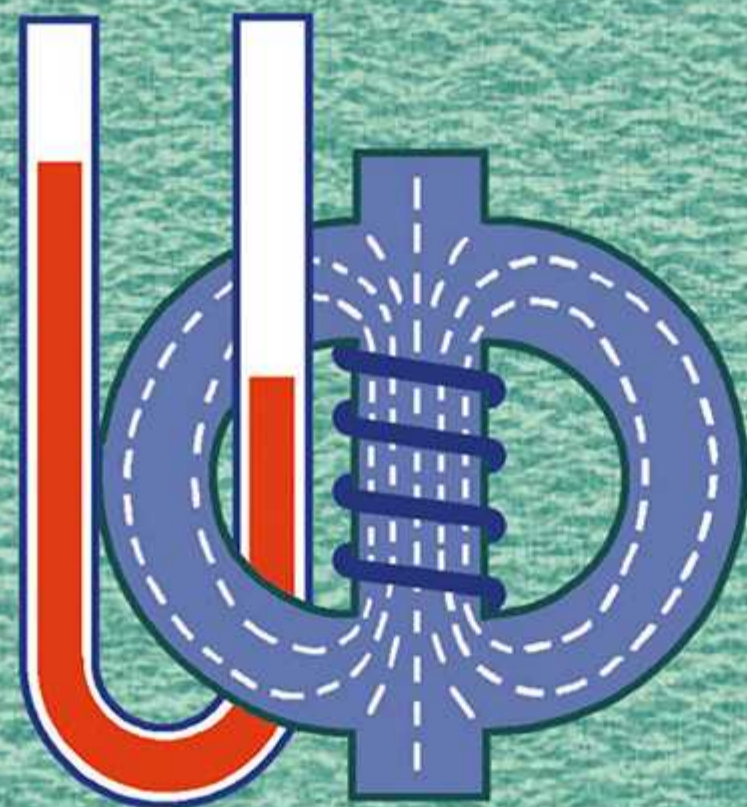
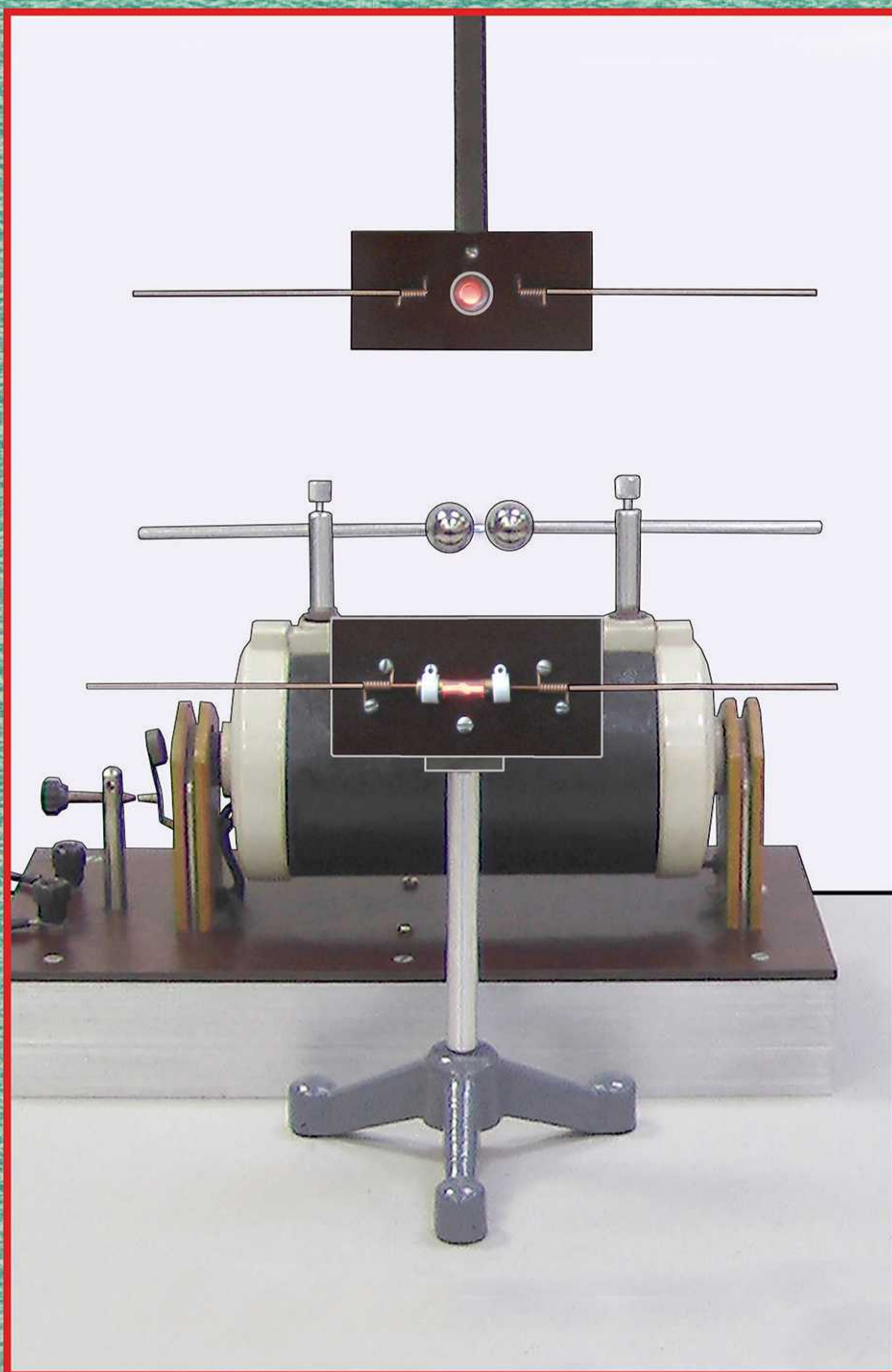


ISSN 2307-5457



УЧЕБНАЯ ФИЗИКА

1
2022



УДК 372.853:535

В. В. Майер, А. А. Перминов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМАРТФОНА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАДИЕНТА ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Для физического практикума бакалавриата педагогического вуза предлагается лабораторная работа по определению градиента показателя преломления в слое между раствором поваренной соли и чистой водой. Основным измерительным прибором является смартфон с программой «Радиус кривизны луча».

Ключевые слова: лабораторная работа, градиент показателя преломления, смартфон, программное обеспечение, фотографирование искривленного пучка света.

1. Введение

Явления, связанные с распространением света в оптически неоднородных средах, относятся к градиентной оптике [1, 2]. Изучение в физическом практикуме педагогического вуза криволинейного распространения света в слоисто-неоднородной среде знакомит обучающихся с вводными понятиями указанного раздела современной оптики.

