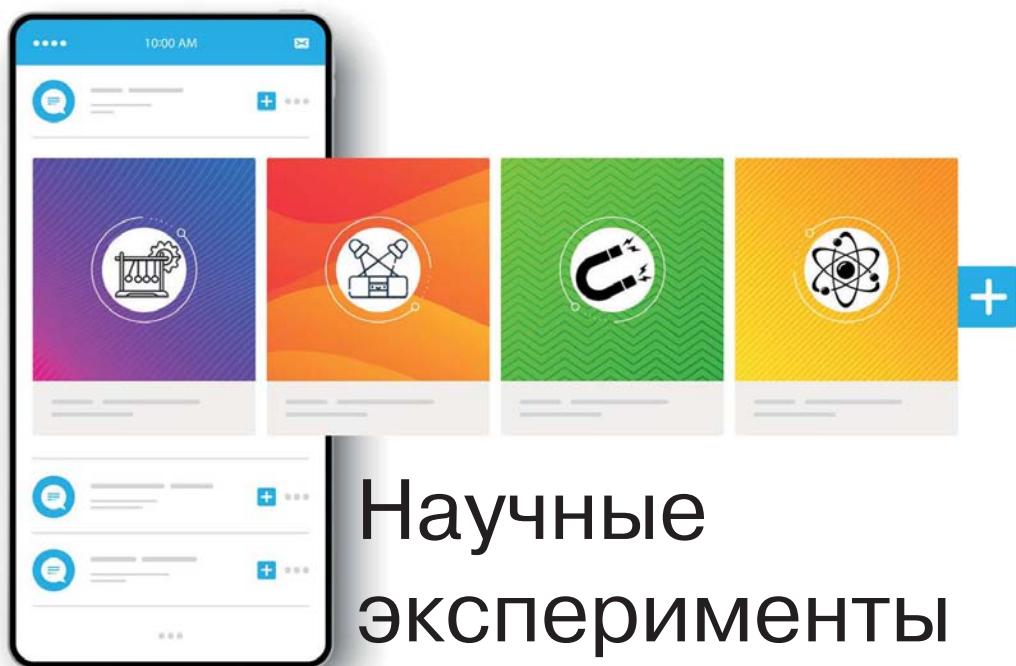


Улисс Делябр

СМАРТФОНИКА



Научные
эксперименты
со смартфоном

УДК 004.43, 59.30

ББК 32.81

Д29

Улисс Делябр

Д29 Смартфоника: научные эксперименты со смартфоном / пер. с фр. П. Ю. Сергеевой; ред. В. И. Петровичев. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 186 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-866-1

Подобно тому как человек исследует окружающую среду с помощью пяти чувств, современные смартфоны взаимодействуют с внешним миром посредством встроенных в них многочисленных датчиков. Бесплатные приложения для смартфонов открывают доступ к данным этих датчиков и позволяют человеку раздвинуть границы познаваемого.

Автор этой книги предлагает использовать смартфон в неожиданном качестве: например, как микроскоп, деталь весов или маятника, позволяющего рассчитать радиус Земли, измеритель скорости звука и плотности воздуха. Описание экспериментов сопровождается иллюстрациями и подробными расчетными формулами.

Книга будет интересна пытливым обладателям смартфонов вне зависимости от возраста. Предлагаемые эксперименты не требуют сложного оборудования – их может провести даже школьник.

УДК 004.43, 59.30

ББК 32.81

Originally published in France as *Smartphonique. Expériences de physique avec un smartphone* By Ulysse DELABRE

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.



Оглавление

Предисловие от издательства	11
Предисловие к русскому изданию	12
Предисловие	13
Условные обозначения	14
Глава 1. Смартфон: мобильная мини-лаборатория	15
1. От мобильного телефона до смартфона	15
2. Смартфон: настоящая мобильная мини-лаборатория!	16
3. Смартфоника: сфера применения	18
3.1. Что такое смартфоника?	18
3.2. Социальные аспекты смартфоники	19
Глава 2. Полезные приложения	21
1. Предупреждение: каждое приложение имеет свои особенности отображения данных	21
2. Приложение Phyphox (Physical Phone Experiments)	22
3. Приложение PhysicsToolbox Suite	24
4. Приложение Sensor Kinetics	25
5. Какое приложение лучше? Что предпочесть: Phyphox, Physics ToolBox Suite или Sensor Kinetics?	26
5.1. Какие приложения использовались в работе над этой книгой?	26
6. Другие интересные приложения	27
6.1. Приложения для IOS	27
6.2. Приложения для Android	27
6.3. Приложения для Windows Phone	28
6.4. Программы для работы на компьютере	28
Глава 3. Датчики смартфона	29
1. Оси смартфона	29
2. Датчики и компоненты смартфона	30
2.1. Гравитационный акселерометр	30
2.2. Линейный акселерометр	35
2.3. Гироскоп	36
2.4. Магнитометр	37

