Рассеяние электрона на потенциальной ступеньке

Стационарное уравнение Шредингера
(одномерное движение)

$$\hat{H}\psi(x) = E\psi(x)$$

$\hat{H}$ – оператор Гамильтона,

$\psi(x)$ – волновая функция,

E – энергия электрона,

$\hat{H} = -\dfrac{\hbar^2}{2m_e}\dfrac{d^2}{dx^2} + U(x)$ – явный вид гамильтониана,

m_e – масса электрона,

$U(x)$ – потенциальная энергия электрона.

$$U(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ |U|, & x > 0 \end{cases}$$

1. Условие $E > |U|$

Расчёт волновых функций

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m_e}\frac{d^2}{dx^2} + U(x)\right)\psi(x) = E\psi(x)$$

<u>Область</u> $x < 0$

$$-\frac{\hbar^2}{2m_e}\frac{d^2}{dx^2}\psi(x) = E\psi(x)$$

Или

$$\frac{\hbar^2}{2m_e}\frac{d^2}{dx^2}\psi(x) + E\psi(x) = 0$$

$$\psi''(x) + k^2\psi(x) = 0, \text{ где } k^2 = \frac{2m_e}{\hbar^2}E$$

$$\psi(x) = Ae^{ikx} + Be^{-ikx}.$$

Если электрон падает на ступеньку слева с вероятностью 1, то $A = 1$

$$\psi(x) = e^{ikx} + Be^{-ikx}$$

<u>Область</u> $x > 0$

Уравнение Шредингера имеет вид

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m_e}\frac{d^2}{dx^2} + |U|\right)\psi(x) = E\psi(x)$$

$$\psi''(x) + k'^2\psi(x) = 0, \quad \text{где } k'^2 = \frac{2m_e}{\hbar^2}\left(E - |U|\right)$$

$$\psi(x) = Ce^{ik'x}$$

Общий вид волновой функции

$$\psi(x)=\begin{cases} e^{ikx}+Be^{-ikx}, & x<0 \\ Ce^{ik'x}, & x>0 \end{cases}$$

$|B|^2$ – вероятность отражения электрона от барьера,

$|C|^2$ – вероятность проникновения электрона за барьер.

Цель занятия: $B = ?$, $C = ?$.

Расчёт B и C

условие непрерывности функций в точке $x = 0$

$$\psi(x)\,\big|_{x=-0}=\psi(x)\,\big|_{x=+0}$$

условие гладкости функций в точке $x = 0$

$$\psi'(x)\,\big|_{x=-0}=\psi'(x)\,\big|_{x=+0}$$

$$\psi'(x)=\begin{cases} ike^{ikx}-ikBe^{-ikx}, & x<0 \\ ik'Ce^{ik'x}, & x>0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1+B=C \\ ik-ikB=Cik' \end{cases}$$

$$k-kB=(1+B)k'$$

$$k-k'=B(k+k')$$

$$B=\frac{k-k'}{k+k'},$$

$$C=\frac{2k}{k+k'},$$

где $k^2=\dfrac{2m_e}{\hbar^2}E$, $k'^2=\dfrac{2m_e}{\hbar^2}\left(E-|U|\right)$.

$$B=\frac{\sqrt{E}-\sqrt{E-|U|}}{\sqrt{E}+\sqrt{E-|U|}}$$

$$C=\frac{2\sqrt{E}}{\sqrt{E}+\sqrt{E-|U|}}$$

$$\begin{cases} B=\dfrac{\sqrt{E}-\sqrt{E-|U|}}{\sqrt{E}+\sqrt{E-|U|}} \\ C=\dfrac{2\sqrt{E}}{\sqrt{E}+\sqrt{E-|U|}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} |B|^2 = \left(\dfrac{\sqrt{E}-\sqrt{E-|U|}}{\sqrt{E}+\sqrt{E-|U|}}\right)^2 - \textit{вероятность отражения электрона} \\ |C|^2 = \left(\dfrac{2\sqrt{E}}{\sqrt{E}+\sqrt{E-|U|}}\right)^2 - \textit{вероятность прохождения электрона} \end{cases}$$

$$|B|^2 = R - \textit{вероятность отражения электрона от барьера}$$

$$R = \left(\frac{\sqrt{E}-\sqrt{E-|U|}}{\sqrt{E}+\sqrt{E-|U|}}\right)^2 = \left(\frac{1-\sqrt{1-\frac{|U|}{E}}}{1+\sqrt{1-\frac{|U|}{E}}}\right)^2, \quad E > |U|$$

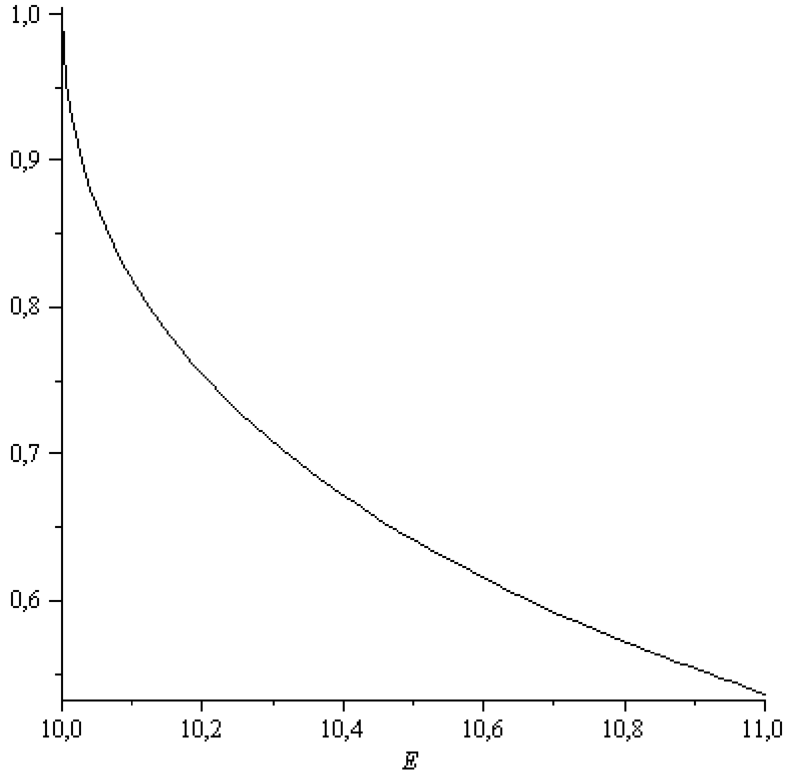

Рис. 1. ($E > |U|$)

Зависимость коэффициента отражения R от энергии электрона E в интервале U<E<1.1U, когда U=10эВ

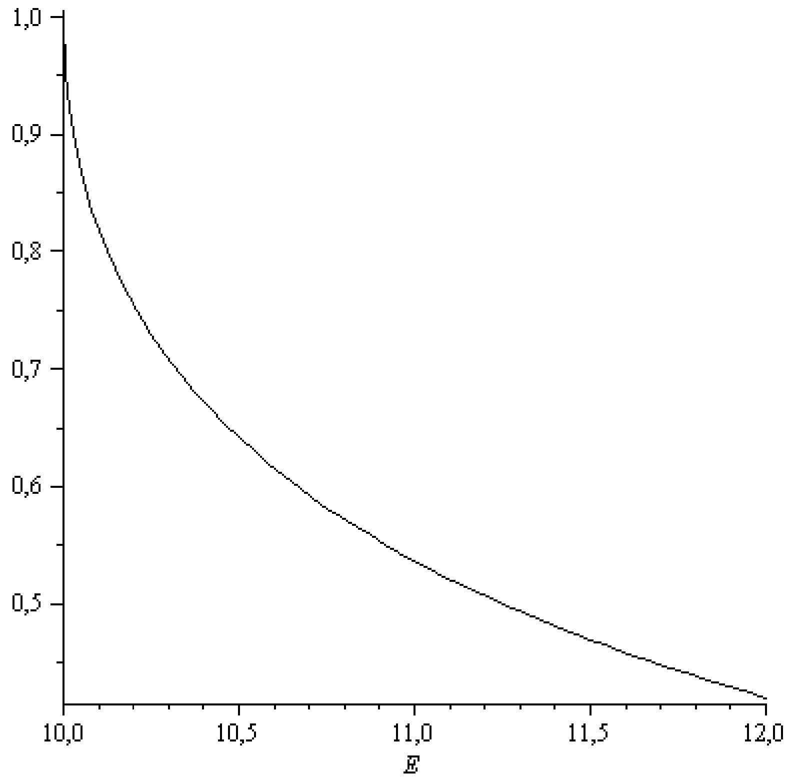

Рис. 2. ($E > |U|$)

Зависимость коэффициента отражения R от энергии электрона E в интервале U<E<1.2U, когда U=10Эв.

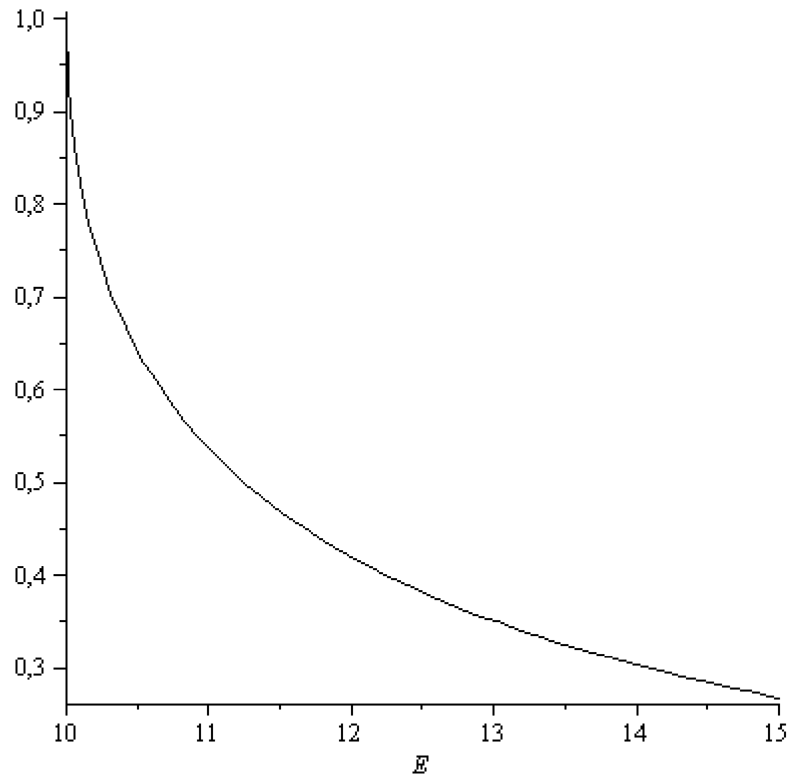

Рис. 3. ($E > |U|$)

Зависимость коэффициента отражения R от энергии электрона E в интервале U<E<1.5U, когда U=10Эв.