Как известно, в первом приближении можно считать, что радиус кривизны R светового луча в такой среде с постоянным градиентом $G = dn/dy$ показателя преломления $n = n(y)$ выражается простой формулой [2]:

$$R = \frac{n}{G} = \frac{n}{dn/dy}. \quad (1)$$

Актуальной задачей дидактики физики является разработка такого учебного эксперимента, который доступными средствами при минимальных затратах учебного времени обеспечивает количественное подтверждение приведенной формулы. Мы предлагаем для решения этой задачи использовать планшет или смартфон с операционной системой на базе *Android*, который в наши дни есть у каждого студента.

2. Выполнение лабораторного эксперимента

Выполнение эксперимента на лабораторном занятии физическо-го практикума включает следующие действия обучающихся.

1) Рефрактометром Аббе или иным способом измеряют показатели преломления воды $n_1 = 1,333$ и насыщенного водного раствора хлорида натрия $n_2 = 1,380$ [1].

2) Подкрашивают жидкости флюоресцеином так, чтобы они слабо люминесцировали; поместив воду и раствор соли в плоско-параллельную стеклянную кювету одну над другой, получают оптически неоднородную среду методом диффузии.

3) Рядом с кюветой располагают линейку с миллиметровыми делениями и сбоку кюветы направляют в жидкость узкий пучок зеленого, фиолетового или ультрафиолетового лазера так, чтобы свет распространялся симметрично относительно кюветы по дуге окружности с минимальным радиусом кривизны [3].

4) На смартфон (или планшет) фотографируют кювету с искривленным пучком света и расположенную рядом с ней линейку.

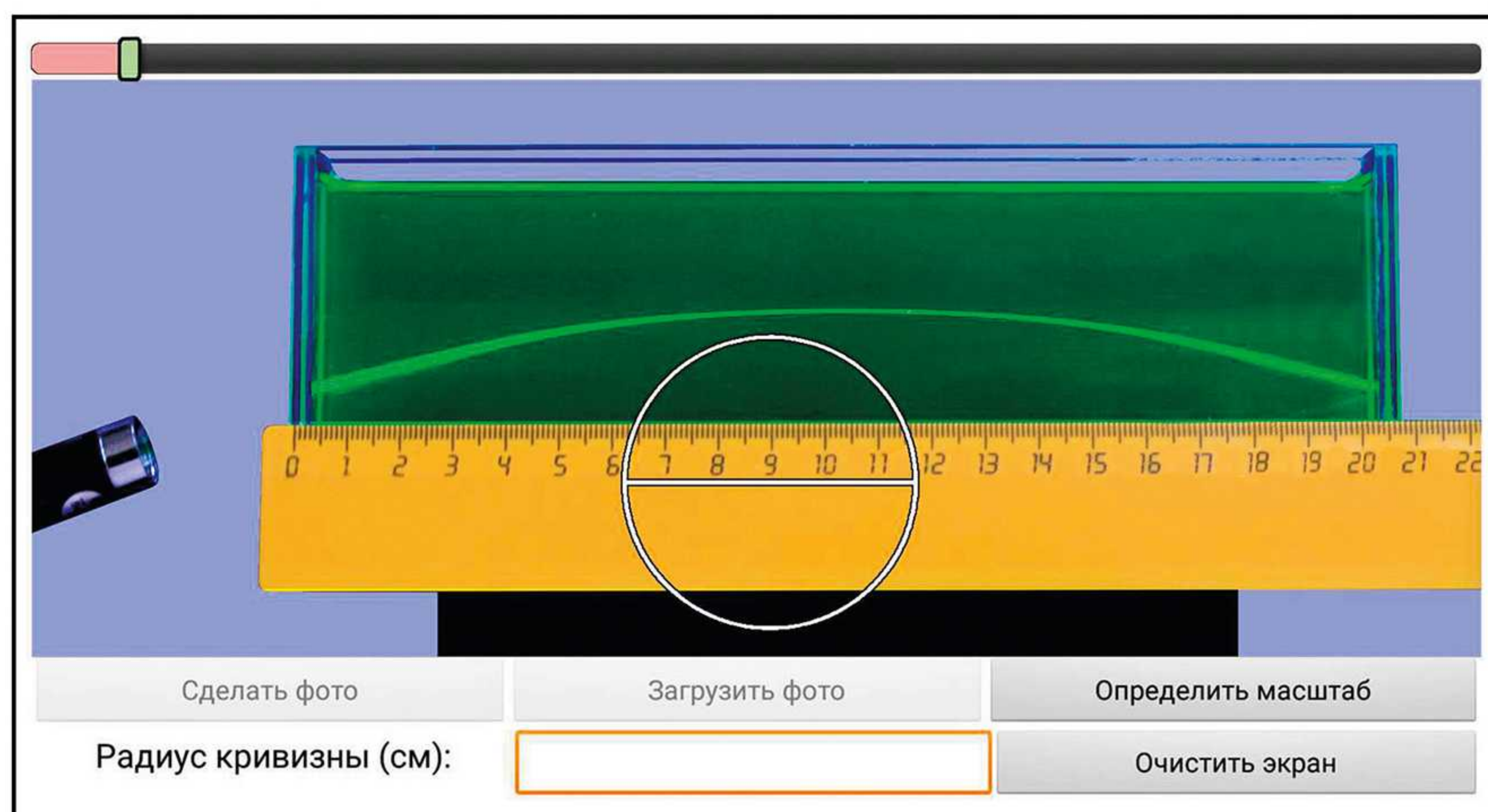


Рис. 1. Фотография искривленного пучка света в слоисто-неоднородной среде и расположенной рядом с ним линейки с миллиметровыми делениями. На фоне фотографии появилось изображение окружности и ее горизонтального диаметра. В левом верхнем углу экрана находится бегунок.

5) Загружают в смартфон программу «Радиус кривизны луча», видят появившуюся на экране красную окружность с диаметром и выводят на экран фотографию (рис. 1).

6) Касаясь пальцем верхней точки окружности, перемещают ее так, чтобы обозначенный на ней диаметр оказался на линейке, подбирают удобный размер окружности и нажимают на кнопку *Опре-*

делить масштаб; в появившееся окно вводят измеренное линейкой значение (в мм) длины диаметра окружности.

7) Бегунком, расположенным в верхней левой части экрана, изменяют диаметр окружности и, касаясь ее пальцем, перемещают окружность так, чтобы ее дуга совпала с изображением светового пучка (рис. 2).

8) В окне *Радиус кривизны* считывают значение радиуса кривизны светового пучка.

9) Из приведенной выше формулы (1) выражают градиент показателя преломления $G = dn/dy = n/R$.

10) Сравнивают его со значением, найденным непосредственно по фотографии: $dn \approx \Delta n = n_2 - n_1$ — изменение показателя преломления на толщине $dy \approx \Delta y$ оптически неоднородного слоя.

