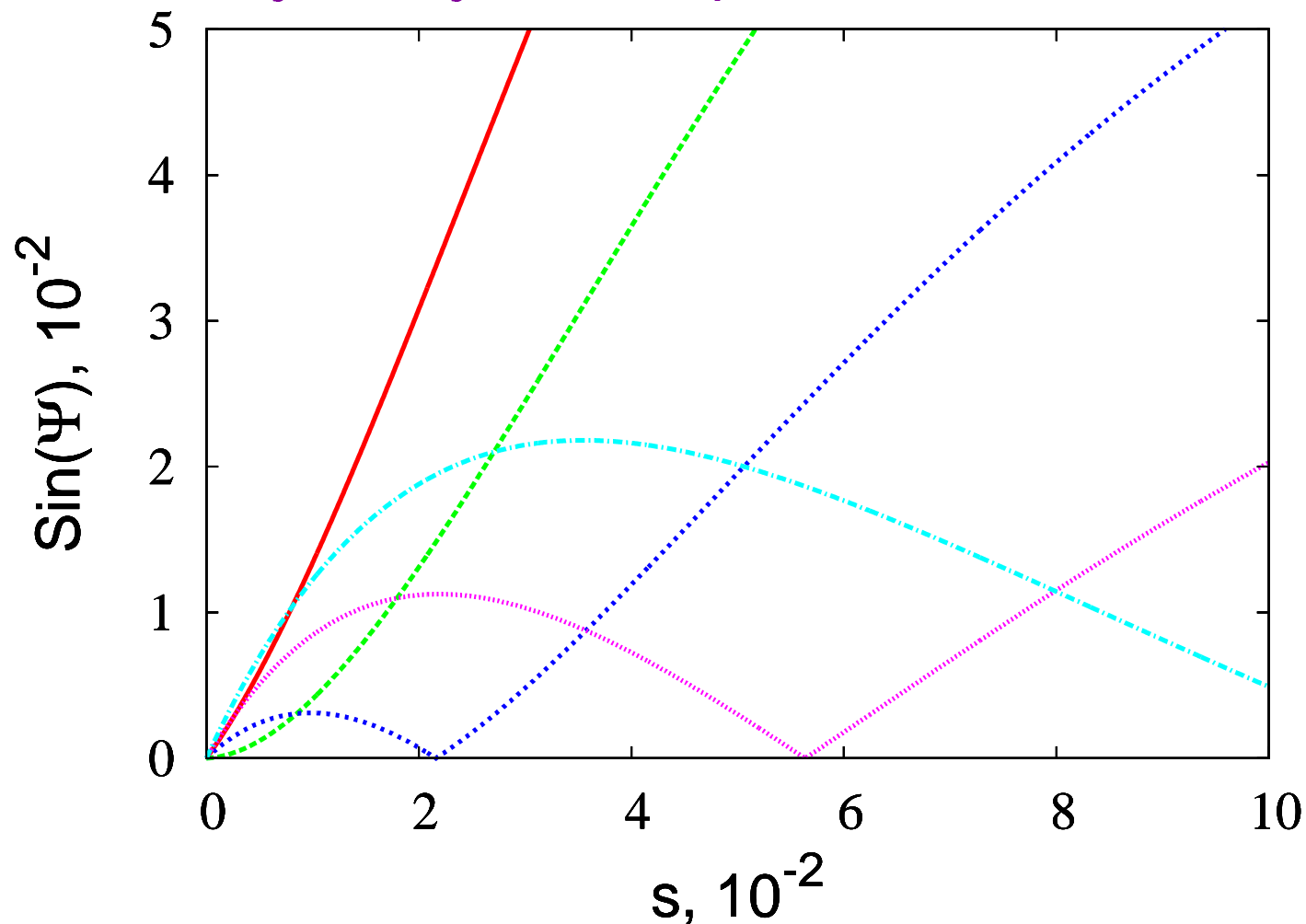


То же, что на рис.5

$B = 0.2$ ,  $P = 0.5$ ,  $\chi = 10^\circ$ ,  $k = 0.15$ ,  $\Delta = 0.1$ ,  $\gamma = \pi$ ,  $d = 1.5$

Энергия фотонов равна 10 МэВ.