2. Условие $0 < E < |U|$

$$U(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ |U|, & x > 0 \end{cases}$$

Область $x < 0$

$$-\frac{\hbar^2}{2m_e}\frac{d^2}{dx^2}\psi(x) = E\psi(x)$$

Или

$$\frac{\hbar^2}{2m_e}\frac{d^2}{dx^2}\psi(x) + E\psi(x) = 0$$

$$\psi''(x) + k^2\psi(x) = 0\text{, где } k^2 = \frac{2m_e}{\hbar^2}E$$

$$\psi(x) = Ae^{ikx} + Be^{-ikx}.$$

Если электрон падает на ступеньку слева с вероятностью 1, то $A = 1$

$$\psi(x) = e^{ikx} + Be^{-ikx}, \quad x < 0$$

Область $x > 0$

Уравнение Шредингера имеет вид

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m_e}\frac{d^2}{dx^2} + |U|\right)\psi(x) = E\psi(x)$$

$$0 < E < |U|$$

$$\frac{\hbar^2}{2m_e}\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + \left(E - |U|\right)\psi(x) = 0$$

то есть $\left(E - |U|\right) < 0$

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} - \frac{2m_e}{\hbar^2}\left(|U| - E\right)\psi(x) = 0$$

$$\frac{2m_e}{\hbar^2}\left(|U| - E\right) = \alpha^2$$

$$\psi''(x) - \alpha^2\psi(x) = 0, \quad 0 < E < |U|$$

$$\psi(x) = Fe^{-\alpha x} + Ge^{\alpha x}, \quad x > 0$$

$$\psi(x) = Fe^{-\alpha x}, \quad x > 0$$

$$\psi(x) = \begin{cases} e^{ikx} + Be^{-ikx}, & x < 0 \\ Fe^{-\alpha x}, & x > 0 \end{cases}$$

Расчёт B и F

условие непрерывности функций в точке $x = 0$

$$\psi(x)\ \Big|_{x=-0} = \psi(x)\ \Big|_{x=+0}$$

условие гладкости функций в точке $x = 0$

$$\psi'(x)\ \Big|_{x=-0} = \psi'(x)\ \Big|_{x=+0}$$

$$\psi'(x)=\begin{cases} ike^{ikx}-ikBe^{-ikx}, & x<0 \\ -\alpha Fe^{-\alpha x}, & x>0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1+B=F \\ ik-ikB=-\alpha F \end{cases}$$

$$ik-ikB=-\alpha(1+B)$$

$$ik+\alpha=-\alpha B+ikB$$

$$B=\frac{ik+\alpha}{ik-\alpha}$$

$$1+\frac{ik+\alpha}{ik-\alpha}=F$$

$$F=\frac{2ik}{ik-\alpha}$$

$$0<E<|U|$$

$$\psi(x)=\begin{cases} e^{ikx}+Be^{-ikx}, & x<0 \\ Fe^{-\alpha x}, & x>0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} B=\dfrac{ik+\alpha}{ik-\alpha} \\ F=\dfrac{2ik}{ik-\alpha} \end{cases}$$

$$\begin{cases} k^2=\dfrac{2m_e}{\hbar^2}E \\ \alpha^2=\dfrac{2m_e}{\hbar^2}(|U|-E) \end{cases}$$

$|B|^2=R-$ *вероятность отражения электрона от барьера*

$R=\dfrac{|ik+\alpha|^2}{|ik-\alpha|^2}=\dfrac{\alpha^2+k^2}{\alpha^2+k^2}=1-$ **не зависит от энергии электрона E и** $|U|$

$$\psi(x)=Fe^{-\alpha x},\ \ x>0$$

$$\psi(x)=\frac{2ik}{ik-\alpha}e^{-\alpha x},\ \ x>0$$

$$|\psi(x)|^2=\left|\frac{2ik}{ik-\alpha}\right|^2e^{-2\alpha x},\ \ x>0$$

$$|\psi(x)|^2=\frac{4E}{|U|}e^{-2\alpha x},\ \ x>0$$

$$|\psi(x)|^2=\frac{4E}{|U|}e^{-2x\sqrt{\frac{2m_e}{\hbar^2}(|U|-E)}},\ \ x>0$$

x_0- расстояние, где $|\psi(x)|^2$ убывает в е раз

$$2x_0\sqrt{\frac{2m_e}{\hbar^2}(|U|-E)}=1$$

$$x_0 = \frac{1}{2\sqrt{\frac{2m_e}{\hbar^2}\left(|U|-E\right)}}$$

Заключение
Электрон рассеивается на барьере

$$U(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ |U|, & x > 0 \end{cases},$$

1. $0 < E < |U|$**,**

$$|\psi(x)|^2 = \frac{4E}{|U|} e^{-2x\sqrt{\frac{2m_e}{\hbar^2}\left(|U|-E\right)}}, \quad x > 0,$$

$R -$ *вероятность отражения электрона от барьера*,

$R = 1 -$ **не зависит от энергии электрона E и** $|U|$

2. $R = \left(\frac{\sqrt{E}-\sqrt{E-|U|}}{\sqrt{E}+\sqrt{E-|U|}}\right)^2 = \left(\frac{1-\sqrt{1-\frac{|U|}{E}}}{1+\sqrt{1-\frac{|U|}{E}}}\right)^2, \quad E > |U|$

Рассеяние электрона на прямоугольном потенциальном барьере

Стационарное уравнение Шредингера
(одномерное движение)

$$\hat{H}\psi(x) = E\psi(x)$$

$\hat{H}$ – оператор Гамильтона,

$\psi(x)$ – волновая функция,

E – энергия электрона,

$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m_e}\frac{d^2}{dx^2} + U(x)$ – явный вид гамильтониана,

m_e – масса электрона,

$U(x)$ – потенциальная энергия электрона.

$$U(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \quad x > a \\ |U_0|, & 0 < x < a \end{cases}$$

Условие $E > |U_0|$

Расчёт волновых функций

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m_e}\frac{d^2}{dx^2} + U(x)\right)\psi(x) = E\psi(x)$$

Область $x < 0$

$$-\frac{\hbar^2}{2m_e}\frac{d^2}{dx^2}\psi(x) = E\psi(x)$$

Или

$$\frac{\hbar^2}{2m_e}\frac{d^2}{dx^2}\psi(x) + E\psi(x) = 0$$

$$\psi''(x) + k^2\psi(x) = 0, \text{ где } k^2 = \frac{2m_e}{\hbar^2}E$$

Если электрон падает на ступеньку слева с вероятностью 1, то $A = 1$

$$\psi(x) = e^{ikx} + Ae^{-ikx}, \quad x < 0$$

Область $a < x$

$$-\frac{\hbar^2}{2m_e}\frac{d^2}{dx^2}\psi(x) = E\psi(x)$$

Или

$$\frac{\hbar^2}{2m_e}\frac{d^2}{dx^2}\psi(x) + E\psi(x) = 0$$

$$\psi''(x) + k^2\psi(x) = 0, \text{ где } k^2 = \frac{2m_e}{\hbar^2}E$$

$$\psi(x) = Ge^{ik(x-a)}, \quad x > a$$

Область $0 < x < a$

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m_e}\frac{d^2}{dx^2}+|U_0|\right)\psi(x)=E\psi(x)$$

$$\psi''(x)+k'^2\psi(x)=0\,,\quad \text{где } k'^2=\frac{2m_e}{\hbar^2}\left(E-|U_0|\right)$$

$$\psi(x)=Be^{ik'x}+Ce^{-ik'x},\ \ 0<x<a$$

Общая структура волновой функции

$$\psi(x)=\begin{cases} e^{ikx}+Ae^{-ikx}, & x<0 \\ Be^{ik'x}+Ce^{-ik'x}, & 0<x<a \\ Ge^{ik(x-a)}, & x>a \end{cases}$$

Расчёт $A,\ B,\ C,\ G$

условие непрерывности функций в точке $x=0$

$$\psi(x)\ \big|_{x=-0}=\psi(x)\ \big|_{x=+0}$$

условие гладкости функций в точке $x=0$

$$\psi'(x)\ \big|_{x=-0}=\psi'(x)\ \big|_{x=+0}$$

условие непрерывности функций в точке $x=a$

$$\psi(x)\ \big|_{x=a-0}=\psi(x)\ \big|_{x=a+0}$$

условие гладкости функций в точке $x=a$

$$\psi'(x)\ \big|_{x=a-0}=\psi'(x)\ \big|_{x=a+0}$$

Для реализации этих условий необходима величина

$$\psi'(x)=\begin{cases} ike^{ikx}-ikAe^{-ikx}, & x<0 \\ ik'Be^{ik'x}-ik'Ce^{-ik'x}, & 0<x<a \\ ikGe^{ik(x-a)}, & x>a \end{cases}$$

Условия непрерывности и гладкости волновых функций в точках $x=0$ и $x=a$ приводит к следующей системе линейных алгебраических уравнений

$$\begin{cases} 1+A=B+C \\ ike-ikA=ik'B-ik'C \\ Be^{ik'a}+Ce^{-ik'a}=G \\ ik'Be^{ik'a}-ik'Ce^{-ik'a}=ik'G \end{cases}$$

$G-$ *коэффициент прохождения*,

$$G=\frac{2ikk'}{(k'^2+k^2)\sin(k'a)+2ikk'\cos(k'a)}$$

$D(E)=|G|^2$ – вероятность прохождения электрона через барьер

$$D(E)=\frac{4E\left(E-|U_0|\right)}{4E\left(E-|U_0|\right)+|U_0|^2\sin^2\sqrt{2m_e\left(E-|U_0|\right)a^2/\hbar^2}},\quad E>|U_0|$$

$$2m_e\left(E-|U_0|\right)a^2/\hbar^2=\left(\frac{E}{|U_0|}-1\right)2m_e|U_0|\frac{a^2}{\hbar^2}$$

$$2m_e|U_0|\frac{a^2}{\hbar^2}=\bar{U}_0-\text{БЕЗРАЗМЕРНАЯ ВЕЛИЧИНА}$$

$$1<\frac{E}{|U_0|}=x-\text{безразмерная величина}$$

$$D(x)=\frac{4x(x-1)}{4x(x-1)+\sin^2\sqrt{(x-1)\bar{U}_0}},\quad x>1$$

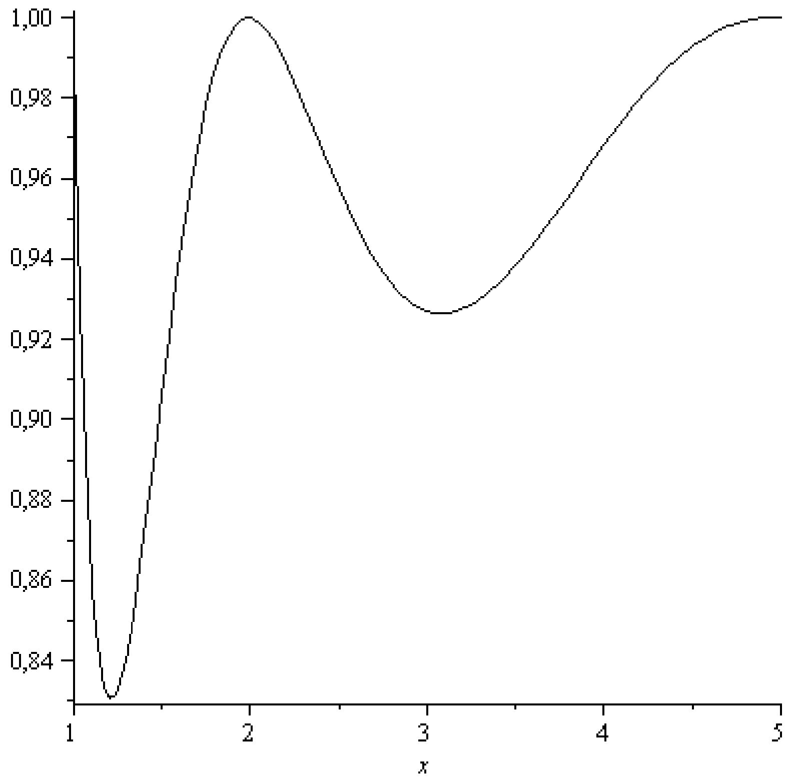

Рис. 1.

