

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Могилевский государственный университет продовольствия»

Кафедра физики

**ПРИМЕНЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ПОЛНОГО ВНУТРЕННЕГО
ОТРАЖЕНИЯ В РЕФРАКТОМЕТРИИ**

Методические указания к лабораторной работе № 3
по разделу «Оптика» курса общей физики
для студентов всех специальностей
дневной и заочной формы обучения

Могилев 2013

УДК 532.516

Рассмотрено и рекомендовано к изданию
на заседании кафедры физики
Протокол № 9 от 29.04.2013 г.

Составители
профессор Малышев В.Л.,
ассистент Пусовская Т.И.

Рецензент
профессор В.А. Юевич

УДК 532.516

©Учреждения образования
«Могилевский государственный
университет продовольствия», 2013

Лабораторная работа № 3. Применение явления полного внутреннего отражения в рефрактометрии

- Цель работы:**
1. Изучить явление полного внутреннего отражения.
 2. Ознакомиться с работой рефрактометра.
 3. Измерить показатели преломления жидкостей.
 4. Определить концентрации растворов.

Приборы и принадлежности: рефрактометр, растворы с неизвестными концентрациями сахара, пипетки, дистиллированная вода.

1 Теоретическое введение

Законы геометрической оптики

Закон отражения

Угол отражения β светового луча от границы АВ 2-х различных сред n_1 и n_2 равен углу падения α (рис.1):

$$\angle \alpha = \angle \beta . \quad (1)$$

Закон преломления

Угол преломления γ светового луча от границы АВ 2-х различных сред n_1 и n_2 определяется соотношением (рис.1)

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1} , \quad (2)$$

т.е. отношение синуса угла падения α к синусу угла преломления γ равно отношению абсолютных показателей преломления второй среды n_2 (среды преломления) и первой n_1 (среды падения).

Лучи падающий 1, отражённый 2, преломлённый 3, а также нормаль CD к поверхности раздела 2-х сред АВ, проведённая в точку падения луча О, лежат в одной плоскости (рис.1).

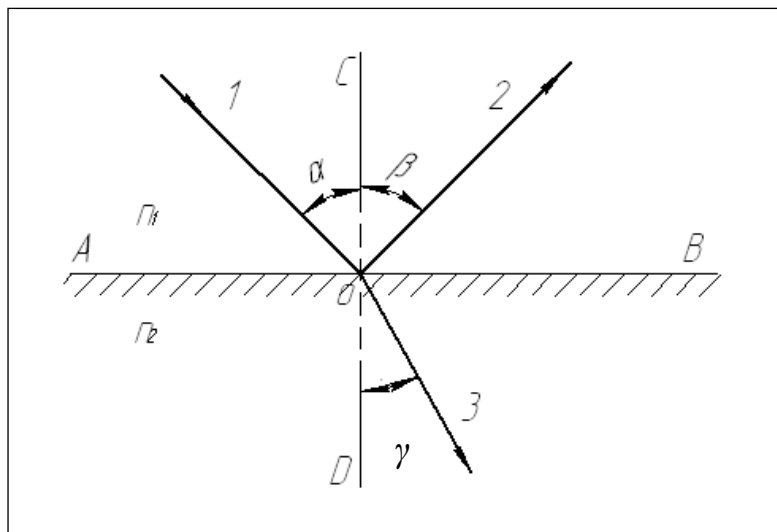


Рисунок 1 – Ход лучей: 1 - падающего, 2 - отражённого, 3 – преломлённого

Показатель преломления

Абсолютный показатель преломления среды показывает, во сколько раз скорость света V в данной среде меньше скорости света в вакууме c . Оптическая плотность среды характеризует скорость распространения в ней света. Чем более плотной является среда, тем медленнее в ней распространяется свет, тем большим абсолютным показателем преломления она обладает. Например, вода представляет собой оптически более плотную среду ($n=1,33$), чем воздух ($n=1$), но менее плотную, чем стекло ($n=1,4$).

