

О Haskell

по-человечески

Д. ШЕВЧЕНКО

# О Haskell по-человечески

издание 2.0

---

Денис Шевченко

[www.ohaskell.guide](http://www.ohaskell.guide)

2016

Книга свободно распространяется на условиях лицензии [CC BY-NC 4.0](#)

© Денис Шевченко, 2014-2016

# Оглавление

<b>1</b>	<b>Приветствую!</b>	<b>8</b>
	Почему эта книга появилась . . . . .	8
	Цель . . . . .	8
	О себе . . . . .	8
	О вас . . . . .	9
	Обещание . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Первые вопросы</b>	<b>10</b>
	«Что такое этот ваш Haskell?» . . . . .	10
	«Это что, какой-то новый язык?» . . . . .	10
	«И кто его сделал?» . . . . .	10
	«А библиотеки для Haskell имеются?» . . . . .	11
	«И что, его уже можно в production?» . . . . .	11
	«А порог вхождения в Haskell высокий?» . . . . .	11
	«А я слышал ещё про какие-то монады...» . . . . .	11
	«А если сравнить его с C++/Python/Scala...» . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Об этой книге</b>	<b>12</b>
	Чего здесь нет . . . . .	12
	О первом и втором издании . . . . .	12
	Читайте последовательно . . . . .	13
	Для любопытных . . . . .	13
	О пояснениях . . . . .	13

Благодарность . . . . .	14
Слово к читавшим первое издание . . . . .	14
<b>4 Приготовимся</b>	<b>16</b>
Устанавливаем . . . . .	16
Разворачиваем инфраструктуру . . . . .	17
Hi World . . . . .	17
Модули: знакомство . . . . .	18
Для любопытных . . . . .	19
<b>5 Киты и Черепаха</b>	<b>20</b>
Черепаха . . . . .	20
Первый Кит . . . . .	21
Второй Кит . . . . .	22
Третий Кит . . . . .	24
Для любопытных . . . . .	24
<b>6 Неизменность и чистота</b>	<b>25</b>
Объявляем и определяем . . . . .	25
Чисто функциональный . . . . .	27
«Присваивание? Не, не слышал...» . . . . .	27
Для любопытных . . . . .	28
<b>7 Выбираем и возвращаемся</b>	<b>29</b>
Выглянем во внешний мир . . . . .	29
Выбор и выход . . . . .	30
Для любопытных . . . . .	33
<b>8 Выбор и образцы</b>	<b>34</b>
Не только из двух . . . . .	34
Без Если . . . . .	36
Сравнение с образцом . . . . .	37
case . . . . .	38

<b>9 Пусть будет там, Где...</b>	<b>40</b>
Пусть . . . . .	40
Где . . . . .	42
Вместе . . . . .	42
<b>10 Мир операторов</b>	<b>45</b>
Зачем это нужно? . . . . .	46
<b>11 Список</b>	<b>47</b>
Тип списка . . . . .	48
Действия над списками . . . . .	48
Неизменность списка . . . . .	50
Перечисление . . . . .	51
Для любопытных . . . . .	53
<b>12 Кортеж</b>	<b>54</b>
Тип кортежа . . . . .	54
Действия над кортежами . . . . .	55
Не всё . . . . .	58
А если ошиблись? . . . . .	58
Для любопытных . . . . .	59
<b>13 Лямбда-функция</b>	<b>61</b>
Истоки . . . . .	61
Строение . . . . .	62
Тип функции . . . . .	62
Локальные функции . . . . .	64
Для любопытных . . . . .	66
<b>14 Композиция функций</b>	<b>67</b>
Скобкам — бой! . . . . .	67
Композиция и применение . . . . .	68
Длинные цепочки . . . . .	70

Как работает композиция . . . . .	71
<b>15 ФВП</b>	<b>73</b>
Отображение . . . . .	73
Частичное применение . . . . .	76
Композиция для отображения . . . . .	78
<b>16 Naskage и библиотеки</b>	<b>80</b>
Библиотеки большие и маленькие . . . . .	80
Naskage . . . . .	81
Иерархия в имени . . . . .	82
Лицо . . . . .	82
Импортируем по-разному . . . . .	83
Оформление . . . . .	86
<b>17 Наши типы</b>	<b>87</b>
Знакомство . . . . .	87
Значение-пустышка . . . . .	88
<b>18 АД</b>	<b>90</b>
Извлекаем значение . . . . .	91
Строим . . . . .	92
<b>19 АД: поля с метками</b>	<b>94</b>
Метки . . . . .	94
Getter и Setter? . . . . .	96
Без меток . . . . .	98
<b>20 Продолжение следует...</b>	<b>100</b>

# Глава 1

## Приветствую!

Перед вами — книга о Haskell, удивительном и прекрасном языке программирования.

### Почему эта книга появилась

Потому что меня откровенно достало. Почти все известные мне книги о Haskell начинаются с примера реализации быстрой сортировки и — куда ж без неё! — последовательности Фибоначчи. Эта книга не такая: минимум академизма, максимум практичности.

### Цель

Функциональное программирование — своеобразное гетто посреди мегаполиса нашей индустрии. Доля функциональных языков пока ещё очень мала, и многие разработчики побаиваются знакомства с этими языками, и с Haskell в особенности. Моя цель — разрушить этот страх. Вероятно, вы слышали, что Haskell — это что-то архисложное, сугубо научное и непригодное для реальной жизни? Читайте дальше, и вскоре вы убедитесь в обратном.

### О себе

Обыкновенный программист-самоучка. Разрабатываю с 2006 года. В 2012 году впервые услышал про Haskell, ужаснулся и поспешил о нём забыть. В 2013 вспомнил опять, в 2014 увлёкся всерьёз, а в 2015, после 8 лет жизни с C++, окончательно перешёл в Haskell-мир. Также я положил начало [русскоязычному сообществу Haskell-разработчиков](#). И да, я действительно использую этот язык в своей каждодневной работе.



## О вас

Знаете, что такое компилятор? Не бойтесь командной строки? Слышали слово «функция»? Если да — смело продолжайте читать, никаких дополнительных навыков от вас не ожидается. И какой-либо математической подготовки — тоже.

## Обещание

Возможно, вы по уши влюбитесь в Haskell. Возможно, он вызовет у вас отвращение. Обещаю одно — скучно не будет. Начнём.

## Глава 2

# Первые вопросы

Мне задавали их множество раз. Отвечаю.

### «Что такое этот ваш Haskell?»

Haskell — чисто функциональный язык программирования общего назначения, может быть использован для решения самого широкого круга задач. Компилируемый, но может вести себя и как скриптовый. Кроссплатформенный. Ленивый, со строгой статической типизацией. И он не похож на другие языки. Совсем.

### «Это что, какой-то новый язык?»

Вовсе нет. История Haskell началась ещё в 1987 году. Этот язык был рождён в математических кругах, когда группа людей решила создать лучший функциональный язык программирования. В 1990 году вышла первая версия языка, названного в честь известного американского математика [Хаскела Карри](#). В 1998 году язык был стандартизован, а начиная с 2000-х началось его медленное вхождение в мир практического программирования. За эти годы язык совершенствовался, и вот в 2010 мир увидел его обновлённый стандарт. Так что мы имеем дело с языком, который старше Java.

### «И кто его сделал?»

Haskell создавался многими людьми. Наиболее известная реализация языка нашла своё воплощение в компиляторе GHC (The Glasgow Haskell Compiler), родившегося в 1989 году в Университете Глазго. У компилятора было несколько главных разработчиков, из которых наиболее известны двое, [Simon Peyton Jones](#) и [Simon Marlow](#). Впоследствии весомый вклад в разработку GHC внесли ещё несколько сотен человек. Исходный код компилятора GHC [открыт](#). Кстати, сам компилятор на 82% написан на Haskell.

Для любопытных: исчерпывающее повествование об истории Haskell и GHC читайте [здесь](#).

### **«А библиотеки для Haskell имеются?»**

О да! В процессе чтения вы познакомитесь со многими из них.

### **«И что, его уже можно в production?»**

Можно, и уже давно. С момента выхода первого стандарта язык улучшался, развивалась его экосистема, появлялись новые библиотеки, выходили в свет книги. Сегодня, в 2016, можно уверенно заявить, что Haskell полностью готов к серьёзному коммерческому использованию, о чём свидетельствуют истории успешного внедрения Haskell в бизнесе, в том числе [крупном](#).

### **«А порог вхождения в Haskell высокий?»**

И да и нет. Освоение Haskell сложно в первую очередь из-за его непохожести на остальные языки, поэтому людям, имеющим опыт работы с другими языками, мозги поломать придётся. Именно поломать, а не просто пошевелить ими: Haskell заставляет иначе взглянуть даже на привычные вещи. С другой стороны, Haskell проще многих известных языков. Не верьте мне на слово, вскоре вы и сами в этом убедитесь. И знайте: многие люди, узнав вкус Haskell, категорически не желают возвращаться к другим языкам. Я вас предупредил.

### **«А я слышал ещё про какие-то монады...»**

Да, есть такое дело. Некоторые вещи из мира Haskell не имеют прямых аналогов в других языках программирования, и это вводит новичков в ступор. Но не беспокойтесь: я сам прошёл через этот ступор и хорошо вас понимаю. Помните: новое лишь кажется страшным.

### **«А если сравнить его с C++/Python/Scala...»**

Сравнение Haskell с другими языками выходит за рамки этой книги. Несколько раз вы встретите здесь кусочки кода на других языках, но я привожу их исключительно для того, чтобы подчеркнуть различие с Haskell, а вовсе не для сравнения в контексте «лучше/хуже».

## Глава 3

# Об этой книге

В последние годы заметно возросло число книг, посвящённых Haskell, и это радует. Каждая из них преследует свою цель, поэтому трудно сказать, какая из них лучше. Цель этой книги двоякая.

Во-первых, я научу вас главному в Haskell. Основам, без освоения которых двигаться дальше никак не получится.

Во-вторых, я разрушу страх. Уже много лет вокруг Haskell витает дух страха, и я сполна ощутил его на себе. В действительности Haskell совсем нестрашный, в нём нет чёрной магии, и чтобы программировать на нём, вам не нужна учёная степень. Более того, вы удивитесь, насколько просто в Haskell делать многие вещи, но эта простота откроется вам лишь после того, как вы близко познакомитесь с Тремя Китами Haskell, а также с госпожой Черепахой, поддерживающей оных. Имена этих Китов и Черепахи вы узнаете уже в следующей главе.

Эта книга не возведёт вас на вершины Haskell, но она откроет вам путь к этим вершинам.

## Чего здесь нет

Трёх вещей вы не найдёте на страницах этой книги:

1. Исчерпывающего справочника по Haskell. Дублировать [официальное описание стандарта Haskell 2010](#) я не стану.
2. Набора готовых рецептов. За рецептами пожалуйста на [Stackoverflow](#).
3. Введения в математическую теорию. Несмотря на то, что Haskell корнями своими уходит в математику, в этой книге нет погружения в теорию категорий и в иные теории. Извините, если разочаровал.

## О первом и втором издании

На обложке вы видели метку «издание 2.0». Перед вами второе издание, полностью переработанное и переосмысленное. Вот две причины, побудившие меня перепи-

сать книгу.

Первая — мои ошибки. Я убеждён, что обучать языку программирования могут лишь те, кто использует этот язык в своей повседневной работе. На момент написания первой версии я ещё не работал с Haskell, а потому многого не знал и не понимал. В результате часть информации из первого издания была откровенно бедна, а несколько глав вообще вводили читателя в заблуждение.

Вторая причина — изменившаяся цель книги. Я намеренно сузил круг рассматриваемых здесь тем. Теперь книга всецело посвящена основам языка, поэтому не ищите здесь рассмотрения специфических тем. Я не очень-то верю в идею book-all-in-one, книга для новичков должна быть книгой для новичков. Вы не встретите здесь ни примеров реализации 3D-движка, ни рассказа о работе с PostgreSQL, ни повествования о проектировании игры для Android. Всё это можно делать с Haskell, но подобным темам посвящены другие публикации, которые несомненно будут вам по плечу после прочтения моей книги.

## **Читайте последовательно**

И это важно. В процессе чтения вы заметите, что я периодически поднимаю вопросы и как бы оставляю их без ответа. Это делается вполне осознанно: ответы обязательно будут даны, но в последующих главах, там, где это будет наиболее уместно. Поэтому перепрыгивание с главы на главу может вас запутать.

Впрочем, в веб-версии книги есть «Предметный указатель», который поможет вам быстро найти нужное место, что особенно полезно при повторном прочтении книги.

## **Для любопытных**

В конце большинства глав вы найдёте небольшой раздел, который так и называется — «Для любопытных». Читать его необязательно, но любознательным непременно понравится. В этом разделе я привожу некоторые технические подробности, исторические сведения и просто интересные факты.

И учтите, пожалуйста: содержимое раздела «Для любопытных» иногда чуток ломает последовательность изложения материала, это сделано осознанно. Помня о многих вопросах читателей к главам из предыдущего издания, я вынес ответы на некоторые из этих вопросов в данный раздел, и поэтому он, скажем, в 12 главе может ссылаться на материал, изложенный лишь в 16 главе. Если сомневаетесь — не читайте.

## **О пояснениях**

Во многих примерах исходного кода вы увидите пояснения вот такого вида:

```
type String = [Char]
```

тип    этот    равен    тому

Такие пояснение следует читать слева направо и сверху вниз, и вы сразу поймёте что к чему. Каждая часть пояснения расположена строго под тем кусочком кода, к которому она относится.

Вот ещё один пример:

```
let (host, alias) = ("173.194.71.106", "www.google.com")
```

	данное значение	
это		
хост		
		а вот это
		значение
это		
имя		

Здесь я говорю вам: «Данное значение — это хост, а вот это значение — это имя». В ряде случаев я использую также различного вида подчёркивание:

```
(host, alias) = ("173.194.71.106", "www.google.com")
```

_____	_____
=====	=====

Здесь я провожу параллель: «Значение `host` ассоциировано со строкой `173.194.71.106`, а значение `alias` — со строкой `www.google.com`».

## Благодарность

Эта книга — плод не только моих усилий. Многие члены наше сообщества помогли мне советами, замечаниями и исправлениями. Большое спасибо вам, друзья!

А ещё я благодарю всех тех, кто создал Haskell, и всех тех, кто неустанно совершенствует его. Вашими усилиями наша профессия становится ещё более прекрасной!

## Слово к читавшим первое издание

Если вы не читали его — можете переходить к следующей главе.

Как уже было сказано, цель книги поменялась. Я убеждён, что новичку следует дать фундамент, освоив который, он сможет уже самостоятельно изучать то, что нужно именно ему. Я больше не хочу давать читателям рыбу, я хочу дать им удочку. Поэтому здесь нет повествований обо всех имеющихся монадных трансформерах, или обо всех контейнерах, или о Кметтовских линзах, или о трубах Гонзалеса.

Я сделаю упор на теорию, но уже глубже. Так, в прошлом издании я часто использовал неточную терминологию, откровенно ступил с определением монады, прогнал какую-то пургу с ФВП, ни словом не обмолвился о функторных и иных законах, почти не рассказал о паттерн матчинге и использовал мало примеров реального кода. В этом издании я постараюсь исправить все эти ошибки.

И я по-прежнему открыт для вашей критики.

## Глава 4

# Приготовимся

Мы не можем начать изучение языка без испытательного полигона. Установим Haskell.

Сделать это можно несколькими способами, мы выберем самый удобный. Называется он [The Haskell Tool Stack](#). Эта маленькая утилита — всё, что вам понадобится для работы с Haskell.

Haskell — кроссплатформенный язык, работающий и в OS X, и в Linux, и даже в Windows. Однако в 2008 году я навсегда покинул мир Windows, поэтому все последующие примеры взаимодействия с командной строкой подразумевают Unix-way. Строго говоря, я уже и позабыл, что такое командная строка в Windows.

Вся конфигурация и примеры кода опробованы мною на OS X Yosemite.

## Устанавливаем

Идём [сюда](#) и скачиваем архив для нужной нам ОС. Распаковываем архив и видим программку под названием `stack`. Для удобства располагаем её в каком-нибудь каталоге, доступном в PATH. Рекомендованный путь — `~/.local/bin/`.

Если же вы живёте в мире Mac и пользуетесь [Homebrew](#), вам ещё проще. Делаете:

```
$ brew update
$ brew install haskell-stack
```

Всё.

На момент написания книги я использовал `stack` версии 1.0.2. Если у вас более старая версия — непременно обновитесь. Если же более новая — у вас теоретически что-нибудь может работать не в точности так, как описано ниже, поскольку `stack` активно развивается.

Главное (но не единственное), что умеет делать `stack`, это:

1. Разворачивать инфраструктуру.
2. Собирать проекты.



### 3. Устанавливать библиотеки.

Haskell-инфраструктура — экосистема, краеугольным камнем которой является ранее упомянутый компилятор GHC. Haskell является компилируемым языком: приложение представляет собой обыкновенный исполняемый (англ. executable) файл.

Haskell-проект — среда для создания приложений и библиотек.

Haskell-библиотеки — кем-то написанные решения, спасающие нас от изобретения велосипедов.

## Разворачиваем инфраструктуру

Делаем:

```
$ stack setup
```

В результате на ваш компьютер будет установлена инфраструктура последней стабильной версии. Жить всё это хозяйство будет в только что созданном каталоге `~/.stack/`. Именно поэтому устанавливать инфраструктуру для последующих Haskell-проектов вам уже не придётся: единожды развернули, используем всегда. Пока вам не нужно знать об устройстве этой инфраструктуры, воспринимайте её как данность: теперь на вашем компьютере живёт Haskell.

## Hi World

Создадим наш первый Haskell-проект:

```
$ stack new real
```

Здесь `real` — название проекта. В результате будет создан каталог `real`, внутри которого мы увидим это:

```
.
├─ LICENSE
├─ Setup.hs
├─ app
│   └─ Main.hs <- Главный модуль
├─ real.cabal <- Сборочный файл проекта
├─ src
│   └─ Lib.hs <- Вспомогательный модуль
├─ stack.yaml
├─ test
│   └─ Spec.hs
```

О содержимом проекта вам пока знать не нужно, просто соберём его командой:

```
$ stack install
```

Запомните эту команду, мы будем использовать её постоянно. В результате появится файл `real-exe`. А поскольку скопирован он будет в упомянутый выше каталог `~/.local/bin/`, мы сможем сразу запустить программу:

```
$ real-exe
someFunc
```

Вот мы и создали Haskell-проект и запустили нашу первую программу, выведшую строку `someFunc`. Но как же это работает? Пришла пора познакомиться с фундаментальной единицей проекта — модулем.

