

О Haskell по-человечески

издание 2.0

Денис Шевченко

www.ohaskell.guide

2016

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

Содержание

1	Приветствую!	8
	Почему эта книга появилась	8
	Цель	8
	О себе	9
	О вас	9
	Обещание	9
2	Первые вопросы	10
	«Что такое этот ваш Haskell?»	10
	«Это что, какой-то новый язык?»	10
	«И кто его сделал?»	11
	«А библиотеки для Haskell имеются?»	11
	«И что, его уже можно в production?»	11
	«А порог вхождения в Haskell высокий?»	12
	«И что же в нём такого необычного?»	12
	«А если сравнить его с C++/Python/Scala...»	12

3	Об этой книге	13
	Чего здесь нет	14
	О первом и втором издании	14
	Читайте последовательно	15
	О пояснениях	15
	Благодарность	16
4	Приготовимся	17
	Устанавливаем	17
	Разворачиваем инфраструктуру	18
	Hi World	19
	Модули: первый взгляд	20
	Имена модулей	21
5	Киты и Черепаха	23
	Черепаха	23
	Первый Кит	25
	Второй Кит	27
	Третий Кит	30
6	Неизменность и чистота	31
	Объявляем и определяем	31
	Чисто функциональный	34
	«Присваивание? Не, не слышал...»	35
	Удивлены?	36

7	Выбираем и возвращаемся	37
	Выглянем во внешний мир	37
	Выбор и выход	38
8	Выбор и образцы	43
	Не только из двух	43
	Без Если	46
	Сравнение с образцом	47
	case	50
9	Пусть будет там, Где...	51
	Пусть	51
	Где	54
	Вместе	54
10	Мир операторов	58
	Зачем это нужно?	60
11	Список: знакомство	61
	Тип списка	63
	Действия над списками	64
	Неизменность списка	67
12	Кортеж	69
	Тип кортежа	70
	Действия над кортежами	70

Не всё	75
А если ошиблись?	76
13 Лямбда-функция	78
Источники	78
Строение	80
Тип функции	81
Локальные функции	83
14 Композиция функций	86
Скобкам — бой!	86
Композиция и применение	87
Как работает композиция	91
15 ФВП	93
Отображение	93
Композиция для отображения	98
16 Генераторы списков	100
Хитрый список	100
Добавляем предикат	101
Больше списков	103
Добавляем условие	104
Добавляем локальное выражение	105
Пример	105
В сухом остатке	106

Суть	107
Умные диапазоны	108
Без конца	109
В сухом остатке	109

Глава 1

Приветствую!

Перед вами — книга о Haskell, удивительном и красивом языке программирования. Я написал её для тех, кто плохо представляет себе, что такое функциональное программирование, но хочет наконец разобраться.

Почему эта книга появилась

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

Цель

Функциональное программирование — своеобразное гетто посреди мегаполиса нашей индустрии. Доля функциональных языков пока ещё мала, однако эти языки — и в частности Haskell — являются мощными инструментами разработки, и в рамках этой книги я покажу вам эту мощь.

Вероятно, вы слышали, что Haskell — это что-то сугубо теоретическое/научное/непригодно для жизни? Читайте дальше, и 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

Отличаете объявление функции от её определения? Знаете что такое компилятор? Умеете работать с командной строкой? Если да — смело продолжайте читать, никаких дополнительных навыков от вас сейчас не потребуется.

Обещание

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

Глава 2

Первые вопросы

С них и начнём.

«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. Де-факто стандартная 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.

«А библиотеки для Haskell имеются?»

Имеются. 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 убедительно свидетельствуют истории успешного внедрения Haskell в бизнесе, в том числе крупном.

«А порог вхождения в Haskell высокий?»

И да и нет. Сложным освоение Haskell делает его непохожесть 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 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.

«И что же в нём такого необычного?»

Например, в Haskell нет оператора присваивания. Вообще. А что касается остальных странностей языка — вся книга им и посвящена.

«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 усвоения которых двигаться дальше не получится.

Во-вторых, я разрушу страх. Уже много лет вокруг Haskell витает дух страха: многие программисты боятся знакомства с этим языком, и я сам был в их числе. В действительности в Haskell нет ничего страшного, в нём нет чёрной магии, и чтобы программировать на нём, вам не нужна никакая 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. 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 переписать книгу.