Для сравнения абсолютных показателей преломления различных сред вводится понятие относительного показателя преломления данных сред. Так, правую часть закона преломления (2) можно выразить через относительный показатель преломления второй (n_2) и первой (n_1) сред:

$$n_2/n_1 = n_{21} . \tag{3}$$

Учитывая (3), относительный показатель преломления двух сред можно представить в виде

$$n_{21} = c/V_2 : c/V_1$$

и после сокращения

$$n_{21} = V_1/V_2 . \tag{4}$$

Явление полного внутреннего отражения

Если свет переходит из оптически менее плотной среды (например, воздуха) в более плотную (воду), то относительный показатель преломления этих сред $n_{21} > 1$ ($n_2 > n_1$). Из закона преломления (2) следует, что $\sin \alpha > \sin \gamma$. В этом случае угол падения α больше угла преломления γ (рис.1).

При переходе светового луча из *более* плотной среды (например, стекла) в *менее* плотную (воздух) относительный показатель преломления окажется меньше единицы ($n_{21} < 1$), т.к. $n_2 > n_1$. Значит, угол преломления γ в этом случае должен быть больше угла падения α . При постепенном увеличении угла падения α угол преломления γ растёт быстрее, и можно достигнуть такого угла падения α_0 , при котором угол преломления γ станет равным 90° (рис.2). Угол падения α_0 , при котором преломлённый луч скользит вдоль границы АВ раздела двух сред, не переходя во вторую среду, называется *предельным углом* полного внутреннего отражения. Для определения предельного угла α_0 следует принять в законе преломления (2) угол преломления $\gamma = 90^\circ$, что соответствует $\sin \gamma = 1$. Тогда

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Следовательно,

$$\alpha_0 = \arcsin n_2/n_1. \quad (5)$$

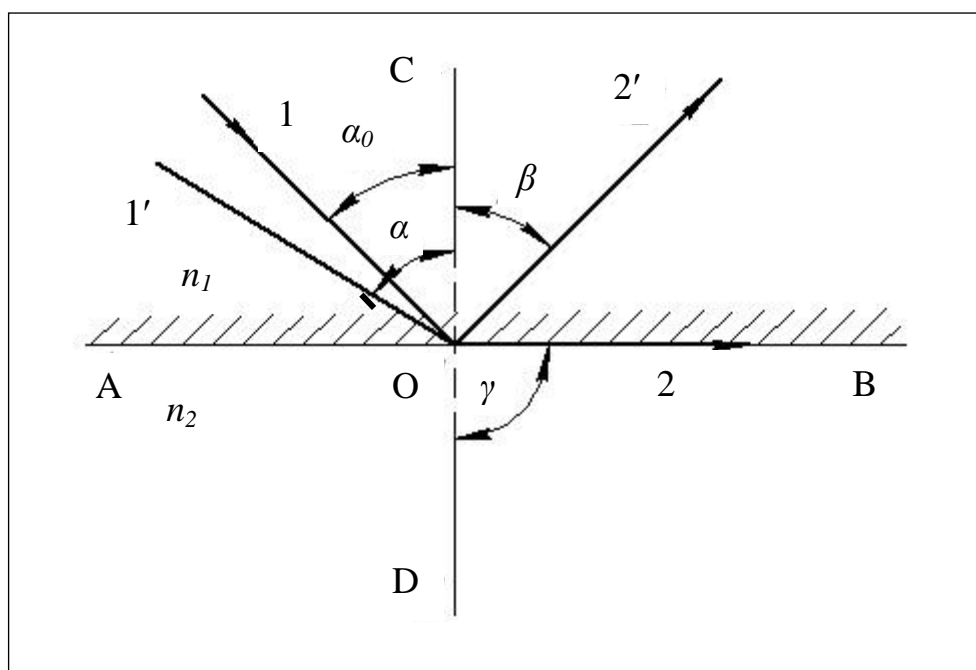


Рисунок 2 – Ход лучей при полном внутреннем отражении:
 α_0 - предельный угол падения (соответствует ходу лучей 1 и 2);
 $\alpha > \alpha_0$ - соответствуют ходу лучей 1' и 2'

При всех углах падения $\alpha \geq \alpha_0$ (рис.2.) падающий на поверхность АВ свет полностью отражается от неё, не преломляясь. Явление *на границе оптически более плотной среды с менее плотной*, при котором *интенсивность преломленного света становится равной нулю*, а весь падающий на поверхность раздела свет *полностью от неё отражается* - называется *полным внутренним отражением*

Эффект полного внутреннего отражения лежит в основе устройства световодящих волоконных линий, используемых в современных оптических системах передачи информации.