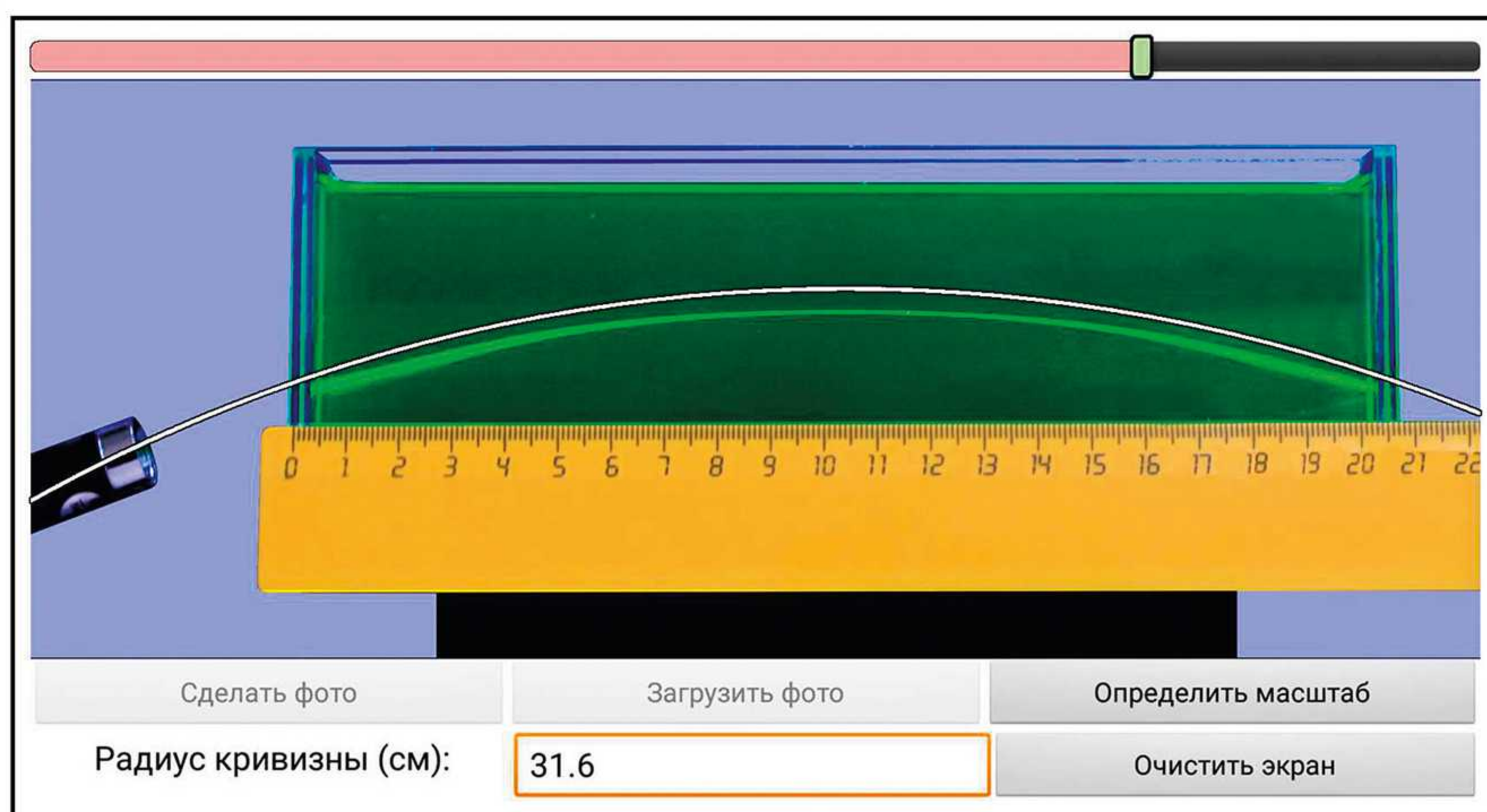


Рис. 2. Вспомогательная окружность перемещена по экрану и ее радиус увеличен так, что дуга окружности почти совпадает с изображением искривленного пучка. Обратите внимание: бегунок перемещен вправо по экрану.

Три последних действия обучающиеся выполняют вручную, чтобы окончательно не потерять навык элементарных вычислений физических величин и погрешностей их измерений. Однако при необходимости все расчеты могут быть выполнены в программе.

3. Разработка мобильного приложения

Для разработки мобильного приложения для операционной системы *Android* использована облачная среда визуальной разработки приложений *MIT App Inventor* [4, 5]. Построение программы осуществляется при помощи блоков программного кода. При созда-

нии собственной программы можно следовать приведенной ниже инструкции.

1. Запустите среду визуального программирования *MIT App Inventor* по ссылке <http://ai2.appinventor.mit.edu/>. Для доступа к облачной среде программирования необходимо ввести адрес электронной почты *Gmail* и пароль к ней.

2. Измените язык интерфейса с английского на русский: нажмите на кнопку *English* в верхней панели экрана и из выпадающего списка выберите *Русский*.

