



**Журнал
"Научное
Образование"**

Издаётся с 2018г.

ISSN 2658-3429

www.na-obr.ru

Ежедневник "Научное Образование"

№ 9(18)2025

18.05.2025г.

В номере:

Авторы:

**Балакина Олеся Антоновна,
Забиров Марат Олегович,
Иванилов Данил Григорьевич,
Глущенко Александр Григорьевич**

Статья:

**"Расчет амплитудного коэффициента отражения от
тонкого прозрачного слоя"**



12+

УДК 082

ББК 76.02

НЗ46



**Ежедневник журнала "Научное Образование" № 9(18)2025 от 18.05.2025г.
(срочный внеплановый выпуск журнала "Научное Образование")**

ISSN 2658-3429

Свидетельство о регистрации СМИ сайта www.na-obr.ru:

ЭЛ № ФС 77 - 74050 от 19.10.2018г. выдано Роскомнадзором РФ

Договор с ООО "НЭБ" (eLIBRARY.RU): № 460-11/2018 от 21.11.2018г.

Санкт-Петербург, Издательство "Лучшее Решение", 2025г.

Издатель: ООО "Лучшее Решение" (ОГРН: 1137847462367, ИНН: 7804521052)

E-mail: lu_res@mail.ru

Главный редактор: Алексеев А.Б.

Журналы и Ежедневники издаются только в современном электронном виде и доступны для скачивания на сайте www.na-obr.ru

Возрастная категория: 12+

Все статьи, размещенные в журнале и на сайте na-obr.ru, созданы авторами, указанными в статьях, и представлены исключительно для ознакомления. Ответственность за содержание статей и за возможные нарушения авторских прав третьих лиц несут авторы, разместившие материалы. Мнение авторов может не совпадать с точкой зрения редакции.

Любое копирование материалов с сайта na-obr.ru и/или из номеров журнала без ссылки на сайт www.na-obr.ru запрещено!

I S S N 2 6 5 8 - 3 4 2 9



9 772658 342009 >



Расчет амплитудного коэффициента отражения от тонкого прозрачного слоя

Calculation of the amplitude coefficient of reflection from a thin transparent layer

Авторы:

Балакина Олеся Антоновна

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия

Balakina Olesya Antonovna

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia

Забиров Марат Олегович

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия

Zabirov Marat Olegovich

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia

Иванилов Данил Григорьевич

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия

Ivanilov Danil Grigorievich

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia

Научный руководитель: Глущенко Александр Григорьевич

Профессор кафедры физики, доктор физико-математических наук

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, Россия

Glushchenko Alexander Grigorievich

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia

Аннотация: В данной работе представлен анализ отражения света от тонкой прозрачной пленки с использованием матричного метода и коэффициентов Френеля. Рассматриваются оба типа поляризации – s- и p-поляризация, что позволяет оценить поведение амплитудного коэффициента отражения в зависимости от параметров слоя: показателя преломления, толщины, угла падения и длины волны. Выводятся аналитические выражения, учитывающие интерференционные эффекты, возникающие при многократных отражениях внутри слоя. На численном примере показан полный цикл расчетов от закона Снеллиуса до получения комплексных коэффициентов отражения и их модуля. Результаты демонстрируют влияние поляризации и фазовой толщины на характер



отражения, что важно для разработки антибликовых покрытий и других оптических элементов. Обсуждается возможность расширения метода на многослойные и поглощающие структуры.

Abstract: This paper presents an analysis of light reflection from a thin transparent film using the matrix method and Fresnel coefficients. Both types of polarization, s- and p-polarization, are considered, which makes it possible to evaluate the behavior of the amplitude reflection coefficient depending on the parameters of the layer: refractive index, thickness, angle of incidence, and wavelength. Analytical expressions are derived that take into account the interference effects that occur during multiple reflections inside the layer. The numerical example shows the full cycle of calculations from Snellius' law to obtaining complex reflection coefficients and their modulus. The results demonstrate the influence of polarization and phase thickness on the reflection pattern, which is important for the development of anti-glare coatings and other optical elements. The possibility of extending the method to multilayer and absorbing structures is discussed.

Ключевые слова: тонкая пленка, амплитудный коэффициент отражения, матричный метод, коэффициенты Френеля, s-поляризация, p-поляризация, интерференция, фазовая толщина, оптические покрытия.