Дисперсия

Дисперсией света называется зависимость показателя преломления вещества от длины световой волны:

$$n = f(\lambda),$$

где λ - длина световой волны в вакууме.

Дисперсия вещества характеризуется производной n по λ .

Нормальная дисперсия. Для всех прозрачных бесцветных веществ функция $n = f(\lambda)$ является в видимой части спектра убывающей (рис.3).

С уменьшением длины волны показатель преломления увеличивается со все возрастающей скоростью, так что дисперсия таких веществ $\frac{dn}{d\lambda} < 0$ и растет по модулю с уменьшением λ .

Аномальная дисперсия. Если вещество поглощает часть лучей, то в области поглощаемых длин волн зависимость $n = f(\lambda)$ имеет аномальный характер.

В области длин волн $\Delta\lambda$ (рис.4) дисперсия вещества $dn/d\lambda$ оказывается положительной, а сама область называется областью аномальной дисперсии вещества

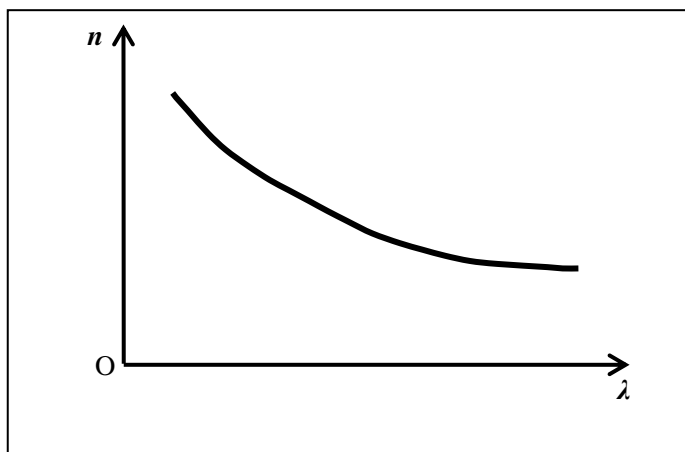


Рисунок 3– Нормальная дисперсия

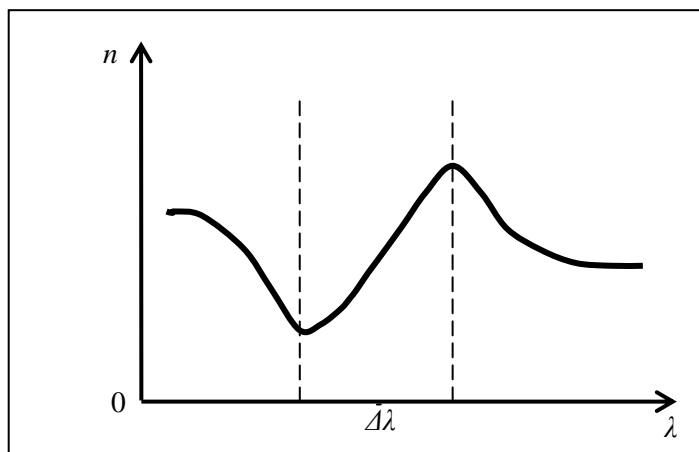


Рисунок 4 – Аномальная дисперсия (участок $\Delta\lambda$)

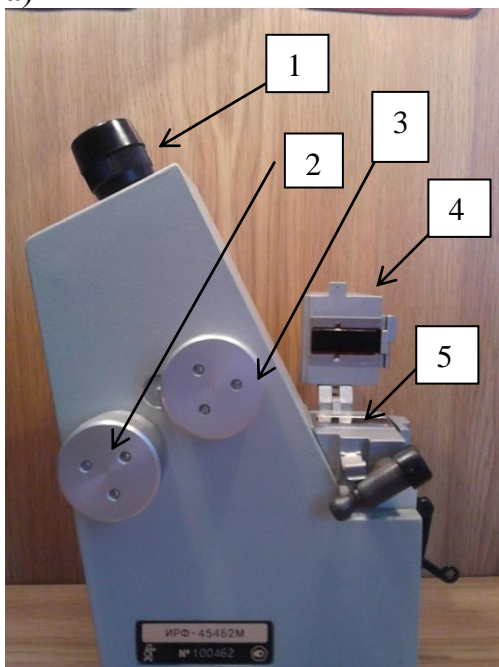
Рефрактометрия

Величина показателя преломления вещества зависит от многих факторов: плотности, температуры, давления и длины волны падающего излучения. Молекулы каждого вещества отличаются своим строением, поэтому внешнее давление влияет на плотность среды, деформируя молекулы, и ведёт к изменению показателя преломления исследуемых сред в разной степени. В данной работе полагается, что эксперимент проводится при нормальном атмосферном давлении и внешней температуре окружающей среды равной 20°C .