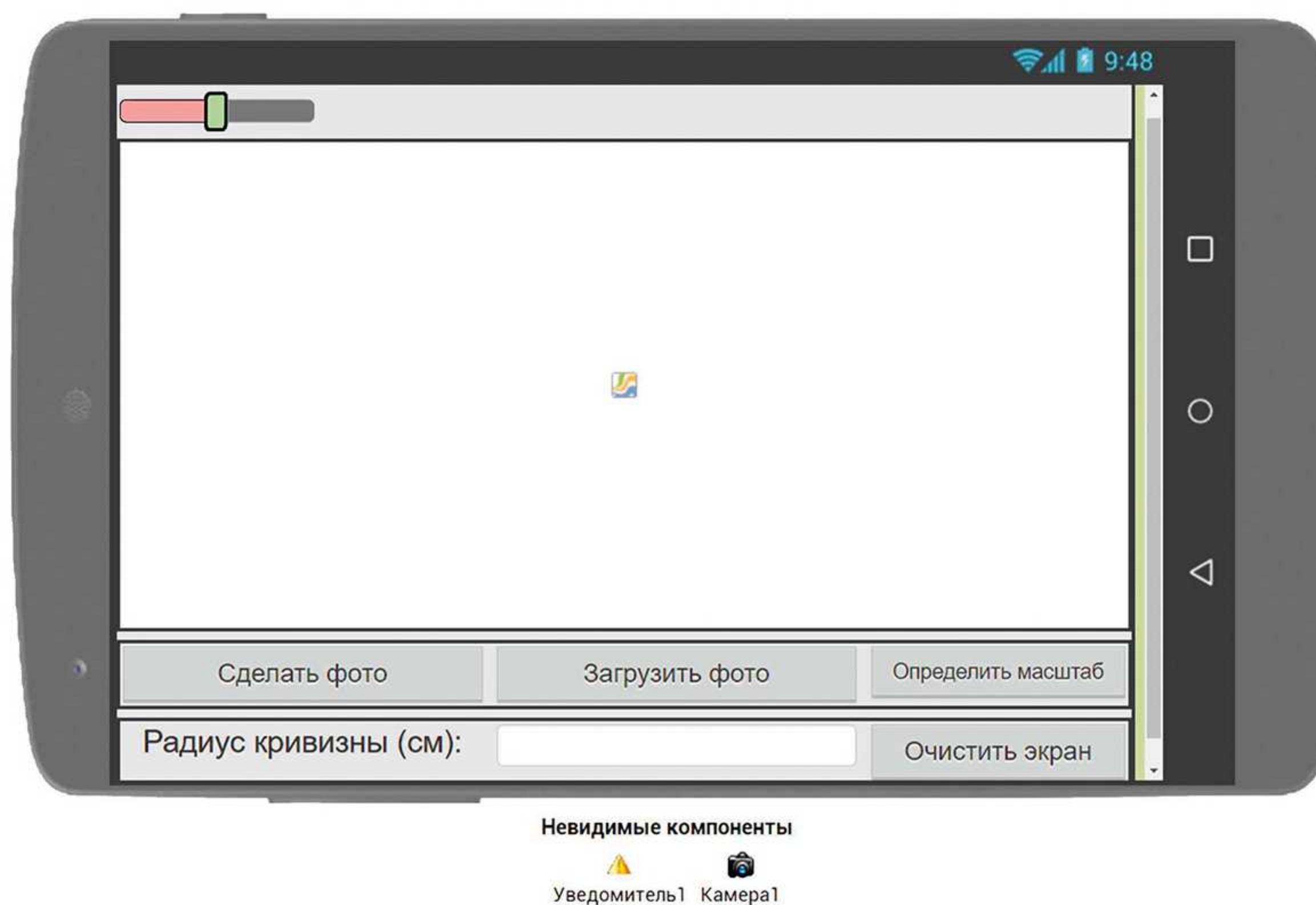


Рис. 3. Макет приложения для определения радиуса кривизны светового пучка в слоисто-неоднородной среде: *Кнопка1* — «Определить масштаб»; *Кнопка2* — «Сделать фото»; *Кнопка3* — «Очистить экран»; *Выборщик Изображений* — «Загрузить фото»; *Надпись* — «Радиус кривизны (см)»

3. Нажмите на кнопку *Начать новый проект* и введите в появившемся текстовом поле название проекта латинскими буквами без пробелов и знаков препинания.

4. В окне *Дизайнер* перейдите в раздел *Свойства* экрана *Screen1*. Задайте *Ориентацию* экрана — *Широкоформатный режим*. Установите галочку у надписи *Прокручиваемый*. Удалите содержимое текстового поля *Заголовков* и уберите галочку у надписи *TitleVisible*. В поле *AppName* введите название будущей программы «Радиус кривизны луча».

5. На вкладке *Расположение* выберите компонент *Вертикальное Расположение* и поместите его мышью на макет экрана смартфона. Установите параметры *Высота* и *Ширина* компонента — *Наполнить родительский*.

2. Выполнение лабораторного эксперимента

Выполнение эксперимента на лабораторном занятии физическо-го практикума включает следующие действия обучающихся.

1) Рефрактометром Аббе или иным способом измеряют показатели преломления воды $n_1 = 1,333$ и насыщенного водного раствора хлорида натрия $n_2 = 1,380$ [1].

2) Подкрашивают жидкости флюоресцеином так, чтобы они слабо люминесцировали; поместив воду и раствор соли в плоско-параллельную стеклянную кювету одну над другой, получают оптически неоднородную среду методом диффузии.

3) Рядом с кюветой располагают линейку с миллиметровыми делениями и сбоку кюветы направляют в жидкость узкий пучок зеленого, фиолетового или ультрафиолетового лазера так, чтобы свет распространялся симметрично относительно кюветы по дуге окружности с минимальным радиусом кривизны [3].

4) На смартфон (или планшет) фотографируют кювету с искривленным пучком света и расположенную рядом с ней линейку.