2.5. Датчик давления	38
2.6. Датчик приближения	38
2.7. Датчик освещенности	38
2.8. Экран смартфона	38
2.9. Камера смартфона	39
2.10. GPS и теория относительности	40
2.11. Другие датчики смартфона	40

Глава 4. Смартфон: многофункциональный швейцарский нож науки.....43

1. Измеряем угол с помощью смартфона и... вспоминаем тригонометрию	43
1.1. Самое простое (но наименее интересное с научной точки зрения) решение – использовать приложение	44
1.2. Наклон по вертикали	45
1.3. Наклон по горизонтали	47
1.4. Усложним задачу: наклон по горизонтали и вертикали	49
1.5. Наклон в горизонтальной плоскости	50
2. Измеряем расстояние с помощью смартфона и без рулетки	52
2.1. Способ №1: используем приложения.....	52
2.2. Измерить расстояние – значит измерить угол	53
2.3. Измеряем высоту объекта с помощью смартфона	53
2.4. Измеряем расстояние по горизонтали.....	53
2.5. Измеряем расстояние с помощью приложения Google Maps	54
3. Измеряем видимый угловой размер объекта с помощью камеры смартфона	55
3.1. Определение видимого углового размера объекта	55
3.2. Измеряем видимый угловой размер с помощью смартфона	56
4. Измеряем смартфоном скорость, в том числе угловую	57
4.1. Как измерить скорость	57

Глава 5. Эксперименты со смартфоном в области механики59

1. Свободное падение смартфона, или Как измерить массу Земли, бросив смартфон	59
1.1. Описание эксперимента.....	60
1.2. Свободное падение: теоретический обзор	61
1.3. Анализ результатов эксперимента свободного падения	63
1.4. Оценка массы Земли с помощью смартфона	63
1.5. Обсуждение	64

2. Скольжение по наклонной опоре, или Как определить коэффициент статического трения.....	66
2.1. Описание эксперимента.....	67
2.2. Краткий теоретический обзор механики наклонной плоскости	67
2.3. Анализ результатов эксперимента скольжения смартфона на наклонной плоскости	69
2.4. Измеряем динамический коэффициент трения	70
3. Определяем с помощью смартфона коэффициент динамического трения поверхности стола.....	71
3.1. Описание эксперимента.....	72
3.2. Механика скольжения.....	73
3.3. Анализ результатов эксперимента скольжения смартфона	74
3.4. Усложняем эксперимент.....	75
4. Вращение смартфона и центробежная сила, или Как определить место расположения акселерометра в смартфоне	76
4.1. Описание эксперимента.....	77
4.2. Сложение ускорений и центробежная сила: теоретический обзор ...	78
4.3. Анализ результатов эксперимента с вращающимся смартфоном.....	80
4.4. Определяем местоположение акселерометра в смартфоне	81
5. Маятник, или Как рассчитать радиус Земли на основании колебаний маятника.....	83
5.1. Описание эксперимента.....	84
5.2. Маятник: теоретический обзор	84
5.3. Анализ результатов эксперимента	88
5.4. Обсуждения	90
6. Проверка закона сохранения механической энергии на примере анализа траектории движения.....	93
6.1. Описание эксперимента.....	94
6.2. Форма траектории движения мяча: обзор.....	94
6.3. Теперь о сохранении энергии	96
6.4. Анализ результатов эксперимента по бросанию мяча	97
6.5. Усложняем эксперимент.....	97
6.6. Приложение VidAnalysis: краткое руководство по использованию....	98
7. Подвешиваем смартфон на резинку, или Как сделать весы	99
7.1. Описание эксперимента.....	100
7.2. Колебание пружины: теоретический обзор	100
7.3. Анализ эксперимента с пружиной.....	102
7.4. Усложняем задачу.....	102