## Модули: знакомство

Haskell-проект состоит из модулей. Модулем называется файл, содержащий исходный Haskell-код. Один файл — один модуль. Расширение `.hs` — стандартное расширения для модулей. В Haskell нет понятия «заголовочный файл»: каждый из модулей рассматривается как самостоятельная единица проекта, содержащая в себе разные полезные вещи. А чтобы воспользоваться этими вещами, необходимо один модуль импортировать в другой.

Откроем модуль `src/Lib.hs`:

```
module Lib      -- Имя модуля
  ( someFunc
  ) where

someFunc :: IO ()
someFunc = putStrLn "someFunc"
```

В первой строке объявлено, что имя этого модуля — `Lib`. Далее, в круглых скобках упомянуто содержимое данного модуля, а именно имя функции `someFunc`. Затем, после ключевого слова `where`, мы видим определение функции `someFunc`. Пока вам не нужно знать о синтаксисе этой конструкции, в следующих главах мы разберём его тщательнейшим образом.

Теперь откроем модуль `app/Main.hs`:

```
module Main where

import Lib      -- Импортируем модуль Lib...

main :: IO ()
main = someFunc -- Используем его содержимое...
```

Это модуль `Main`, главный модуль нашего приложения, ведь именно здесь определена функция `main`. С помощью директивы `import` мы включаем сюда модуль `Lib` и можем работать с содержимым этого модуля.

Запомните модуль `Main`, с ним мы будем работать чаще всего. Все примеры исходного кода, которые вы увидите на страницах этой книги, живут именно в модуле `Main`, если не оговорено иное.

Все модули в наших проектах можно разделить на две части: те, которые мы берём из библиотек и те, которые мы создали сами. Библиотеки — это уже кем-то написанные решения, в последующих главах мы познакомимся со многими из них. Среди библиотек следует выделить одну, так называемую стандартную библиотеку. Модули из стандартной библиотеки мы начнём использовать уже в ближайших главах. А одна из глав будет полностью посвящена рассказу о библиотеках: из неё мы подробно узнаем, откуда берутся библиотеки и как их можно использовать.

## Для любопытных

До появления `stack` основным способом установки Haskell была так называемая [Haskell Platform](#). Однако именно `stack`, несмотря на свою молодость (вышел в свет летом 2015 года), является предпочтительным путём в мир Haskell, особенно для новичков. Если вдруг так случилось, что к моменту прочтения этой главы у вас уже была установлена Haskell Platform — настоятельно рекомендую вам незамедлительно удалить это старьё. Если у вас OS X, вы можете воспользоваться вот этим [маленьким скриптом](#).

Как вы заметили, имена файлов с исходным кодом начинаются с большой буквы: `app/Main.hs` и `src/Lib.hs`. Строго говоря, это необязательно, можно и с маленькой буквы, однако для гармонии с именем модуля лучше придерживаться общепринятой практики и называть файл модуля по имени самого модуля:

```
app/Main.hs -> module Main ...
src/Lib.hs  -> module Lib  ...
```

## Глава 5

# Киты и Черепаха

Итак, проект создали, теперь мы готовы начать наше путешествие.

Haskell стоит на Трёх Китах, имена которым: **Функция**, **Тип** и **Класс типов**. Они же, в свою очередь, покоятся на огромной Черепахе, имя которой — **Выражение**.

## Черепаха

Haskell-программа представляет собой совокупность выражений (англ. expression). Взгляните:

$1 + 2$

Это — основной кирпич Haskell-программы, будь то Hello World или часть инфраструктуры международного банка. Конечно, помимо сложения единицы с двойкой существуют и другие выражения, но суть у них у всех одна:

Выражение — это то, что может дать нам некий полезный результат.

Все выражения можно разделить на две группы: те, которые (всё ещё) можно вычислить и те, которые (уже) нельзя. Вычисление (англ. evaluation) — это фундаментальное действие по отношению к выражению, ведь именно вычисление даёт нам тот самый полезный результат. Так, выражение:

$1 + 2$

может дать нам полезный результат, а именно сумму двух чисел. Вычислив это выражение, мы получаем результат:

3

Причём это не просто число 3, это тоже выражение. Подобное выражение уже нельзя вычислить, оно вычислено окончательно, до самого дна, и мы можем лишь использовать его как есть.

В результате вычисления выражение всегда уменьшается (англ. reduce). В русскоязычной литературе иногда так и пишут: «редукция выражения». Уменьшать выражение можно до тех пор, пока оно не достигнет своей нередуцируемой формы.

Упомянутое выше выражение  $1 + 2$  ещё можно редуцировать, а вот выражение  $3$  — уже нельзя.

Таким образом, выражения, составляющие программу, вычисляются/редуцируются до тех пор, пока не останется некое окончательное, корневое выражение. А запуск Haskell-программы на выполнение (англ. *execution*) — это запуск всей этой цепочки вычислений, причём с корнем этой цепочки мы уже познакомились ранее. Помните функцию `main`, определённую в модуле `app/Main.hs`? Вот эта функция и является главной точкой нашей программы, её Альфой и Омегой.

## Первый Кит

Вернёмся к выражению  $1 + 2$ . Полезный результат мы получим лишь после того, как вычислим это выражение, то есть осуществим сложение. И как же можно «осуществить сложение» в рамках Haskell-программы? С помощью функции. Именно функция делает выражение вычислимым, именно она оживляет нашу программу, потому я и назвал Функцию Первым Китом Haskell. Но дабы избежать недоразумений, определимся с понятиями.

Вспомним математическое определение функции. Не пугайтесь, математики будут совсем немного:

Функция — это закон, описывающий зависимость одного значения от другого.

Рассмотрим функцию возведения целого числа в квадрат:

```
sqaure v = v * v
```

Функция `sqaure` определяет простую зависимость: числу 2 соответствует число 4, числу 3 — 9, и так далее. Схематично это можно записать так:

```
2 -> 4
3 -> 9
4 -> 16
5 -> 25
...
```

Входное значение функции называют аргументом. А так как функция определяет однозначную зависимость выходного значения от аргумента, её, функцию, называют ещё *отображением*: она отображает/проецирует входное значение на выходное. Получается как бы труба: кинули в неё 2 — с другой стороны вылетело 4, кинули 5 — вылетело 25.

Чтобы заставить функцию сделать полезную работу, её необходимо применить (англ. *apply*) к аргументу. Пример:

```
sqaure 2
```

Мы применили функцию `sqaure` к аргументу 2. Синтаксис предельно прост: имя функции и через пробел аргумент. Если аргументов более одного — просто дописываем их так же, через пробел. Например, функция `sum`, вычисляющая сумму двух своих целочисленных аргументов, применяется так:

```
sum 10 20
```

Так вот выражение  $1 + 2$  есть ни что иное, как применение функции! И чтобы яснее это увидеть, перепишем выражение:

```
(+) 1 2
```

Это применение функции  $(+)$  к двум аргументам, 1 и 2. Не удивляйтесь, что имя функции заключено в скобки, вскоре я расскажу об этом подробнее. А пока запомните главное:

Вычислить выражение — это значит применить какие-то функции (одну или более) к каким-то аргументам (одному или более).

И ещё. Возможно, вы слышали о так называемом «вызове» функции. В Haskell функции не вызывают. Понятие «вызов» функции пришло к нам из почтенного языка C. Там функции действительно вызывают (англ. call), потому что в C, в отличие от Haskell, понятие «функция» не имеет никакого отношения к математике. Там это подпрограмма, то есть обособленный кусочек программы, доступный по некоторому адресу в памяти. Если у вас есть опыт разработки на C-подобных языках — забудьте о подпрограмме. В Haskell функция — это функция в математическом смысле слова, поэтому её не вызывают, а применяют к чему-то.

## Второй Кит

Итак, любое редуцируемое выражение суть применение функции к некоторому аргументу (тоже являющемуся выражением):

```
square 2  
функция аргумент
```

Аргумент представляет собой некоторое значение, его ещё называют «данное» (англ. data). Данные в Haskell — это сущности, обладающие двумя главными характеристиками: типом и конкретным значением/содержимым.

Тип — это Второй Кит в Haskell. Тип отражает конкретное содержимое данных, а потому все данные в программе обязательно имеют некий тип. Когда мы видим данное типа `Double`, мы точно знаем, что перед нами число с плавающей точкой, а когда видим данные типа `String` — можем ручаться, что перед нами строки.

Отношение к типам в Haskell очень серьёзное, и работа с типами характеризуется тремя важными чертами:

1. статическая проверка,
2. сила,
3. выводение.

Три эти свойства системы типов Haskell — наши добрые друзья, ведь они делают нашу программистскую жизнь счастливее. Познакомимся с ними.

## Статическая проверка

Статическая проверка типов (англ. *static type checking*) — это проверка типов всех данных в программе, осуществляемая на этапе компиляции. Haskell-компилятор упрям: когда ему что-либо не нравится в типах, он громко ругается. Поэтому если функция работает с целыми числами, применить её к строкам никак не получится. Так что если компиляция нашей программы завершилась успешно, мы точно знаем, что с типами у нас всё в порядке. Преимущества статической проверки невозможно переоценить, ведь она гарантирует отсутствие в наших программах целого ряда ошибок. Мы уже не сможем спутать числа со строками или вычесть метры из рублей.

Конечно, у этой медали есть и обратная сторона — время, затрачиваемое на компиляцию. Вам придётся привыкнуть к этой мыслию: внесли изменения в проект — будьте добры скомпилировать. Однако утешением вам пусть послужит тот факт, что преимущества статической проверки куда ценнее времени, потраченного на компиляцию.

## Сила

Сильная (англ. *strong*) система типов — это бескомпромиссный контроль соответствия ожидаемого действительному. Сила делает работу с типами ещё более аккуратной. Вот вам пример из мира C:

```
double coeff(double base) {  
    return base * 4.9856;  
}  
  
int main() {  
    int value = coeff(122.04);  
    ...  
}
```

Это канонический пример проблемы, обусловленной слабой (англ. *weak*) системой типов. Функция `coeff` возвращает значение типа `double`, однако вызывающая сторона ожидает почему-то целое число. Ну вот ошиблись мы, криво скопировали. В этом случае произойдёт жульничество, называемое скрытым приведением типов (англ. *type casting*): число с плавающей точкой, возвращённое функцией `coeff`, будет грубо сломано путём приведения его к типу `int`, в результате чего дробная часть будет отброшена и мы получим не 608.4426, а 608. Подобная ошибка, кстати, приводила к серьёзным последствиям, таким как уничтожение космических аппаратов.

В Haskell подобный код не имеет ни малейших шансов пройти компиляцию. Мы всегда получаем то, что ожидаем, и если должно быть число с плавающей точкой — расшибись, но предоставь именно его. Компилятор скрупулёзно отслеживает соответствие ожидаемого типа фактическому, поэтому когда компиляция завершается успешно, мы абсолютно уверены в гармонии между типами всех наших данных.

## Выведение

Выведение (англ. inference) типов — это способность определить тип данных автоматически, по конкретному выражению. В том же языке C тип данных следует указывать явно:

```
double value = 122.04;
```

однако в Haskell мы напишем просто:

```
value = 122.04
```

В этом случае компилятор автоматически выведет тип `value` как `Double`.

Выведение типов делает наш код лаконичнее и проще в сопровождении. Впрочем, мы можем указать тип значения и явно, а иногда даже должны это сделать. В последующих главах я объясню, почему.

Да, кстати, вот простейшие стандартные типы, они нам понадобятся:

123	<code>Int</code>
23.5798	<code>Double</code>
'a'	<code>Char</code>
"Hello!"	<code>String</code>
<code>True</code>	<code>Bool</code> , истина
<code>False</code>	<code>Bool</code> , ложь

С типами `Int` и `Double` вы уже знакомы. Тип `Char` — это Unicode-символ. Тип `String` — обыкновенная строка. Тип `Bool` — логический тип, соответствующий истине или лжи. В последующих главах мы встретимся ещё с несколькими стандартными типами, но пока хватит и этих. И заметьте: имя типа в Haskell всегда начинается с большой буквы.

## Третий Кит

А вот о Третьем Ките, о **Классе типов**, я пока умолчу, потому что знакомиться с ним следует лишь после того, как мы поближе подружимся с первыми двумя.

Уверен, после прочтения этой главы у вас появилось множество вопросов. Ответы будут, но позже. Более того, следующая глава несомненно удивит вас.

## Для любопытных

Если вы работали с объектно-ориентированными языками, такими как C++, вас удивит тот факт, что в Haskell между понятиями «тип» и «класс» проведено чёткое различие. А поскольку типам и классам типов в Haskell отведена колоссально важная роль, добрый вам совет: когда в будущих главах мы познакомимся с ними поближе, не пытайтесь проводить аналогии из других языков. Например, некоторые усматривают родство между классами типов в Haskell и интерфейсами в Java. Не делайте этого, во избежание путаницы.



## Глава 6

# Неизменность и чистота

В предыдущей главе мы познакомились с функциями и выражениями, увидев близкую связь этих понятий. В этой главе мы познакомимся с функциями поближе, а также узнаем, что такое «чисто функциональный» язык и почему в нём нет места оператору присваивания.

### Объявляем и определяем

Применение функции нам уже знакомо, осталось узнать про объявление и определение, без них использовать функцию не получится. Помните функцию `square`, возводящую свой единственный аргумент в квадрат? Вот как выглядит её объявление и определение:

```
square :: Int -> Int
square v = v * v
```

Первая строка содержит объявление, вторая — определение. Объявление (англ. *declaration*) — это весть всему миру о том, что такая функция существует, вот её имя и вот типы, с которыми она работает. Определение (англ. *definition*) — это весть о том, что конкретно делает данная функция.

Рассмотрим объявление:

```
square :: Int -> Int
```

Оно разделено двойным двоеточием на две части: слева указано имя функции, справа — типы, с которыми эта функция работает, а именно типы аргументов и тип вычисленного, итогового значения. Как вы узнали из предыдущей главы, все данные в Haskell-программе имеют конкретный тип, а поскольку функция работает с данными, её объявление содержит типы этих данных. Типы разделены стрелками. Схематично это выглядит так:

```
square :: Int      -> Int
```

имя	тип	тип
функции	аргумента	вычисленного значения

Такое объявление сообщает нам о том, что функция `square` принимает единственный аргумент типа `Int` и возвращает значение того же типа `Int`. Если же аргументов более одного, объявление просто вытягивается. Например, объявление функции `prod`, возвращающей произведение двух целочисленных аргументов, могло бы выглядеть так:

```
prod    :: Int    -> Int    -> Int
```

имя	тип	тип	тип
функции	первого	второго	вычисленного
	аргумента	аргумента	значения

Идею вы поняли: ищем крайнюю правую стрелку, и всё что левее от неё — то типы аргументов, а всё что правее — то тип вычисленного значения.

Мы не можем работать с функцией, которая ничего не вычисляет. То есть аналога С-функции `void f(int i)` в Haskell быть не может, так как это противоречит математической природе. Однако мы можем работать с функцией, которая ничего не принимает, то есть с аналогом С-функции `int f(void)`. С такими функциями мы познакомимся в следующих главах.

Теперь рассмотрим определение функции `square`:

```
square v = v * v
```

Схема определения такова:

```
square  v          =    v * v
```

имя	имя	это	выражение
функции	аргумента		

А функция `prod` определена так:

```
prod    x          y          =    x * y
```

имя	имя	имя	это	выражение
функции	первого	второго		
	аргумента	аргумента		

Определение тоже разделено на две части: слева от знака равенства — имя функции и имена аргументов (имена, а не типы), разделённые пробелами, а справа — выражение, составляющее суть функции, её содержимое. Иногда эти части называют «головой» и «телом»:

```
square  v          =    v * v
```

голова функции	тело функции
(англ. head)	(англ. body)

Обратите внимание, речь здесь идёт именно о знаке равенства, а никак не об операторе присваивания. Мы ничего не присваиваем, мы лишь декларируем равенство левой и правой частей. Когда мы пишем:

```
prod x y = x * y
```

мы объявляем следующее: «Отныне выражение `prod 2 5` равно выражению `2 * 5`». Мы можем безопасно заменить выражение `prod 2 5` выражением `2 * 5`, а выражение `prod 120 500` — выражением `120 * 500`, и при этом работа программы гарантированно останется неизменной.

Но откуда у меня такая уверенность? А вот откуда.

## Чисто функциональный

Haskell — чисто функциональный (англ. *purely functional*) язык. Чисто функциональным он называется потому, что центральное место в нём уделено чистой функции (англ. *pure function*). А чистой называется такая функция, которая предельно честна с нами: её выходное значение всецело определяется её аргументами и более ничем. Это и есть функция в математическом смысле, вспомним функцию `prod`: когда на входе числа 10 и 20 — на выходе всегда будет 200, и ничто не способно помешать этому. Функция `prod` является чистой, а потому характеризуется отсутствием побочных эффектов (англ. *side effects*): она не способна сделать ничего, кроме как вернуть произведение двух своих аргументов. Именно поэтому чистая функция предельно надёжна, ведь она не может преподнести нам никаких сюрпризов.

Скажу больше: чистые функции не видят окружающий мир. Вообще. Они не могут вывести текст на консоль, их нельзя заставить обработать HTTP-запрос, они не умеют дружить с базой данных и прочесть файл они также неспособны. Они суть вещь в себе.

А чтобы удивить вас ещё больше, открою ещё один секрет Haskell.

## «Присваивание? Не, не слышал...»

В мире Haskell нет места оператору присваивания. Впрочем, этот факт удивителен лишь на первый взгляд. Задумаемся: если каждая функция в конечном итоге представляет собою выражение, вычисляемое посредством применения каких-то других функций к каким-то другим аргументам, тогда нам просто не нужно ничего ничему присваивать.

Вспомним, что присваивание (англ. *assignment*) пришло к нам из императивных языков. Императивное программирование (англ. *imperative programming*) — это направление в разработке, объединяющее несколько парадигм программирования, одной из которых является знаменитая объектно-ориентированная парадигма. В рамках этого направления программа воспринимается как набор инструкций, выполнение которых неразрывно связано с изменением состояния (англ. *state*) этой программы. Вот почему в императивных языках обязательно присутствует понятие «переменная» (англ. *variable*). А раз есть переменные — должен быть и оператор присваивания. Когда мы пишем:

```
coeff = 0.569;
```

мы тем самым приказываем: «Возьми значение 0.569 и перезапиши им то значение, которое уже содержалось в переменной `coeff` до этого». И перезаписывать это значение мы можем множество раз, а следовательно, мы вынуждены внимательно отслеживать текущее состояние переменной `coeff`, равно как и состояния всех остальных переменных в нашем коде.