Keywords: thin film, amplitude reflection coefficient, matrix method, Fresnel coefficients, s-polarization, p-polarization, interference, phase thickness, optical coatings.

Тематическая рубрика: Технические науки и технологии.

Задача: Определить, какая часть света отразится от тонкой прозрачной пленки (например, мыльной пленки или антибликового покрытия) при падении света под углом θ_0 . Необходимо рассмотреть две поляризации света:

- s-поляризация (TE): Электрическое поле световой волны перпендикулярно плоскости падения (плоскость, содержащая падающий луч и нормаль к поверхности).
- p-поляризация (TM): Электрическое поле световой волны лежит в плоскости падения.

Параметры системы (рис. 1):

1. Слой (пленка):
 - n_1 : Показатель преломления материала слоя. Определяет, насколько медленнее свет распространяется в слое по сравнению с вакуумом.
 - d_1 : Толщина слоя. Произведение $n_1 d_1$ называют оптической толщиной.
2. Окружающая среда:
 - n_0 : Показатель преломления среды, окружающей слой (обычно воздух, $n_0 \approx 1$).
3. Падающий свет:
 - θ_0 : Угол падения света (угол между падающим лучом и нормалью к поверхности).
 - λ : Длина волны света в вакууме.

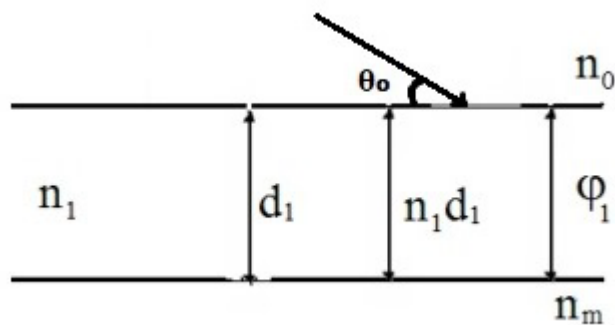


Рис. 1. Схема однослойного покрытия.

Ключевые концепции и вычисления:

1. Закон Снеллиуса и угол преломления (θ_1): Когда свет переходит из одной среды в другую, он меняет направление (преломляется). Закон Снеллиуса ($n_0 \sin(\theta_0) = n_1 \sin(\theta_1)$) определяет угол преломления (θ_1) внутри слоя. Формула $\theta_1 = \arcsin((n_0/n_1) \sin(\theta_0))$ вычисляет этот угол.
2. Фазовая толщина (ϕ_1): Свет, распространяющийся в слое, накапливает фазу из-за конечной толщины слоя и угла преломления. Фазовая толщина ($\phi_1 = (2\pi / \lambda) n_1 d_1 \cos(\theta_1)$) [1, с. 7] определяет эту накопленную фазу. Она пропорциональна толщине слоя, показателю преломления и обратно пропорциональна длине волны. Угол $\cos(\theta_1)$ учитывает, что свет проходит через слой под углом, а не перпендикулярно.
3. Матричный метод: Это мощный способ моделирования распространения света через многослойные структуры. Он основан на представлении каждой границы раздела и каждого слоя в виде матрицы.
 - Матрица переноса для одного слоя (M) [2, с. 33]: Описывает как световая волна изменяется при прохождении через слой с учетом фазовой толщины. Элементы матрицы зависят от фазовой толщины (ϕ_1) и параметра q, который различается для s- и p-поляризаций:

$$\begin{vmatrix} \cos(\phi_1) & i(\sin(\phi_1)/q) \\ i q \sin(\phi_1) & \cos(\phi_1) \end{vmatrix}$$

$$M = \begin{vmatrix} \cos(\phi_1) & i(\sin(\phi_1)/q) \\ i q \sin(\phi_1) & \cos(\phi_1) \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} i q \sin(\phi_1) & \cos(\phi_1) \end{vmatrix}$$

$$q_s = n_1 \cos(\theta_1) / n_0 \cos(\theta_0) \text{ (для s-поляризации)}$$

$$q_p = n_0 \cos(\theta_1) / n_1 \cos(\theta_0) \text{ (для p-поляризации)}$$

- Матрицы переноса для границ разделов (A_1 и A_2) [3, с. 55]: Описывают отражение и преломление света на границах раздела между средами ($n_0 \rightarrow n_1$ и $n_1 \rightarrow n_0$). Они зависят от коэффициентов Френеля.