Глава 6. Акустические эксперименты со смартфоном	105
1. Хлопаем в ладоши и двумя смартфонами измеряем скорость звука	105
1.1. Описание эксперимента.....	106
1.2. Анализ результатов эксперимента	107
1.3. Усложняем эксперимент.....	107
2. Анализ звука музыкального инструмента.....	108
2.1. Описание эксперимента.....	108
2.2. Краткие сведения о связи между волнами и спектрами.....	109
2.3. Анализ результатов акустического эксперимента	110
2.4. Усложняем эксперимент.....	112
3. Анализ акустического резонанса гитары.....	114
3.1. Описание эксперимента.....	115
3.2. Анализ резонанса струны.....	115
3.3. Анализ результатов эксперимента	117
4. Спортивный эксперимент по измерению скорости звука посредством эффекта Доплера.	118
4.1. Описание эксперимента.....	119
4.2. Объяснение эффекта Доплера	120
4.3. Анализ результатов эксперимента по определению доплеровского смещения частоты.....	121
4.4. Усложняем эксперимент.....	121
5. Дует в бутылку из-под вина Бордо и измеряем скорость звука	122
5.1. Описание эксперимента.....	123
5.2. Суть явления резонанса.....	123
5.3. Анализ результатов эксперимента по определению резонансной частоты бутылки	125
6. Зависимость громкости звука от расстояния до его источника. Нужно ли сидеть в первом ряду, чтобы хорошо слышать?.....	127
6.1. Описание эксперимента.....	128
6.2. Понятие интенсивности звука	128
6.3. Анализ результатов эксперимента	129
Глава 7. Оптические эксперименты со смартфоном	131
1. Наблюдение инфракрасного излучения с помощью смартфона	131
1.1. Описание эксперимента.....	132
1.2. Датчики камеры смартфона	132
1.3. Анализ эксперимента по визуализации инфракрасного излучения.....	134
1.4. Усложняем эксперимент.....	134

2. Измеряем фокусное расстояние и проверяем геометрическую оптику камеры смартфона	135
2.1. Как работает камера смартфона. Геометрическая оптика: краткий обзор	136
2.2. Описание эксперимента.....	142
2.3. Анализ результатов эксперимента	143
3. Превращаем смартфон в микроскоп и измеряем толщину волоса	144
3.1. Принцип работы микроскопа	145
3.2. Повышаем увеличение камеры смартфона методом объединения двух линз	146
3.3. Капля воды в качестве короткофокусного объектива	147
3.4. Превращаем смартфон в микроскоп.....	148
3.5. Калибровка микроскопа.....	148
3.6. Измеряем смартфоном толщину волоса	149
4. Зависимость степени освещенности от расстояния до источника света	151
4.1. Описание эксперимента.....	152
4.2. Физические характеристики света	153
4.3. Анализ результатов эксперимента	155
4.4. Усложняем эксперимент.....	155
5. Проверка закона Малюса с помощью смартфона и 3D-очков.....	157
5.1. Закон Малюса	157
5.2. Описание эксперимента.....	157
Глава 8. К новым открытиям	161
1. Определяем плотность воздуха и проверяем закон статики жидкостей	161
1.1. Описание эксперимента.....	162
1.2. Понятие давления и закон статики жидкостей	162
1.3. Анализ результатов эксперимента по зависимости давления от высоты.....	164
1.4. Усложняем эксперимент.....	165
2. Измерение поверхностного натяжения и зондирование микроскопических взаимодействий жидкости.....	167
2.1. Описание эксперимента.....	168
2.2. Измерение поверхностного натяжения в висящей капле	168
2.3. Анализ результатов.....	170
3. Наблюдаем клетки растений и пиксели с помощью смартфона.....	171
3.1. Рассматриваем пиксели экрана с помощью смартфона	171
3.2. Наблюдаем клетки с помощью смартфона	172

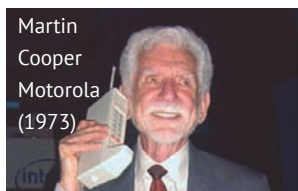
Оглавление

4. Поглощение света и закон Бера–Ламберта	173
4.1. Описание эксперимента.....	174
4.2. Закон Бера–Ламберта	174
4.3. Анализ результатов эксперимента	176
5. Поиск планет за пределами Солнечной системы.....	178
5.1. Эксперимент	178
5.2. Анализ результатов эксперимента	179
Выводы	181
Ссылки	183
Предметный указатель	185