Однако существует принципиально иной подход к разработке, а именно декларативное программирование (англ. *declarative programming*). Данное направление также включает в себя несколько парадигм, одной из которых является функциональная парадигма, нашедшая своё воплощение в Haskell. При этом подходе программа воспринимается уже не как набор инструкций, а как набор выражений. А поскольку выражения вычисляются путём применения функций к аргументам (то есть, по сути, к другим выражениям), там нет места ни переменным, ни оператору присваивания. Все данные в Haskell-программе, будучи созданными единожды, уже не могут быть изменены. Поэтому нам не нужен не только оператор присваивания, но и ключевое слово `const`. И когда в Haskell-коде мы пишем:

```
coeff = 0.569
```

мы просто объявляем: «Отныне значение `coeff` равно 0.569, и так оно будет всегда». Вот почему в Haskell-коде символ `=` — это знак равенства в математическом смысле, и с присваиванием он не имеет ничего общего.

Уверен, вы удивлены. Как же можно написать реальную программу на языке, в котором нельзя изменять данные? Какой прок от этих чистых функций, если они не способны ни файл прочесть, ни запрос по сети отправить? Оказывается, прок есть, и на Haskell можно написать очень даже реальную программу. За примером далеко ходить не буду: сама эта книга построена с помощью программы, написанной на Haskell, о чём я подробнее расскажу в следующих главах.

А теперь, дабы не мучить вас вопросами без ответов, мы начнём ближе знакомится с Китами Haskell, и детали большой головоломки постепенно сложатся в красивую картину.

## Для любопытных

В процессе работы Haskell-программы в памяти создаётся великое множество различных данных, ведь мы постоянно строим новые данные на основе уже имеющихся. За их своевременное уничтожение отвечает сборщик мусора (англ. *garbage collector*, GC), встроенный в компилятор GHC.

## Глава 7

# Выбираем и возвращаемся

В этой главе мы встретимся с условными конструкциями, выглянем в терминал, а также узнаем, почему из Haskell-функций не возвращаются (впрочем, последнее — не более чем игра слов).

### Выглянем во внешний мир

Мы начинаем писать настоящий код. А для этого нам понадобится окно во внешний мир. Откроем модуль `app/Main.hs`, найдём функцию `main` и напишем в ней следующее:

```
main :: IO ()
main = putStrLn "Hi, real world!"
```

Стандартная функция `putStrLn` выводит строку на консоль. А если говорить строже, функция `putStrLn` применяется к значению типа `String` и делает так, чтобы мы увидели это значение в нашем терминале.

Да, я уже слышу вопрос внимательного читателя. Как же так, спросите вы, разве мы не говорили о чистых функциях в прошлой главе, неспособных взаимодействовать с внешним миром? Придётся признать: функция `putStrLn` относится к особым функциям, которые могут-таки вылезти во внешний мир. Но об этом в следующих главах. Это прелюбопытнейшая тема, поверьте мне!

И ещё нам следует познакомиться с Haskell-комментариями, они нам понадобятся:

```
{-
    Я - сложный многострочный
    комментарий, содержащий
    нечто
    очень важное!
-}
main :: IO ()
main =
```

```
-- А я - скромный однострочный комментарий.
putStrLn "Hi, real world!"
```

Символы {- и -} скрывают многострочный комментарий, а символ -- начинает комментарий однострочный.

На всякий случай напоминаю команду сборки, запускаемую из корня проекта:

```
$ stack install
```

После сборки проект запускаем:

```
$ real-exe
Hi, real world!
```

## Выбор и выход

Выбирать внутри функции приходится очень часто. Существует несколько способов задания условной конструкции. Вот базовый вариант:

```
if CONDITION then EXPR1 else EXPR2
```

где CONDITION — логическое выражение, дающее ложь или истину, EXPR1 — выражение, используемое в случае True, EXPR2 — выражение, используемое в случае False. Пример:

```
checkLocalhost :: String -> String
checkLocalhost ip =
  -- True или False?
  if ip == "127.0.0.1" || ip == "0.0.0.0"
    -- Если True - идёт туда...
    then "It's a localhost!"
    -- А если False - сюда...
    else "No, it's not a localhost."
```

Функция checkLocalhost применяется к единственному аргументу типа String и возвращает другое значение типа String. В качестве аргумента выступает строка, содержащая IP-адрес, а функция проверяет, не лежит ли в ней localhost. Оператор || — стандартный оператор логического «ИЛИ», а оператор == — стандартный оператор проверки на равенство. Итак, если строка ip равна 127.0.0.1 или 0.0.0.0, значит в ней localhost, и мы возвращаем первое выражение, то есть строку It's a localhost!, в противном случае возвращаем второе выражение, строку No, it's not a localhost..

А кстати, что значит «возвращаем»? Ведь, как мы узнали, функции в Haskell не вызывают (англ. call), а значит, из них и не возвращаются (англ. return). И это действительно так. Если напишем:

```
main :: IO ()
main = putStrLn (checkLocalhost "127.0.0.1")
```

при запуске увидим это:

`It's a localhost!`

а если так:

```
main :: IO ()
main = putStrLn (checkLocalhost "173.194.22.100")
```

тогда увидим это:

`No, it's not a localhost.`

Круглые скобки включают выражение типа `String` по схеме:

```
main :: IO ()
main = putStrLn (checkLocalhost "173.194.22.100")
```

|\_\_ выражение типа `String` \_\_|

То есть функция `putStrLn` видит не применение функции `checkLocalhost` к строке, а просто выражение типа `String`. Если бы мы опустили скобки и написали так:

```
main :: IO ()
main = putStrLn checkLocalhost "173.194.22.100"
```

произошла бы ошибка компиляции, и это вполне ожидаемо: функция `putStrLn` применяется к одному аргументу, а тут их получается два:

```
main = putStrLn      checkLocalhost "173.194.22.100"
```

функция            к этому  
применяется    аргументу...

и к этому??

Не знаю как вы, а я не очень люблю круглые скобки, при всём уважении к Lisp-программистам. К счастью, в Haskell существует способ уменьшить число скобок. Об этом способе — в одной из последующих глав.

Так что же с возвращением из функции? Вспомним о равенстве в определении:

```
checkLocalhost ip =
  if ip == "127.0.0.1" || ip == "0.0.0.0"
  then "It's a localhost!"
  else "No, it's not a localhost."
```

То, что слева от знака равенства, равно тому, что справа. А раз так, эти два кода эквивалентны:

```
main :: IO ()
main = putStrLn (checkLocalhost "173.194.22.100")

main :: IO ()
main =
  putStrLn (if "173.194.22.100" == "127.0.0.1" ||
              "173.194.22.100" == "0.0.0.0"
            then "It's a localhost!"
            else "No, it's not a localhost.")
```

Мы просто заменили применение функции `checkLocalhost` её внутренним выражением, подставив вместо аргумента `ip` конкретную строку `173.194.22.100`. В итоге, в зависимости от истинности или ложности проверок на равенство, эта условная конструкция будет также заменена одним из двух выражений. В этом и заключается идея: возвращаемое функцией значение — это её последнее, итоговое выражение. То есть если выражение:

```
"173.194.22.100" == "127.0.0.1" ||  
"173.194.22.100" == "0.0.0.0"
```

даст нам результат `True`, то мы переходим к выражению из логической ветви `then`. Если же оно даст нам `False` — мы переходим к выражению из логической ветви `else`. Это даёт нам право утверждать, что условная конструкция вида:

```
if True  
  then "It's a localhost!"  
  else "No, it's not a localhost."
```

может быть заменена на первое нередуцируемое выражение, строку `It's a localhost!`, а условную конструкцию вида:

```
if False  
  then "It's a localhost!"  
  else "No, it's not a localhost."
```

можно спокойно заменить вторым нередуцируемым выражением, строкой `No, it's not a localhost..` Поэтому код:

```
main :: IO ()  
main = putStrLn (checkLocalhost "0.0.0.0")
```

эквивалентен коду:

```
main :: IO ()  
main = putStrLn "It's a localhost!"
```

Аналогично, код:

```
main :: IO ()  
main = putStrLn (checkLocalhost "173.194.22.100")
```

есть ни что иное, как:

```
main :: IO ()  
main = putStrLn "No, it's not a localhost."
```

Каким бы сложным ни было логическое ветвление внутри функции `checkLocalhost`, в конечном итоге оно вернёт/вычислит какое-то одно итоговое выражение. Именно поэтому из функции в Haskell нельзя выйти в произвольном месте, как это принято в императивных языках, ведь она не является набором инструкций, она — выражение, состоящее из других выражений. Вот почему функции в Haskell так просто компоновать друг с другом, и позже мы встретим множество таких примеров.



## Для любопытных

Внимательный читатель несомненно заметил необычное объявление главной функции нашего проекта, функции `main`:

```
main :: IO ()    -- Объявление?  
main = putStrLn ...
```

Если `IO` — это тип, то что такое `()`? И почему указан лишь один тип? Что такое `IO ()`: аргумент функции `main`, или же то, что она вычисляет? Сожалею, но пока я вынужден сохранить это в секрете. Когда мы поближе познакомимся со Вторым Китаем Haskell, я непременно расскажу про этот странный `IO ()`.

## Глава 8

# Выбор и образцы

Эта глава откроет нам другие способы выбора, а также познакомит нас с образцами. Уверяю, вы влюбитесь в них!

### Не только из двух

Часто мы хотим выбирать не только из двух возможных вариантов. Вот как это можно сделать:

```
analyzeGold :: Int -> String
analyzeGold standard =
  if standard == 999
  then "Wow! 999 standard!"
  else if standard == 750
    then "Great! 750 standard."
    else if standard == 585
      then "Not bad! 585 standard."
      else "I don't know such a standard..."

main :: IO ()
main = putStrLn (analyzeGold 999)
```

Уверен, вы уже стираете плевков с экрана. Вложенная if-then-else конструкция не может понравиться никому, ведь она крайне неудобна в обращении. А уж если бы анализируемых проб золота было штук пять или семь, эта лестница стала бы поистине ужасной. К счастью, в Haskell можно написать по-другому:

```
analyzeGold :: Int -> String
analyzeGold standard =
  if | standard == 999 -> "Wow! 999 standard!"
    | standard == 750 -> "Great! 750 standard."
    | standard == 585 -> "Not bad! 585 standard."
    | otherwise -> "I don't know such a standard..."
```

Не правда ли, так красивее? Это — множественный if. Работает он по схеме:

```

if | CONDITION1 -> EXPR1
   | CONDITION2 -> EXPR2
   | ...
   | CONDITIONn -> EXPRn
   | otherwise -> COMMON_EXPRESSION

```

где `CONDITION1..n` — выражения, дающие ложь или истину, а `EXPR1..n` — соответствующие им результирующие выражения. Особая функция `otherwise` соответствует общему случаю, когда ни одно из логических выражений не дало `True`, и в этой ситуации результатом условной конструкции послужит выражение `COMMON_EXPRESSION`.

Не пренебрегайте `otherwise`! Если вы его не укажете и при этом примените функцию `analyzeGold` к значению, отличному от проверяемых:

```

analyzeGold :: Int -> String
analyzeGold standard =
  if | standard == 999 -> "Wow! 999 standard!"
     | standard == 750 -> "Great! 750 standard."
     | standard == 585 -> "Not bad! 585 standard."

main :: IO ()
main = putStrLn (analyzeGold 583) -- Ой...

```

компиляция завершится успешно, однако в момент запуска программы вас ожидает неприятный сюрприз в виде ошибки:

**Non-exhaustive guards in multi-way if**

Проверка получилась неполной, вот и получите ошибку.

Кстати, видите слово `guards` в сообщении об ошибке? Вертикальные черты перед логическими выражениями — это и есть охранники (англ. `guard`), неусыпно охраняющие наши условия. Потешное название выбрали. Чтобы читать их было легче, воспринимайте их как аналог слова «ИЛИ».

А сейчас стоп. Вы ведь попробовали скомпилировать этот код, не так ли? А почему вы не ругаетесь? Ведь такой код не скомпилируется, так как не хватает одной маленькой, но важной детали. Вот как должен выглядеть модуль `Main`:

```

{-# LANGUAGE MultiWayIf #-} -- А это что?

module Main where

analyzeGold :: Int -> String
analyzeGold standard =
  if | standard == 999 -> "Wow! 999 standard!"
     | standard == 750 -> "Great! 750 standard."
     | standard == 585 -> "Not bad! 585 standard."
     | otherwise -> "I don't know such a standard..."

main :: IO ()
main = putStrLn (analyzeGold 999)

```

Вот теперь всё в порядке. Но что это за странный комментарий в первой строке модуля? Вроде бы оформлен как многострочный комментарий, но выглядит необычно. Перед нами — указание расширения языка Haskell.

Стандарт [Haskell 2010](#) — это официальный стержень языка. Однако компилятор GHC, давно уж ставший компилятором по умолчанию при разработке на Haskell, обладает рядом особых возможностей. По умолчанию многие из этих возможностей выключены, а прагма `LANGUAGE` как раз для того и предназначена, чтобы их включать/активизировать. В данном случае мы включили расширение `MultiWayIf`. Именно это расширение позволяет нам использовать множественный `if`. Такого рода расширений существует очень много, и мы будем часто их использовать.

Помните: расширение, включённое с помощью прагмы `LANGUAGE`, действует лишь в рамках текущего модуля. И если я прописал его только в модуле `app/Main.hs`, то на модуль `src/Lib.hs` механизм `MultiWayIf` не распространяется.

## Без Если

Множественный `if` весьма удобен, но есть способ более красивый. Взгляните:

```
analyzeGold :: Int -> String
analyzeGold standard
  | standard == 999 = "Wow! 999 standard!"
  | standard == 750 = "Great! 750 standard."
  | standard == 585 = "Not bad! 585 standard."
  | otherwise      = "I don't know such a standard..."
```

Ключевое слово `if` исчезло. Схема здесь такая:

```
function arg  -- Нет знака равенства?
  | CONDITION1 = EXPR1
  | CONDITION2 = EXPR2
  | ...
  | CONDITIONn = EXPRn
  | otherwise  = COMMON_EXPRESSION
```

Устройство почти такое же, но, помимо исчезновения ключевого слова `if`, мы теперь используем знаки равенства вместо стрелок. Именно поэтому исчез знаковый нам знак равенства после имени аргумента `arg`. В действительности он, конечно, никуда не исчез, он лишь перешёл в выражения. А чтобы это легче прочесть, напишем выражения в строчку:

```
function arg | CONDITION1 = EXPR1 | ...
эта          или          равна
функция                                     этому
                                              выражению

                               в случае
                               истинности
                               этого
```

выражения

либо и т.д.

То есть перед нами уже не одно определение функции, а цепочка определений, потому нам и не нужно ключевое слово `if`. Но и эту цепочку определений можно упростить.

## Сравнение с образцом

Убрав слово `if`, мы и с нашими виртуальными «ИЛИ» можем расстаться. В этом случае останется лишь это:

```
analyzeGold :: Int -> String -- Одно объявление.
-- И множество определений...
analyzeGold 999 = "Wow! 999 standard!"
analyzeGold 750 = "Great! 750 standard."
analyzeGold 585 = "Not bad! 585 standard."
analyzeGold _  = "I don't know such a standard..."
```

Мы просто перечислили определения функции `analyzeGold` одно за другим. На первый взгляд, возможность множества определений одной и той же функции удивляет, но если вспомнить, что применение функции суть выражение, тогда ничего удивительного. Вот как это читается:

	<code>analyzeGold</code>	<code>999</code>	<code>=</code>	<code>"Wow! 999 standard!"</code>
если	эта функция	применяется	тогда	этому выражению
		к этому		она
		аргументу		равна
	<code>analyzeGold</code>	<code>750</code>	<code>=</code>	<code>"Wow! 999 standard!"</code>
если	эта функция	применяется	тогда	другому выражению
		к другому		она
		аргументу		равна
...				
	<code>analyzeGold</code>	<code>_</code>	<code>=</code>	<code>"I don't know such a standard..."</code>

В противном же случае эта функция просто некоторому общему выражению равна

Когда функция `analyzeGold` применяется к конкретному аргументу, этот аргумент последовательно сравнивается с образцом (англ. *pattern matching*). Образца здесь три: `999`, `750` и `585`. И если раньше мы сравнивали аргумент с этими числовыми значениями явно, посредством функции `==`, теперь это происходит скрыто. Идея сравнения с образцом очень проста: что-то (в данном случае реальный аргумент) сопоставляется с образцом (или образцами) на предмет «подходит/не подходит». Если подходит — то есть сравнение с образцом даёт результат `True` — готово, используем соответствующее выражение. Если же не подходит — переходим к следующему

образцу.

Сравнение с образцом используется в Haskell чрезвычайно широко. В русскоязычной литературе перевод словосочетания «pattern matching» не особо закрепился, вместо этого так и говорят «паттерн матчинг». Я поступлю так же.

Но что это за символ подчёркивания такой, в последнем варианте определения? Вот этот:

```
analyzeGold _ = "I don't know such a standard..."
             ^
```

С формальной точки зрения, это — универсальный образец, сравнение с которым всегда истинно (ещё говорят, что с ним матчится (англ. match) всё что угодно). А с неформальной — это символ, который можно прочесть как «мне всё равно». Мы как бы говорим: «В данном случае нас не интересует конкретное содержимое аргумента, нам всё равно, мы просто возвращаем строку I don't know such a standard...».

Важно отметить, что сравнение аргумента с образцами происходит последовательно, сверху вниз. Поэтому если мы напишем так:

```
analyzeGold :: Int -> String
analyzeGold _ = "I don't know such a standard..."
analyzeGold 999 = "Wow! 999 standard!"
analyzeGold 750 = "Great! 750 standard."
analyzeGold 585 = "Not bad! 585 standard."
```

наша функция будет всегда возвращать первое выражение, строку I don't know such a standard..., и это вполне ожидаемо: первая же проверка гарантированно даст нам True, ведь с образцом \_ совпадает всё что угодно. Таким образом, общий образец следует располагать в самом конце, чтобы мы попали на него лишь после того, как не сработали все остальные образцы.

## case

Существует ещё один вид паттерн матчинга, с помощью конструкции case-of:

```
analyzeGold standard =
  case standard of
    999      -> "Wow! 999 standard!"
    750      -> "Great! 750 standard."
    585      -> "Not bad! 585 standard."
    otherwise -> "I don't know such a standard..."
```

Запомните конструкцию case-of, мы встретимся с ней не раз. Работает она по модели:

```
case EXPRESSION of
  PATTERN1 -> EXPR1
  PATTERN2 -> EXPR2
```

```
...  
PATTERNn -> EXPRn  
otherwise -> COMMON_EXPRESSION
```

где `EXPRESSION` — анализируемое выражение, последовательно сравниваемое с образцами `PATTERN1..n`. Если ни одно не сработало — как обычно, упираемся в `otherwise` и выдаём `COMMON_EXPRESSION`.