Рефракцией (преломлением) называется изменение направления прямолинейного распространения света при переходе из одной оптической среды в другую. *Рефрактометрические методы* исследования различных веществ направлены на определение показателя преломления среды.

Рефрактометр – физический прибор для измерения показателя преломления исследуемых веществ (рис. 5).

а)



б)

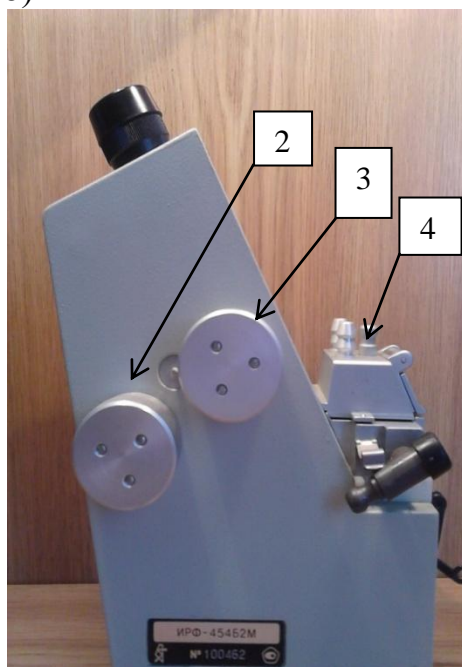


Рисунок 5 – Вид рефрактометра справа: а - подготовительное состояние, б - рабочее положение

- 1 - окуляр;
- 2 - регулировочный винт перемещения границы «свет-тьень», связанный со шкалами n и S в окуляре 1;
- 3 - ручка настройки компенсатора;
- 4 - матовая поверхность стеклянной призмы, опускаемой на жидкую плёнку;
- 5 - прозрачная поверхность стеклянной призмы для нанесения капель раствора

Устойчивая работа рефрактометра будет осуществляться лишь в том случае, если освещение является *монохроматическим* (определённой длины волны). Дисперсия исследуемого вещества приводит к тому, что величина предельного угла α_0 зависит от длины световой волны. Поэтому при работе с источником *полихроматического* (набор различных длин волн) света граница света и тени, наблюдаемая в поле зрения окуляра, оказывается размытой и окрашенной. Для того чтобы получить чёткое изображение границы раздела сред, перед объективом помещают компенсатор с переменной дисперсией.

Компенсатор состоит из двух одинаковых дисперсионных призм Амичи, каждая из которых образована из трёх стеклянных призм с разными показателями преломления и разной дисперсией. Компенсатор настроен на монохроматический луч с длиной волны $\lambda = 589,3$ нм. Лучи с другими длинами волн отклоняются в ту или иную сторону.

При повороте ручки 3 компенсатора (рис.5) можно уменьшить дисперсию и добиться такого положения, при котором граница света и тени в поле зрения будет достаточно чёткой. Положение границы в пересечении диагоналей (рис.6) при этом соответствует длине волны, для которой и приводятся значения показателя преломления.

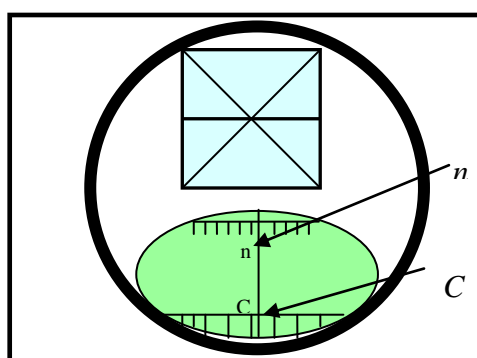


Рисунок 6 – Общий вид зрительного поля окуляра: n - показатель преломления; C - концентрация раствора

2 Принцип действия

Пусть луч света извне направлен на стеклянную призму с известным показателем преломления n_1 , после чего тот попадает на границу между призмой и исследуемой жидкостью с меньшим показателем преломления n_2 . С помощью регулировочного винта 2 (рис.5) можно плавно менять положение межфазной поверхности АВ относительно падающего луча 1, тем самым изменяя угол падения α на α_1 (рис.8).