Смартфон: мобильная мини-лаборатория

1 От мобильного телефона до смартфона

С момента создания первого мобильного телефона (Моторола, 1973 г., см. рис. 1.1) устройство существенно изменилось: размеры уменьшились, а функциональные и энергетические возможности возросли. Был пройден путь от телефона, предназначенного для голосового общения между людьми, до смартфона («интеллектуального» телефона) – по сути, мини-компьютера, способного воспроизводить видео, фотографировать и управлять устройствами на расстоянии. И хотя сейчас смартфоны используются в основном для связи, общения и игр, они содержат в себе много сложных датчиков, которые расширяют функциональные возможности, облегчают использование, считают количество шагов и экономят заряд батареи.



a



b



c

Рис. 1.1. Эволюция мобильных телефонов: а) первый мобильный телефон (Motorola, 1973), б) мобильный телефон Nokia (2000), в) смартфоны 2010–2020 гг.

Это преобразование особенно хорошо заметно на рис. 1.2, на котором показаны датчики смартфонов 2013/2014 годов. Некоторые компании считают смартфон настоящим «спутником жизни», и этот рисунок как раз позволяет оценить количество датчиков, которые могут быть встроены в устройство. Здесь показаны акселерометры, способные распознавать движение, гироскопы, предназначенные для обнаружения и измерения поворота смартфона, датчики магнитного поля (использующие эффект Холла), необходимые для обнаружения крышки экрана, магнитного поля и уточнения местоположения. Имеются также оптические датчики (датчики приближения и цвета). Датчик приближения, в частности, нужен, для того чтобы определить, на каком расстоянии смартфон находится от головы пользователя с целью отключения

сенсорного экрана. Помимо этого, есть датчик давления (барометр) и датчик температуры и влажности, не говоря уже о камере (камерах) и микрофоне. И если в 2013 году такие датчики встраивались в единичные модели, то сейчас абсолютное большинство смартфонов (даже в нижнем ценовом сегменте) ими оснащено. Так что уже совершенно не обязательно покупать смартфон последней модели, чтобы иметь доступ ко всем этим функциям.



Рис. 1.2. Различные датчики смартфона

2

СМАРТФОН: НАСТОЯЩАЯ МОБИЛЬНАЯ МИНИ-ЛАБОРАТОРИЯ!

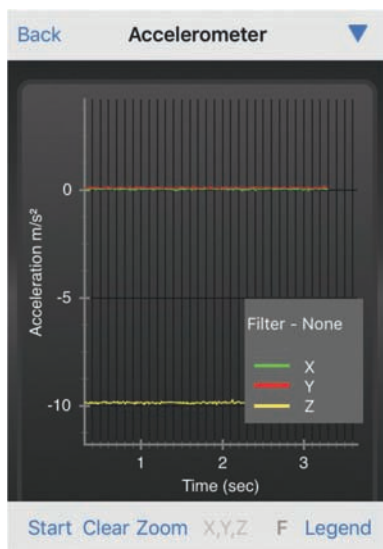
Для исследователя такое техническое устройство – это не просто телефон. Ибо с помощью датчиков давления и температуры можно проводить эксперименты по термодинамике, а с помощью оптических датчиков (датчиков расстояния и камеры) – эксперименты в области оптики и микроскопии. Акселерометры и гироскопы в свою очередь дают возможность ставить опыты в области механики. Датчики магнитного поля и электромагнитных волн, например, позволяют провести опыт по приему и передаче электромагнитных сигналов. Датчиков столько, что их иногда трудно собрать в одной лаборатории (рис. 1.3). Словом, смартфон стал больше похож на настоящую мини-лабораторию, чем просто на средство связи.

Есть много бесплатных приложений, которые дают доступ к этим датчикам и даже позволяют записывать данные в режиме реального времени. Здесь можно упомянуть, например, такие приложения, как *Phyphox*, *Sensor Kinetics* и *Physics Toolbox Suite*. Их можно использовать для записи данных, полученных с каждого датчика, и передавать их на компьютер для дальнейшего анализа. Зачастую можно анализировать собранную информацию прямо на смартфоне.