В последующих главах мы встретимся и с другими видами паттерн матчинга, ведь он используется не только для выбора.

## Глава 9

# Пусть будет там, Где...

В этой главе мы узнаем, как сделать наши функции более удобными и читабельными.

### Пусть

Рассмотрим следующую функцию:

```
calculateTime :: Int -> Int
calculateTime timeInS =
  if | timeInS < 40 -> timeInS + 120
    | timeInS >= 40 -> timeInS + 8 + 120
```

Мы считаем время некоторого события, и если исходное время меньше 40 секунд — результирующее время увеличено на 120 секунд, в противном случае — ещё на 8 секунд сверх того. Перед нами классический пример «магических чисел» (англ. magic numbers), когда смысл конкретных значений скрыт за семью печатями. Что за 40, и что за 8? Во избежание этой проблемы можно ввести временные выражения, и тогда код станет совсем другим:

```
calculateTime :: Int -> Int
calculateTime timeInS =
  let threshold = 40
      correction = 120
      delta     = 8
  in if | timeInS < threshold -> timeInS + correction
      | timeInS >= threshold -> timeInS + delta + correction
```

Вот, совсем другое дело! Мы избавились от «магических чисел», введя поясняющие выражения `threshold`, `correction` и `delta`. Конструкция `let-in` вводит поясняющие выражения по схеме:

```
let DECLARATIONS in EXPRESSION
```

где `DECLARATIONS` — выражения, декларируемые нами, а `EXPRESSION` — выражение, в котором используется выражения из `DECLARATION`. Когда мы написали:



```
let threshold = 40
```

мы объявили: «Отныне выражение `threshold` равно выражению `40`». Выглядит как присваивание, но мы-то уже знаем, что в Haskell его нет. Теперь выражение `threshold` может заменить собою число `40` внутри выражения, следующего за словом `in`:

```
let threshold = 40
...
in if | timeInS < threshold -> ...
    | timeInS >= threshold -> ...
```

Эта конструкция легко читается:

```
let    threshold =      40      ... in  ...
```

пусть это            будет этому            в    том  
выражение равно выражению            выражении

С помощью ключевого слова `let` можно ввести сколько угодно пояснительных/промежуточных выражений, что делает наш код, во-первых, понятнее, а во-вторых, короче. Да, в этом конкретном случае код стал чуть длиннее, но в последующих главах мы увидим ситуации, когда промежуточные значения сокращают код в разы.

Важно помнить, что введённое конструкцией `let-in` выражение существует лишь в рамках выражения, следующего за словом `in`. Изменим функцию:

```
calculateTime :: Int -> Int
calculateTime timeInS =
  let threshold = 40
      correction = 120
  in if | timeInS < threshold -> timeInS + correction
      | timeInS >= threshold ->
          let delta = 8 in timeInS
              + delta
              + + correction
```

это                            существует лишь в  
выражение                    рамках этого выражения

Мы сократили область видимости промежуточного выражения `delta`, сделав его видимым лишь в выражении `timeInS + delta + correction`.

При желании `let`-выражения можно записывать и в строчку:

```
...
let threshold = 40; correction = 120
in if | timeInS < threshold -> timeInS + correction
    | timeInS >= threshold ->
        let delta = 8 in timeInS + delta + correction
```

В этом случае мы перечисляем их через точку с запятой. Лично мне такой стиль не нравится, но выбирать вам.

## Где

Существует иной способ введения промежуточных выражений, взгляните:

```
calculateTime :: Int -> Int
calculateTime timeInS =
  if | timeInS < threshold -> timeInS + correction
    | timeInS >= threshold -> timeInS + delta + correction
  where
    threshold = 40
    correction = 120
    delta     = 8
```

Ключевое слово `where` делает примерно то же, что и `let`, но промежуточные выражения задаются в конце функции. Такая конструкция читается подобно научной формуле:

```
S = V * t,      -- Выражение
где
S = расстояние, {- Всё то, что
V = скорость,   используется
t = время.      в выражении. -}
```

В отличие от `let`, которое может быть использовано для введения супер-локального выражения (как в последнем примере с `delta`), все `where`-выражения доступны в любой части выражения, предшествующего ключевому слову `where`.

## Вместе

Мы можем использовать `let-in` и `where` совместно, в рамках одной функции:

```
calculateTime :: Int -> Int
calculateTime timeInS =
  let threshold = 40 in
  if | timeInS < threshold -> timeInS + correction
    | timeInS >= threshold -> timeInS + delta + correction
  where
    correction = 120
    delta     = 8
```

Часть промежуточных значений задана сверху, а часть — внизу. Общая рекомендация: не смешивайте `let-in` и `where` без особой надобности, такой код читается тяжело, избыточно.

Отмечу, что в качестве промежуточных могут выступать и более сложные выражения. Например:

```
calculateTime :: Int -> Int
calculateTime timeInS =
  let threshold = 40 in
  if | timeInS < threshold -> timeInS + correction
```

```

    | timeInS >= threshold -> timeInS + delta + correction
where
  -- Это промежуточное выражение зависит от аргумента...
  correction = timeInS * 2
  -- А это - от другого выражения...
  delta      = correction - 4

```

Выражение `correction` равно `timeInS * 2`, то есть теперь оно зависит от значения аргумента функции. А выражение `delta` зависит в свою очередь от `correction`. Причём мы можем менять порядок задания выражений:

```

...
let threshold = 40
in if | timeInS < threshold -> timeInS + correction
    | timeInS >= threshold -> timeInS + delta + correction
where
  delta      = correction - 4
  correction = timeInS * 2

```

Выражение `delta` теперь задано первым по счёту, но это не имеет никакого значения. Ведь мы всего лишь объявляем равенства, и результат этих объявлений не влияет на конечный результат вычислений. Конечно, порядок объявления равенств не важен и для `let`-выражений:

```

calculateTime :: Int -> Int
calculateTime timeInS =
  let delta      = correction - 4
      threshold = 40
  in if | timeInS < threshold -> timeInS + correction
      | timeInS >= threshold -> timeInS + delta + correction
  where
    correction = timeInS * 2

```

Мало того, что мы задали `let`-выражения в другом порядке, так мы ещё и использовали в одном из них выражение `correction`! То есть в `let`-выражении использовалось `where`-выражение. А вот проделать обратное, увы, не получится:

```

calculateTime :: Int -> Int
calculateTime timeInS =
  let delta      = correction - 4
      threshold = 40
  in
  if | timeInS < threshold -> timeInS + correction
    | timeInS >= threshold -> timeInS + delta + correction
  where
    correction = timeInS * 2 * threshold -- Из let??

```

При попытке скомпилировать такой код мы получим ошибку:

```
Not in scope: 'threshold'
```

Таково ограничение: использовать `let`-выражения внутри `where`-выражений невозможно, ведь последние уже не входят в выражение, следующее за словом `in`.

Ну что ж, пора двигаться дальше, ведь внутренности наших функций не ограничены условными конструкциями.

## Глава 10

# Мир операторов

Оператор (англ. *operator*) — частный случай функции. В предыдущих главах мы уже познакомились с ними, осталось объяснить подробнее.

Вспомним наше самое первое выражение:

```
1 + 2
```

Функция `+` записана в инфиксной (англ. *infix*) форме, то есть между своими аргументами. Такая запись выглядит естественнее, нежели обычная:

```
(+) 1 2
```

Видите круглые скобки? Они говорят о том, что данная функция предназначена для инфиксной записи. Автор этой функции изначально рассчитывал на инфиксную форму использования `1 + 2`, а не на обычную `(+) 1 2`, именно поэтому имя функции в определении заключено в круглые скобки:

```
(+) :: ...
```

Функции, предназначенные для инфиксной формы применения, называют операторами.

Если же имя функции не заключено в круглые скобки, подразумевается, что мы рассчитываем на обычную форму её применения. Однако и в этом случае можно применять её инфиксно, но имя должно заключаться в обратные одинарные кавычки (англ. *backtick*).

Определим функцию `isEqualTo`, являющуюся аналогом оператора проверки на равенство для двух целочисленных значений:

```
isEqualTo :: Int -> Int -> Bool
isEqualTo x y = x == y
```

При обычной форме её применения выглядело бы так:

```
...
if isEqualTo code1 code2 then ... else ...
where code1 = 123
      code2 = 124
...
```

Но давайте перепишем в инфиксной форме:

```
...
if code1 `isEqualTo` code2 then ... else ...
where code1 = 123
      code2 = 124
...
```

Гораздо лучше, ведь теперь код читается как обычный английский текст:

```
...
if code1 `isEqualTo` code2 ...
if code1 is equal to code2 ...
...
```

Строго говоря, название «оператор» весьма условно, мы можем его и не использовать. Говорить о функции сложения столь же корректно, как и об операторе сложения.

## Зачем это нужно?

Почти все ASCII-символы (а также их всевозможные комбинации) можно использовать в качестве операторов в Haskell. Это даёт нам широкие возможности для реализации различных EDSL (англ. Embedded Domain Specific Language), своего рода «языков в языке». Вот пример:

```
div ! class_ "nav-wrapper" $
  a ! class_ "brand-logo sans" ! href "/" $
    "#ohaskell"
```

Любой, кто знаком с веб-разработкой, мгновенно узнает в этом коде HTML. Это [кусочек кода](#), строящего HTML-шаблон для веб-варианта данной книги. То что вы видите — это совершенно легальный Haskell-код, в процессе работы которого генерируется реальный HTML: тег `<div>` с классом `nav-wrapper`, внутри которого лежит `<a>`-ссылка с двумя классами, корневым адресом и внутренним текстом `#ohaskell`.

Идентификаторы `div`, `class_` и `href` — это имена функций, а символы `!` и `$` — это операторы, записанные в инфиксной форме. Самое главное, что для понимания этого кода нам абсолютно необязательно знать, где определены все эти функции/операторы и как они работают. Это важная мысль, которую я неоднократно буду повторять в последующих главах:

Чтобы использовать функции, нам вовсе необязательно знать их внутренности.

А про EDSL запомните, мы с ними ещё встретимся.

# Глава 11

## Список

Помните, в одной из предыдущих глав я говорил, что познакомлю вас ещё с несколькими стандартными типами данных в Haskell? Пришло время узнать о списках.

Список (англ. list) — это стандартный тип, характеризующий уже не просто данные, но структуру данных (англ. data structure). Эта структура представляет собой набор данных одного типа, и едва ли хоть одна реальная Haskell-программа может обойтись без списков.

Структуры, содержащие данные одного типа, называют ещё гомогенными (в переводе с греческого: «одного рода»).

Вот список из трёх целых чисел:

```
[1, 2, 3]
```

Квадратные скобки и значения, разделённые запятыми. Вот так выглядит список из двух значений типа Double:

```
[1.3, 45.7899]
```

а вот и список из одного-единственного символа:

```
['H']
```

или вот из четырёх строк, отражающих имена протоколов транспортного уровня OSI-модели:

```
["TCP", "UDP", "DCCP", "SCTP"]
```

Если у вас есть опыт разработки на языке C, вы можете подумать, что список похож на массив. Однако, хотя сходства имеются, я намеренно избегаю слова «массив», потому что в Haskell существуют массивы (англ. array), это несколько иная структура данных.

Список — это тоже выражение, поэтому можно легко создать список списков произвольной вложенности. Вот так будет выглядеть список из ряда протоколов трёх уровней OSI-модели:

```
[ ["DHCP", "FTP", "HTTP"]  
  , ["TCP", "UDP", "DCCP", "SCTP"] ]
```

```
, ["ARP", "NDP", "OSPF"]
]
```

Это список списков строк. Форматирование в отношении квадратных скобок весьма вольное, при желании можно и так написать:

```
[["DHCP", "FTP", "HTTP"      ],
 ["TCP",  "UDP", "DCCP", "SCTP"],
 ["ARP",  "NDP", "OSPF"      ]]
```

Список может быть и пустым, то есть не содержать в себе никаких данных:

```
[]
```

## Тип списка

Раз список представляет собой структуру, содержащую данные некоторого типа, каков же тип самого списка? Вот:

```
[Int]    -- Список целых чисел
[Char]    -- Список символов
[String]  -- Список строк
```

То есть тип списка так и указывается, в квадратных скобках. Упомянутый ранее список списков строк имеет такой тип:

```
[[String]] -- Список списков строк
```

Модель очень проста:

```
[ [String] ]
```

```
| Тип |
|-----|
| данных |
```

```
|      Тип      |
|      списка   |
|_ этих данных _|
```

Хранить данные разных типов в стандартном списке невозможно. Однако вскоре мы познакомимся с другой стандартной структурой данных, которая позволяет это.

## Действия над списками

Если списки создаются — значит это кому-нибудь нужно. Со списком можно делать очень много всего. В стандартной Haskell-библиотеке существует отдельный модуль `Data.List`, включающий широкий набор функций, работающих со списком. Откроем модуль `Main` и импортируем в него модуль `Data.List`:



```
module Main where
```

```
-- Стандартный модуль для работы со списками.
```

```
import Data.List
```

```
main :: IO ()
```

```
main = putStrLn (head ["Vim", "Emacs", "Atom"])
```

Функция `head` возвращает голову списка, то есть его первый элемент. При запуске этой программы на выходе получим:

```
Vim
```

Модель такая:

```
["Vim" , "Emacs", "Atom"]
```

```
голова |__ хвост __|
```

Эдакая гусеница получается: первый элемент — голова, а всё остальное — хвост. Функция `tail` возвращает хвост:

```
main :: IO ()
```

```
main = print (tail ["Vim", "Emacs", "Atom"])
```

Вот результат:

```
["Emacs", "Atom"]
```

Функция `tail` формирует другой список, представляющий собою всё от первоначального списка, кроме головы. Обратите внимание на новую функцию `print`. В данном случае мы не могли бы использовать нашу знакомую `putStrLn`, ведь она применяется к значению типа `String`, в то время как функция `tail` вернёт нам значение типа `[String]`. Мы ведь помним про строгость компилятора: что ожидаем, то и получить должны. Функция `print` предназначена для «стрингификации» значения: она берёт значение некоторого типа и выводит это значение на консоль уже в виде строки.

Внимательный читатель спросит, каким же образом функция `print` узнаёт, как именно отобразить конкретное значение в виде строки? О, это интереснейшая тема, но она относится к Третьему Киту *Haskell*, до знакомства с которым нам ещё далеко.

Можно получить длину списка:

```
handleTableRow :: String -> String
```

```
handleTableRow row
```

```
  | length row == 2 = composeTwoOptionsFrom row
```

```
  | length row == 3 = composeThreeOptionsFrom row
```

```
  | otherwise      = invalidRow row
```

Это чутко видоизменённый кусочек одной моей программы, функция `handleTableRow` обрабатывает строку таблицы. Стандартная функция `length` даёт нам длину списка (число элементов в нём). В данном случае мы узнаём число элементов в строке таблицы `row`, и в зависимости от этой длины применяем к этой строке функцию `composeTwoOptionsFrom` или `composeThreeOptionsFrom`.

Но постойте, а где же тут список? Функция `handleTableRow` применяется к строке и вычисляет строку. А всё дело в том, что строка есть ни что иное, как список символов. То есть тип `String` эквивалентен типу `[Char]`. Скажу более: `String` — это даже не самостоятельный тип, это всего лишь псевдоним для типа `[Char]`, и вот как он задан:

```
type String = [Char]
```

Ключевое слово `type` вводит псевдоним для уже существующего типа. Читается это так:

```
type String =      [Char]
```

тип    этот    равен    тому

Таким образом, объявление функции `handleTableRow` можно было бы переписать так:

```
handleTableRow :: [Char] -> [Char]
```

При работе со списками мы можем использовать уже знакомые промежуточные выражения, например:

```
handleTableRow :: String -> String
handleTableRow row
  | size == 2 = composeTwoOptionsFrom row
  | size == 3 = composeThreeOptionsFrom row
  | otherwise = invalidRow row
  where size = length row
```

А можно и так:

```
handleTableRow :: String -> String
handleTableRow row
  | twoOptions   = composeTwoOptionsFrom row
  | threeOptions = composeThreeOptionsFrom row
  | otherwise    = invalidRow row
  where
    size          = length row -- Узнаём длину
    twoOptions    = size == 2  -- ... сравниваем
    threeOptions  = size == 3  -- ... и ещё раз
```

Здесь выражения `twoOptions` и `threeOptions` имеют уже знакомый нам стандартный тип `Bool`, ведь они равны результату сравнения значения `size` с числом.

## Неизменность списка

Как вы уже знаете, все данные в Haskell неизменны, как Египетские пирамиды. Списки — не исключение: мы не можем изменить существующий список, мы можем лишь создать на его основе новый список. Например:

```
addTo :: String -> [String] -> [String]
addTo newHost hosts = newHost : hosts
```

```
main :: IO ()
main = print ("124.67.54.90" `addTo` hosts)
  where hosts = ["45.67.78.89", "123.45.65.54"]
```

Результат этой программы таков:

```
["124.67.54.90", "45.67.78.89", "123.45.65.54"]
```

Рассмотрим определение функции `addTo`:

```
addTo newHost hosts = newHost : hosts
```

Стандартный оператор `:` добавляет значение, являющееся левым операндом, в начало списка, являющегося правым операндом. Читается это так:

```
newHost  :      hosts

          этот
          оператор

берёт
это
значение

          и добавляет
          его в начало
          этого списка
```

Естественно, тип значения слева обязан совпадать с типом значений, содержащихся в списке справа.

С концептуальной точки зрения функция `addTo` добавила новый IP-адрес в начало списка `hosts`. В действительности же никакого добавления не произошло, ибо списки неизменны. Оператор `:` взял значение `newHost` и список `hosts` и создал на их основе новый список, содержащий в себе уже три IP-адреса вместо двух.