Зависимость вероятности прохождения $D(x)$ электрона через барьер от величины $x=\frac{E}{|U_0|}$ при $x>1$,

когда $\bar{U}_0=2m_e|U_0|\frac{a^2}{\hbar^2}=10$

.

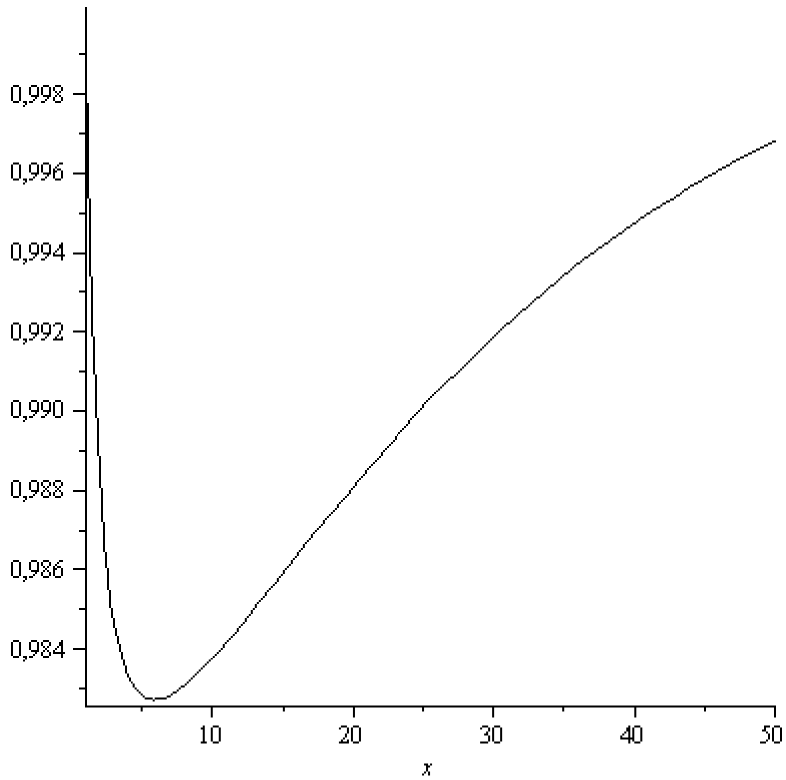

Рис. 2.

Зависимость вероятности прохождения $D(x)$ электрона через барьер от величины $x = \dfrac{E}{|U_0|}$ при $x > 1$,

когда $\bar{U}_0 = 2m_e|U_0|\dfrac{a^2}{\hbar^2} = 0.1$.

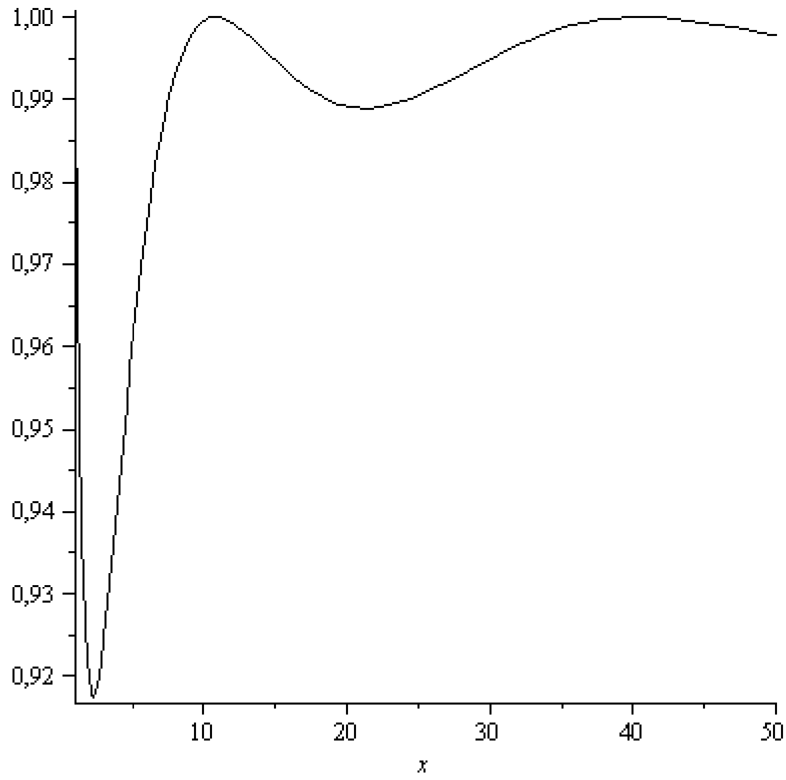

Рис. 3.

Зависимость вероятности прохождения $D(x)$ электрона через барьер от величины $x = \dfrac{E}{|U_0|}$ при $x > 1$,

когда $\bar{U}_0 = 2m_e |U_0| \dfrac{a^2}{\hbar^2} = 1$.

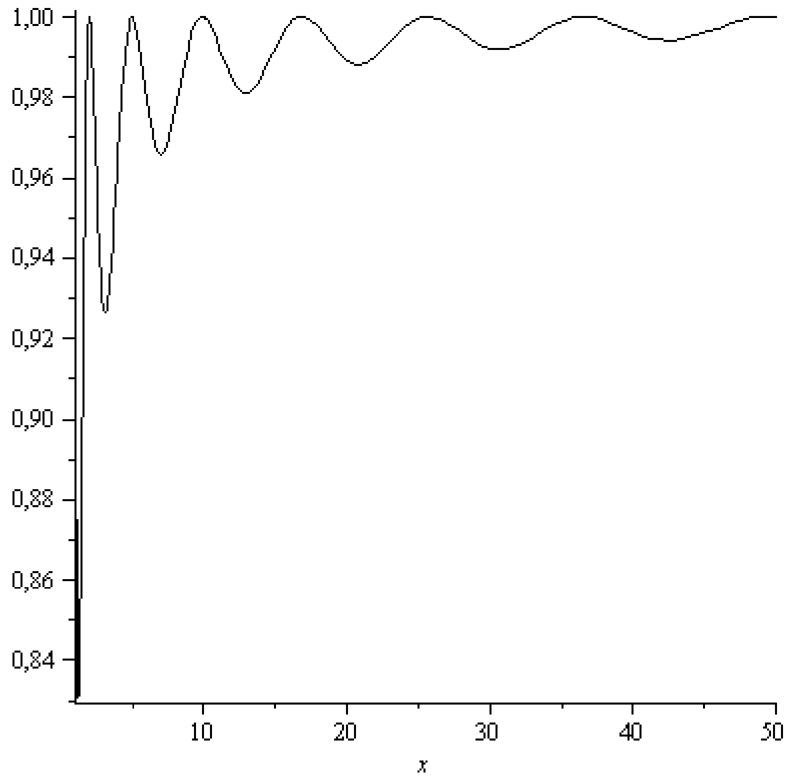

Рис. 4.

Зависимость вероятности прохождения $D(x)$ электрона через барьер от величины $x = \dfrac{E}{|U_0|}$ при $x > 1$,

когда $\bar{U}_0 = 2m_e |U_0| \dfrac{a^2}{\hbar^2} = 10$.

$$D(E)=\frac{4E\left(|U_0|-E\right)}{4E\left(|U_0|-E\right)+|U_0|^2\, sh^2\sqrt{2m_e\left(|U_0|-E\right)a^2/\hbar^2}},\quad 0<E<|U_0|$$

$$x=\frac{|U_0|}{E}$$

$$D(E)=\frac{4x(1-x)}{4x(1-x)+sh^2\sqrt{(1-x)\bar{U}_0}},\quad 0<x<1$$

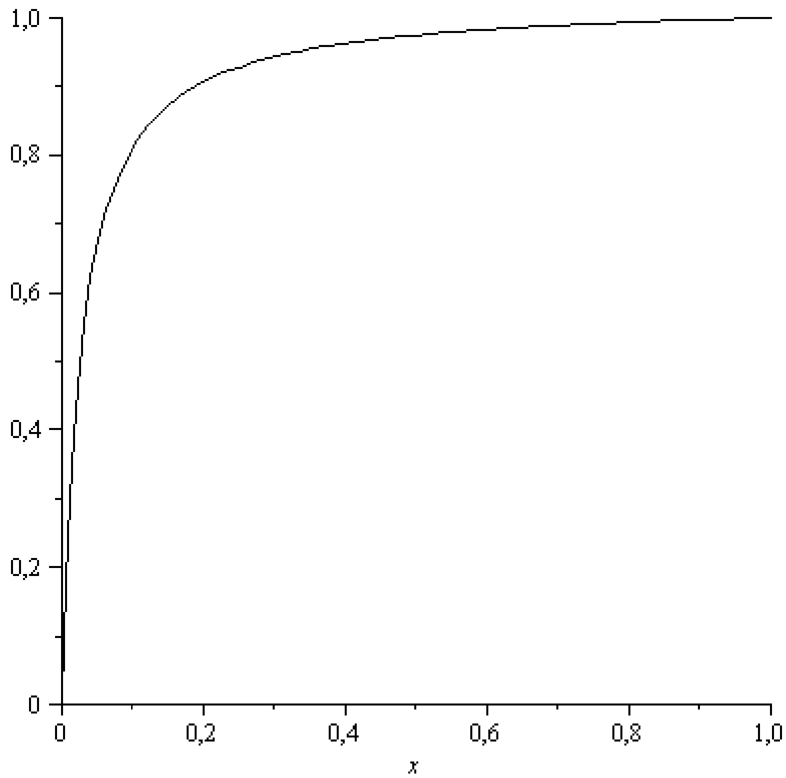

Рис. 5.

Зависимость вероятности прохождения $D(x)$ электрона через барьер от величины $x=\dfrac{E}{|U_0|}$ при $0<x<1$, когда $\bar{U}_0=2m_e|U_0|\dfrac{a^2}{\hbar^2}=0.1$.