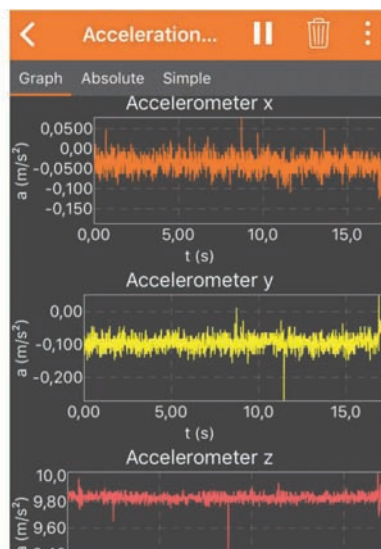
2 Смартфон: настоящая мобильная мини-лаборатория!



Рис. 1.3. Смартфон – это настоящая мини-лаборатория. Показаны примеры датчиков, встроенных в смартфоны



a



b

Рис. 1.4. Пример записи данных акселерометра по осям x, y, z (показано для двух приложений): а) приложение *Sensor Kinetics*, б) приложение *Phyphox*. Обратите внимание на разницу в масштабе между двумя приложениями. Вариант а) показывает три ускорения на одном и том же графике, а вариант б) отображает увеличенный масштаб предварительно записанных ускорений

На рис. 1.4 показаны записи данных акселерометра в двух приложениях. Нужно только нажать кнопку Start или Play и выбрать частоту сбора данных в приложении (до 100 в секунду). Так что становится возможным записывать данные с каждого датчика или даже с нескольких датчиков одновременно, чтобы провести научный эксперимент! Интересно, правда?

А особенно это представляет интерес для ученых, потому что бывает трудно собрать все датчики в одной лаборатории. А теперь все они у вас в кармане, готовы к использованию и проведению настоящих научных экспериментов где угодно и когда угодно!

Таким образом, телефон становится мобильной мини-лабораторией!

3

СМАРТФОНИКА: СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ

3.1. Что такое смартфоника?

Подобно фотонике – области исследований, которая занимается фотонами и светом – или генетике, которая изучает гены, появился термин «смартфоника»¹. Он описывает использование смартфонов в научных исследованиях.

В этой книге мы расскажем, как использовать датчики смартфонов в научных целях для проведения экспериментов в области механики, акустики и оптики. Некоторые открытия позволят говорить об использовании смартфонов и в других областях: это химия и геофизика, биология и спорт, а также астрофизика.

Смартфон становится незаменимым инструментом исследователя, он все чаще используется в научных лабораториях для проведения измерений и анализа полученных данных. Нередко в исследованиях необходимо дополнять смартфон отдельными устройствами, которые к нему могут подключаться. В книге представлены лишь относительно простые для проведения эксперименты, доступные для большинства обладателей смартфонов. Экспериментальные исследования становятся доступными для всех. Практиковаться можно где угодно! Определить массу Земли на основе эксперимента со свободным падением (острые ощущения гарантированы), измерить угол наклона самолета, вычислить коэффициент трения поверхности стола. А еще можно увидеть пиксели на экране и посчитать скорость звука, дунув в бутылку, проследить подъем пузырьков в шампанском или пиве (в зависимости от бюджета!). Словом, проводить научные эксперименты в увлекательной форме становится очень просто. А с учетом большого количества пользователей (во Франции у трех человек из четырех есть смартфон) заниматься наукой можно повсеместно и коллективно.

Хотя этот аспект не будет рассматриваться в этой книге, это очень важная тема. Впервые научными исследованиями можно заниматься как в на-

¹ MOOC Physique des objets du quotidien (2016), <https://www.fun-mooc.fr/courses/ubordeaux/28003/session01/about>

циональном, так и даже в планетарном масштабе. Особенно с применением MyShake (оно бесплатное), которое было разработано Калифорнийским университетом. Оно позволяет с большей точностью распознавать землетрясения, а с помощью данных акселерометра оповещать людей. Образовательные, научные и политические задачи очень важны, учитывая огромное количество пользователей смартфонов.

3.2. Социальные аспекты смартфоники

Согласно полученным данным (Центр исследований и мониторинга условий жизни, 2018) во Франции у трех человек из четырех есть смартфон (это 75 %). А если обратить внимание на возрастную группу от 18 до 24 лет, получается, что почти у 98 % людей из этой категории есть смартфон. А с научной точки зрения это означает, что 98 % населения в возрасте от 18 до 24 лет носят в кармане мини-лабораторию и 75 % всего населения Франции могут проводить эксперименты со своим смартфоном. Данные, полученные в мировом масштабе, поражают и мотивируют: в 2018 году смартфон был у 3 млрд человек. Смартфонами пользуются массово и повсеместно еще и потому, что все больше в продаже появляется устройств по низкой цене. Как в случае с выпуском модели Freedom 251 (Индия), который должен выйти на рынок по цене 251 рупий (это примерно 3 евро). С точки зрения развития науки такой «демократичный» доступ к экспериментам с помощью смартфона (мобильной мини-лаборатории) дает перспективу и мотивирует повышать уровень образования и научной деятельности большинство заинтересованных людей.