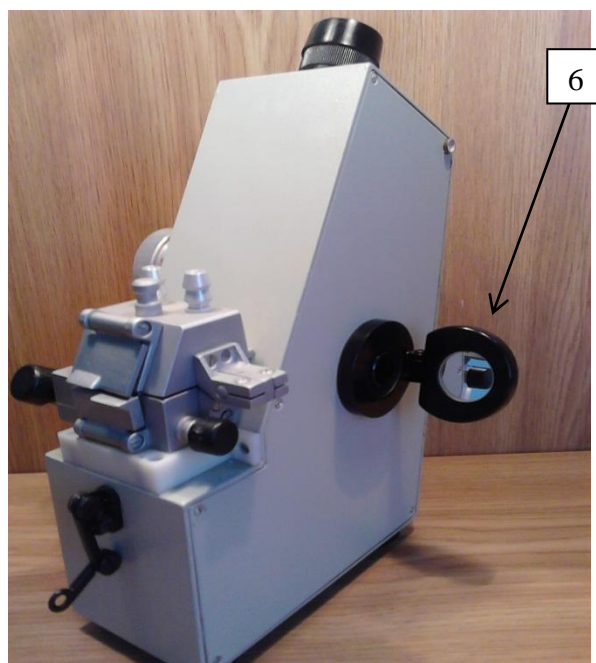


Рисунок 7 – Вид рефрактометра слева: 6 – крышка – зеркальце подсветки зрительного поля в окуляре.

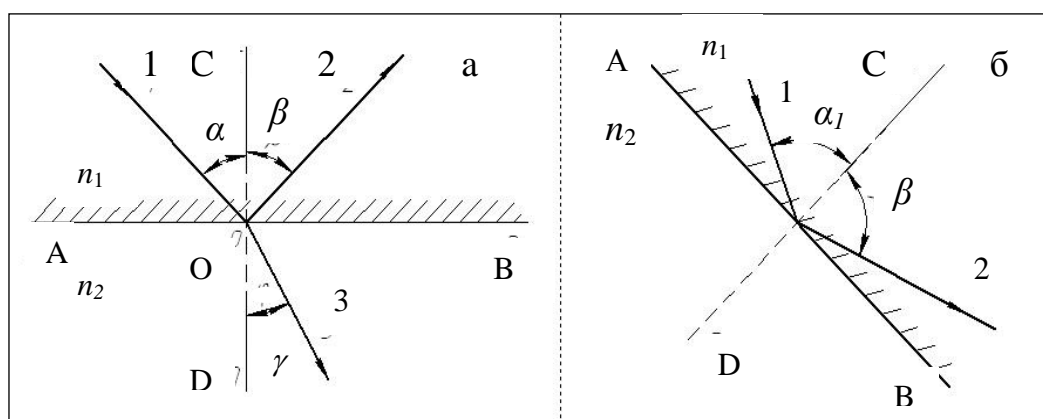


Рисунок 8 – Физический принцип работы рефрактометра

3 Подготовка к работе

1. Установить прибор таким образом, чтобы естественный свет или источник искусственного освещения находились с противоположной от окуляра стороны (рис.5).
2. Открыть (слева от окуляра) зеркальную крышку 6 для подсветки шкалы (рис.7) так, чтобы свет, отражённый от её внутренней зеркальной поверхности, направлялся внутрь прибора через глазок в корпус.
3. Поднять призму 4 (рис.5, а) в передней части прибора и протереть открытую поверхность насухо (при необходимости промыть её влажной салфеткой).