Первая — мои ошибки. Я убеждён, что обучать языку программирования могут лишь те, кто использует этот язык в своей каждодневной 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 ждите от неё 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 более уместно. Поэтому перепрыгивание с главы на главу может вас запутать.

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 это пояснение 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».

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 разработчиков, неустанно совершенствующих мир Haskell. Вашими усилиями наша профессия становится ещё более прекрасной!

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

Устанавливаем

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

Если же вы живёте в мире Мас 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 совсем так, как описано ниже, поскольку `stack` активно разивается, добавляются новые возможности, может быть где и ломают обратную совместимость.

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 компилятор GHC (Glasgow Haskell Compiler). Как было сказано ранее, Haskell — это компилируемый язык: приложение представляет собой обыкновенный исполняемый файл.

Haskell-проект — среда для создания приложений и библиотек.

Haskell-библиотеки — готовые 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
├─ 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 её выполнения 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: первый взгляд

Настоящие проекты никогда не состоят из одного-единственного файла. Файлы, содержащие Haskell-код — это и есть модули. Один файл — один модуль. В Haskell нет заголовочных файлов: 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  
  ( 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 данной конструкции, в следующих главах мы разберём его тщательнейшим образом.

Как вы уже поняли, расширение `.hs` — стандартное расширения для модулей.

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 обратное.

Имена модулей

Есть два правила.

Во-первых, имя модуля должно начинаться с большой буквы. Всегда.

Во-вторых, желательно, чтобы имя модуля совпадало с именем соответствующего ему файла. Так, файл, содержащий модуль `Main`, назван `Main.hs`. Это очень удобно, помогает избежать путаницы.

Всё. В будущих главах вы узнаете о модулях кое-что ещё, но пока достаточно этого. Теперь пора познакомиться с пакетами, ведь мы будем использовать их в наших проектах постоянно.

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. Но как 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 будет 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. И 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 — ничего кроме 25 не вылетит.

Сама по себе функция абсолютно бесполезна. Чтобы заставить её сделать полезную работу, её необходимо применить (англ. `apply`) к аргументу. Ведь если на вход ничего не кинули, то и на выходе ничего не получим. Вот 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 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 «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, 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 — это применение функции к некоторому аргументу (а по сути, тоже выражению):

sqaage 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 обыкновенные 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 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. Таким образом, когда компиляция 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 компиляции. Вам придётся свыкнуться с этой мыслью: внесли изменения в проект — будьте добры скомпилировать. Однако утешением вам пусть послужит тот факт, что преимущества статической проверки в реальном проекте 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 строгой. 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 между ожидаемым типом и фактическим, 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 покажу это.

Да, кстати, вот простейшие стандартные типы, они нам в любом случае понадобятся:

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

С типами Int и Double вы уже знакомы. Тип Char — это Unicode-символ. Тип String — обыкновенная строка. Тип Bool — логический тип, истина или ложь. В последующих главах мы встретимся ещё с несколькими стандартными типами, но пока хватит и этих.

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. Однако я пока не стану отвечать на них. Более того, следующая глава несомненно удивит вас. Вперёд.

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 значит «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 — 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. declaration) — это «тело» функции, её конкретное содержимое.

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 `product`, возвращающей произведение двух целочисленных аргументов, могло бы выглядеть так:

product	::	Int	->	Int	->	Int
имя		тип		тип		тип
функции		первого аргумента		второго аргумента		вычисленного 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 C-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 `int f(void)`. С такими функциями мы познакомимся в следующих главах.

Теперь рассмотрим определение функции `sqaue`:

```
sqaue v = v * v
```

Схема определения такова:

sqaue	v	=	v * v
имя	имя	это	выражение
функции	аргумента		

А функция `product` определена так:

product	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 (уже имена, а не типы), разделённые пробелами, а справа — выражение, составляющее суть функции, её содержимое. В C-подобных языках закрепилось понятие «тело функции» (англ. *function body*), однако в Haskell чаще говорят о выражении.

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:

```
product x y = x * y
```

мы объявляем следующее: «Отныне выражение `product 2 5` равно выражению `2 * 5`». Мы можем безопасно заменить выражение `product 2 5` выражением `2 * 5`, а выражение `product 120 500` — выражением `120 * 500`, и при всём 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 называется такой язык, в котором центральное место уделено чистой функции (англ. *pure function*). А чистой она называется потому, что предельно честна с нами: её выходное значение всецело определяется её аргументами и более ничем. А ведь это и есть математическая функция, вспомним ту же `product`: когда на входе числа 10 и 20 — на выходе будет всегда 200, и ничто не способно помешать этому. Функция `product` является чистой, а потому характеризуется отсутствием побочных эффектов (англ. *side effects*): она не способна сделать ничего, кроме как вернуть нам произведение двух своих аргументов. Именно поэтому чистая функция предельно надёжна и не может преподнести нам никаких сюрпризов.