## Перечисление

Допустим, понадобился нам список целых чисел от одного до десяти. Пишем:

```
main :: IO ()
main = print tenNumbers
  where tenNumbers = [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]
```

Неплохо, но избыточно, ведь чисел могло быть и сто, и тысяча. Есть лучший путь:

```
main :: IO ()
main = print tenNumbers
  where tenNumbers = [1..10]
```

Красиво, не правда ли? Выражение в квадратных скобках называется перечислением (англ. enumeration или сокращённо enum). Иногда её именуют также арифметической последовательностью. Идея предельно проста: зачем указывать содержимое списка целиком в той ситуации, когда можно указать лишь диапазон значений? Это мы и сделали:

```
[1..10] = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]
```

Значение слева от .. — это начало диапазона, а значение справа — его конец. Компилятор сам догадается, что шаг между числами в данной последовательности равен 1. Вот ещё пример:

```
[3..17] = [3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]
```

```

-           -
      ==                ==

```

Мы можем задать шаг и явно:

```
[2,4..10] = [2,4,6,8,10]
```

Получили только чётные значения. Схема проста:

```
[2,      4      .. 10]
```

```

первый          конец
      второй

```

```

|  разница  |
|_ даёт шаг _|

```

Вот ещё пример:

```
[3,9..28] = [3,9,15,21,27]
```

Можно задать и нисходящий диапазон:

```
[9,8..1] = [9,8,7,6,5,4,3,2,1]
```

Или так:

```
[(-9),(-8)..(-1)] = [-9,-8,-7,-6,-5,-4,-3,-2,-1]
```

Да, отрицательные числа тоже работают. Можно взять также и числа с плавающей точкой:

```
[1.02,1.04..1.16] = [1.02,1.04,1.06,1.08,1.1,1.12,1.14,1.16]
```

В общем, идея ясна. Но что это мы всё с числами да с числами! Возьмём символы:

```
['a'..'z'] = "abcdefghijklmnopqrstuvwxyz"
```

Диапазон от 'a' до 'z' — получили английский алфавит в виде [Char] или, как мы уже знаем, просто string. При большом желании явно задать шаг можно и здесь:

```
['a','c'..'z'] = "acegikmoqsuwy"
```

Вот такая красота.

Теперь, после знакомства со списком, мы будем использовать их постоянно.

## Для любопытных

В разделе про диапазоны для списка мы оперировали значениями типа `Int`, `Double` и `Char`. Возникает вопрос: а можно ли использовать значения каких-нибудь других типов? Отвечаю: можно, но с оговоркой. Попробуем проделать это со строкой:

```
main :: IO ()
main = print ["a", "aa".."aaaaaa"] -- Ну-ну...
```

При попытке скомпилировать такой код увидим ошибку:

```
No instance for (Enum [Char])
  arising from the arithmetic sequence ‘"a", "aa" .. "aaaaaa"’
```

И удивляться тут нечему: шаг между строками абсурден, и компилятор в замешательстве. Не все типы подходят для перечислений в силу своей природы, однако в будущем, когда мы научимся создавать наши собственные типы, мы узнаем, что их вполне можно использовать в диапазонах. Наберитесь терпения.

## Глава 12

# Кортеж

В этой главе мы познакомимся с кортежем и ещё ближе подружимся с паттерн матчингом.

Кортеж (англ. tuple) — ещё одна стандартная структура данных, но, в отличие от списка, она может содержать данные как одного типа, так и разных.

Структуры, способные содержать данные разных типов, называют гетерогенными (в переводе с греческого: «разного рода»).

Вот как выглядит кортеж:

```
("Haskell", 2010)
```

Круглые скобки и значения, разделённые запятыми. Этот кортеж содержит значение типа `String` и ещё одно, типа `Int`. Вот ещё пример:

```
("Haskell", "2010", "Standard")
```

То есть ничто не мешает нам хранить в кортеже данные одного типа.

## Тип кортежа

Тип списка строк, как вы помните, `[String]`. И не важно, сколько строк мы записали в список, одну или миллион — его тип останется неизменным. С кортежем же дело обстоит абсолютно иначе.

Тип кортежа зависит от количества его элементов. Вот тип кортежа, содержащего две строки:

```
(String, String)
```

Вот ещё пример:

```
(Double, Double, Int)
```

И ещё:

```
(Bool, Double, Int, String)
```

Тип кортежа явно отражает его содержимое. Поэтому если функция применяется к кортежу из двух строк, применить её к кортежу из трёх никак не получится, ведь типы этих кортежей различаются:

```
-- Разные типы
(String, String)
(String, String, String)
```

## Действия над кортежами

Со списками можно делать много всего, а вот с кортежами — не очень. Самое частое действие в отношении уже созданного кортежа — извлечение хранящихся в нём данных. Например:

```
makeAlias :: String -> String -> (String, String)
makeAlias host alias = (host, alias)
```

Пожалуй, ничего проще придумать нельзя: на входе два аргумента, на выходе — двухэлементный кортеж с этими аргументами. Двухэлементный кортеж называют ещё парой (англ. pair). И хотя кортеж может содержать сколько угодно элементов, на практике именно пары встречаются чаще всего.

Обратите внимание, насколько легко создаётся кортеж. Причина тому — уже знакомый нам паттерн матчинг:

```
makeAlias host alias = (host, alias)
```

[illegible]

Мы просто указываем соответствие между левой и правой сторонами определения: «Пусть первый элемент пары будет равен аргументу `host`, а второй — аргументу `alias`». Ничего удобнее и проще и придумать нельзя. И если бы мы хотели получить кортеж из трёх элементов, это выглядело бы так:

```
makeAlias :: String -> String -> (String, String, String)
makeAlias host alias = (host, "https://" ++ host, alias)
```

**Figure 1**

Diagram illustrating the relationship between the number of trials ( $n$ ) and the probability of success ( $p$ ). The x-axis represents the number of trials ( $n$ ), ranging from 0 to 100. The y-axis represents the probability of success ( $p$ ), ranging from 0 to 1. A horizontal line at  $p = 0.5$  indicates the threshold for a fair coin flip. The area under the curve above  $p = 0.5$  is shaded blue, representing the probability of success. The area below  $p = 0.5$  is shaded green, representing the probability of failure.

Оператор ++ — это оператор конкатенации, склеивающий две строки в одну. Строго говоря, он склеивает два списка, но мы-то с вами уже знаем, что String есть ни что иное, как [Char]. Таким образом, "https://" ++ "www.google.com" даёт нам "https://www.google.com".

Извлечение элементов из кортежа также производится через паттерн матчинг:

```
main :: IO ()
main =
    let (host, alias) = makeAlias "173.194.71.106"
                                   "www.google.com"
    in print (host ++ ", " ++ alias)
```

Функция `makeAlias` даёт нам пару из хоста и имени. Но что это за странная запись возле уже знакомого нам слова `let`? Это промежуточное выражение, но выражение хитрое, образованное через паттерн матчинг. Чтобы было понятнее, сначала перепишем функцию без него:

```
main :: IO ()
main =
    let pair = makeAlias "173.194.71.106"
                        "www.google.com"
        host = fst pair -- Берём первое...
        alias = snd pair -- Берём второе...
    in print (host ++ ", " ++ alias)
```

При запуске этой программы получим:

```
"173.194.71.106, www.google.com"
```

Стандартные функции `fst` и `snd` возвращают первый и второй элемент кортежа соответственно. Выражение `pair` соответствует паре, выражение `host` — значению хоста, а `alias` — значению имени. Но не кажется ли вам такой способ избыточным? Мы в Haskell любим изящные решения, поэтому предпочитаем паттерн матчинг. Вот как получается вышеприведённый способ:

```
let (host, alias) = makeAlias "173.194.71.106" "www.google.com"
let (host, alias) = ("173.194.71.106", "www.google.com")
```

```

                данное значение
это
хост
                                а вот это значение
                это
                имя
```

Вот такая простая магия. Функция `makeAlias` даёт нам там пару, и мы достоверно знаем это! А если знаем, нам не нужно вводить промежуточные выражения вроде `pair`. Мы сразу говорим:

```
let (host, alias) = makeAlias "173.194.71.106" "www.google.com"
```

```

                мы точно знаем, что выражение,
                вычисленное этой функцией
это вот
такая пара
```

Это «зеркальная» модель: через паттерн матчинг формируем:

```
-- Формируем правую сторону
-- на основе левой...
```





```
main = putStrLn s
  where (s) = useless "some"
```

Впрочем, учитывая гетерогенность кортежа, мне трудно представить ситуацию, в которой одноэлементный кортеж был бы реально полезен.

## Не всё

Мы можем вытаскивать по образцу лишь часть нужной нам информации. Помните универсальный образец `_`? Взгляните:

```
-- Поясняющие псевдонимы
type UUID      = String
type FullName  = String
type Email     = String
type Age       = Int
type Patient   = (UUID, FullName, Email, Age)

patientEmail :: Patient -> Email
patientEmail (_, _, email, _) = email

main :: IO ()
main =
  putStrLn (patientEmail ( "63ab89d"
                          , "John Smith"
                          , "johnsm@gmail.com"
                          , 59
                          ))
```

Функция `patientEmail` даёт нам почту пациента. Тип `Patient` — это псевдоним для кортежа из четырёх элементов: уникальный идентификатор, полное имя, адрес почты и возраст. Дополнительные псевдонимы делают наш код яснее: одно дело видеть безликую `String` и совсем другое — `Email`.

Рассмотрим внутренность функции `patientEmail`:

```
patientEmail (_, _, email, _) = email
```

Функция говорит нам: «Да, я знаю, что мой аргумент — это четырёхэлементный кортеж, но меня в нём интересует исключительно третий по счёту элемент, соответствующий адресу почты, его я и верну». Универсальный образец `_` делает наш код лаконичнее и понятнее, ведь он помогает нам игнорировать то, что нам неинтересно. Строго говоря, мы не обязаны использовать `_`, но с ним будет лучше.

## А если ошиблись?

При использовании паттерн матчинга в отношении пары следует быть внимательным. Представим себе, что вышеупомянутый тип `Patient` был расширен:

```

type UUID      = String
type FullName  = String
type Email     = String
type Age       = Int
type DiseaseId = Int -- Новый элемент.
type Patient = ( UUID
                , FullName
                , Email
                , Age
                , DiseaseId
                )

```

Был добавлен идентификатор заболевания. И всё бы хорошо, но внести изменения в функцию `patientEmail` мы забыли:

```

patientEmail :: Patient -> Email
patientEmail (_, _, email, _) = email

      ^   ^   ^           ^   -- А пятый где?

```

К счастью, в этом случае компилятор строго обратит наше внимание на ошибку:

```

Couldn't match type '(t0, t1, String, t2)'
      with '(UUID, FullName, Email, Age, DiseaseId)'
Expected type: Patient
Actual type: (t0, t1, String, t2)
In the pattern: (_, _, email, _)

```

Оно и понятно: функция `patientEmail` использует образец, который уже некорректен. Вот почему при использовании паттерн матчинга следует быть внимательным.

На этом наше знакомство с кортежем считаю завершённым, в последующих главах мы будем использовать их периодически.

## Для любопытных

Для работы с элементами многоэлементных кортежей можно использовать готовые библиотеки, во избежании длинных паттерн матчинговых цепочек. Например, пакет `tuple`:

```
Data.Tuple.Select
```

```

main :: IO ()
main = print (sel4 (123, 7, "hydra", "DC:4", 44, "12.04"))

```

Функция `sel4` из модуля `Data.Tuple.Select` извлекает четвёртый по счёту элемент кортежа, в данном случае строку "DC:4". Там есть функции вплоть до `sel32`, авторы вполне разумно сочли, что никто, находясь в здравом уме и твёрдой памяти, не станет оперировать кортежами, состоящими из более чем 32 элементов.

Кроме того, мы и обновлять элементы кортежа можем:

```
import Data.Tuple.Update
```

```
main :: IO ()  
main = print (upd2 2 ("si", 45))
```

Естественно, по причине неизменности кортежа, никакого обновления тут не происходит, но выглядит симпатично. При запуске получаем результат:

```
("si",2)
```

Второй элемент кортежа изменился с 45 на 2.

## Глава 13

# Лямбда-функция

Пришло время познакомиться с важной концепцией — лямбда-функцией. Именно с неё всё и началось. Приготовьтесь: в этой главе нас ждут новые открытия.

### Истоки

В далёких 1930-х молодой американский математик [Алонзо Чёрч](#) задался вопросом о том, что значит «вычислить» что-то. Плодом его размышлений явилась система для формализации понятия «вычисление», и назвал он её «лямбда-исчислением» (англ. lambda calculus, по имени греческой буквы  $\lambda$ ). В основе этой системы лежит лямбда-функция, которую можно считать «матерью функционального программирования» в целом и Haskell в частности. Далее буду называть её ЛФ.

В отношении ЛФ можно смело сказать: «Всё гениальное просто». Идея ЛФ столь полезна именно потому, что она предельно проста. ЛФ — это анонимная функция. Вот как она выглядит в Haskell:

```
\x -> x * x
```

Обратный слэш в начале — признак ЛФ. Сравните с математической формой записи:

```
 $\lambda x . x * x$ 
```

Похоже, не правда ли? Воспринимайте обратный слэш в определении ЛФ как спинку буквы  $\lambda$ .

ЛФ представляет собой простейший вид функции, эдакая функция, раздетая до гола. У неё забрали не только объявление, но и имя, оставив лишь необходимый минимум в виде имён аргументов и внутреннего выражения. Алонзо Чёрч понял: чтобы применить функцию, вовсе необязательно её именовать. И если у обычной функции сначала идёт объявление/определение, а затем (где-то) применение с использованием имени, то у ЛФ всё куда проще: мы её определяем и тут же применяем, на месте. Вот так:

```
(\x -> x * x) 5
```

Помните функцию `square`? Вот это её лямбда-аналог:

```
(\x -> x * x) 5
```

лямбда-выражение    аргумент

Лямбда-выражение порождает временную функцию, которую мы сразу же применяем к аргументу 5. ЛФ с одним аргументом ещё называют «ЛФ от одного аргумента» или «ЛФ одного аргумента».

## Строение

Строение предельно простое:

```
\      x      -> x * x
признак  имя      выражение
ЛФ      аргумента
```

Соответственно, если ЛФ применяется к двум аргументам — пишем так:

```
\      x      y      -> x * y
признак  имя 1    имя 2    выражение
ЛФ      аргумента аргумента
```

И когда мы применяем такую функцию:

```
(\x y -> x * y) 10 4
```

то просто подставляем 10 на место `x`, а 4 — на место `y`, и получаем выражение `10 * 4`:

```
(\x y -> x * y) 10 4 = 10 * 4 = 40
```

В общем, всё как с обычной функцией, даже проще.

Мы можем ввести промежуточное значение для ЛФ:

```
main :: IO ()
main = print (mul 10 4)
  where mul = \x y -> x * y
```

Здесь выражение `mul` объявляется равным ЛФ, и теперь мы можем применять `mul` так же, как если бы это было само лямбда-выражение:

```
mul 10 4 = (\x y -> x * y) 10 4 = 10 * 4
```

И здесь мы приблизились к одному важному открытию.

## Тип функции

Мы знаем, что у всех данных в Haskell-программе обязательно есть какой-то тип, проверяемый на этапе компиляции. Вопрос: какой тип у выражения `mul` из предыдущего примера?

```
where mul = \x y -> x * y -- Какой тип?
```

Ответ прост: тип `mul` такой же, как и у этой ЛФ. Из этого мы делаем важный вывод: ЛФ имеет тип, как и обычные данные. Но если ЛФ является функцией (просто предельно лаконичной) — значит и у обыкновенной функции тоже есть тип!

В императивных языках между функциями и данными проведена чёткая граница: вот это функции, а вот то — данные. Однако в Haskell между данными и функциями разницы нет, ведь и то и другое покоеится на одной и той же Черепахе. Вот тип функции `mul`:

```
mul :: a -> a -> a
```

Погодите, скажете вы, но ведь это же объявление функции! Совершенно верно: объявление функции — это и есть указание её типа. Помните, когда мы впервые познакомились с функцией, я уточнил, что её объявление разделено двойным двоеточием? Так вот это двойное двоеточие и представляет собой указание типа:

```
mul ::      a -> a -> a
```

```
вот  имеет |      вот  |
это  тип   |_ такой _|
```

Точно так же мы можем указать тип любых других данных:

```
let coeff = 12 :: Double
```

Хотя мы знаем, что в Haskell типы выводятся автоматически, иногда мы хотим взять эту заботу на себя. В данном случае мы явно говорим: «Пусть выражение `coeff` будет равно 12, но тип его пусть будет `Double`, а не `Int`». Так же и с функцией: когда мы объявляем её — мы тем самым указываем её тип.

Но вы спросите, можем ли мы не указывать тип функции явно? Можем:

```
square x = x * x
```

Это наша старая знакомая, функция `square`. Когда она будет применена к значению типа `Int`, тип аргумента будет выведен автоматически как `Int`.

И раз функция характеризуется типом так же, как и прочие данные, мы делаем ещё одно важное открытие: функциями можно оперировать как данными. Например, можно создать список функций:

```
main :: IO ()
main = putStrLn ((head functions) "hi")
where
  functions = [ \x -> x ++ " val1"
               , \x -> x ++ " val2"
               ]
```

Выражение `functions` — это список из двух функций. Два лямбда-выражения порождают эти две функции, но до момента применения они ничего не делают, они безжизненны и бесполезны. Но когда мы применяем функцию `head` к этому списку, мы получаем первый элемент списка, то есть первую функцию. И получив, тут же применяем эту функцию к строке `"hi"`:

```
putStrLn ((head functions) "Hi")
```

	первая		её
	функция		аргумент
	__ из списка __		

Это равносильно коду:

```
putStrLn ((\x -> x ++ " val1") "Hi")
```

При запуске программы мы получим:

```
Hi val1
```

Кстати, а каков тип списка `functions`? Его тип таков: `[String -> String]`. То есть список функций с одним аргументом типа `String`, возвращающих значение типа `String`.

## Локальные функции

Раз уж между ЛФ и простыми функциями фактически нет различий, а функции есть частный случай данных, мы можем создавать функции локально для других функций:

```
-- Здесь определены функции
-- isInfixOf и isSuffixOf.
import Data.List

validComEmail :: String -> Bool
validComEmail email =
    containsAtSign email && endsWithCom email
  where
    containsAtSign e = "@" `isInfixOf` e
    endsWithCom e = ".com" `isSuffixOf` e

main :: IO ()
main = putStrLn (if validComEmail my
                    then "It's ok!"
                    else "Non-com email!")
  where
    my = "haskeller@gmail.com"
```

Несколько наивная функция `validComEmail` проверяет `.com`-адрес. Её выражение образовано оператором `&&` и двумя выражениями типа `Bool`. Вот как образованы эти выражения:

```
containsAtSign e = "@" `isInfixOf` e
endsWithCom e = ".com" `isSuffixOf` e
```

Это — две функции, которые мы определили прямо в `where`-секции, поэтому они существуют только для основного выражения функции `validComEmail`. С простыми



функциями так поступают очень часто: где она нужна, там её и определяют. Мы могли бы написать и более явно:

```
validComEmail :: String -> Bool
validComEmail email =
    containsAtSign email && endsWithCom email
    where
        -- Объявляем локальную функцию явно.
        containsAtSign :: String -> Bool
        containsAtSign e = "@" `isInfixOf` e

        -- И эту тоже.
        endsWithCom :: String -> Bool
        endsWithCom e = ".com" `isSuffixOf` e
```

Впрочем, указывать тип столь простых функций, как правило, необязательно.