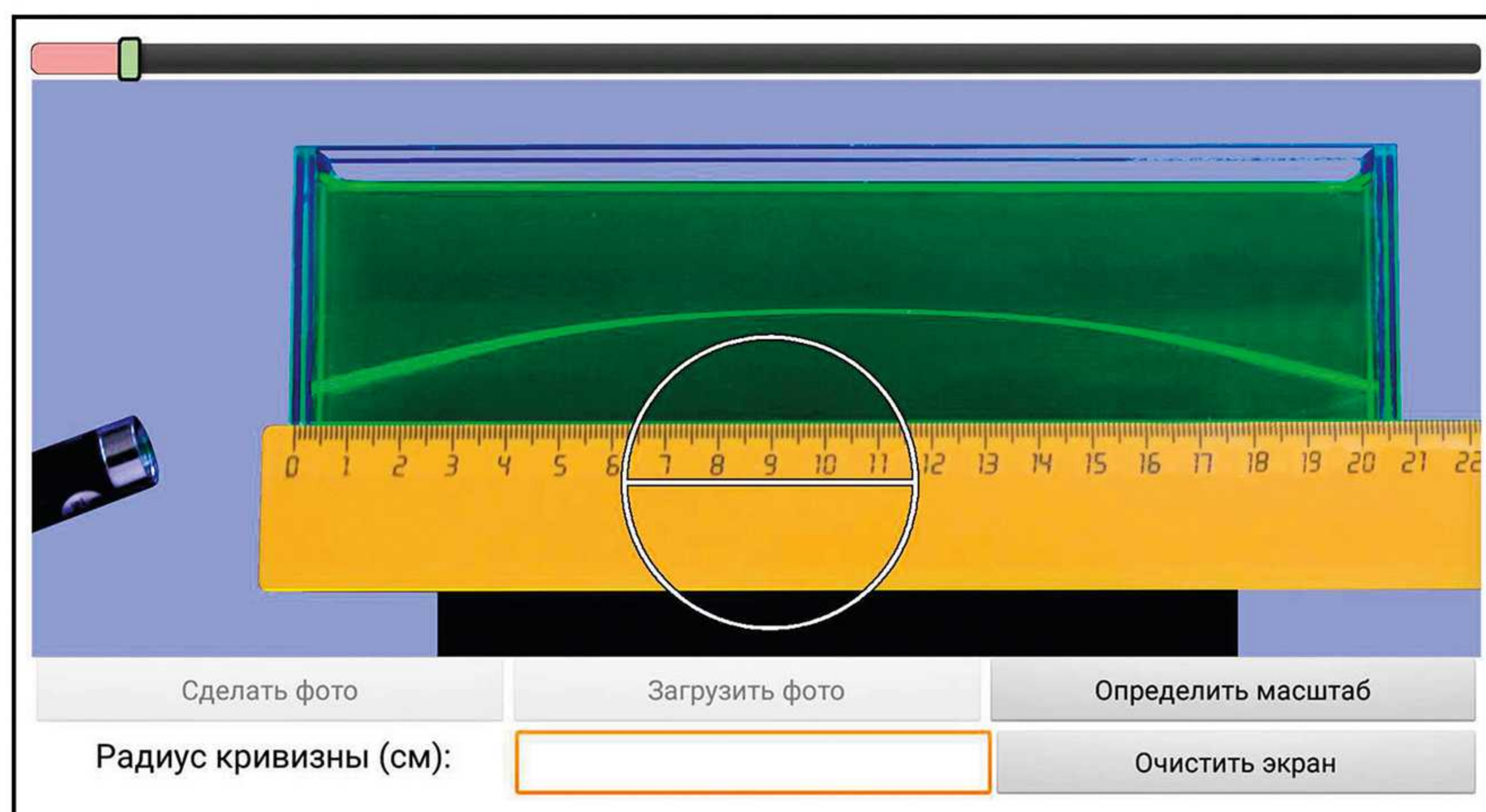


Рис. 1. Фотография искривленного пучка света в слоисто-неоднородной среде и расположенной рядом с ним линейки с миллиметровыми делениями. На фоне фотографии появилось изображение окружности и ее горизонтального диаметра. В левом верхнем углу экрана находится бегунок.

5) Загружают в смартфон программу «Радиус кривизны луча», видят появившуюся на экране красную окружность с диаметром и выводят на экран фотографию (рис. 1).

6) Касаясь пальцем верхней точки окружности, перемещают ее так, чтобы обозначенный на ней диаметр оказался на линейке, подбирают удобный размер окружности и нажимают на кнопку *Опре-*

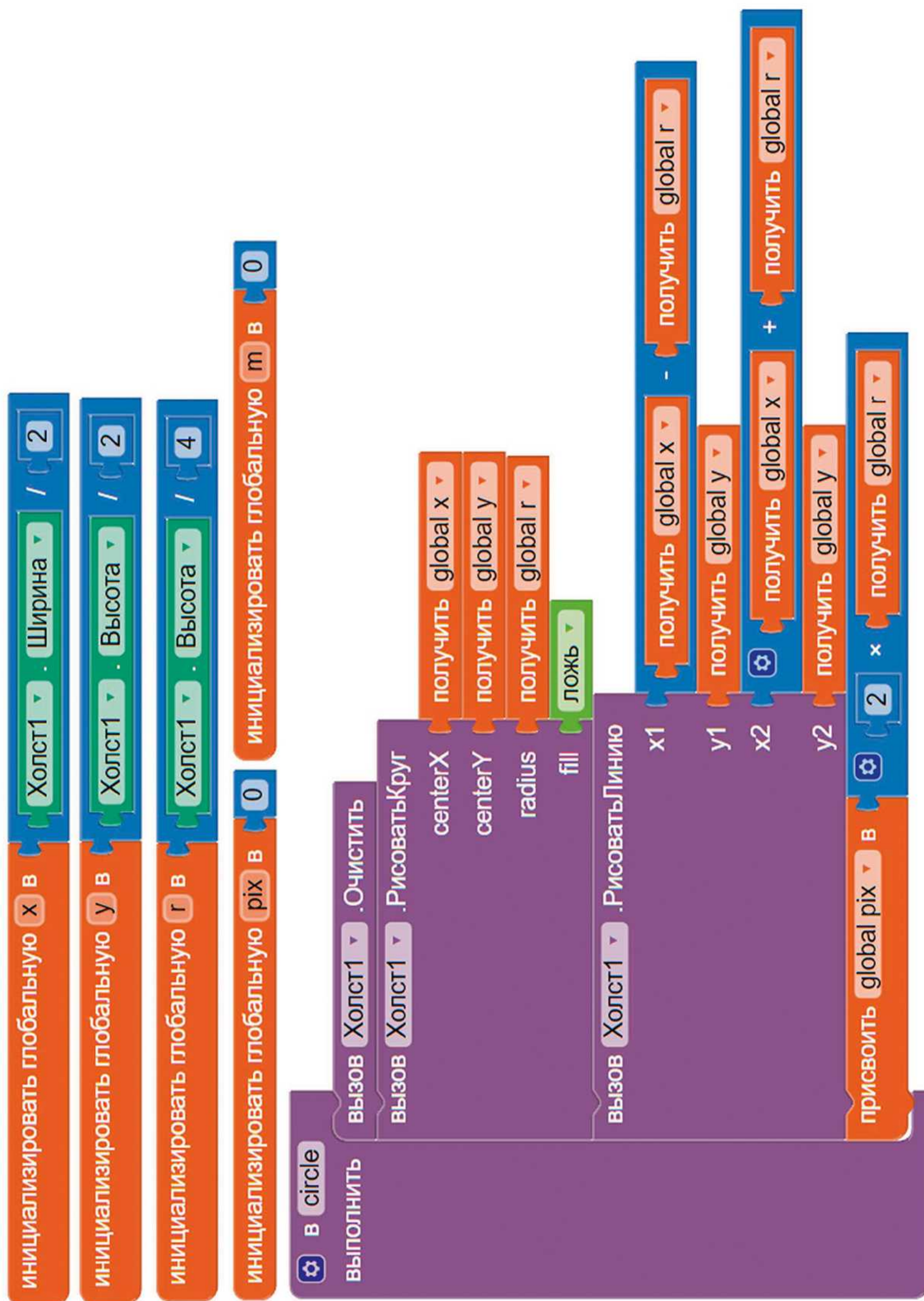


Рис. 4. Блоки инициализации переменных и блок процедуры рисования окружности с диаметром. Присваивают переменным x , y , r начальные координаты центра и значение радиуса окружности. Объявляют переменную pix диаметра в пикселях и переменную m масштаба фотографии. Создают процедуру *circle* рисования окружности.



Рис. 5. Блок загрузки экрана. Задают начальные координаты и радиус окружности, вызывают процедуру рисования окружности. Формируют сообщение «Сфотографируйте или загрузите результат эксперимента». Устанавливают минимальное, максимальное и текущее значения бегунка. Делают неактивной кнопку определения масштаба фотографии.



Рис. 6. Блоки перемещения и деформации окружности. При касании пальцем экрана окружность перемещается так, что ее верхняя точка оказывается под пальцем. Перемещая пальцем бегунок, изменяют диаметр окружности.