Не стоит также забывать и о том, что новые технологии, к которым относятся и компьютеры, и солнечные батареи (в целом направление *greentechs* – зеленая технология), аккумуляторы и сами смартфоны сделаны из редких металлов, а процесс их добычи подвергается критике с точки зрения энергетики и экологии. Такие редкие металлы – стратегическое сырье планетарного масштаба. И хотя этот аспект не является темой книги, все же нужно обратить внимание на технологии с уважительным подходом к вопросам экологии и окружающей среды. И тем не менее, несмотря на имеющиеся ограничения, массовое использование смартфона как средства общения создает отличную возможность для обучения и научных экспериментов, где граница между лабораторными инструментами и просто смартфоном постоянно стирается.

Ссылки

1. **MOOC. Физика предметов быта (MOOC Physique des objets du quotidien, 2016-2019).**
<https://www.fun-mooc.fr/courses/ubordeaux/28003/session01/about>.
2. **Цифровой барометр Центра исследований и мониторинга условий жизни (CREDOC).**
www.data.gouv.fr/fr/datasets/barometre-du-numerique/.
3. **Мировая статистика использования смартфонов.**
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_smartphone_penetration.
4. **Приложение MyShake.**
<https://play.google.com/store/apps/details?id=edu.berkeley.bsl.myshake&hl=en>.
5. *Дж. Патрон. Война редких металлов*
(La guerre des métaux rares, G.Pitron. Édition Les Liens qui Libèrent, 201).
6. *У. Делябр. Смартфон: мобильная мини-лаборатория для занятий наукой и исследований. Бюллетень 2018. Совет «Физика без границ».*
(Le smartphone: un mini-laboratoire mobile pour l'enseignement des sciences et la recherche dans le monde U.DELABRE, Bulletin 2018 de la Commission Physique Sans Frontières.)

В этой главе представлены некоторые бесплатные приложения, которые позволяют получить доступ к датчикам смартфона и экспортировать полученные с них данные. С ними полезно познакомиться и оценить их multifunctionality. В настоящее время наибольшей популярностью пользуются три приложения благодаря универсальности и возможности их использования для проведения экспериментов в разных областях физики (механика, акустика и т. д.). Первое приложение создано в университете Аахена. Это приложение *Phyphox* (сокращение от *Physical Phone Experiments*, «физические эксперименты с телефоном») – полноценное бесплатное приложение с большим количеством функций. Приложение *Physics ToolBox Suite*, разработанное в США, не уступает по функциональности. Внимания заслуживает и приложение *Sensor Kinetics*, созданное компанией Innovations, Inc. Конкретные примеры использования этих трех флагманских приложений будут рассматриваться далее¹. Особое внимание будет уделено их возможностям по проведению измерений, сохранению и экспорту данных. В конце главы будет приведен обзор и других приложений, с помощью которых можно провести более специфические эксперименты. При этом важно учесть, что область применения смартфонов развивается очень быстро, поэтому в книге будут рассмотрены только основные и принципиальные характеристики приложений. Чтобы иметь доступ к новым функциям, рекомендуется регулярно проверять наличие обновлений.

1 ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ: КАЖДОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ИМЕЕТ СВОИ ОСОБЕННОСТИ ОТОБРАЖЕНИЯ ДАННЫХ

Прежде чем описывать работу конкретных приложений, необходимо разобратся в способах воспроизведения получаемых ими данных (графическое отображение, цифровые значения и т. д.). Важно также учесть (это будет подробно обсуждаться в следующей главе), что некоторые приложения могут изменять направления осей смартфона, чтобы избежать отрицательных значений измеряемых величин. Поэтому необходимо проверять, как акселерометр измеряет ускорение свободного падения в простых ситуациях (горизонтальное или вертикальное положение смартфона). Это поможет правильно ориентировать оси смартфона в более сложных экспериментах.

¹ На Play Market для Android-смартфонов имеются русифицированные версии приложений *Phyphox* и *Sensor Kinetics*. Есть также русифицированное приложение *Phyphox* для iOS. – Прим. ред.