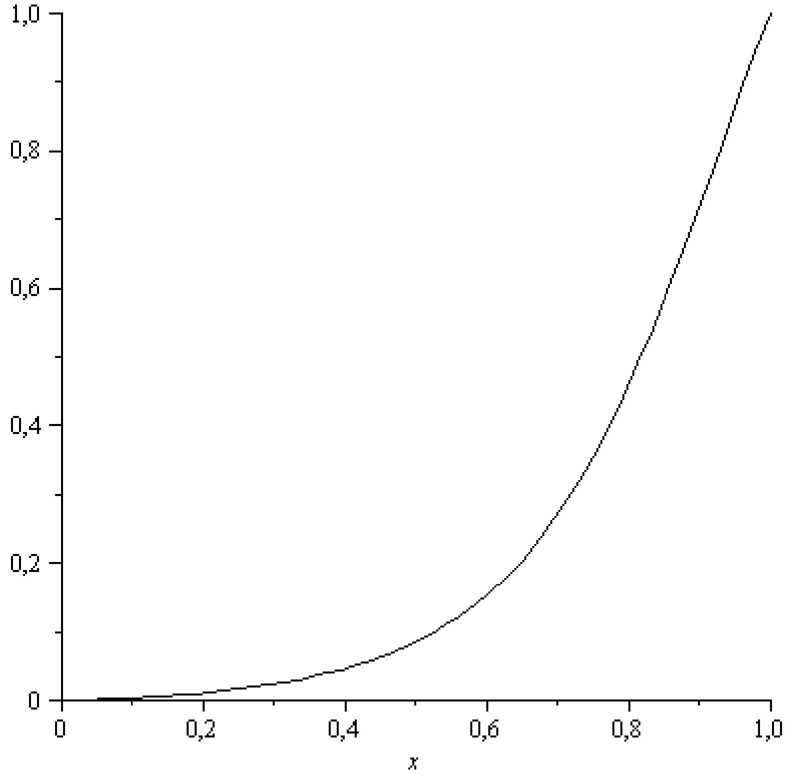

Рис. 6.

Зависимость вероятности прохождения $D(x)$ электрона через барьер от величины $x = \dfrac{E}{|U_0|}$ при

$0 < x < 1$, когда $\bar{U}_0 = 2m_e |U_0| \dfrac{a^2}{\hbar^2} = 10$.

Рассеяние электрона на прямоугольной потенциальной яме

Стационарное уравнение Шредингера
(одномерное движение)

$$\hat{H}\psi(x) = E\psi(x)$$

$\hat{H}$ – оператор Гамильтона,

$\psi(x)$ – волновая функция,

E – энергия электрона,

$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m_e}\frac{d^2}{dx^2} + U(x)$ – явный вид гамильтониана,

m_e – масса электрона,

$U(x)$ – потенциальная энергия электрона.

$$U(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \quad x > a \\ -|U_0|, & 0 < x < a \end{cases}$$

$$D(E) = \frac{4E\left(E + |U_0|\right)}{4E\left(E + |U_0|\right) + |U_0|^2 \sin^2 \sqrt{2m_e\left(E + |U_0|\right)a^2 / \hbar^2}}$$

$$\frac{E}{|U_0|} = x, \quad 0 < x$$

$$D(E) = \frac{4x(x+1)}{4x(x+1) + \sin^2 \sqrt{(x+1)\bar{U}_0}}$$

$$\bar{U}_0 = 2m_e|U_0|\frac{a^2}{\hbar^2}$$

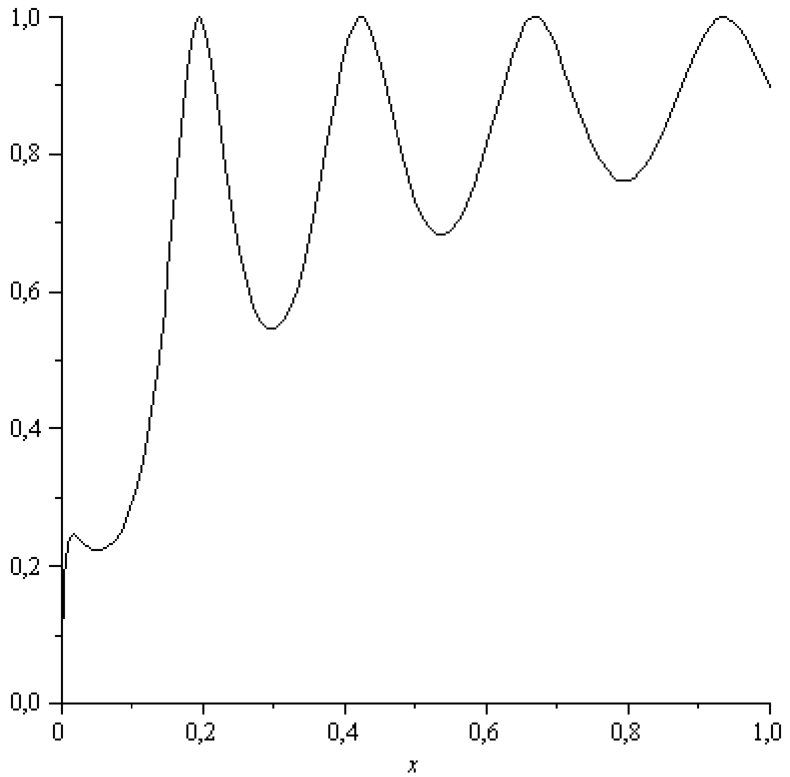

Рис. 6

7.

Зависимость вероятности прохождения $D(x)$ электрона через потенциальную яму от величины

$$x = \frac{E}{|U_0|} \text{ при } 0 < x \text{, когда } \bar{U}_0 = 2m_e |U_0| \frac{a^2}{\hbar^2} = 10000 .$$

Электрон в одномерной прямоугольной яме с бесконечно высокими стенками. Расчёт нестационарного состояния

$$U(x)=\begin{cases} 0, & 0<x<a \\ \infty, & x<0,\ \ x>a \end{cases}$$

a – ширина ямы

$$\psi_n(x)=\sqrt{\frac{2}{a}}\sin\left(\frac{n\pi x}{a}\right),\quad k_n=\frac{n\pi}{a},\quad E_n=\frac{\hbar^2 k_n^2}{2m_e}=\frac{\pi^2\hbar^2}{2m_e a^2}n^2,$$

$$n=1,2,3,...$$

$$\boldsymbol{\psi}_n(x,t)=\psi_n(x)e^{-i\frac{E_n t}{\hbar}}$$ – волновая функция стационарного состояния.

Волновая функция нестационарного состояния

$$\boldsymbol{\psi}(x,t)=c_n\boldsymbol{\psi}_n(x,t)+c_m\boldsymbol{\psi}_m(x,t),\quad n\neq m$$

$$\boldsymbol{\psi}(x,t)=\frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{2}{a}}\sin\left(\frac{n\pi x}{a}\right)e^{-i\frac{E_n t}{\hbar}}+\frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{2}{a}}\sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right)e^{-i\frac{E_m t}{\hbar}}$$

Основная задача

$$\left|\boldsymbol{\psi}(x,t)\right|^2=?$$

$$\left|\boldsymbol{\psi}(x,t)\right|^2=\frac{1}{a}\sin^2\left(\frac{n\pi x}{a}\right)+\frac{1}{a}\sin^2\left(\frac{m\pi x}{a}\right)+\frac{1}{a}\sin\left(\frac{n\pi x}{a}\right)\sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right)\left(e^{i\frac{(E_m-E_n)}{\hbar}t}+e^{-i\frac{(E_m-E_n)}{\hbar}t}\right)$$

$$\omega_{nm}=\frac{(E_m-E_n)}{\hbar}$$

$$\left|\boldsymbol{\psi}(x,t)\right|^2=\frac{1}{a}\sin^2\left(\frac{n\pi x}{a}\right)+\frac{1}{a}\sin^2\left(\frac{m\pi x}{a}\right)+2\frac{1}{a}\sin\left(\frac{n\pi x}{a}\right)\sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right)\cos\left(\omega_{mn}t\right)$$

$$\omega_{mn}=\frac{2\pi}{T_{mn}},$$

$$\omega_{mn}t_p=\omega_{mn}\cdot\Delta t\cdot p,\quad \Delta t=\frac{T_{mn}}{M},\quad p=0,1,2,3,...M$$

$$\omega_{mn}t_p=\frac{2\pi}{T_{mn}}\cdot\frac{T_{mn}}{M}\cdot p=2\pi\frac{p}{M}$$

$$a\left|\boldsymbol{\psi}(x,t)\right|^2=\left(\sin^2\left(\frac{n\pi x}{a}\right)+\sin^2\left(\frac{m\pi x}{a}\right)+2\sin\left(\frac{n\pi x}{a}\right)\sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right)\cos\left(2\pi\frac{p}{M}\right)\right)$$

$$M=10,\quad p=0,1,2,3,...10$$

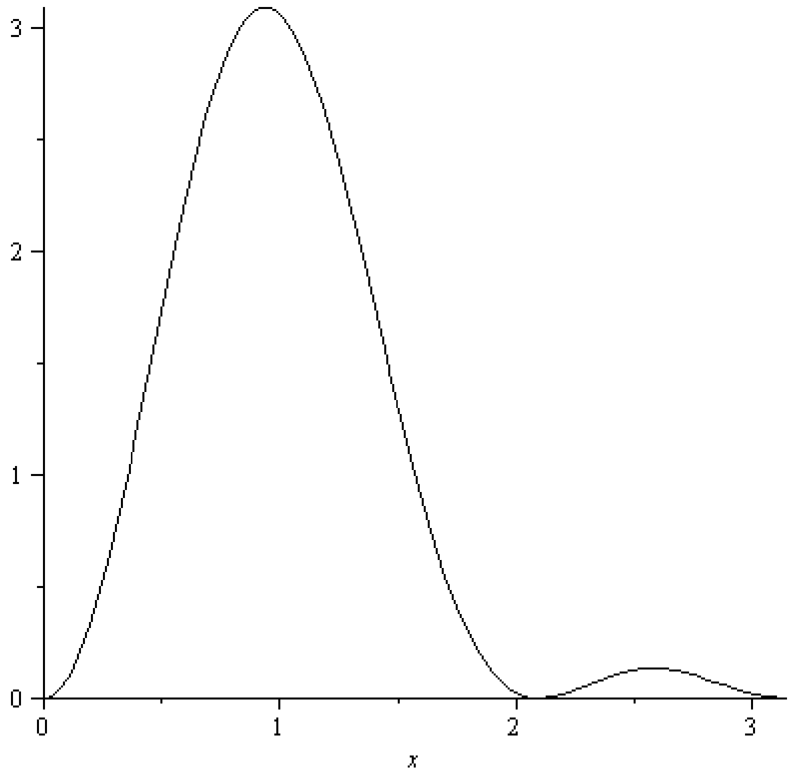

Рис. 1.

Зависимость $a\left|\psi\left(x,t_{p=0}\right)\right|^2$, когда n=1, m=2.