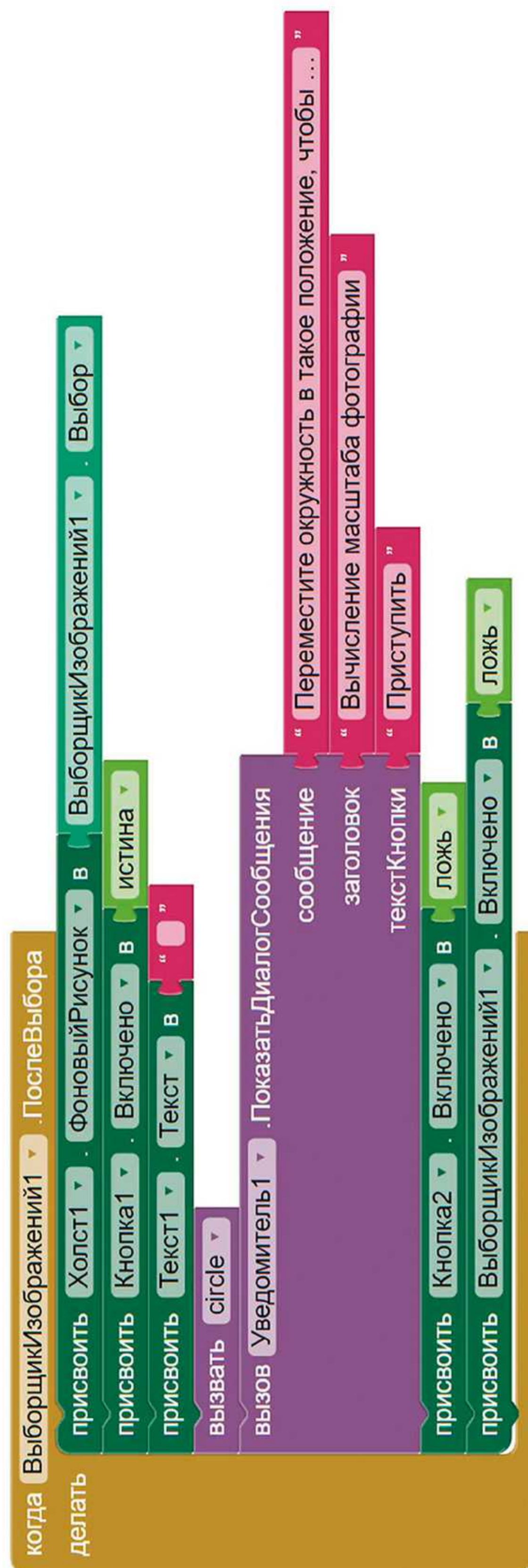


Рис. 7. Блок загрузки фотографии. При нажатии на кнопку *Загрузить фото* на экран выводится фотография и появляется сообщение: «Переместите окружность в такое положение, чтобы ее диаметр оказался на изображении линейки. По фотографии линейки определите диаметр окружности и нажмите кнопку *Определить масштаб*». Кнопку «Определить масштаб» делают активной, а выборщик «Загрузить фото» и кнопку «Сделать фото» — неактивными.

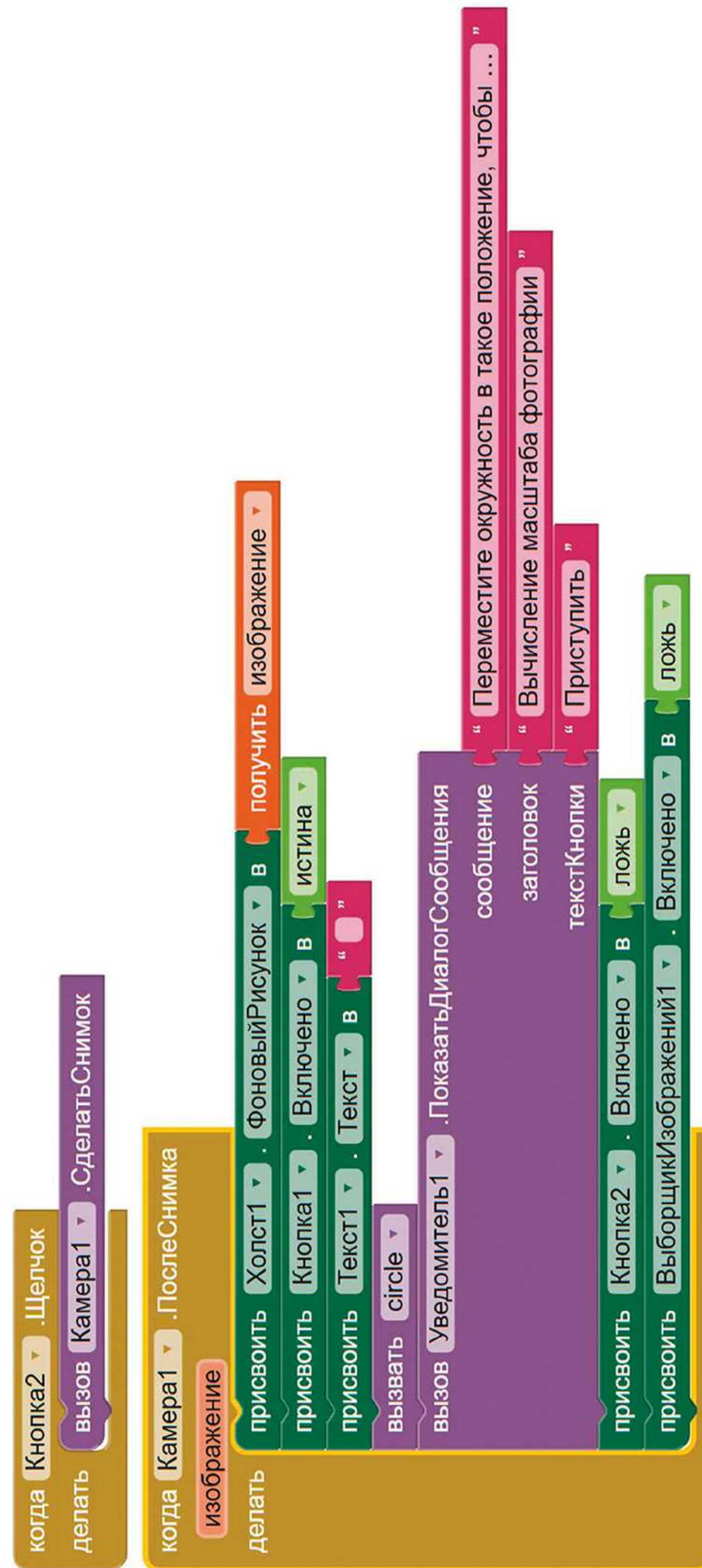


Рис. 8. Блоки фотографирования. При нажатии на кнопку *Сделать фото* на экран выводится фотография и появляется сообщение: «Переместите окружность в такое положение, чтобы ее диаметр оказался на изображении линейки. По фотографии линейки определите диаметр окружности и нажмите кнопку *Определить масштаб*». Кнопку «Определить масштаб» делают активной, а выборщик «Загрузить фото» и кнопку «Сделать фото» — неактивными.