2 ПРИЛОЖЕНИЕ PHYPHOX (PHYSICAL PHONE EXPERIMENTS)

Это бесплатное приложение было разработано в университете Аахена и к концу 2018 года было установлено на смартфоны по всему миру более 500 000 раз, что делает его основным приложением для использования смартфона в научных целях (см. презентацию приложения в списке ссылок в конце этой главы). В настоящее время оно доступно на английском языке, но скоро должно быть переведено и на французский.

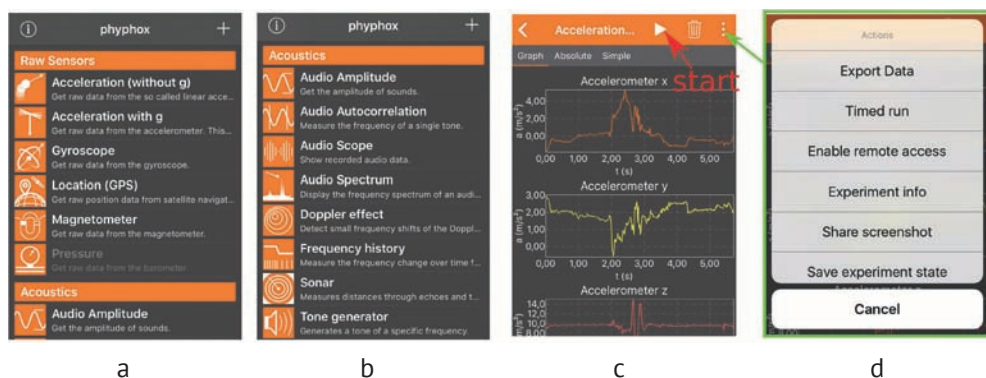


Рис. 2.1. а) Список датчиков смартфона, с которыми может работать приложение Phyphox, б) список возможных экспериментов, в) пример записи данных с помощью акселерометра, д) дополнительные функции (совместное использование данных, экспорт и т. д.).

Как видно на рис. 2.1 (а и б), приложение предоставляет доступ к разным датчикам смартфона (акселерометр, магнитометр, гироскоп и т. д.). Для каждого датчика предлагаются свои эксперименты. Видео с инструкциями доступно на официальном сайте приложения.

Чтобы начать запись, нажмите значок **Пуск** (красная стрелка на рис. 2.1с). Если нужно прервать запись, нажмите тот же значок, принявший вид паузы. В приложении имеется несколько возможных способов отображения данных (см. рис. 2.1с). На вкладке **Graph** приводятся графики изменения во времени ускорений по трем осям координат x , y , и z . На вкладке **Absolute** будет отображаться график изменения во времени абсолютного значения ускорения $G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2 + G_z^2}$, где G_x , G_y , G_z – проекции величины G по трем осям координат. На вкладке **Simple** информация отображается в цифровой форме. После завершения эксперимента для экспорта данных достаточно нажать на значок с тремя точками, расположенный справа в верхнем углу (рис. 2.1с, д). В дополнительном меню (рис. 2.1с, зеленая стрелка) нужно выбрать функцию **Export data** и формат файла (EXCEL, CSV...). Данные можно отправить по электронной почте или другими удобными способами. Есть также функция **Timed Run** (рис. 2.1д), с помощью которой можно начать эксперимент с задержкой во времени. Нужно только выбрать желаемую задержку, продолжительность эксперимента и после этого запустить процесс.

В дополнительном меню имеется также функция удаления данных. Нужно открыть меню, нажав значок с тремя точками, и выбрать опцию **Clear data**. Кроме этого, значок корзины расположен рядом справа от значка **Пуск** (рис. 2.1с).

Другая интересная функция – Enable remote access (разрешение удаленного доступа) – позволяет управлять и смартфоном, и приложением *Phyphox* с помощью компьютера через сеть Wi-Fi. Таким образом, эксперименты можно проводить дистанционно, не работая напрямую со смартфоном. Разработчики также включили в приложение описание опытов и их возможностей (рис. 2.1д, опция **Experiment info**). Можно сделать снимок экрана и отправить его по электронной почте или через сообщения.

Наконец, есть возможность записывать данные одновременно с нескольких датчиков. Для этого нужно нажать кнопку + (в зависимости от версий она может быть расположена по-разному, см. рис. 2.2а, б). Можно также выбирать скорость записи данных и конкретные датчики. Все очень просто! Ваш мульти-сеансный эксперимент будет сохранен в меню датчиков и экспериментов (рис. 2.1а) в разделе **Simple custom experiment** (Простой эксперимент пользователя). Имеется также возможность поделиться проведенными опытами с другими людьми на сайте приложения *Phyphox*.