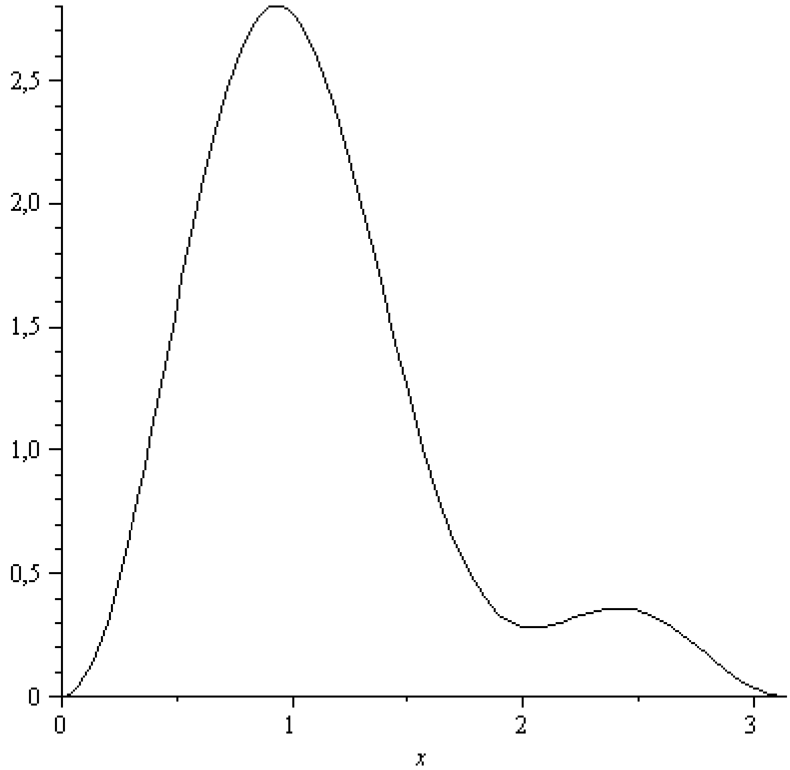

Рис. 2.

Зависимость $a\left|\boldsymbol{\psi}\left(x, t_{p=1}\right)\right|^2$, когда n=1, m=2.

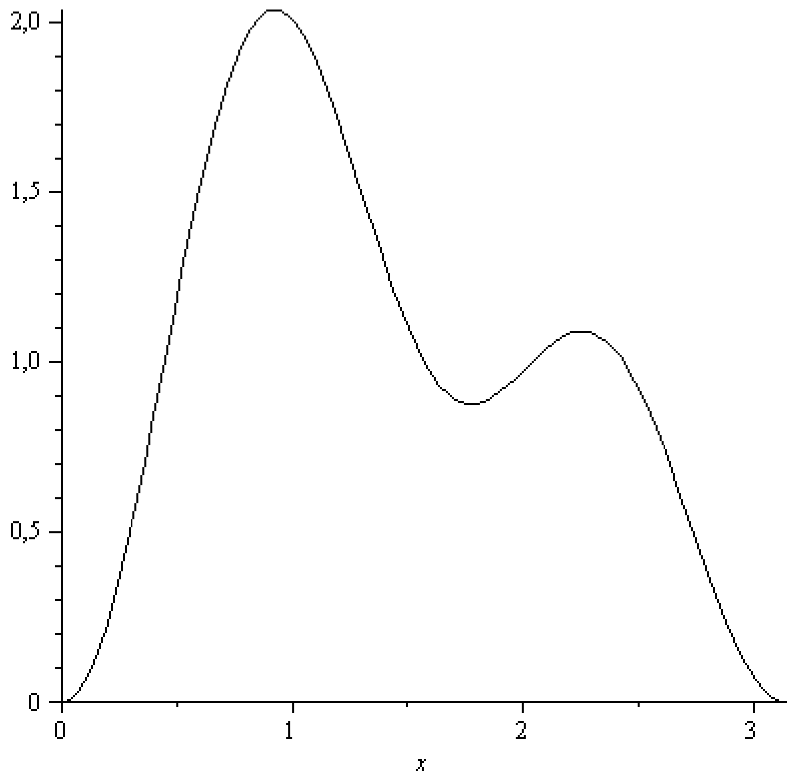

Рис. 3.

Зависимость $a\left|\boldsymbol{\psi}\left(x,t_{p=2}\right)\right|^2$, когда n=1, m=2.

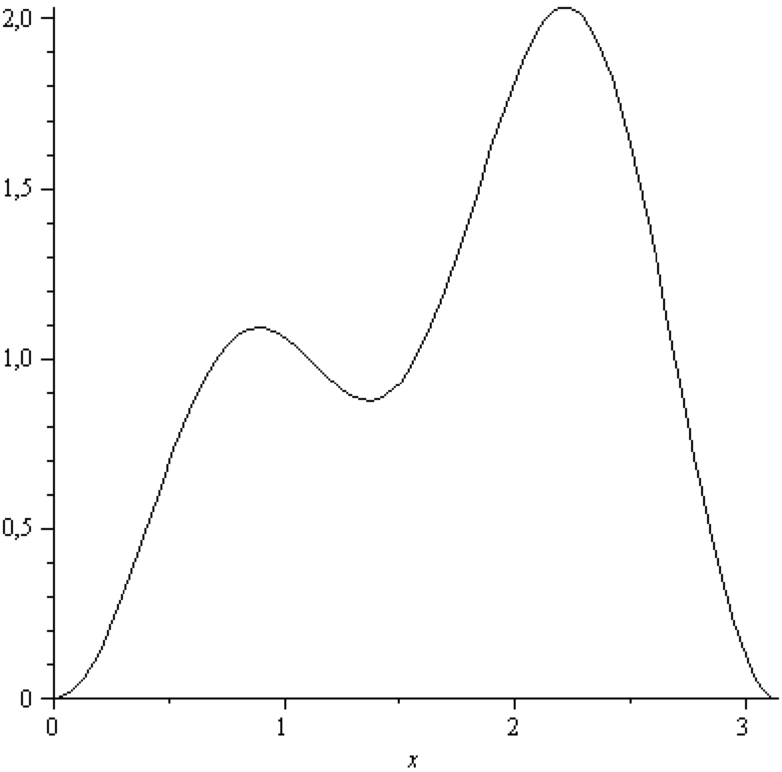

Рис. 4.

Зависимость $a\left|\psi\left(x,t_{p=3}\right)\right|^2$, когда n=1, m=2.

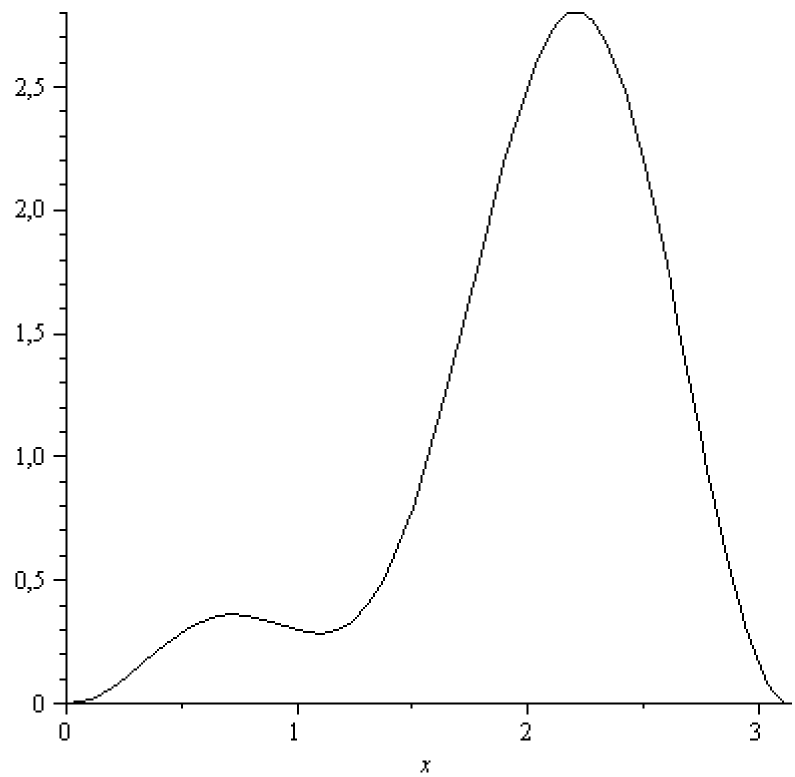

Рис. 5.

Зависимость $a\left|\boldsymbol{\psi}\left(x,t_{p=4}\right)\right|^2$, когда n=1, m=2.

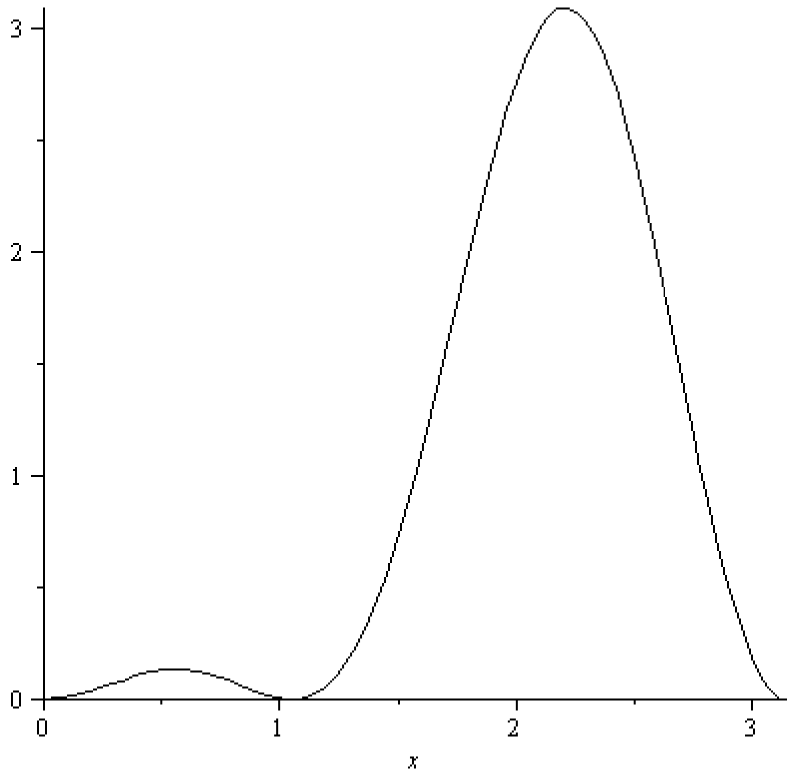

Рис. 6.

Зависимость $a\left|\psi\left(x,t_{p=5}\right)\right|^2$, когда n=1, m=2.