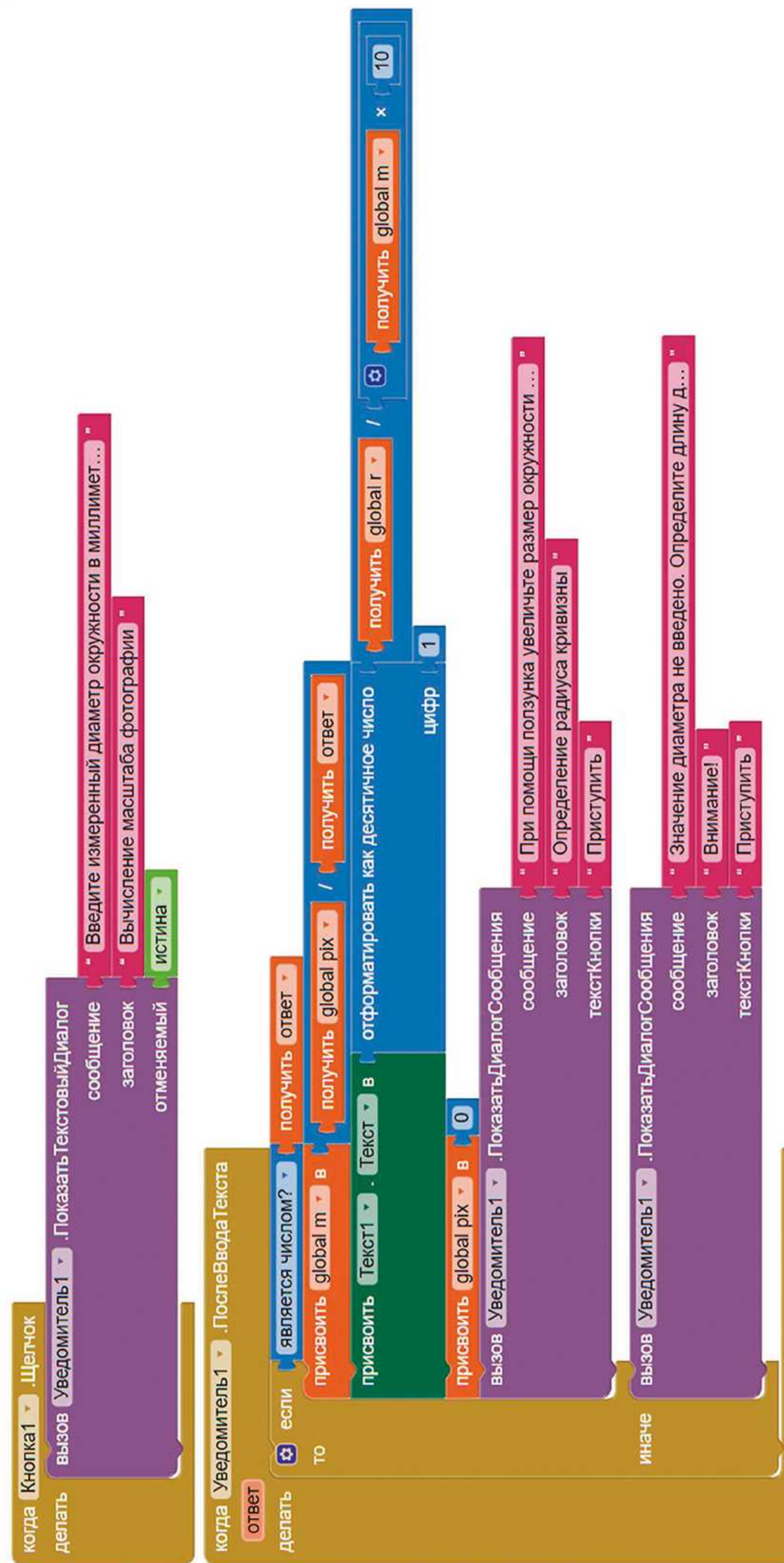


Рис. 9. Блоки вычисления масштаба фотографии и радиуса кривизны светового пучка. При нажатии на кнопку *Определить масштаб* появляется сообщение: «Введите измеренный диаметр окружности в миллиметрах». После ввода диаметра в переменную *m* сохраняется значение вычисленного масштаба фотографии. В текстовом поле выводится значение радиуса кривизны в сантиметрах. Появляется сообщение: «При помощи ползунка увеличьте размер окружности так, чтобы часть ее дуги совпадала с лучом. При необходимости перемещайте окружность по экрану».