4. Нанести на горизонтальную поверхность 5 (рис.5, а) одну-две капли дистиллированной воды.
5. Плавно опустить верхнюю призму 4 (рис.5, а) на прежнее место, приведя прибор в рабочее положение (рис.5,б).
6. Глядя в окуляр, вращением ручки настройки компенсатора 3 (справа от окуляра) (рис.5) добиться исчезновения радужных бликов. Тем самым прибор выделяет из полихроматического светового потока единственную длину волны $\lambda_1 = 589,3$ нм жёлтой линии спектра натрия, на которую настроен рефрактометр. Деления на ручке компенсатора предназначены для запоминания настройки прибора при повторных измерениях.
7. Найти предельный угол полного внутреннего отражения, изменяя положение поверхности АВ (рис.8) с помощью регулировочного винта 2 (рис.7) справа от окуляра. При требуемом положении потоки отражённого и преломлённого света должны быть равны, что соответствует расположению границы «свет – тень» по центру окуляра (в пересечении его диагоналей) (рис.6).
8. В нижней части зрительного поля окуляра (рис.6) находятся две горизонтальные шкалы (верхняя - показатель преломления n , нижняя - концентрация раствора C). Регулировка положения визирной линии связана с перемещением границы раздела. Каждому значению n верхней шкалы приводится в соответствие определённая концентрация раствора C .
9. Проверить качество настройки прибора можно по известным характеристикам дистиллированной воды: $n_d = 1,333$, $C_d = 0$. Если для неё прибор показывает значения $n_0 \neq n_d$, $C_0 \neq 0$, то следует ввести поправку к последующим измерениям:

$$\Delta n = n_0 - n_d, \quad (6)$$

$$\Delta C = C_0 - C_d \quad (7)$$

4 Порядок выполнения работы

1. Установить прибор так, чтобы на измерительную призму падал естественный свет или, если необходимо, свет от искусственного источника. После этого в верхнем поле зрения окуляра 1 (рис.6) можно увидеть квадрат с диагональными линиями и размытую границу «свет-тень».
2. Вращая винт 3 (рис.5) добиться максимального контраста границы «свет-тень».
3. Открыть зеркальце 6 (рис.7) и направить на него свет. После этого в нижней части поля зрения окуляра появится измерительная шкала, проградуированная и в показателях преломления и в концентрациях сахарного раствора.
4. Вращая винт 2 (рис.7) совместить границу «свет-тень» с точкой пересечения диагоналей квадрата в верхнем поле зрения окуляра (рис.6). Тогда в нижнем поле зрения окуляра (рис.6) визирная линия будет указывать на измерительной шкале значения показателя преломления и соответствующей концентрации сахарного раствора.

5. Указания 1-4 выполнить для 4-х растворов неизвестной концентрации и занести данные в таблицу 1.

Таблица 1 – Зависимость показателя преломления от концентрации раствора

№ раствора	концентрация раствора $C, \%$	показатель преломления, n

6. Построить график зависимости показателя преломления n от концентрации раствора C .

Контрольные вопросы

1. Что такое абсолютный показатель преломления, как он зависит от скорости света в среде?
2. Что такое относительный показатель преломления, как он зависит от скорости света в средах?
3. В чем заключается явление дисперсии?
4. Объясните явление полного внутреннего отражения.
5. Что такое предельный угол полного внутреннего отражения?
6. Расскажите о работе рефрактометра по методу полного внутреннего отражения.
7. Что такое рефракция, рефрактометрия, рефрактометр?

Список использованных источников

- 1 Трофимова, Т.И. Курс физики – М.: Высшая школа, 2007. – 558 с.
- 2 Савельев, И.В. Курс общей физики. Кн. 3. – М.: АСТ Астрель, 2005. – 208 с.
- 3 Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики. – М.: Академия, 2005. – 720 с.

Учебное издание

**ПРИМЕНЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ПОЛНОГО ВНУТРЕННЕГО ОТРАЖЕНИЯ В
РЕФРАКТОМЕТРИИ**

Методические указания

Составители

к. ф.-м. н. профессор Малышев В.Л., ассистент Пусовская Т.И.

Редактор Т. Л. Матеуш

Технический редактор А. А. Щербакова

Подписано в печать	Формат 60x84 ¹ / ₁₆
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать трафаретная.	
Усл. печ. л.	Уч.-изд. л.
Тираж	Заказ

Отпечатано на ризографе редакционно-издательского отдела
Учреждение образования
«Могилевский государственный университет продовольствия».

212027, Могилев, пр-т Шмидта, 3.
ЛИ № 02330/0131913 от 08.02.2007.