Вот как этот код выглядит с ЛФ:

```
validComEmail :: String -> Bool
validComEmail email =
    containsAtSign email && endsWithCom email
    where
        containsAtSign = \e -> "@" `isInfixOf` e
        endsWithCom = \e -> ".com" `isSuffixOf` e
```

Теперь выражения `containsAtSign` и `endsWithCom` приравнены к ЛФ от одного аргумента. В этом случае мы конечно же не указываем тип этих выражений. Впрочем, если очень хочется, можно и указать, например:

```
containsAtSign = (\e -> "@" `isInfixOf` e) :: String -> Bool
```

выражение, порождающее  
функцию                      тип этой функции

Лямбда-выражение взято в скобки, чтобы указание типа относилось к функции в целом, а не только к аргументу `e`:

```
containsAtSign = \e -> "@" `isInfixOf` e :: String -> Bool
```

тип аргумента `e`,  
а вовсе не всей  
функции!

Для типа функции тоже можно ввести псевдоним:

```
-- Псевдоним для типа функции.
type Func = String -> Bool

validComEmail :: String -> Bool
validComEmail email =
    containsAtSign email && endsWithCom email
    where
```

```
containsAtSign = (\e -> "@" `isInfixOf` e) :: Func
endsWithCom = (\e -> ".com" `isSuffixOf` e) :: Func
```

Впрочем, на практике указание типа ЛФ встречается крайне редко, ибо незачем.

Теперь, познакомившись с ЛФ, мы будем использовать их периодически.

И напоследок, вопрос. Помните тип функции `mul`?

```
mul :: a -> a -> a
```

Что это за буква `a`? Во-первых, мы не встречали такой тип ранее, а во-вторых, разве имя типа в Haskell не обязано начинаться с большой буквы? Обязано. А всё дело в том, что буква `a` в данном случае — это не совсем имя типа. А вот что это такое, мы узнаем в одной из ближайших глав.

## Для любопытных

А почему, собственно, лямбда? Почему Чёрч выбрал именно эту греческую букву? По одной из версий, произошло это чисто случайно.

Шли 30-е годы прошлого века, компьютеров не было, и все научные работы набирались на печатных машинках. В первоначальном варианте, дабы выделять имя аргумента ЛФ, Чёрч ставил над именем аргументом символ, похожий на `^`. Но когда он сдавал работу наборщику, то вспомнил, что печатная машинка не сможет воспроизвести такой символ над буквой. Тогда он вынес эту «крышу» перед именем аргумента, и получилось что-то наподобие:

```
^x . x * 10
```

А наборщик, увидев такой символ, использовал заглавную греческую букву `Λ`:

```
Λx . x * 10
```

Вот так и получилось, лямбда-исчисление.

## Глава 14

# Композиция функций

Эта глава рассказывает о том, как объединять функции в цепочки, а также о том, как избавиться от круглых скобок.

### Скобкам — бой!

Да, я не люблю круглые скобки. Они делают код визуально избыточным, к тому же нужно следить за симметрией скобок открывающих и закрывающих. Вспомним пример из главы про кортежи:

```
main :: IO ()
main =
  putStrLn (patientEmail ( "63ab89d"
                          ^
                          , "John Smith"
                          , "johnsm@gmail.com"
                          , 59
                          ))
  ^
```

Со скобками кортежа мы ничего сделать не можем, ведь они являются синтаксической частью кортежа. А вот скобки вокруг применения функции `patientEmail` мне абсолютно не нравятся. К счастью, мы можем избавиться от них. Но прежде чем искоренять скобки, задумаемся вот о чём.

Если применение функции представляет собой выражение, не можем ли мы как-нибудь компоновать их друг с другом? Конечно можем, мы уже делали это много раз, вспомните:

```
main :: IO ()
main = putStrLn (checkLocalhost "173.194.22.100")
```

Здесь компонуются две функции, `putStrLn` и `checkLocalhost`, потому что тип выражения на выходе функции `checkLocalhost` совпадает с типом выражения на входе функции `putStrLn`. Схематично это можно изобразить так:

```
      +-----+      +-----+
String ->|checkLocalhost|-> String ->|putStrLn|-> ...
```

	+-----+	+-----+
IP-адрес	сообщение	текст
	об этом	в нашем
	IP-адресе	терминале

Получается эдакий конвейер: на входе строка с IP-адресом, на выходе — сообщение в нашем терминале. Существует иной способ соединения двух функций воедино.

## Композиция и применение

Взгляните:

```
main :: IO ()
main = putStrLn . checkLocalhost $ "173.194.22.100"
```

Необычно? Перед нами два новых стандартных оператора, избавляющие нас от лишних скобок и делающие наш код проще. Оператор `.` — это оператор композиции функций (англ. *function composition*), а оператор `$` — это оператор применения (англ. *application operator*). Эти операторы часто используют совместно друг с другом. И отныне мы будем использовать их чуть ли не в каждой главе.

Оператор композиции объединяет две функции воедино (или компонует их, англ. *compose*). Когда мы пишем:

```
putStrLn . checkLocalhost
```

происходит маленькая «магия»: две функции объединяются в новую функцию. Вспомним наш конвейер:

	+-----+	+-----+
String	-> checkLocalhost	-> String
	+-----+	+-----+
		-> putStrLn
		-> ...

A B C

Раз нам нужно попасть из точки A в точку C, нельзя ли сделать это сразу? Можно, и в этом заключается суть композиции: мы берём две функции и объединяем их в третью функцию. Раз `checkLocalhost` приводит нас из точки A в точку B, а функция `putStrLn` — из точки B в C, тогда композиция этих двух функций будет представлять собой функцию, приводящую нас сразу из точки A в точку C:

	+-----+
String	-> checkLocalhost + putStrLn
	-> ...
	+-----+

A C

В данном случае знак `+` не относится к конкретному оператору, я лишь показываю факт «объединения» двух функций в третью. Теперь-то нам понятно, почему в типе функции, в качестве разделителя, используется стрелка:

```
checkLocalhost :: String -> String
```

в нашем примере это:

```
checkLocalhost :: A -> B
```

Она показывает наше движение из точки А в точку В. Поэтому часто говорят о «функции из А в В». Так, о функции `checkLocalhost` можно сказать как о «функции из `String` в `String`».

А оператор применения работает ещё проще. Без него код был бы таким:

```
main :: IO ()
main =
    (putStrLn . checkLocalhost) "173.194.22.100"
```

объединённая функция	аргумент
----------------------	----------

Но мы ведь хотели избавиться от круглых скобок, а тут они опять. Вот для этого и нужен оператор применения. Его схема проста:

FUNCTION	\$	ARGUMENT
вот эта	применяется	вот этому
функция	к	аргументу

Для нашей объединённой функции это выглядит так:

```
main :: IO ()
main =
  putStrLn . checkLocalhost $ "173.194.22.100"
```

объединённая функция применяется к этому аргументу

Теперь получился настоящий конвейер: справа в него «заезжает» строка и движется «сквозь» функции, а слева «выезжает» результат:

```
main = putStrLn . checkLocalhost $ "173.194.22.100"
```

```
<-          <-          <- аргумент
```

Чтобы было легче читать композицию, вместо оператора . мысленно подставляем фразу «применяется после»:

```
putStrLn "checkLocalhost"
```

эта функция применяется после этой функции

То есть композиция правоассоциативна (англ. right-associative): сначала применяется функция справа, а затем — слева.

Ещё одно замечание про оператор применения функции. Он весьма гибок, и мы можем написать так:

```
main = putStrLn . checkLocalhost $ "173.194.22.100"
```

объединённая функция                    |\_ её аргумент \_|

а можем и так:

```
main = putStrLn $ checkLocalhost "173.194.22.100"
```

обычная            |\_\_\_\_\_ её аргумент \_\_\_\_\_|  
функция

Эти две формы, как вы уже поняли, эквивалентны. Я показываю это для того, чтобы вновь и вновь продемонстрировать вам, сколь гибко можно работать с данными и функциями в Haskell.

## Длинные цепочки

Красота композиции в том, что компоновать мы можем сколько угодно функций:

```
logWarn :: String -> String
logWarn rawMessage =
    warning . correctSpaces . asciiOnly $ rawMessage
```

```
main :: IO ()
main = putStrLn $
    logWarn "Province 'Gia Vi\n' isn't on the map! "
```

Функция `logWarn` готовит переданную ей строку для записи в журнал. Функция `asciiOnly` готовит строку к выводу в нелокализованном терминале (да, в 2016 году такие всё ещё имеются), функция `correctSpaces` убирает дублирующиеся пробелы, а функция `warning` делает строку предупреждением (например, добавляет строку "WARNING: " в начало сообщения). При запуске этой программы мы увидим:

```
WARNING: Province 'Gia Vi?n' isn't on the map!
```

Здесь мы объединили в «функциональный конвейер» уже три функции, безо всяких скобок. Вот как это получилось:

```
warning . correctSpaces . asciiOnly $ rawMessage
```

```
===== ^ =====
```

```
|__ первая композиция __|
```

```
+++++++ ^ ++++++
```

```
|_____ вторая композиция _____|
```

аргумент

Первая композиция объединяет две простые функции, `correctSpaces` и `asciiOnly`. Вторая объединяет тоже две функции, простую `warning` и объединённую, являющуюся результатом первой композиции.

Более того, определение функции `logWarn` можно сделать ещё более простым:

```
logWarn :: String -> String
logWarn = warning . correctSpaces . asciiOnly
```

Погодите, но где же имя аргумента? А его больше нет, оно нам не нужно. Ведь мы знаем, что применение функции можно легко заменить внутренним выражением функции. А раз так, выражение `logWarn` может быть заменено на выражение `warning . correctSpaces . asciiOnly`. Сделаем же это:

```
logWarn "Province   'Gia Vi\n' isn't on the map! " =

(warning
  . correctSpaces
  . asciiOnly) "Province   'Gia Vi\n' isn't on the map! " =

warning
  . correctSpaces
  . asciiOnly $ "Province   'Gia Vi\n' isn't on the map! "
```

И всё работает! В мире Haskell принято именно так: если что-то может быть упрощено — мы это упрощаем.

Справедливости ради следует заметить, что не все Haskell-разработчики любят избавляться от круглых скобок, некоторые предпочитают использовать именно их. Что ж, это лишь вопрос стиля и привычек.

## Как работает композиция

Если вдруг вы подумали, что оператор композиции уникален и встроен в Haskell — спешу вас разочаровать. Никакой магии, всё предельно просто. Этот стандартный оператор определён так же, как и любая другая функция. Вот его определение:

```
(.) f g = \x -> f (g x)
```

Опа! Да тут и вправду нет ничего особенного. Оператор композиции применяется к двум функциям. Стоп, скажете вы, как это? Применяется к функциям? Да, именно так. Ведь мы уже выяснили, что функциями можно оперировать как данными. А раз так, что нам мешает передать функцию в качестве аргумента другой функции? Что нам мешает вернуть функцию из другой функции? Ничего.

Оператор композиции получает на вход две функции, а потом всего лишь даёт нам ЛФ, внутри которой происходит обыкновенный последовательный вызов этих двух функций через скобки. И никакой магии:

```
(.)    f          g          =  \x -> f (g x)
```

берём	эту	и эту	и возвращаем
	функцию	функцию	ЛФ, внутри
			которой
			вызываем их

Подставим наши функции:

```
(.) putStrLn checkLocalhost = \x -> putStrLn (checkLocalhost x)
```

Вот так и происходит «объединение» двух функций: мы просто возвращаем ЛФ от одного аргумента, внутри которой правоассоциативно вызываем обе функции. А аргументом в данном случае является та самая строка с IP-адресом:

```
(\x -> putStrLn (checkLocalhost x)) "173.194.22.100" =  
  
putStrLn (checkLocalhost "173.194.22.100"))
```

Но если я вас ещё не убедил, давайте определим собственный оператор композиции функций! Помните, я говорил вам, что ASCII-символы можно гибко объединять в операторы? Давайте возьмём плюс со стрелками, он чем-то похож на объединение. Пишем:

```
-- Наш собственный оператор композиции.
```

```
(<+>) f g = \x -> f (g x)
```

```
...
```

```
main :: IO ()
```

```
main = putStrLn <+> checkLocalhost $ "173.194.22.100"
```

Выглядит необычно, но работать будет так, как и ожидается: мы определили собственный оператор `<+>` с тем же функционалом, что и стандартный оператор композиции. Поэтому можно написать ещё проще:

```
(<+>) f g = f . g
```

Мы говорим: «Пусть оператор `<+>` будет эквивалентен стандартному оператору композиции функций.». И так оно и будет. А можно — не поверите — ещё проще:

```
f <+> g = f . g
```

И это будет работать! Раз оператор предназначен для инфиксного применения, то мы, определяя его, можно сразу указать его в инфиксной форме:

```
f <+> g    =    f . g
```

пусть

такое

выражение

будет

равно

такому

выражению

Теперь мы видим, что в композиции функций нет ничего сверхъестественного. Эту мысль я подчёркиваю на протяжении всей книги: в Haskell нет никакой магии, он логичен и последователен.



## Глава 15

# ФВП

ФВП, или Функции Высшего Порядка (англ. HOF, Higher Order Functions) — важная концепция в Haskell, с которой, однако, мы уже знакомы. Как мы узнали из предыдущих глав, функциями можно оперировать как значениями. Так вот функции, оперирующие другими функциями как аргументами и/или как результирующим выражением, носят название функций высшего порядка.

Так, оператор композиции функций является ФВП, потому что он, во-первых, принимает функции в качестве аргументов, а во-вторых, возвращает другую функцию (в виде ЛФ) как результат своего применения. Использование функций в качестве аргументов — чрезвычайно распространённая практика в Haskell.

## Отображение

Рассмотрим функцию `map`. Эта стандартная функция используется для отображения (англ. *mapping*) функции на элементы списка. Пусть вас не смущает такой термин: отображение функции на элемент фактически означает её применение к этому элементу.

Вот объявление функции `map`:

```
map :: (a -> b) -> [a] -> [b]
```

Вот опять эти маленькие буквы! Помните, я обещал рассказать о них? Рассказываю: малой буквой принято именовать полиморфный (англ. *polymorphic*) тип. Полиморфизм — это многообразность, многоформенность. В данном случае речь идёт не об указании конкретного типа, а о «типовой заглушке». Мы говорим: «Функция `map` применяется к функции из какого-то типа `a` в какой-то тип `b` и к списку типа `[a]`, а результат её работы — это другой список типа `[b]`». Типовой заглушкой я назвал их потому, что на их место встают конкретные типы, что делает функцию `map` очень гибкой. Например:

```
import Data.Char
```

```
toUpperCase :: String -> String
```

```
toUpperCase str = map toUpper str
```



```

    , 'l' >> , 'L'
    , 'l' >> , 'L'
    , '.' >> , '.'
    , 'o' >> , 'O'
    , 'r' >> , 'R'
    , 'g' >> , 'G'
  ]
]

```

Вот и получается:

```
map toUpper "haskell.org" = "HASKELL.ORG"
```

Работа функции `map` выглядит как изменение списка, однако, в виду неизменности последнего, в действительности формируется новый список. Что самое интересное, функция `toUpper` пребывает в полном неведении о том, что ею в конечном итоге изменяют регистр целой строки, она знает лишь об отдельных символах этой строки. То есть функция, являющаяся аргументом функции `map`, ничего не знает о функции `map`, и это очень хорошо! Чем меньше функции знают друг о друге, тем проще и надёжнее использовать их друг с другом.

Рассмотрим другой пример, когда типовые заглушки `a` и `b` замещаются разными типами:

```

toStr :: [Double] -> [String]
toStr numbers = map show numbers

```

```

main :: IO ()
main = print . toStr $ [1.2, 1.4, 1.6]

```

Функция `toStr` работает уже со списками разных типов: на входе список чисел с плавающей точкой, на выходе список строк. При запуске этой программы мы увидим следующее:

```
["1.2", "1.0", "4.0", "1.6"]
```

Уже знакомая нам стандартная функция `show` переводит свой единственный аргумент в строковый вид:

```
show 1.2 = "1.2"
```

В данном случае, раз уж мы работаем с числами типа `Double`, тип функции `show` такой:

```
show :: Double -> String
```

Подставим в сигнатуру функции `map`:

```

map :: (a      -> b)      -> [a]      -> [b]
      (Double -> String)  [Double]    [String]

```

```

_____
          =====

```

Именно так, как у нас и есть:

```
map show [1.2, 1.4, 1.6] = ["1.2", "1.0", "4.0", "1.6"]
```

Функция `map` применяет функцию `show` к числам из первого списка, на выходе получаем второй список, уже со строками. И как и в случае с `toUpper`, функция `show` ничего не подозревает о том, что ею оперировали в качестве аргумента функции `map`.

Разумеется, в качестве аргумента функции `map` мы можем использовать и наши собственные функции:

```
ten :: [Double] -> [Double]
ten = map (\n -> n * 10)

main :: IO ()
main = print . ten $ [1.2, 1.4, 1.6]
```

Результат работы:

```
[12.0,10.0,40.0,16.0]
```

Мы передали функции `map` нашу собственную ЛФ, умножающую свой единственный аргумент на 10. Обратите внимание, мы вновь использовали краткую форму определения функции `ten`, опустив имя её аргумента. Раскроем подробнее:

```
main = print .      ten      $ [1.2, 1.4, 1.6] =
      /      \
     /        \
    /          \
   /            \
  /              \
 /                \
/                  \
main = print . map (\n -> n * 10) $ [1.2, 1.4, 1.6]
```

Вы спросите, как же вышло, что оператор применения расположен между двумя аргументами функции `map`? Разве он не предназначен для применения функции к единственному аргументу? Совершенно верно. Пришло время открыть ещё один секрет Haskell.

## Частичное применение

Функция `map` ожидает два аргумента, это отражено в её типе. Но что будет, если применить её не к двум аргументам, а лишь к одному? В этом случае произойдёт ещё одно «магическое» превращение, называемое частичным применением (англ. *partial application*) функции. Частичным называют такое применение, когда аргументов меньше чем ожидается.

Вспомним сокращённое определение функции `ten`:

```
ten = map (\n -> n * 10)
```

первый	а где же
аргумент	второй??
есть	

Функция `map` получила лишь первый аргумент, а где же второй? Вторым, как мы уже знаем, будет получен ею уже потом, после того, как мы подставим это выражение на место функции `ten`. Но что же происходит с функцией `map` до этого? А до

этого с ней происходит частичное применение. Понятно, что она ещё не может выполнить свою работу, поэтому, будучи применённой лишь к одному аргументу, она возвращает ЛФ! Сопоставим с типом функции `map`, и всё встанет на свои места:

```
map :: (a -> b)      -> [a]      -> [b]
```

```
map    (\n -> n * 10)
```

только первый  
аргумент

	частично			
	применённая			
	_____ map _____		аргумент	ответ
			для частично	
			применённой	
			функции map	
				<code>[1.2, 1.4, 1.6]</code>

Тип ЛФ, возвращённой после применения `map` к первому аргументу — `[a] -> [b]`. Это «типовой хвост», оставшийся от полного типа функции `map`:

```
map :: (a -> b) -> [a] -> [b]
```

голова      |\_ хвост \_|

Поскольку голова в виде первого аргумента типа `(a -> b)` уже дана, осталось получить второй аргумент. Поэтому ЛФ, порождённая частичным применением, ожидает единственный аргумент, которым и будет тот самый второй, а именно список `[1.2, 1.4, 1.6]`.