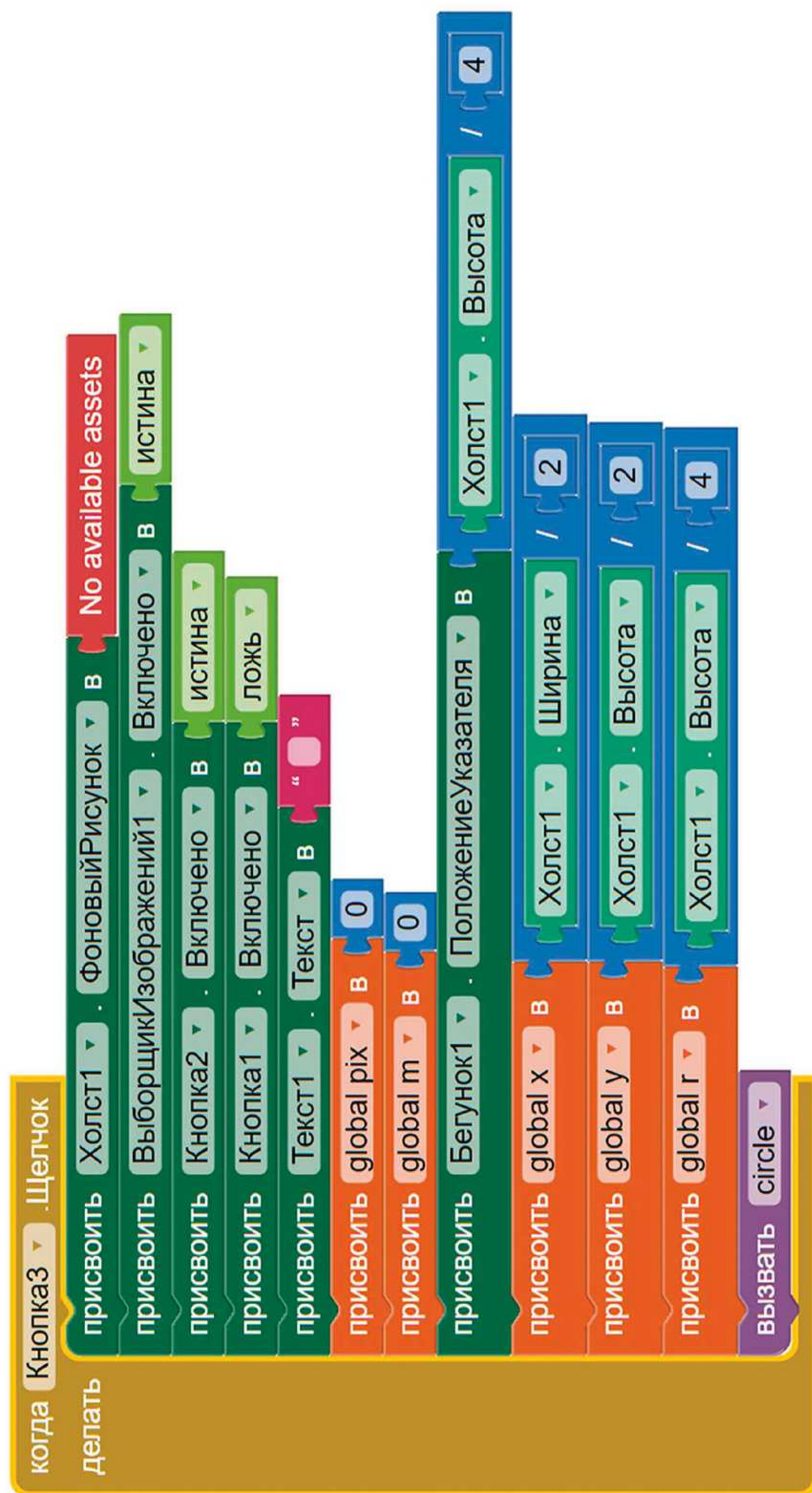


Рис. 10. Блок очистки экрана. В случае промаха вследствие неудачного определения масштаба фотографии всем переменным присваивают исходные значения. Очищают холст и выводят на экран окружность с диаметром.

4. Анализ программных блоков

Рассмотрим подробнее основные части программы. На рис. 4 происходит инициализация переменных x , y и r , определяющих

начальные координаты и радиус окружности, с помощью которой можно будет определить масштаб фотографии и вычислить результат эксперимента. Переменная pix будет принимать значения диаметра окружности в пикселях, а переменная m — значения масштаба фотографии. Формируется процедура *circle* рисования окружности.

На рис. 5 в обработчике события запуска экрана приложения вновь задаются начальные координаты и радиус окружности. Производится вызов процедуры рисования окружности. Организуется форма информационного сообщения с использованием компонента *Уведомитель1* со следующим содержанием: «Сфотографируйте или загрузите результат эксперимента». Затем устанавливаются минимальное, максимальное и текущее значения компонента *Бегунок1*. Кнопку определения масштаба фотографии делаем неактивной.

Когда пользователь касается экрана, координаты окружности меняются на значения координат пальца на сенсоре. Изменение положения ползунка компонента *Бегунок1* приводит к изменению радиуса окружности. Блоки соответствующего программного кода представлены на рис. 6.

Загрузку фотографии можно осуществить двумя способами. Нажатием на кнопку *Загрузить фото* (рис. 7) либо нажатием на кнопку *Сделать фото* (рис. 8). В обоих случаях важно уведомить пользователя, каким образом осуществляется определения масштаба фотографии. Для этого используется функция вызова компонента *Уведомитель1*, которая будет хранить следующее сообщение: «Переместите окружность в такое положение, чтобы ее диаметр оказался на изображении линейки. По фотографии линейки определите диаметр окружности и нажмите кнопку *Определить масштаб*». На этом этапе кнопку «Определить масштаб» можно сделать активной, а выборщик «Загрузить фото» и кнопку «Сделать фото» — неактивными.

На рис. 9 показано вычисление масштаба фотографии и перевод радиуса окружности из пикселей в сантиметры. Измеренный диаметр окружности в пикселях делится на диаметр, измеренный в миллиметрах по фотографии. Это значение сохраняется в переменную m , с помощью которой и происходит перевод радиуса кривизны в сантиметры. Пользователю выводится следующее сообщение: «При помощи ползунка увеличьте размер окружности так, чтобы часть ее дуги совпала с лучом. При необходимости перемещайте окружность по экрану». Далее пользователь меняет положение и радиус окружности с помощью ползунка. Вычисленный результат фиксируется в текстовом поле компонента *Текст1*.

В случае промаха вследствие неудачного определения масштаба фотографии имеет смысл обнулить все данные и начать все заново. Это можно осуществить с помощью следующих блоков кода программы (рис. 10).

5. Мобильное приложение для обработки результатов эксперимента

Окно работающей программы показано на рис. 1 и 2. Студенты производят следующие действия:

- 1) загружают или фотографируют результаты эксперимента вместе со шкалой с миллиметровыми делениями;
- 2) перемещают окружность в такое положение, чтобы ее диаметр оказался на изображении шкалы линейки;
- 3) нажимают кнопку *Определить масштаб* и вводят измеренный диаметр окружности в миллиметрах;
- 4) при помощи ползунка увеличивают размер окружности так, чтобы часть ее дуги совпала со световым пучком;
- 5) при необходимости перемещают окружность по экрану;
- 6) совмещают часть дуги окружности с экспериментальным пучком — на экран выводится значение радиуса кривизны;
- 7) нажимают на клавишу *Очистить экран* и повторяют пункты 1–6 для новых серий эксперимента.

Авторы выражают благодарность Е. И. Вараксиной за существенную помощь в работе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-013-00157. *Acknowledgments:* The reported study was funded by RFBR, project number 20-013-00157.

ЛИТЕРАТУРА

1. Майер В. В. Полное внутреннее отражение света: учебные исследования. — М.: Физматлит, 2007. — 160 с.
2. Майер В. В. Свет в оптически неоднородной среде: учебные исследования. — М.: Физматлит, 2007. — 232 с.
3. Майер В. В., Вараксина Е. И., Курбоналиев К. М. Экспериментальное обоснование принципа Гюйгенса // Учебная физика. — 2021. — № 4. — С. 24–30.
4. Ливенец М. А., Ярмахов Б. Б. Программирование мобильных приложений в *MIT App Inventor*. Режим доступа: http://mkrochtoi.ru/App-Inventor_rus.pdf (дата обращения: 16.06.2022).
5. Вараксина Е. И., Перминов А. А. Мобильное приложение для учебного исследования колец Ньютона // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 31. — М.: ИСРО РАО, 2020. — С. 82–84.