Для первой границы раздела ($n_0 \rightarrow n_1$):

- s-поляризация:

$$\begin{vmatrix} 1 & r_{s1} \end{vmatrix}$$

$$A_{s1} = 1 / t_{s1} * \begin{vmatrix} \end{vmatrix}$$



$$| r_{s1} \quad 1 |$$

- р-поляризация:

$$| 1 \quad r_{p1} |$$

$$A_{p1} = 1 / t_{p1} * |$$

$$| r_{p1} \quad 1 |$$

Где r_{s1} , r_{p1} , t_{s1} , t_{p1} – коэффициенты Френеля для s- и р-поляризации соответственно, рассчитанные для перехода от n_0 к n_1 при угле падения θ_0 .

Аналогично, для второй границы раздела ($n_1 \rightarrow n_0$) коэффициенты Френеля и матрица (обозначим A_2 для второй границы раздела) будут другими (для перехода от n_1 к n_0 при угле падения θ_1). Но так как слой симметричный, то: $r_{s2} = -r_{s1}$ и $r_{p2} = -r_{p1}$, а $t_{s2} = t_{s1}$ и $t_{p2} = t_{p1}$. При вычислении коэффициентов Френеля для обратного направления нужно поменять местами n_0 и n_1 , а также θ_0 и θ_1 .

- Коэффициенты Френеля (r_{s1} , r_{p1} , t_{s1} , t_{p1}): Определяют, какая часть света отражается и какая преломляется на границе раздела. Они зависят от показателей преломления двух сред и угла падения. Рассчитываются отдельно для s- и р-поляризации. Важно отметить, что для перехода от n_1 к n_0 (вторая граница раздела), коэффициенты Френеля связаны с коэффициентами для перехода от n_0 к n_1 следующим образом: $r_{s2} = -r_{s1}$, $r_{p2} = -r_{p1}$, $t_{s2} = t_{s1}$, $t_{p2} = t_{p1}$. Этот факт упрощает вычисления.
- 4. Общая матрица переноса (Мобщ): Это результат последовательного умножения матриц, представляющих каждый элемент системы (граница раздела 1 $\rightarrow$ слой $\rightarrow$ граница раздела 2): Мобщ = $A_1 * M * A_2$. Эта матрица описывает полное преобразование световой волны при прохождении через всю структуру.
- 5. Коэффициент отражения из общей матрицы (r): Зная общую матрицу переноса, можно вычислить амплитудный коэффициент отражения ($r = -b / a$, где a и b – элементы матрицы Мобщ). Это ключевой результат, который показывает отношение амплитуды отраженной волны к амплитуде падающей волны. Или, более явно:
 - s-поляризация: $r_s = (r_{s1} + r_{s2} * \exp(2 i \varphi_1)) / (1 + r_{s1} * r_{s2} * \exp(2 i \varphi_1))$
 - р-поляризация: $r_p = (r_{p1} + r_{p2} * \exp(2 i \varphi_1)) / (1 + r_{p1} * r_{p2} * \exp(2 i \varphi_1))$

Важно помнить, что $r_2 = -r_1$ для обеих поляризаций.

Упрощение и финальные формулы: Благодаря симметрии системы (одна и та же среда с обеих сторон слоя) и отсутствию поглощения (n_1 – вещественное число), формулы значительно упрощаются. В итоге получаются выражения для амплитудного коэффициента отражения:

- s-поляризация: $r_s = (2 i r_{s1} \sin(\varphi_1)) / (\exp(-i \varphi_1) - r_{s1}^2 * \exp(i \varphi_1))$
- р-поляризация: $r_p = (2 i r_{p1} \sin(\varphi_1)) / (\exp(-i \varphi_1) - r_{p1}^2 * \exp(i \varphi_1))$

Проведем расчет значений:

1. Выбор значений параметров:

- n_0 (Показатель преломления окружающей среды): 1.0 (воздух)
- n_1 (Показатель преломления слоя): 1.5 (типичный показатель для стекла или пластика)
- θ_0 (Угол падения): 30 градусов ($\pi/6$ радиан)
- λ (Длина волны света): 500 нанометров ($500e-9$ метров, что соответствует зеленому свету)