# Угол между импульсом фотона и магнитным полем

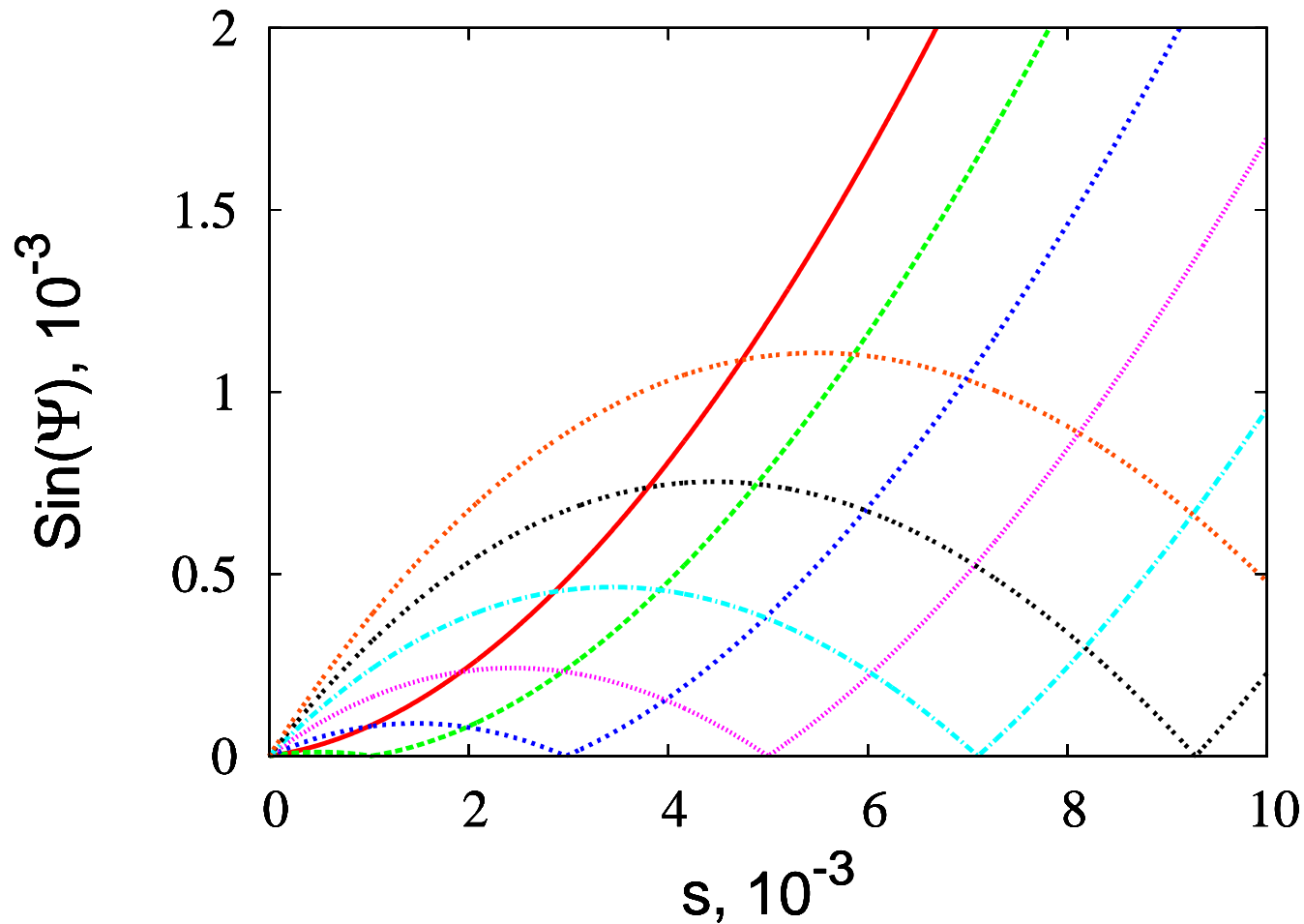


На рисунке показана зависимость угла между импульсом фотона и направлением магнитного поля от пройденного фотоном пути. Фотон стартует из точки  $(z = 10^{-2}, \theta, \phi = 0)$ .