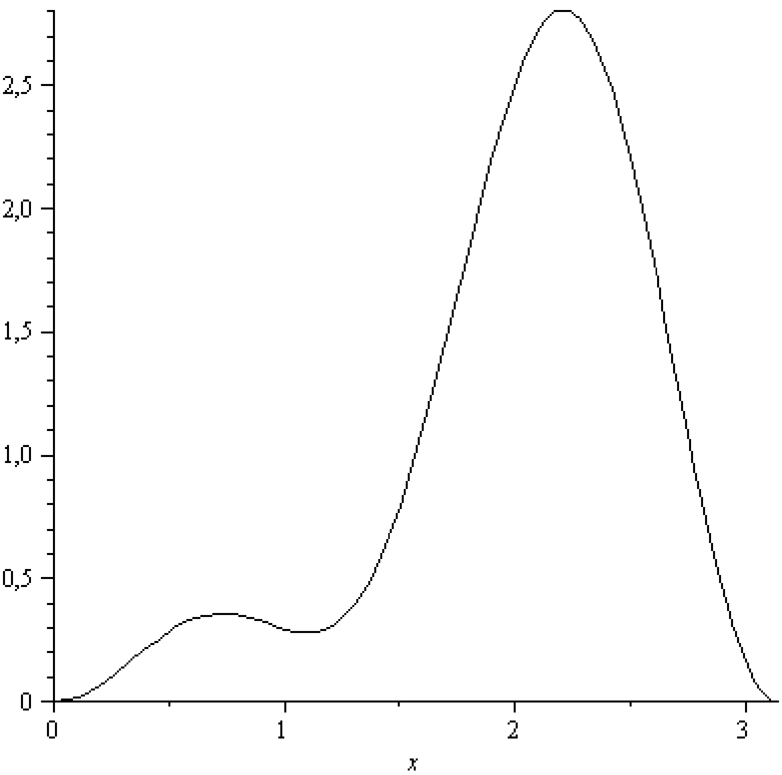

Рис. 7.

Зависимость $a\left|\psi\left(x,t_{p=6}\right)\right|^2$, когда n=1, m=2.

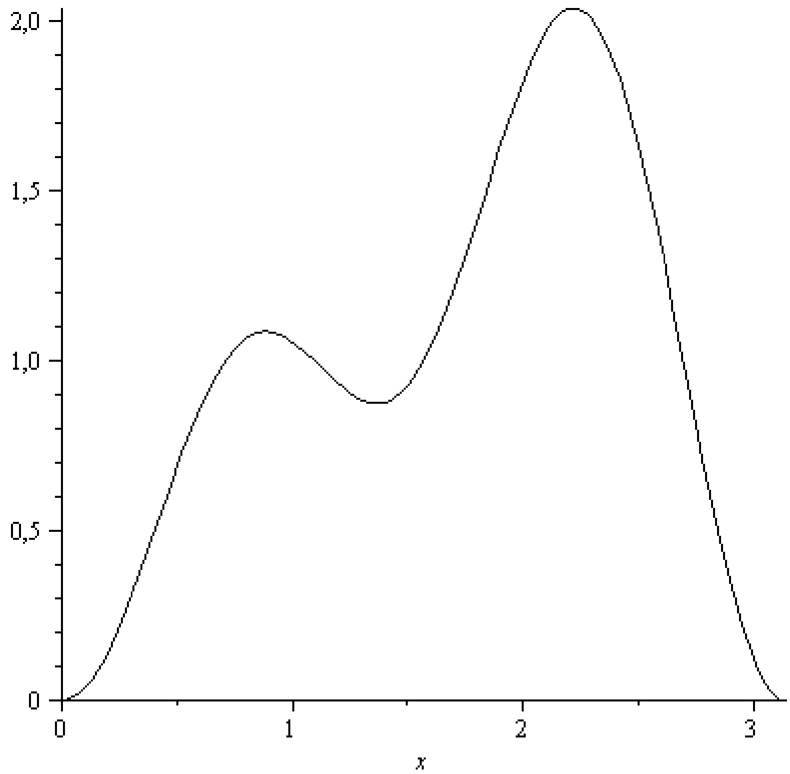

Рис. 8.

Зависимость $a\left|\psi\left(x,t_{p=7}\right)\right|^2$, когда n=1, m=2.

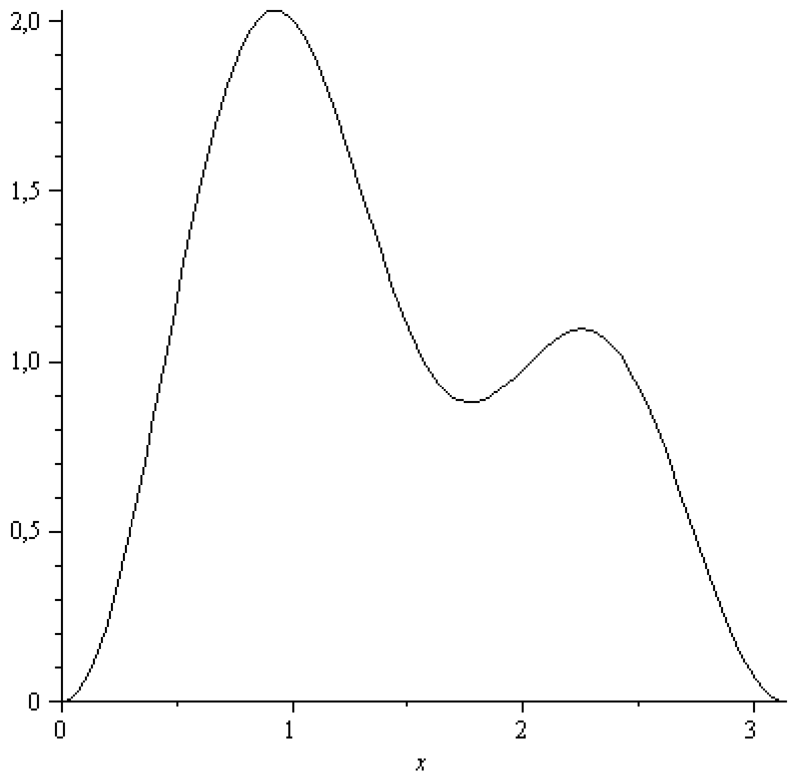

Рис. 9.

Зависимость $a\left|\psi\left(x,t_{p=8}\right)\right|^2$, когда n=1, m=2.

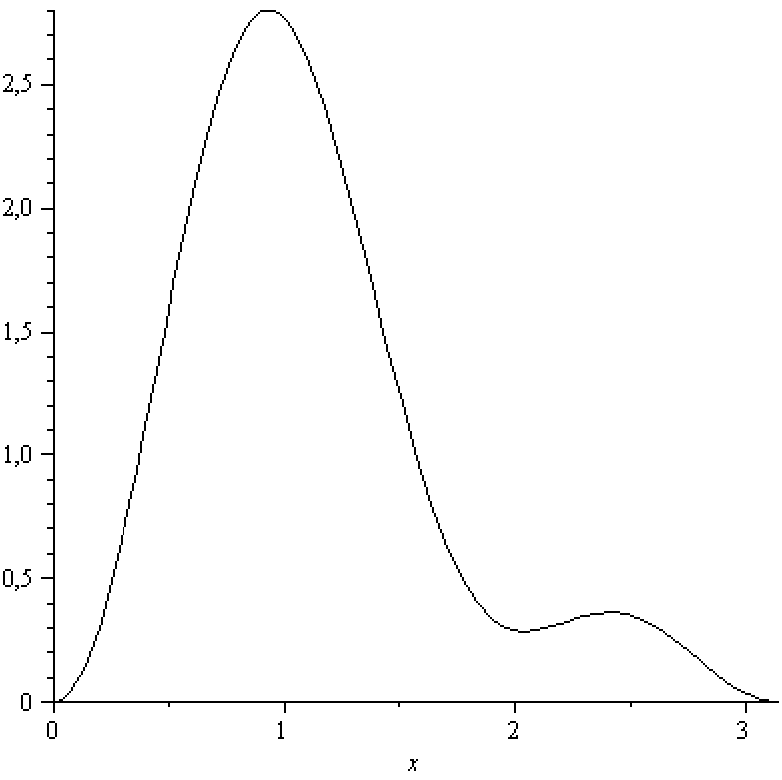

Рис. 10.

Зависимость $a\left|\boldsymbol{\psi}\left(x,t_{p=9}\right)\right|^2$, когда n=1, m=2.

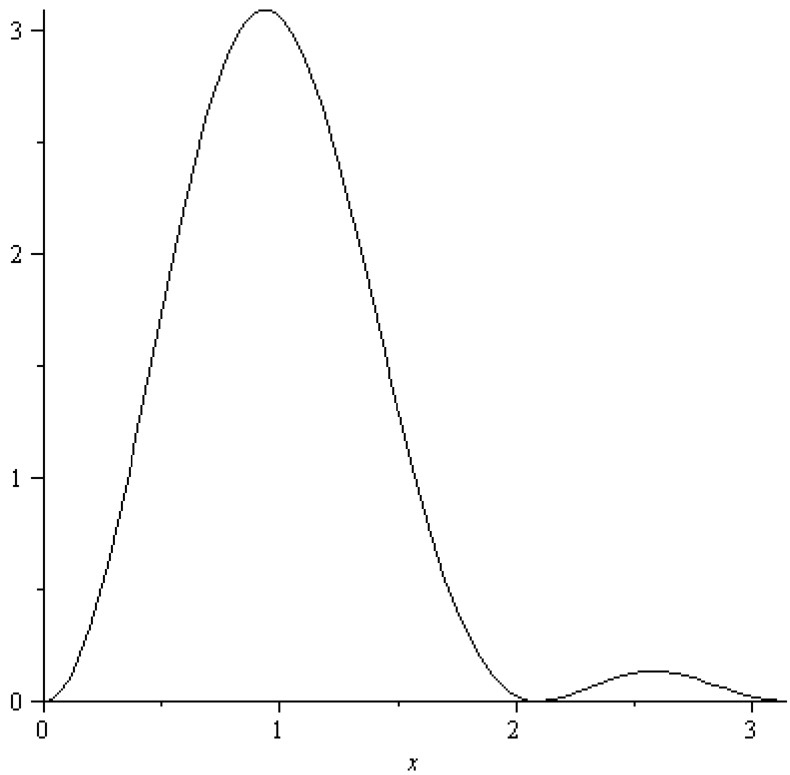

Рис. 11.

Зависимость $a\left|\boldsymbol{\psi}\left(x,t_{p=10}\right)\right|^2$, когда n=1, m=2.

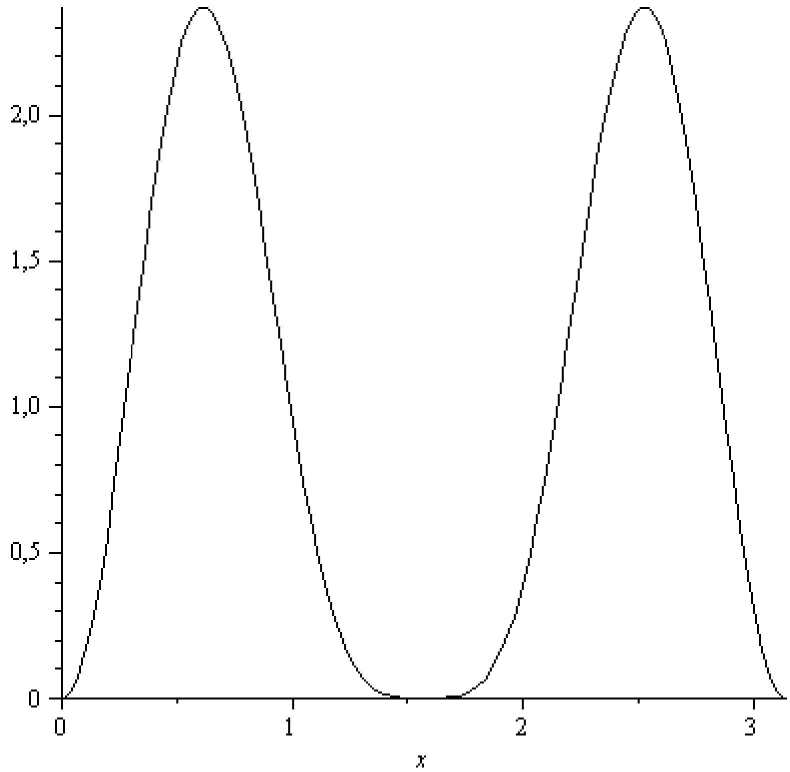

Рис. 12.