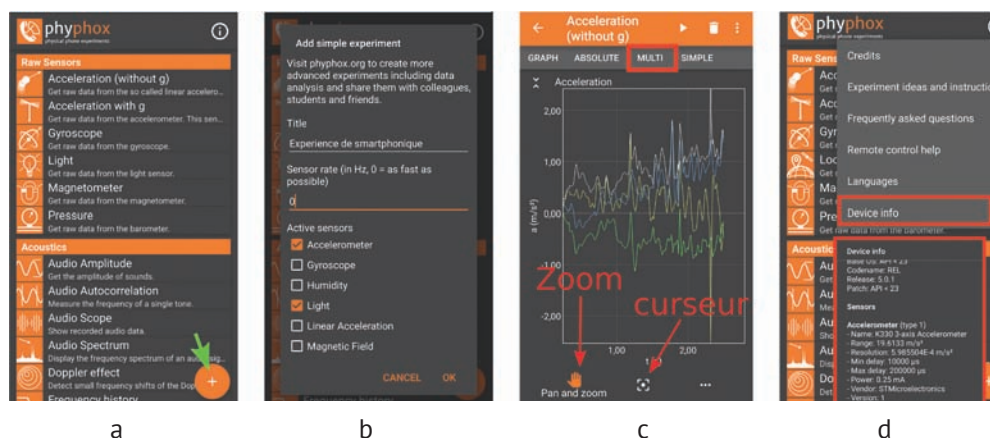


Рис. 2.2. а) Одновременная запись данных с нескольких датчиков, б) список датчиков, доступных для работы, в) бета-версия приложения *Phyphox* (Version Beta, 2019) – красным помечены нововведения, д) бета-версия приложения *Phyphox* (Version Beta, 2019) – меню доступа к характеристикам датчиков

Отметим также, что последние версии *Phyphox* (Version Beta, см. рис. 2.2с, д) содержат новые интересные функции: масштабирование графика, проверка значений переменной на графике с помощью курсора, проверка характеристик датчиков (точность, диапазон и т. д.). Последние версии доступны не для всех моделей смартфонов (на момент написания этой книги – только для операционной системы Android), поэтому в книге приводится описание стандартной версии. Тем не менее рекомендуем устанавливать последние версии приложения, если модель вашего смартфона позволяет это сделать.

3 ПРИЛОЖЕНИЕ PHYSICSTOOLBOX SUITE

PhysicsToolboxSuite – полноценное и бесплатное приложение, разработанное в США К. и Р. Виейра (C. Vieira, R. Vieira). Оно предоставляет доступ к первичным (необработанным) данным датчиков смартфона и записывает данные так же, как это делается в приложении *Phyphox*. Приложение *Physics Toolbox Suite* было установлено на смартфоны более 500 000 раз.

На рис. 2.3а и б показаны разные датчики и функции, доступные в этом приложении. Здесь имеются акселерометры, гироскоп, магнитометры, барометр, гигрометр (датчик влажности) и т. д. В этом приложении имеется ряд интересных функций (рис 2.2а). Функция генерирования цвета может помочь определить цвет. Стробоскоп дает светодиодное освещение с частотой от 1 до 100 Гц, что позволяет наблюдать быстротекущие события. Можно также включать одновременную запись данных с нескольких датчиков, выбрав функцию *Enregistrement multiple* (рис. 2.3б) и нужные датчики.



Рис. 2.3. а), б) Различные возможности и датчики приложения *Physics Toolbox Suite*, в) запись данных на примере акселерометра, г) пример одновременной записи данных с нескольких датчиков

Чтобы начать измерения, нужно выбрать датчик в меню и нажать значок **Пуск** (треугольный значок на рис. 2.3б). Чтобы удалить данные, нужно нажать на скругленную стрелку, расположенную рядом со значком **Пуск**. Чтобы получить доступ к данным по каждому датчику, нужно нажать значок *i* (он обведен красной рамкой на рис. 2.3с). Нажав на значок шестеренки в верхнем правом углу, можно изменить параметры сбора данных и сглаживания (фильтр и т. д.) (рис 2.3с). Важно: изменение масштаба отображаемых дан-