- d_1 (Толщина слоя): 100 нанометров (100×10^{-9} метров)

2. Расчет θ_1 (Угол преломления):

Используем закон Снеллиуса: $n_0 \sin(\theta_0) = n_1 \sin(\theta_1)$

$$\theta_1 = \arcsin((n_0/n_1) * \sin(\theta_0))$$

$$\theta_1 = \arcsin((1.0/1.5) * \sin(30^\circ))$$

$$\theta_1 = \arcsin((2/3) * 0.5)$$

$$\theta_1 = \arcsin(1/3)$$

$$\theta_1 \approx 19.47 \text{ градусов (или } \approx 0.3398 \text{ радиан)}$$

3. Расчет коэффициентов Френеля r_{s1} и r_{p1} :

Коэффициенты Френеля зависят от поляризации света и угла падения.

- r_{s1} (s-поляризация):

$$r_{s1} = (n_0 \cos(\theta_0) - n_1 \cos(\theta_1)) / (n_0 \cos(\theta_0) + n_1 \cos(\theta_1))$$

- r_{p1} (p-поляризация):

$$r_{p1} = (n_1 \cos(\theta_0) - n_0 \cos(\theta_1)) / (n_1 \cos(\theta_0) + n_0 \cos(\theta_1))$$

Подставим значения:

- $\cos(\theta_0) = \cos(30^\circ) \approx 0.8660$
- $\cos(\theta_1) = \cos(19.47^\circ) \approx 0.9428$

Теперь считаем:

- $r_{s1} = (1.0 * 0.8660 - 1.5 * 0.9428) / (1.0 * 0.8660 + 1.5 * 0.9428)$
- $r_{s1} = -0.5482 / 2.2802$
- $r_{s1} \approx -0.2404$
- $r_{p1} = (1.5 * 0.8660 - 1.0 * 0.9428) / (1.5 * 0.8660 + 1.0 * 0.9428)$
- $r_{p1} = 0.3562 / 2.2418$
- $r_{p1} \approx 0.1589$

4. Расчет φ_1 (Фазовая толщина):

$$\varphi_1 = (2\pi / \lambda) * n_1 * d_1 * \cos(\theta_1)$$

$$\varphi_1 = (2\pi / 500 \times 10^{-9}) * 1.5 * 100 \times 10^{-9} * 0.9428$$

$$\varphi_1 = (2\pi / 500) * 1.5 * 100 * 0.9428 \text{ (Здесь подразумеваются нанометры для } \lambda \text{ и } d_1)$$

$$\varphi_1 = (2\pi * 1.5 * 0.9428) / 5$$

$$\varphi_1 \approx 1.778 \text{ радиан}$$



Итог:

- $r_{s1} \approx -0.2404$
- $r_{p1} \approx 0.1589$
- $\theta_1 \approx 19.47$ градусов (≈ 0.3398 радиан)
- $\varphi_1 \approx 1.778$ радиан

Теперь подставим эти значения в финальные формулы для r_s и r_p , чтобы вычислить амплитудные коэффициенты отражения для s- и p-поляризации при данных параметрах.

Финальные формулы:

- $r_s = (2i * r_{s1} * \sin(\varphi_1)) / (\exp(-i\varphi_1) - r_{s1}^2 * \exp(i\varphi_1))$
- $r_p = (2i * r_{p1} * \sin(\varphi_1)) / (\exp(-i\varphi_1) - r_{p1}^2 * \exp(i\varphi_1))$

Сначала рассчитаем $\sin(\varphi_1)$ и $\exp(\pm i\varphi_1)$:

- $\sin(\varphi_1) = \sin(1.778) \approx 0.9795$
- $\exp(i\varphi_1) = \cos(\varphi_1) + i \sin(\varphi_1) = \cos(1.778) + i \sin(1.778) \approx -0.2015 + 0.9795i$
- $\exp(-i\varphi_1) = \cos(-\varphi_1) + i \sin(-\varphi_1) = \cos(1.778) - i \sin(1.778) \approx -0.2015 - 0.9795i$