Зависимость $a\left|\psi\left(x,t_{p=0}\right)\right|^2$, когда n=1, m=3.

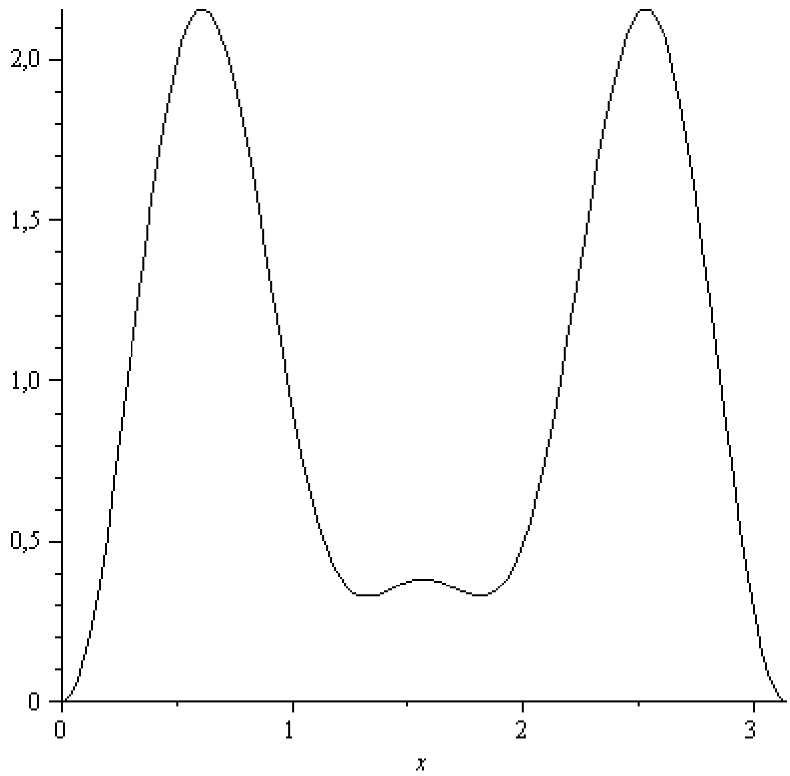

Рис. 13.

Зависимость $a\left|\psi\left(x,t_{p=1}\right)\right|^2$, когда n=1, m=3.

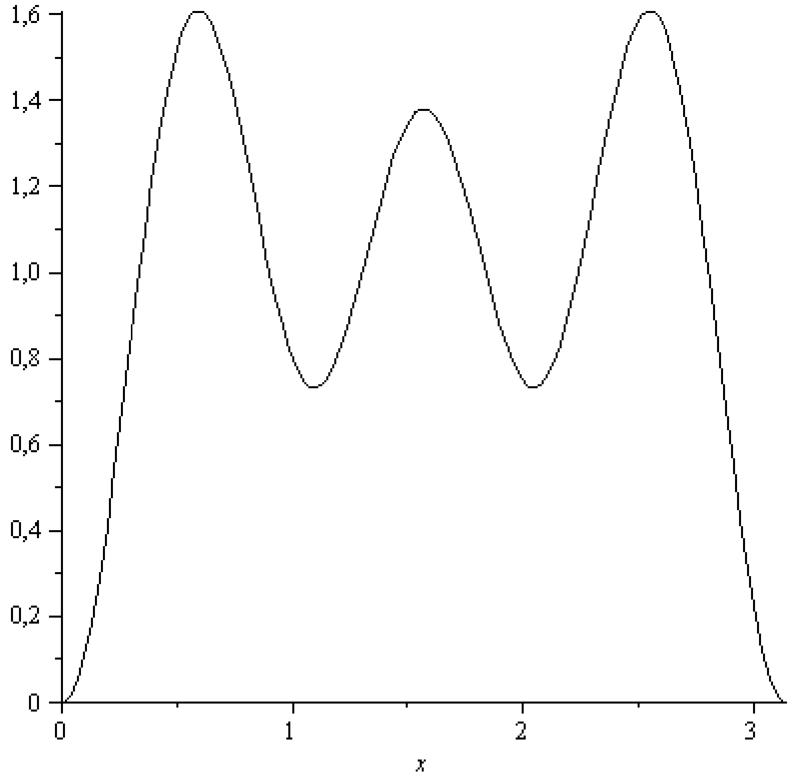

Рис. 14.

Зависимость $a\left|\boldsymbol{\psi}\left(x, t_{p=2}\right)\right|^2$, когда n=1, m=3.

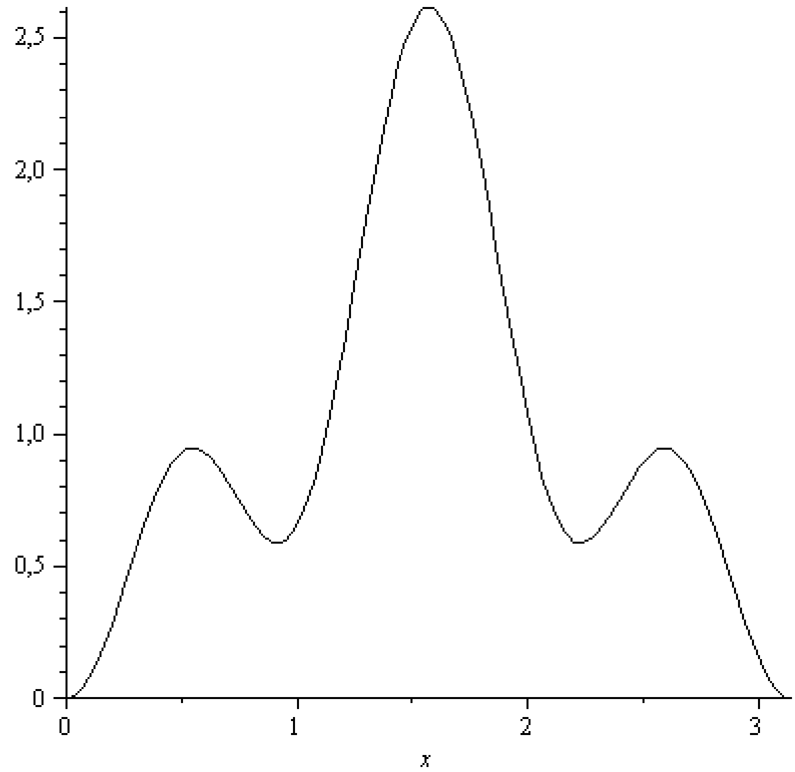

Рис. 15.

Зависимость $a\left|\psi\left(x,t_{p=3}\right)\right|^2$, когда n=1, m=3.

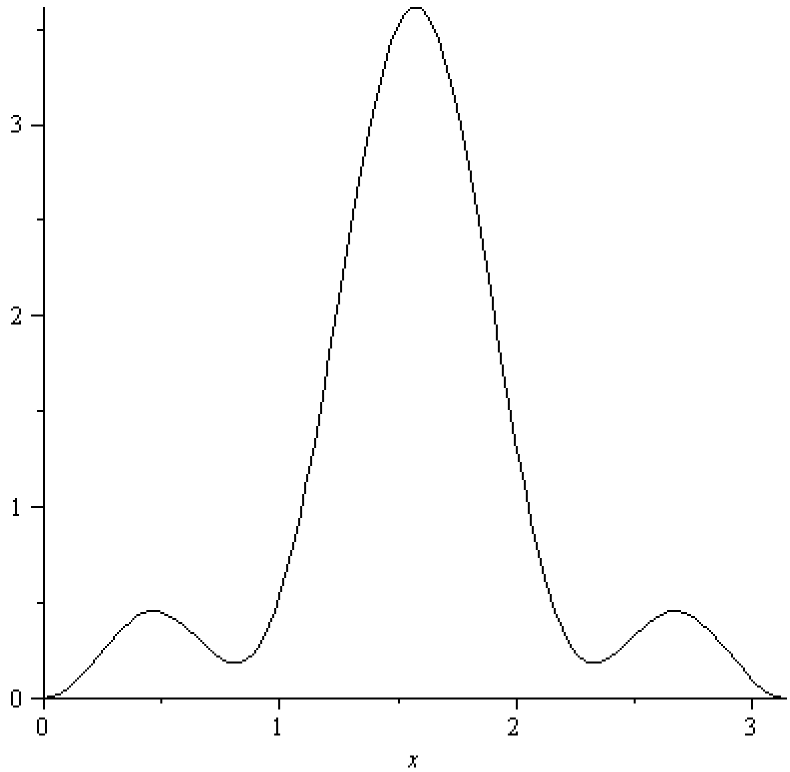

Рис. 16.

Зависимость $a\left|\psi\left(x,t_{p=4}\right)\right|^2$, когда n=1, m=3.

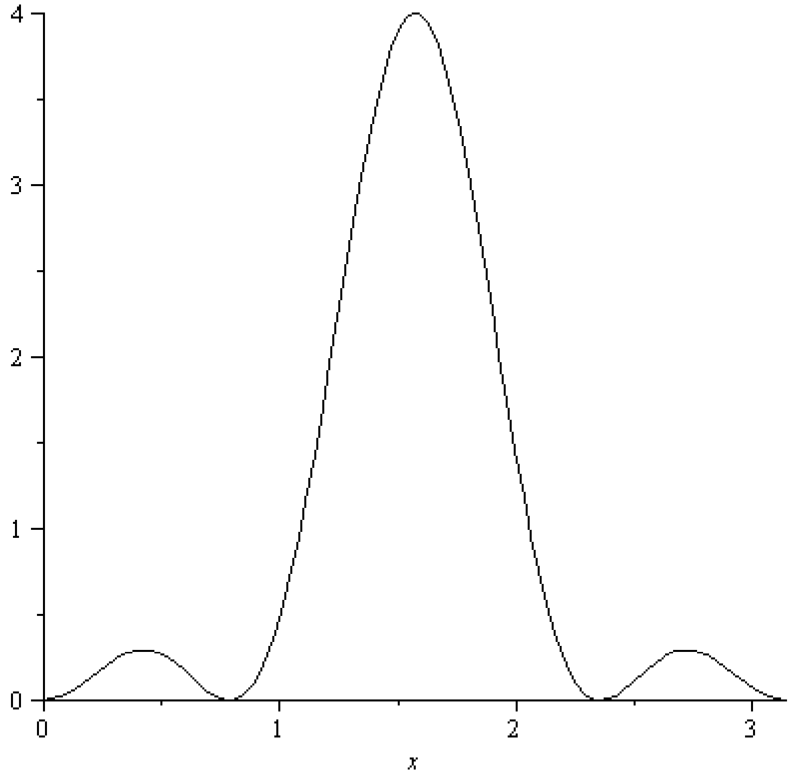

Рис. 17.