Сплошная (красная) кривая соответствует точке старта с  $\theta = 3 \cdot 10^{-2}$ , штриховая с длинным штрихом (зеленая)–  $\theta = 4 \cdot 10^{-2}$ , штриховая с коротким штрихом (синяя)–  $\theta = 5 \cdot 10^{-2}$ , пунктирная (фиолетовая)–  $\theta = 6 \cdot 10^{-2}$ , штрих-пунктирная (сине-зеленая)–  $\theta = 7 \cdot 10^{-2}$

Параметры магнитного поля  $B = 0.2, \nu = 0.6, \Delta = 0.1$

Длина пройденного фотоном пути измеряется в радиусах нейтронной звезды.



На рисунке показана зависимость угла между импульсом фотона и направлением магнитного поля от пройденного фотоном пути. Фотон стартует из точки  $(z = 10^{-2}, \theta, \phi = 0)$ .

Сплошная (красная) кривая соответствует точке старта с  $\theta = 4.0 \cdot 10^{-2}$ , штриховая с длинным штрихом (зеленая)–  $\theta = 4.1 \cdot 10^{-2}$ , штриховая с коротким штрихом (синяя)–  $\theta = 4.2 \cdot 10^{-2}$ , пунктирная (фиолетовая)–  $\theta = 4.3 \cdot 10^{-2}$ , штрих-пунктирная (сине-зеленая)–  $\theta = 4.4 \cdot 10^{-2}$ , пунктирная со сдвоенным штрихом (черная)–  $\theta = 4.5 \cdot 10^{-2}$ , пунктирная со строенным штрихом (красная)–  $\theta = 4.6 \cdot 10^{-2}$

Параметры магнитного поля  $B = 0.2, \nu = 0.6, \Delta = 0.1$

Длина пройденного фотоном пути измеряется в радиусах нейтронной звезды.

# Результаты

Рассмотрено влияние радиуса пульсарной трубки открытых силовых линий магнитного поля на изгибное гамма-излучение полярных областей радиопульсара с недипольным магнитным полем.

Показано, что наличие небольшой недипольности позволит радиопульсару не выключатся даже при значительном уменьшении радиуса пульсарной трубки. Например пульсар с  $B = 10^{13}$  Гс и  $P = 0.5$  сек при наличии 20% ( $\nu = 0.2$ ) недипольности будет продолжать работать даже при уменьшении радиуса пульсарной трубки в 5 раз.

Также показано, что в зависимости электростатического потенциала в диоде от параметра недипольности  $\nu$  может наблюдаться максимум при значениях  $\nu = 0.5 - 0.7$ .

Показано, что профиль импульса в нетеплового рентгеновского излучения при  $\nu = 0.5 - 0.7$  может выглядеть практически также, как при  $\nu = 0.1 - 0.2$ .



Авторы благодарят В.Д.Пальшина и А.И.Чугунова за помощь в численном счете, Е.М. Кантор, М.Е.Гусакова, М.В.Уланова и Ю.А.Шибанова за поддержку и ценные замечания, А.Н.Тимохина за поддержку.

Работа поддержана программой "Ведущие научные школы РФ"(грант НШ-9879.2006.2).

# Список литературы

- [1] A.N.Timokhin, MNRAS, V.368, p.1055 (2006)
- [2] J.J.Aly, Astron. Astrophys., V.86, p.192 (1980)
- [3] A.I.Tsygan, MNRAS, V.292, p.317 (1997)
- [4] A.N.Timokhin, astro-ph/0607165 v2 (2006)
- [5] Бескин В.С. "Осесимметричные стационарные течения в астрофизике", М. Физматлит 2006
- [6] В.Д.Пальшин, А.И.Цыган "Рентгеновское излучение полярных областей радиопульсаров. Недипольное поле."Препринт Физ.-тех. ин-та им. А.Ф.Иоффе №1718 (С.-Петербург, 1998)
- [7] A.Bardou, J.Heuvaerts, Astron. Astrophys., V.307, p.1009 (1996)
- [8] A.Bardou, MNRAS, V.306, p.669 (1999)
- [9] Е.М.Кантор, А.И.Цыган, Астрон. журн., т.80, с.665 (2003)
- [10] Д.П.Барсуков, Е.М.Кантор, А.И.Цыган, Астрон. журн., т.83, с.184 (2006)