Теперь рассчитаем r_s :

$$r_s = (2i * (-0.2404) * 0.9795) / ((-0.2015 - 0.9795i) - (-0.2404)^2 * (-0.2015 + 0.9795i))$$

$$r_s = (-0.4717i) / ((-0.2015 - 0.9795i) - (0.05779) * (-0.2015 + 0.9795i))$$

$$r_s = (-0.4717i) / ((-0.2015 - 0.9795i) - (-0.01164 + 0.05662i))$$

$$r_s = (-0.4717i) / (-0.19086 - 1.03612i)$$

Чтобы избавиться от мнимой единицы в знаменателе, умножим числитель и знаменатель на комплексно сопряженное знаменателя:

$$r_s = (-0.4717i * (-0.19086 + 1.03612i)) / ((-0.19086 - 1.03612i) * (-0.19086 + 1.03612i))$$

$$r_s = (0.08993i + 0.4888) / (0.03643 + 1.0735)$$

$$r_s = (0.4888 + 0.08993i) / 1.10993$$

$$r_s \approx 0.4404 + 0.0810i$$

Теперь рассчитаем r_p :

$$r_p = (2i * (0.1589) * 0.9795) / ((-0.2015 - 0.9795i) - (0.1589)^2 * (-0.2015 + 0.9795i))$$

$$r_p = (0.3113i) / ((-0.2015 - 0.9795i) - (0.02525) * (-0.2015 + 0.9795i))$$

$$r_p = (0.3113i) / ((-0.2015 - 0.9795i) - (-0.005088 + 0.02473i))$$

$$r_p = (0.3113i) / (-0.19641 - 1.00423i)$$

Умножим числитель и знаменатель на комплексно сопряженное знаменателя:



$$r_p = (0.3113i * (-0.19641 + 1.00423i)) / ((-0.19641 - 1.00423i) * (-0.19641 + 1.00423i))$$

$$r_p = (-0.3126 + 0.06114i) / (0.03858 + 1.00847)$$

$$r_p = (-0.3126 + 0.06114i) / 1.04705$$

$$r_p \approx -0.2986 + 0.0584i$$

Итог:

При заданных параметрах мы получили следующие амплитудные коэффициенты отражения:

- $r_s \approx 0.4404 + 0.0810i$
- $r_p \approx -0.2986 + 0.0584i$

Важно:

- r_s и r_p – комплексные числа. Их модуль ($|r| = \sqrt{\text{Re}(r)^2 + \text{Im}(r)^2}$) представляет собой амплитуду отраженной волны, а аргумент ($\arctan(\text{Im}(r) / \text{Re}(r))$) – фазу отраженной волны.
- Интенсивность отраженной волны пропорциональна квадрату модуля амплитудного коэффициента отражения ($|r|^2$).

Эти вычисления показывают, как при заданных значениях параметров, можно получить комплексные амплитудные коэффициенты отражения для s- и p-поляризации. Эти значения описывают амплитуду и фазу отраженной волны.

Ключевые моменты:

- Матричный метод – мощный инструмент моделирования, но может быть сложным для понимания с первого раза.
- Отсутствие поглощения значительно упрощает вычисления.
- Коэффициенты Френеля играют ключевую роль в определении отражения и преломления на границах раздела.
- Финальные формулы показывают, что отражение от тонкого слоя зависит от интерференции световых волн, отраженных от верхней и нижней границ слоя. Синус фазовой толщины ($\sin(\varphi_1)$) указывает на эту интерференционную природу.

В заключение, представленный анализ демонстрирует метод расчета амплитудного коэффициента отражения света от тонкого, прозрачного слоя с использованием матричного метода и коэффициентов Френеля. При заданных параметрах, характеризующих слой (показатель преломления и толщина), окружающую среду (показатель преломления), а также падающий свет (угол падения и длина волны), были получены комплексные значения амплитудных коэффициентов отражения для s- и p-поляризаций.

Эти результаты подчеркивают несколько важных моментов:

1. Интерференция: Отражение от тонкого слоя является результатом интерференции волн, отраженных от верхней и нижней границ. Это объясняет осциллирующее поведение коэффициента отражения в зависимости от толщины слоя и длины волны.
2. Поляризация: Коэффициенты отражения существенно различаются для s- и p-поляризации, что связано с различным взаимодействием электрического поля света с границей раздела сред.



3. Комплексная природа: Амплитудный коэффициент отражения является комплексным числом, что означает, что отраженная волна не только изменяет амплитуду, но и приобретает фазовый сдвиг относительно падающей волны.