Сопоставим тип функции `ten` с типом `map`, чтобы понять, где наш хвост:

```
ten :: [Double] -> [Double]
```

```
map :: (a -> b) -> [a] -> [b]
```

голова      |\_\_\_\_\_ хвост \_\_\_\_\_|

Вот почему мы можем использовать краткую форму определения для функции `ten`: она уже является нашим хвостом!

Рассмотрим ещё один пример частичного применения, дабы закрепить наше понимание:

```
replace :: String -> String -> String -> String
```

Это объявление функции `replace`, принимающей три строки: первая содержит то, что ищем, вторая содержит то, на что заменяем, а в третьей лежит то, где ищем. Например:

```
replace "http"
       "https"
```

```
"http://google.com" = "https://google.com"
```

Определение функции `replace` нас сейчас не интересует, рассмотрим пошаговое применение:

```
main :: IO ()
main = putStrLn result
  where
    first  = replace "http"
    second = first   "https"
    result = second  "http://google.com"
```

Тип выражения `first` — `String -> String -> String`, оно явилось результатом частичного применения функции `replace` к первому аргументу, строке `"http"`. Тип выражения `second` — `String -> String`, оно явилось результатом вторичного частичного применения функции `first` к уже второму аргументу, строке `"https"`. И наконец, применив функцию `second` к третьему аргументу, строке `"http://google.com"`, мы наконец-то получаем конечный результат, ассоциированный с выражением `result`.

Из этого мы делаем интересное открытие:

Функция от нескольких аргументов может быть разложена на последовательность применений временных функций от одного аргумента каждая.

Поэтому мы и смогли подставить частично применённую `map` на место выражения `ten`. Используем круглые скобки, дабы яснее показать, что есть что:

```
main = print . (map (\n -> n * 10)) $ [1.2, 1.4, 1.6]
```

	частично	
	применённая map	
	композиция функции	
	print и частично	
	_____ применённой map _____	
	аргумент для	
	композиции	

Гибко, не правда ли? Теперь мы знакомы с частичным применением функции.

## Композиция для отображения

Вернёмся к функции `map`. Если мы можем передать ей некую функцию для работы с элементами списка, значит мы можем передать ей и композицию двух или более функций. Например:

```
import Data.Char

pretty :: [String] -> [String]
pretty = map (stars . big)
```

```
where
  big = map toUpper
  stars = \s -> "*" ++ s ++ "*"

main :: IO ()
main = print . pretty $ ["haskell", "lisp", "coq"]
```

Мы хотим украсить имена трёх языков программирования. Для этого мы пробегаемся по списку композицией двух функций, `big` и `stars`. Функция `big` переводит строки в верхний регистр, а функция `stars` украшает имя двумя звёздочками в начале и в конце. В результате имеем:

```
["* HASKELL *", "* LISP *", "* COQ *"]
```

Пройтись по списку композицией `stars . big` равносильно тому, как если бы мы прошли сначала функцией `big`, а затем функцией `stars`. При этом, как мы уже знаем, обе эти функции ничего не знают ни о том, что их скомпоновали, ни о том, что эту композицию передали функции `map`.

Ну что ж, теперь мы знаем о функции `map`, и последующих главах мы увидим множество других ФВП. Отныне они будут нашими постоянными спутниками.

## Глава 16

# Наскаге и библиотеки

Ранее я уже упоминал о библиотеках, пришло время познакомиться с ними поближе, ведь в последующих главах мы будем использовать их постоянно.

### Библиотеки большие и маленькие

За годы существования Haskell разработчики со всего мира создали множество библиотек. Библиотеки избавляют нас от необходимости вновь и вновь писать то, что уже написано до нас. Для любого живого языка программирования написано множество библиотек. В мире Haskell их, конечно, не такая туча, как для той же Java, но порядочно: стабильных есть не менее двух тысяч, многие из которых очень качественные и уже многократно испытаны в серьёзных проектах.

С модулями — файлами, содержащими Haskell-код, — мы уже знакомы, они являются основным кирпичом любого Haskell-проекта. Библиотека, также являясь Haskell-проектом, тоже состоит из модулей (не важно, из одного или из сотен). Поэтому использование библиотеки сводится к использованию входящих в неё модулей. И мы уже неоднократно делали это в предыдущих главах.

Вспомним пример из главы про ФВП:

```
import Data.Char

toUpperCase :: String -> String
toUpperCase str = map toUpper str

main :: IO ()
main = putStrLn . toUpperCase $ "haskell.org"
```

Функция `toUpper` определена в модуле `Data.Char`, который, в свою очередь, живёт в стандартной библиотеке. Библиотек есть множество, но стандартная лишь одна. Она содержит самые базовые, наиболее широко используемые инструменты. А прежде чем продолжить, зададимся важным вопросом: «Где живут все эти библиотеки?» Они живут в разных местах, но главное из них — Наскаге.



## Hackage

Hackage — это центральный репозиторий Haskell-библиотек, или, как принято у нас называть, пакетов (англ. package). Название репозитория происходит от слияния слов `Haskell` и `package`. Hackage существует с 2008 года и живёт [здесь](#). Ранее упомянутая стандартная библиотека тоже живёт в Hackage и называется она `base`. Каждой библиотеке выделена своя страница.

Каждый из Hackage-пакетов живёт по адресу, сформированному по неизменной схеме: `http://hackage.haskell.org/package/ИМЯПАКЕТА`. Так, дом стандартной библиотеки — `http://hackage.haskell.org/package/base`. Hackage — открытый репозиторий: любой разработчик может добавить туда свои пакеты.

Стандартная библиотека включает в себя более сотни модулей, но есть среди них самый известный, носящий имя `Prelude`. Этот модуль по умолчанию всегда с нами: всё его содержимое автоматически импортируется во все модули нашего проекта. Например, уже известные нам `map` или операторы конкатенации списков живут в модуле `Prelude`, поэтому доступны нам всегда. Помимо них (и многих-многих десятков других функций) в `Prelude` располагаются функции для работы с вводом-выводом, такие как наши знакомые `putStrLn` и `print`.

Hackage весьма большой, поэтому искать пакеты можно двумя способами. Первый — на [единой странице всех пакетов](#). Здесь перечислены все пакеты, а для нашего удобства они расположены по тематическим категориям.

Второй способ — через специальный поисковик, коих существует два:

1. [Hoogle](#)
2. [Hayoo!](#)

Эти поисковики скрупулёзно просматривают внутренности Hackage, и вы будете часто ими пользоваться. Лично я предпочитаю [Hayoo!](#). Пользуемся оным как обычным поисковиком: например, знаем мы имя функции, а в каком пакете/модуле она живёт — забыли. Вбиваем в поиск — получаем результаты.

Чтобы воспользоваться пакетом в нашем проекте, нужно для начала включить его в наш проект. Для примера рассмотрим пакет `text`, предназначенный для работы с текстом. Он нам в любом случае понадобится, поэтому включим его в наш проект незамедлительно.

Открываем сборочный файл проекта `real.cabal`, находим секцию `executable real-exe` и в поле `build-depends` через запятую дописываем имя пакета:

```
build-depends:  base  -- Уже здесь!
                , real
                , text  -- А это новый пакет.
```

Файл с расширением `.cabal` — это обязательный сборочный файл Haskell-проекта. Он содержит главные инструкции, касающиеся сборки проекта. С синтаксисом сборочного файла мы будем постепенно знакомиться в следующих главах.

Как видите, пакет `base` уже тут. Включив пакет `text` в секцию `build-depends`, мы объявили тем самым, что наш проект отныне зависит от этого пакета. Теперь, находясь в корне проекта, выполняем уже знакомую нам команду:

```
$ stack install
```

Помните, когда мы впервые настраивали проект, я упомянул, что утилита `stack` умеет ещё и библиотеки устанавливать? Она увидит новую зависимость нашего проекта и установит как сам пакет `text`, так и все те пакеты, от которых, в свою очередь, зависит пакет `text`. После сборки мы можем импортировать модули из этого пакета в наши модули. И теперь пришла пора узнать, как это можно делать.

## Иерархия в имени

Когда мы пишем:

```
import Data.Char
```

в имени модуля отражена иерархия пакета. `Data.Char` означает, что внутри пакета `base` есть каталог `Data`, внутри которого живёт файл `Char.hs`, открыв который, мы увидим:

```
module Data.Char
...
```

Таким образом, точка в имени модуля отражает файловую иерархию внутри данного пакета. Можете воспринимать эту точку как слэш в Unix-пути. Есть пакеты со значительно более длинными именами, например:

```
module GHC.IO.Encoding.UTF8
```

Соответственно, имена наших собственных модулей тоже отражают место, в котором они живут. Так, один из модулей в моём рабочем проекте носит название `Common.Performers.Click`. Это означает, что живёт этот модуль здесь: `src/Common/Performers/Click.hs`.

## Лицо

Вернёмся к нашему примеру:

```
import Data.Char
```

Импорт модуля `Data.Char` делает доступным для нас всё то, что включено в интерфейс этого модуля. Откроем наш собственный модуль `Lib`:

```
module Lib
  ( someFunc
  ) where

someFunc :: IO ()
someFunc = putStrLn "someFunc"
```

Имя функции `someFunc` упомянуто в интерфейсе модуля, а именно между круглыми скобками, следующими за именем модуля. Чуюток переформатируем скобки:

```
module Lib (
    someFunc
) where
```

В настоящий момент только функция `someFunc` доступна всем импортёрам данного модуля. Если же мы определим в этом модуле другую функцию `anotherFunc`:

```
module Lib (
    someFunc
) where

someFunc :: IO ()
someFunc = putStrLn "someFunc"

anotherFunc :: String -> String
anotherFunc s = s ++ "!"
```

она останется невидимой для внешнего мира, потому что её имя не упомянуто в интерфейсе модуля. И если в модуле `Main` мы напишем так:

```
module Main

import Lib

main :: IO ()
main = putStrLn . anotherFunc $ "Hi"
```

компилятор справедливо ругнётся, мол, не знаю функцию `anotherFunc`. Если же мы добавим её в интерфейс модуля `Lib`:

```
module Lib (
    someFunc,
    anotherFunc
) where
```

тогда функция `anotherFunc` тоже станет видимой всему миру. Интерфейс позволяет нам показывать окружающим лишь то, что мы хотим им показать, оставляя служебные внутренности нашего модуля тайной за семью печатями.

## Импортируем по-разному

В реальных проектах мы импортируем множество модулей из различных пакетов. Иногда это является причиной конфликтов, с которыми приходится иметь дело.

Вспомним функцию `putStrLn`: она существует не только в незримом модуле `Prelude`, но и в модуле `Data.Text.IO` из пакета `text`:

```
-- Здесь тоже есть функция по имени putStrLn.
import Data.Text.IO
```

```
main :: IO ()
main = putStrLn ... -- И откуда эта функция?
```

При попытке скомпилировать такой код мы упрёмся в ошибку:

```
Ambiguous occurrence 'putStrLn'
It could refer to either 'Prelude.putStrLn',
    imported from 'Prelude' ...
or 'Data.Text.IO.putStrLn',
    imported from 'Data.Text.IO' ...
```

Нам необходимо как-то указать, какую из функций `putStrLn` мы имеем в виду. Это можно сделать несколькими способами.

Можно указать принадлежность функции конкретному модулю. Из сообщения об ошибке уже видно, как это можно сделать:

```
-- Здесь тоже есть функция по имени putStrLn.
import Data.Text.IO
```

```
main :: IO ()
main = Data.Text.IO.putStrLn ... -- Сомнений нет!
```

Теперь уже сомнений не осталось: используемая нами `putStrLn` принадлежит модулю `Data.Text.IO`, поэтому коллизий нет.

Впрочем, не кажется ли вам подобная форма слишком длинной? В упомянутом ранее стандартном модуле `GHC.IO.Encoding.UTF8` есть функция `mkUTF8`, и представьте себе:

```
import GHC.IO.Encoding.UTF8

main :: IO ()
main =
    let enc = GHC.IO.Encoding.UTF8.mkUTF8 ...
```

Слишком длинно, нужно укоротить. Импортируем модуль под коротким именем:

```
import Data.Text.IO as TIO
```

включить этот модуль как это

```
main :: IO ()
main = TIO.putStrLn ...
```

Вот, так значительно лучше. Короткое имя может состоять даже из одной буквы, но как и полное имя модуля, оно обязательно должно начинаться с большой буквы, поэтому:

```
import Data.Text.IO as tIO -- Ошибка
import Data.Text.IO as i   -- Тоже ошибка
import Data.Text.IO as I   -- Порядок!
```

Иногда, для большего порядка, используют `qualified`-импорт:

```
import qualified Data.Text.IO as TIO
```

Ключевое слово `qualified` используется для «строгого» включения модуля: в этом случае мы обязаны указывать принадлежность к нему. Например:

```
import qualified Data.Text as T
```

```
main :: IO ()
main = T.justifyLeft ...
```

Даже несмотря на то, что функция `justifyLeft` есть только в модуле `Data.Text` и никаких коллизий с `Prelude` нет, мы обязаны указать, что эта функция именно из `Data.Text`. В больших модулях `qualified`-импорт бывает полезен: с одной стороны, гарантированно не будет никаких конфликтов, с другой, мы сразу видим, откуда родом та или иная функция.

Впрочем, некоторым Haskell-программистам любое указание принадлежности к модулю кажется избыточным. Поэтому они идут по другому пути: выборочное включение/выключение. Например:

```
import Data.Char
import Data.Text (pack)  -- Только её!
```

```
main :: IO ()
main = putStrLn $ map toUpper "haskell.org"
```

Мы подразумеваем стандартную функцию `map`, однако в модуле `Data.Text` тоже содержится функция по имени `map`. К счастью, никакой коллизии не будет, ведь мы импортировали не всё содержимое модуля `Data.Text`, а лишь одну его функцию `pack`:

```
import      Data.Text (pack)

импортируем  отсюда      только
                        это
```

Если же мы хотим импортировать две или более функции, перечисляем их через запятую:

```
import Data.Text (pack, unpack)
```

Существует и прямо противоположный путь: вместо выборочного включения — выборочное выключение. Избежать коллизии между функциями `putStrLn` можно было бы и так:

```
import Data.Text.IO hiding (putStrLn)

main :: IO ()
main = putStrLn ...  -- Сомнений нет: из Prelude.
```

Слово `hiding` позволяет скрывать кое-что из импортируемого модуля:

```
import      Data.Text.IO hiding (putStrLn)

импортируем  всё отсюда      кроме      этого
```

Можно и несколько функций скрыть:

```
import Data.Text.IO hiding ( readFile
                             , writeFile
                             , appendFile
                             )
```

При желании можно скрыть и из Prelude:

```
import Prelude hiding (putStrLn)
import Data.Text.IO

main :: IO ()
main = putStrLn ...  -- Она точно из Data.Text.IO.
```

## Оформление

Общая рекомендация такова — оформляйте так, чтобы было легче читать. В реальном проекте в каждый из ваших модулей будет импортироваться довольно много всего. Вот кусочек из одного моего рабочего модуля:

```
import qualified Test.WebDriver.Commands as WDC
import Test.WebDriver.Exceptions
import qualified Data.Text as T
import Data.Maybe (fromJust)
import Control.Monad.IO.Class
import Control.Monad.Catch
import Control.Monad (void)
```

Как полные, так и краткие имена модулей выровнены, такой код проще читать и изменять. Не все программисты согласятся с таким стилем, но попробуем убрать выравнивание:

```
import qualified Test.WebDriver.Commands as WDC
import Test.WebDriver.Exceptions
import qualified Data.Text as T
import Data.Maybe (fromJust)
import Control.Monad.IO.Class
import Control.Monad.Catch
import Control.Monad (void)
```

Теперь код выглядит скомканным, его труднее воспринимать. Впрочем, выбор за вами.

## Глава 17

# Наши типы

Вот мы и добрались до Второго Кита Haskell — до **Типов**. Конечно, мы работали с типами почти с самого начала, но вам уже порядком надоели все эти `Int` и `String`, не правда ли? Пришла пора познакомиться с типами куда ближе.

### Знакомство

Удивительно, но в Haskell очень мало встроенных типов, то есть таких, о которых компилятор знает с самого начала. Есть `Int`, есть `Double`, `Char`, ну и ещё несколько. Все же остальные типы, даже носящие статус стандартных, не являются встроенными в язык. Вместо этого они определены в стандартной или иных библиотеках, причём определены точно так же, как мы будем определять и наши собственные типы. А поскольку без своих типов написать сколь-нибудь серьёзное приложение у нас не получится, тема эта достойна самого пристального взгляда.

Определим тип `Transport` для двух известных протоколов транспортного уровня модели OSI:

```
data Transport = TCP | UDP
```

Перед нами — очень простой, но уже наш собственный тип. Рассмотрим его внимательнее.

Ключевое слово `data` — это начало определение типа. Далее следует название типа, в данном случае `Transport`. Имя любого типа обязано начинаться с большой буквы. Затем идёт знак равенства, после которого начинается фактическое описание типа, его «тело». В данном случае оно состоит из двух простейших конструкторов. Конструктор значения (англ. *data constructor*) — это то, что строит значение данного типа. Здесь у нас два конструктора, `TCP` и `UDP`, каждый из которых строит значение типа `Transport`. Имя конструктора тоже обязано начинаться с большой буквы.

Такое определение легко читается:

```
data Transport = TCP | UDP
```

тип `Transport` это `TCP` или `UDP`

Теперь мы можем использовать тип `Transport`, то есть создавать значения этого типа и что-то с ними делать. Например, в `let`-выражении:

```
let protocol = TCP
```

Мы создали значение `protocol` типа `Transport`, использовав конструктор `TCP`. А можно и так:

```
let protocol = UDP
```

Хотя мы использовали разные конструкторы, тип значения `protocol` в обоих случаях один и тот же — `Transport`.

Расширить подобный тип предельно просто. Добавим новый протокол `SCTP` (`Stream Control Transmission Protocol`):

```
data Transport = TCP | UDP | SCTP
```

Третий конструктор значения дал нам третий способ создать значение типа `Transport`.