Зависимость $a\left|\psi\left(x, t_{p=5}\right)\right|^2$, когда n=1, m=3.

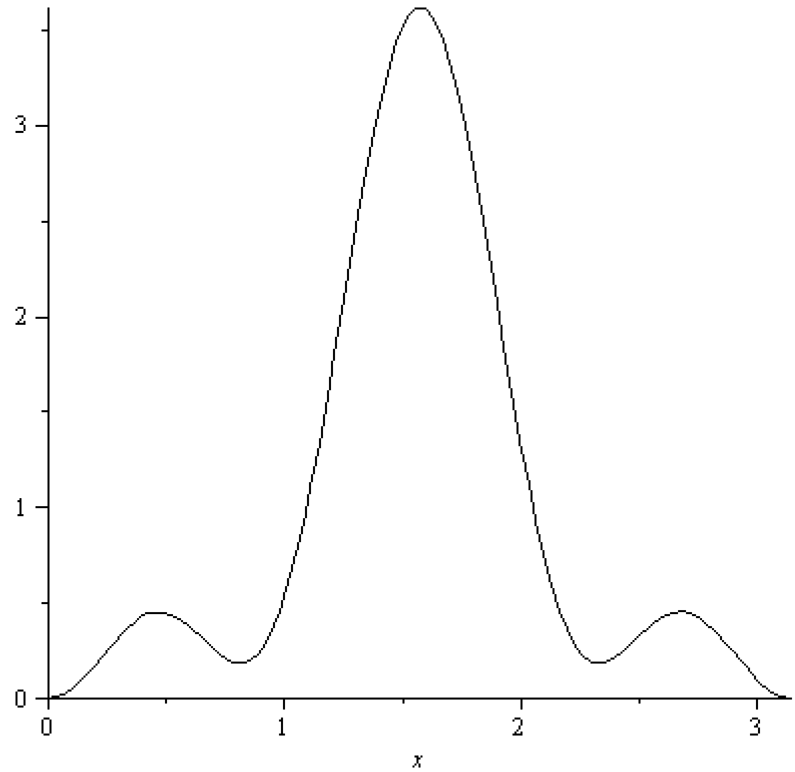

Рис. 18.

Зависимость $a\left|\boldsymbol{\psi}\left(x,t_{p=6}\right)\right|^2$, когда n=1, m=3.

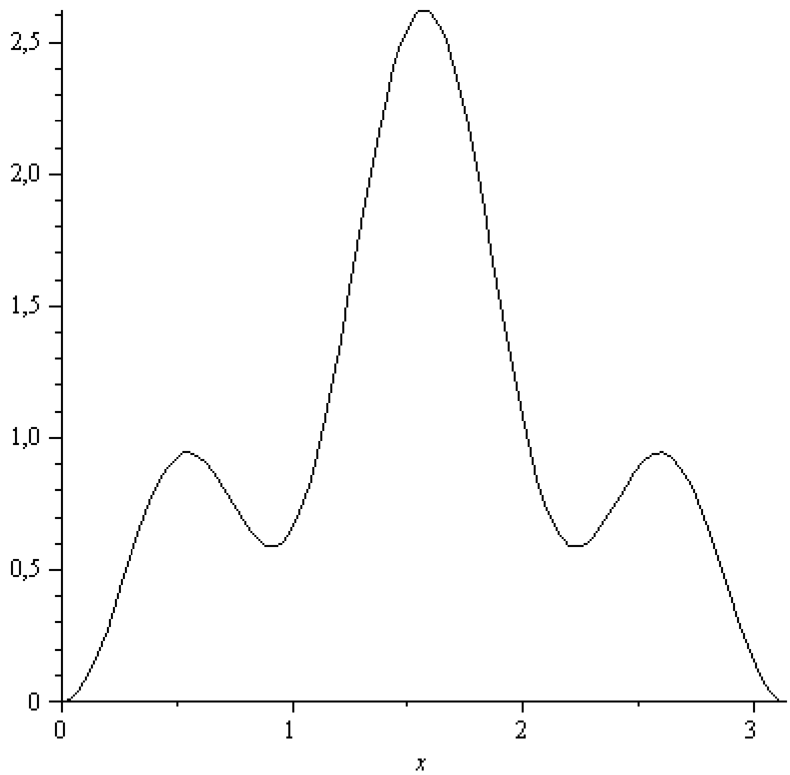

Рис. 19.

Зависимость $a\left|\psi\left(x, t_{p=7}\right)\right|^2$, когда n=1, m=3.

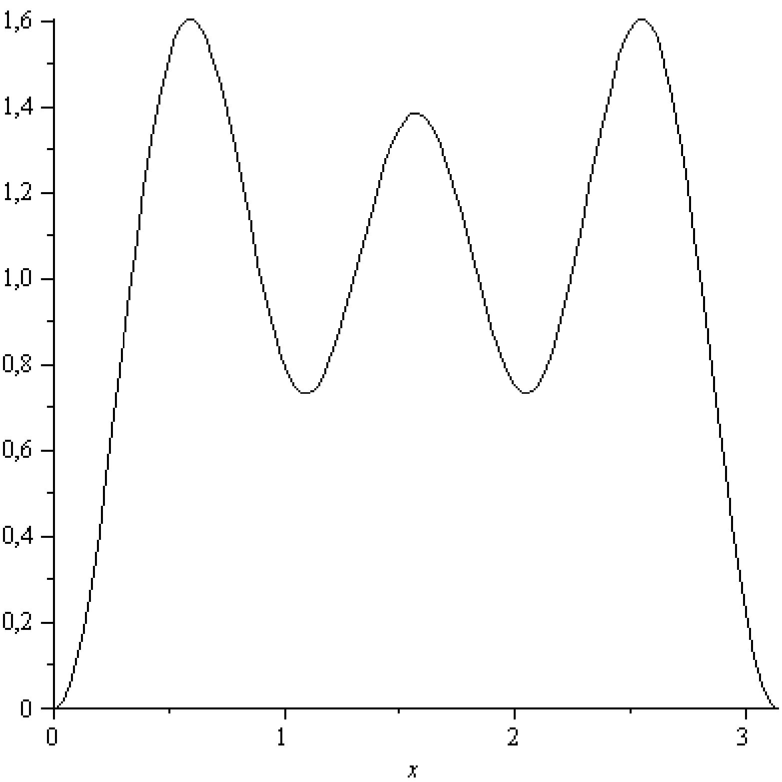

Рис. 20.

Зависимость $a\left|\psi\left(x, t_{p=8}\right)\right|^2$, когда n=1, m=3.

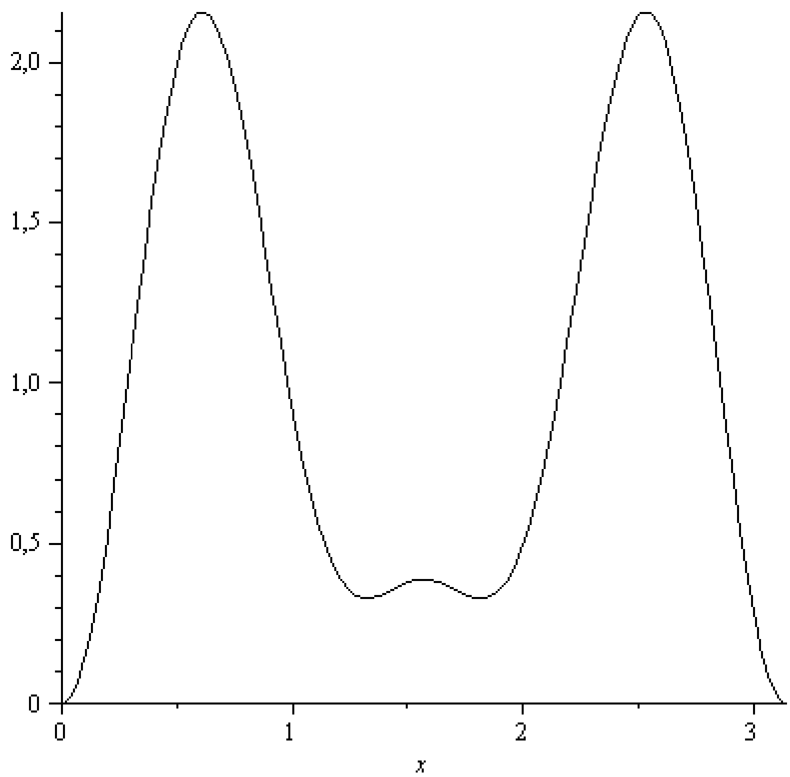

Рис. 21.

Зависимость $a\left|\psi\left(x,t_{p=9}\right)\right|^2$, когда n=1, m=3.

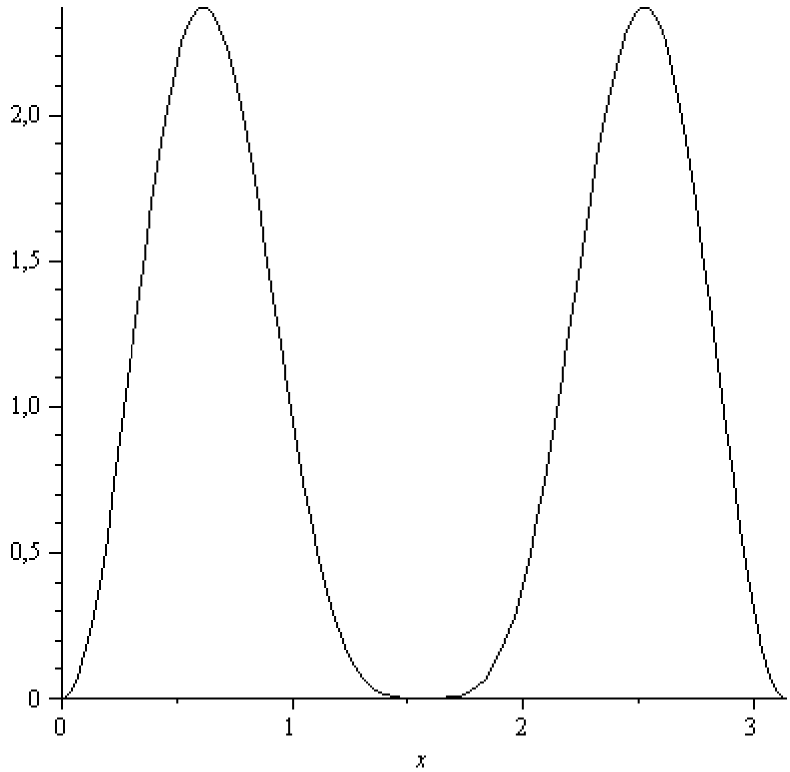

Рис. 22.

Зависимость $a\left|\psi\left(x, t_{p=10}\right)\right|^2$, когда n=1, m=3