Предложенный метод предоставляет мощный инструмент для проектирования и оптимизации оптических элементов, таких как антибликовые покрытия и интерференционные фильтры. Изменяя параметры слоя (толщину и показатель преломления), можно добиться желаемого коэффициента отражения для определенной длины волны и угла падения.

Несмотря на то, что данный расчет проводился для идеально прозрачного слоя, он является основой для более сложных моделей, учитывающих поглощение и многослойные структуры. В целом, представленный анализ демонстрирует принципы и методы, лежащие в основе оптики тонких пленок, и подчеркивает важность понимания этих принципов для разработки и применения современных оптических технологий.

Литература:

1. Л.А. Губанова. Оптические покрытия. Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2012.
2. А.Н. Маначинский. Курс лекций «Физическая оптика». СарФТИ, 2017.
3. М.М. Глазов. Физика низкоразмерных систем. Курс лекций, 2022 г.



Издательство "Лучшее Решение"

(ООО "Лучшее Решение" (ОГРН: 1137847462367, ИНН: 7804521052) - издатель журналов и сборников)

1. Публикации в периодических журналах в НЭБ (eLIBRARY.RU):

www.t-obr.ru - Журнал "Технологии Образования" (периодический журнал, ISSN 2619-0338, регистрация СМИ: ЭЛ № ФС 77 – 72890 от 22.05.2018г.). Статьи педагогической и образовательной направленности. Отправка статей в НЭБ (eLIBRARY.RU). Есть срочные публикации в Ежедневнике журнала "Технологии Образования" - ваш персональный журнал за 1 день.

www.na-obr.ru - Журнал "Научное Образование" (периодический журнал, ISSN 2658-3429, регистрация СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 74050 от 19.10.2018г.). Статьи научной направленности в 16 тематических рубриках. Отправка статей в НЭБ (eLIBRARY.RU). Есть срочные публикации в Ежедневнике журнала "Научное Образование" - ваш персональный журнал за 1 день.

2. Публикации в периодических журналах:

www.1-sept.ru - Журнал "1 сентября" (периодический журнал, ISSN 2713-1416, регистрация СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 77018 от 06.11.2019г.). Статьи педагогической и образовательной направленности. Журнал выходит ежемесячно. На сайте журнала публикуются презентации, доклады на конференциях, работы обучающихся. Можно сделать персональную страницу автора на сайте. Часть материалов размещается в сборниках с № ISBN, в т.ч. есть экспресс-сборник с размещением публикаций за 1 день. Есть срочные публикации в Ежедневнике журнала "1 сентября" (ваш персональный журнал за 1 день).

www.v-slovo.ru - Журнал "Верное слово" (периодический журнал, ISSN 2712-8261, регистрация СМИ: ЭЛ № ФС 77-79314 от 16.10.2020г.). Размещение статей образовательной и педагогической направленности. Публикации презентаций и докладов на педагогических конференциях. Свидетельство сразу после проверки статьи редакцией.

2. Публикации материалов на сайтах-СМИ:

www.лучшееерешение.рф (регистрация СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 64656 от 22.01.2016г.) - Публикации педагогических материалов, в т.ч. в сборниках с № ISBN, в т.ч. есть экспресс-сборник с размещением публикаций за 1 день. Оформление статей отдельными файлами.

www.лучшийпедагог.рф (регистрация СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 69099 от 14.03.2017г.) - Онлайн-публикация педагогических материалов своими руками, в т.ч. в сборниках с № ISBN, в т.ч. есть экспресс-сборник с размещением публикаций за 1 день.

www.publ-online.ru (регистрация СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 72035 от 29.12.2017г.) - Онлайн-публикация научных, педагогических и творческих материалов своими руками, в т.ч. в сборниках с № ISBN.

www.o-ped.ru (регистрация СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 82375 от 10.12.2021г.) - Онлайн-публикация педагогических и образовательных материалов своими руками, в т.ч. бесплатные публикации.

3. Книжный магазин издательства на сайте: www.полезныекниги.рф

Образовательный Центр "Лучшее Решение"

проводит дистанционные предметные олимпиады, творческие конкурсы и образовательные квесты для учащихся и для педагогов на сайтах:

конкурс.лучшееерешение.рф – Олимпиады, конкурсы и тесты ОНЛАЙН для учащихся и педагогов.

квест.лучшееерешение.рф – Образовательные квесты и тесты для всех, тесты для педагогов.