## Значение-пустышка

Задумаемся: говоря о значении типа `Transport` — о чём в действительности идёт речь? Казалось бы, значения-то фактического нет: ни числа никакого, ни строки, просто три конструктора. Так вот они и есть значения. Когда мы пишем:

```
let protocol = SCTP
```

мы создаём значение типа `Transport` с конкретным содержимым в виде `SCTP`. Конструктор — это и есть содержимое. Данный вид конструктора называется нулевым (англ. `nullary`). Тип `Transport` имеет три нулевых конструктора. И даже столь простой тип уже может быть полезен нам:

```
checkProtocol :: Transport -> String
checkProtocol transport = case transport of
  TCP   -> "That's TCP protocol."
  UDP   -> "That's UDP protocol."
  SCTP  -> "That's SCTP protocol."
```

```
main :: IO ()
main = putStrLn . checkProtocol $ TCP
```

В результате увидим:

```
That's TCP protocol.
```

Функция `checkProtocol` объявлена как принимающая аргумент типа `Transport`, а применяется она к значению, порождённому конструктором `TCP`. В данном случае конструкция `case-of` сравнивает аргумент с конструкторами. Именно поэтому нам не нужна функция `otherwise`, ведь никаким иным способом, кроме как с помощью трёх конструкторов, значение типа `Transport` создать невозможно, а значит, один из конструкторов гарантированно совпадёт.



Тип, состоящий только из нульарных конструкторов, называют ещё перечислением (англ. enumeration). Конструкторов может быть сколько угодно, в том числе один-единственный (хотя польза от подобного типа была бы невелика). Вот ещё один известный пример:

```
data Day = Sunday
        | Monday
        | Tuesday
        | Wednesday
        | Thursday
        | Friday
        | Saturday
```

Обратите внимание на форматирование, когда ментальные «ИЛИ» выровнены строго под знаком равенства. Такой стиль вы встретите во многих реальных Haskell-проектах.

Значение типа `Day` отражено одним из семи конструкторов. Сделаем же с ними что-нибудь:

```
data WorkMode = FiveDays | SixDays
```

```
workingDays :: WorkMode -> [Day]
workingDays FiveDays = [ Monday
                        , Tuesday
                        , Wednesday
                        , Thursday
                        , Friday
                        ]
workingDays SixDays = [ Monday
                      , Tuesday
                      , Wednesday
                      , Thursday
                      , Friday
                      , Saturday
                      ]
```

Функция `workingDays` возвращает список типа `[Day]`, и в случае пятидневной рабочей недели, отражённой конструктором `FiveDays`, этот список сформирован пятью конструкторами, а в случае шестидневной — шестью конструкторами.

Польза от типов, сформированных нульарными конструкторами, не очень велика, хотя встречаться с такими типами вы будете часто.

Новый тип можно определить не только с помощью ключевого слова `data`, но об этом узнаем в одной из следующих глав.

А теперь мы можем познакомиться с типами куда более полезными.

# Глава 18

## АТД

АТД, или Алгебраические Типы Данных (англ. ADT, Algebraic Data Type), занимают почётное место в мире типов Haskell. Абсолютно подавляющее большинство ваших собственных типов будут алгебраическими, и то же можно сказать о типах из множества Haskell-пакетов. Алгебраическим типом данных называют такой тип, которые составлены из других типов. Мы берём простые типы и строим из них, как из кирпичей, типы сложные, а из них — ещё более сложные. Это даёт нам невероятный простор для творчества.

Оставим сетевые протоколы и дни недели, рассмотрим такой пример:

```
data IPAddress = IPAddress String
```

Тип `IPAddress` использует один-единственный конструктор значения, но кое-что изменилось. Во-первых, имена типа и конструктора совпадают. Это вполне легально, вы встретите такое не раз. Во-вторых, конструктор уже не нулевой, а унарный (англ. unary), потому что теперь он связан с одним значением типа `String`. И вот как создаются значения типа `IPAddress`:

```
let ip = IPAddress "127.0.0.1"
```

Значение `ip` типа `IPAddress` образовано конструктором и конкретным значением некоего типа:

```
let ip = IPAddress "127.0.0.1"
```

конструктор	значение
значения	типа
типа <code>IPAddress</code>	<code>String</code>

| значение типа `IPAddress` |

Значение внутри нашего типа называют ещё полем (англ. field):

```
data IPAddress = IPAddress String
```

тип	конструктор	поле
-----	-------------	------

Расширим тип `IPAddress`, сделав его более современным:

```
data IPAddress = IPv4 String | IPv6 String
```

Теперь у нас два конструктора, соответствующие разным IP-версиям. Это позволит нам создавать значение типа `IPAddress` так:

```
let ip = IPv4 "127.0.0.1"
```

или так:

```
let ip = IPv6 "2001:0db8:0000:0042:0000:8a2e:0370:7334"
```

Сделаем тип ещё более удобным. Так, при работе с IP-адресом нам часто требуется `localhost`. И чтобы явно не писать `"127.0.0.1"` и `"0:0:0:0:0:0:0:1"`, введём ещё два конструктора:

```
data IPAddress = IPv4 String
                | IPv4Localhost
                | IPv6 String
                | IPv6Localhost
```

Поскольку значения `localhost` нам заведомо известны, нет нужды указывать их явно. Вместо этого, когда нам понадобится IPv4-`localhost`, пишем так:

```
let ip = IPv4Localhost
```

## Извлекаем значение

Допустим, мы создали значение `google`:

```
let google = IPv4 "173.194.122.194"
```

Как же нам потом извлечь конкретное строковое значение из `google`? С помощью нашего старого друга, паттерн матчинга:

```
checkIP :: IPAddress -> String
checkIP (IPv4 address) = "IP is " ++ address ++ "."
```

```
main :: IO ()
main = putStrLn . checkIP $ IPv4 "173.194.122.194"
```

Результат:

```
IP is '173.194.122.194'.
```

Взглянем на определение:

```
checkIP (IPv4 address) = "IP is " ++ address ++ "."
```

Здесь мы говорим: «Мы знаем, что значение типа `IPAddress` сформировано с конструктором и строкой». Однако внимательный компилятор сделает нам замечание:

```
Pattern match(es) are non-exhaustive
In an equation for 'checkIP':
  Patterns not matched:
    IPv4Localhost
```

```
IPv6 _
IPv6Localhost
```

В самом деле, откуда мы знаем, что значение, к которому применили функцию `checkIP`, было сформировано именно с помощью конструктора `IPv4`? У нас же есть ещё три конструктора, и нам следует проверить их все:

```
checkIP :: IPAddress -> String
checkIP (IPv4 address) = "IPv4 is '" ++ address ++ "'. "
checkIP IPv4Localhost = "IPv4, localhost."
checkIP (IPv6 address) = "IPv6 is '" ++ address ++ "'. "
checkIP IPv6Localhost = "IPv6, localhost."
```

С каким конструктором совпало — с таким и было создано значение. Можно, конечно, и так проверить:

```
checkIP :: IPAddress -> String
checkIP addr = case addr of
  IPv4 address -> "IPv4 is '" ++ address ++ "'. "
  IPv4Localhost -> "IPv4, localhost."
  IPv6 address -> "IPv6 is '" ++ address ++ "'. "
  IPv6Localhost -> "IPv6, localhost."
```

## Строим

Определим тип для сетевой точки:

```
data EndPoint = EndPoint String Int
```

Конструктор `EndPoint` — бинарный, ведь здесь уже два значения. Создаём обычным образом:

```
let googlePoint = EndPoint "173.194.122.194" 80
```

Конкретные значения извлекаем опять-таки через паттерн матчинг:

```
main :: IO ()
main = putStrLn $ "The host is: " ++ host
  where
    EndPoint host _ = EndPoint "173.194.122.194" 80

    |-- образец --| |----- значение -----|
```

Обратите внимание, что второе поле, соответствующее порту, отражено универсальным образцом `_`, потому что в данном случае нас интересует только значение хоста, а порт просто игнорируется.

И всё бы хорошо, но тип `EndPoint` мне не очень нравится. Есть в нём что-то некрасивое. Первым полем выступает строка, содержащая IP-адрес, но зачем нам строка? У нас же есть прекрасный тип `IPAddress`, он куда лучше безликой строки. Это общее правило для Haskell-разработчика: чем больше информации несёт в себе тип, тем он лучше. Давайте заменим определение:

```
data EndPoint = EndPoint IPAddress Int
```

Тип стал понятнее, и вот как мы теперь будем создавать значения:

```
let google = EndPoint (IPv4 "173.194.122.194") 80
```

Красиво. Извлекать конкретные значения будем так:

```
main :: IO ()
main = putStrLn $ "The host is: " ++ ip
  where
    EndPoint (IPv4 ip) _ = EndPoint (IPv4 "173.194.122.194") 80
    _____
    ==                               =====
```

Здесь мы опять-таки игнорируем порт, но значение IP-адреса извлекаем уже на основе образца с конструктором IPv4.

Это простой пример того, как из простых типов строятся более сложные. Но сложный тип вовсе не означает сложную работу с ним, паттерн матчинг элегантен как всегда. А вскоре мы узнаем о другом способе работы с полями типов, без паттерн матчинга.

Любопытно, что конструкторы типов тоже можно компоновать, взгляните:

```
main :: IO ()
main = putStrLn $ "The host is: " ++ ip
  where
    EndPoint (IPv4 ip) _ = (EndPoint . IPv4 $ "173.194.122.194") 80
```

Это похоже на маленькое волшебство, но конструкторы типов можно компоновать знакомым нам оператором композиции функций:

```
(EndPoint . IPv4 $ "173.194.122.194") 80
```

	значение типа	
	_____ IPAddress _____	

Вам это ничего не напоминает? Это же в точности так, как мы работали с функциями! Из этого мы делаем вывод: конструктор значения можно рассматривать как особую функцию. В самом деле:

```
EndPoint (IPv4 "173.194.122.194") 80
```

"функция"		первый		второй
		_____ аргумент _____		аргумент

Мы как бы применяем конструктор к конкретным значениям как к аргументам, в результате чего получаем значение нашего типа. А раз так, мы можем компоновать конструкторы так же, как и обычные функции, лишь бы их типы были комбинировемыми. В данном случае всё в порядке: тип значения, возвращаемого конструктором IPv4, совпадает с типом первого аргумента конструктора EndPoint.

Вот мы и познакомились с настоящими типами. Пришло время узнать о более удобной работе с полями типов.

## Глава 19

# АТД: поля с метками

Многие типы в реальных проектах довольно велики. Взгляните:

```
data Arguments = Arguments Port
                  Endpoint
                  RedirectData
                  FilePath
                  FilePath
                  Bool
                  FilePath
```

Значение типа `Arguments` хранит в своих полях некоторые значения, извлечённые из параметров командной строки, с которыми запущена одна из моих программ. И всё бы хорошо, но работать с таким типом абсолютно неудобно. Он содержит семь полей, и паттерн матчинг был бы слишком громоздким, представьте себе:

```
...
where
  Arguments _ _ _ redirectLib _ _ xpi = arguments
```

Более того, когда мы смотрим на определение типа, назначение его полей остаётся тайной за семью печатями. Видите предпоследнее поле? Оно имеет тип `Bool` и, понятное дело, отражает какой-то флаг. Но что это за флаг, читатель не представляет. К счастью, существует способ, спасающих нас от обеих этих проблем.

## Метки

Мы можем снабдить наши поля метками (англ. `label`). Вот как это выглядит:

```
data Arguments = Arguments { runWDServer    :: Port
                           , withWDServer   :: Endpoint
                           , redirect       :: RedirectData
                           , redirectLib    :: FilePath
                           , screenshotsDir :: FilePath
                           , noScreenshots  :: Bool }
```

```
, harWithXPI    :: FilePath
}
```

Теперь назначение меток куда понятнее. Схема определения такова:

```
data Arguments = Arguments { runWDServer :: Port }
```

```
тип  такой-то    конструктор  метка поля    тип
                                поля
```

Теперь поле имеет не только тип, но и название, что и делает наше определение значительно более читабельным. Поля в этом случае разделены запятыми и заключены в фигурные скобки.

Если подряд идут два или более поля одного типа, его можно указать лишь для последней из меток. Так, если у нас есть вот такой тип:

```
data Patient = Patient { firstName :: String
                        , lastName  :: String
                        , email     :: String
                        }
```

его определение можно чуток упростить и написать так:

```
data Patient = Patient { firstName
                        , lastName
                        , email     :: String
                        }
```

Раз тип всех трёх полей одинаков, мы указываем его лишь для последней из меток. Ещё пример полной формы:

```
data Patient = Patient { firstName  :: String
                        , lastName  :: String
                        , email      :: String
                        , age        :: Int
                        , diseaseId  :: Int
                        , isIndoor   :: Bool
                        , hasInsurance :: Bool
                        }
```

и тут же упрощаем:

```
data Patient = Patient { firstName
                        , lastName
                        , email      :: String
                        , age
                        , diseaseId  :: Int
                        , isIndoor
                        , hasInsurance :: Bool
                        }
```

Поля `firstName`, `lastName` и `email` имеют тип `String`, поля `age` и `diseaseId` — тип `Int`, и оставшиеся два поля — тип `Bool`.

## Getter и Setter?

Что же представляют собой метки? Фактически, это особые функции, сгенерированные автоматически. Эти функции имеют три предназначения: создавать, извлекать и изменять. Да, я не оговорился, изменять. Но об этом чуть позже, путь будет маленькая интрига.

Вот как мы создаём значение типа `Patient`

```
main :: IO ()
main = print $ diseaseId patient
  where
    patient = Patient {
      firstName    = "John"
    , lastName     = "Doe"
    , email        = "john.doe@gmail.com"
    , age          = 24
    , diseaseId    = 431
    , isIndoor     = True
    , hasInsurance = True
    }
```

Метки полей используются как своего рода `setter` (от англ. `set`, «устанавливать»):

```
patient = Patient { firstName = "John"
в этом   типа   поле с
значении Patient этой меткой равно этой строке
```

Кроме того, метку можно использовать и как `getter` (от англ. `get`, «получать»):

```
main = print $ diseaseId patient
```

метка как аргумент  
функция

Мы применяем метку к значению типа `Patient` и получаем значение соответствующего данной метке поля. Поэтому для получения значений полей нам уже не нужен паттерн матчинг.

Но что же за интригу я приготовил под конец? Выше я упомянул, что метки используются не только для задания значений полей и для их извлечения, но и для изменения. Вот что я имел в виду:

```
main :: IO ()
main = print $ email patientWithChangedEmail
  where
    patientWithChangedEmail = patient {
      email = "j.d@gmail.com" -- Изменяем???
    }

    patient = Patient {
      firstName = "John"
```



```

    , lastName    = "Doe"
    , email       = "john.doe@gmail.com"
    , age         = 24
    , diseaseId   = 431
    , isIndoor    = True
    , hasInsurance = True
  }

```

При запуске программы получим:

```
j.d@gmail.com
```

Но постойте, что же тут произошло? Ведь в Haskell, как мы знаем, нет оператора присваивания, однако значение поля с меткой `email` поменялось. Помню, когда я впервые увидел подобный пример, то очень удивился, мол, уж не ввели ли меня в заблуждение по поводу неизменности значений в Haskell?!

Нет, не ввели. Подобная запись:

```

patientWithChangedEmail = patient {
  email = "j.d@gmail.com"
}

```

действительно похожа на изменение поля через присваивание ему нового значения, но в действительности никакого изменения не произошло. Когда я назвал метку `setter`-ом, я немного слукавил, ведь классический `setter` из мира ООП был бы невозможен в Haskell. Посмотрим ещё раз внимательнее:

```

...
where
  patientWithChangedEmail = patient {
    email = "j.d@gmail.com"  -- Изменяем???
  }

  patient = Patient {
    firstName    = "John"
    , lastName   = "Doe"
    , email      = "john.doe@gmail.com"
    , age        = 24
    , diseaseId  = 431
    , isIndoor   = True
    , hasInsurance = True
  }

```

Взгляните, ведь у нас теперь два значения типа `Patient`, `patient` и `patientWithChangedEmail`. Эти значения не имеют друг ко другу ни малейшего отношения. Вспомните, как я говорил, что в Haskell нельзя изменить имеющееся значение, а можно лишь создать на основе имеющегося новое значение. Это именно то, что здесь произошло: мы взяли имеющееся значение `patient` и на его основе создали уже новое значение `patientWithChangedEmail`, значение поля `email` в котором теперь другое. Понятно, что поле `email` в значении `patient` осталось неизменным.

Будьте внимательны при инициализации значения с полями: вы обязаны предоставить значения для всех полей. Если вы напишете так:

```

main :: IO ()
main = print $ email patientWithChangedEmail
  where
    patientWithChangedEmail = patient {
      email = "j.d@gmail.com" -- Изменяем???
    }

    patient = Patient {
      firstName  = "John"
    , lastName   = "Doe"
    , email      = "john.doe@gmail.com"
    , age        = 24
    , diseaseId  = 431
    , isIndoor   = True
    }

    -- Поле hasInsurance забыли!

```

код скомпилируется, но внимательный компилятор предупредит вас о проблеме:

```
Fields of 'Patient' not initialised: hasInsurance
```

Пожалуйста, не пренебрегайте подобным предупреждением, ведь если вы проигнорируете его и затем попытаетесь обратиться к неинициализированному полю:

```

main = print $ hasInsurance patient
...

```

ваша программа аварийно завершится на этапе выполнения с ожидаемой ошибкой:

```
Missing field in record construction hasInsurance
```

Не забывайте: компилятор — ваш добрый друг.

## Без меток

Помните, что метки полей — это синтаксический сахар (англ. syntactic sugar), и мы можем обойтись без него. Даже если тип был определён с метками, как наш `Patient`, мы можем работать с ним по-старинке:

```

data Patient = Patient { firstName  :: String
    , lastName   :: String
    , email      :: String
    , age        :: Int
    , diseaseId  :: Int
    , isIndoor   :: Bool
    , hasInsurance :: Bool
    }

```

```
main :: IO ()
main = print $ hasInsurance patient
  where
    -- Создаём по-старинке...
    patient = Patient "John"
                  "Doe"
                  "john.doe@gmail.com"
                  24
                  431
                  True
                  True
```

Соответственно, извлекать значения полей тоже можно по-старинке, через паттерн матчинг:

```
main :: IO ()
main = print insurance
  where
    -- Жутко неудобно, но если желаеме...
    Patient _ _ _ _ _ insurance = patient
    patient = Patient "John"
                  "Doe"
                  "john.doe@gmail.com"
                  24
                  431
                  True
                  True
```

С понятием «синтаксический сахар» мы встретимся ещё не раз, на куда более продвинутых примерах.

## Глава 20

# Продолжение следует...

Работа над книгой идёт полным ходом, вас ждёт ещё много интересного! Следите за новостями об обновлениях в [нашем чате](#) и в [моём Твиттере](#).