Скажу больше: чистая функция не видит окружающий мир. Вообще. Причём в данном случае под «окружающим миром» я подразумеваю не только внешний по отношению ко всей программе мир (например, файловая система или сеть), но и все остальные функции. Чистую функцию можно сравнить с чёрным ящиком: она знает только свои аргументы и вычисляемое ею значение. Это даёт нам второе преимущество чистых функций — композируемость. Раз функции полностью изолированы друг от друга, их очень просто комбинировать, строя из более простых более сложные.

И раз уж я упомянул об этом вскользь, подчеркну: чистые функции не способны взаимодействовать с внешним по отношению к программе миром.

Они не могут вывести текст на консоль, их нельзя заставить обработать HTTP-запрос, они не умеют дружить с базой данных. Они суть вещь в себе.

И чтобы удивить вас ещё больше, открою очередной секрет Haskell.

«Присваивание? Не, не слышал...»

В мире Haskell нет места оператору присваивания. Впрочем, этот факт удивителен лишь на первый взгляд. Задумаемся: раз уж 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 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, Haskell воплотил в себе именно её. 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 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.

Удивлены?

Полагаю, да. 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 Haskell, о чём я подробнее расскажу в следующих главах.

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

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.

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.

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

```
{-
  Я - сложный многострочный
  комментарий, содержащий
  нечто
  важное!
-}
main :: IO ()
main =
  -- А я - скромный однострочный комментарий.
  putStrLn "Hi, real world!"
```

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

```
$ stack install
```

После чего запускаем:

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

Выбор и выход

Существует несколько способов задания условной конструкции. Вот базовый вариант:

```
if CONDITION then EXPRESSION1 else EXPRESSION2
```

где `CONDITION` — логическое выражение, дающее ложь или истину, `EXPRESSION1` — выражение, используемое в случае `True`, `EXPRESSION2` — выражение, используемое в случае `False`. Пример:

```
checkLocalhost :: String -> String
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."
```

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 строку `It's a localhost!`, в противном случае возвращаем 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 так:

```
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 в конечном итоге лишь результат применения функции `checkLocalhost`. Если бы мы опустили скобки и написали так:

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

произошла бы ошибка компиляции, 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??

                        или 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 написать такой код без скобок, и он будет работать как ожидается. Об этом способе — в одной из последующих глав.

Вернёмся к возвращению 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."
```

Применение функции `checkLocalhost` к строке объявлено равным условной конструкции. А если так, то 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 аргумент `ip` конкретным значением `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 работаем с выражением из логической ветки `then`. Если же оно даст нам `False` — мы работаем с выражением из логической ветки `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 нередуцируемое выражение `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 нередуцируемым выражением `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. Вот почему функции в Haskell так просто компоновать друг с другом, и позже мы будем встречать всё больше таких примеров.

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 понравится 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 -> EXPRESSION1
   | CONDITION2 -> EXPRESSION2
   | ...
   | CONDITIONn -> EXPRESSIONn
   | otherwise  -> COMMON_EXPRESSION
```

где `CONDITION1..n` — выражения, дающие ложь или истину, а `EXPRESSION1..n` — соответствующие им результирующие выражения. Слово `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 словом `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 сообщения:

Non-exhaustive guards in multi-way if

Проверка получилась неполной, вот и получите ошибку.

Видите слово `guards` в сообщении об ошибке? Вертикальные черты перед логическими выражениями — это и есть охранники (англ. `guard`), неусыпно охраняющие наши условия. А 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 важной детали. Вот как должен выглядеть модуль `Main`:

```
{-# LANGUAGE MultiWayIf #-}  -- ???
```

```
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 такой комментарий в первой строке модуля? Вроде бы оформлен как многострочный комментарий, но выглядит необычно. А всё потому, что это необычный комментарий, это — указание расширения языка Haskell.

Стандарт [Haskell 2010](#) — это официальный стержень языка. Однако компилятор GHC, давно ставший стандартном де-факто 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 весьма много, и мы будем часто их использовать.

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 за ненадобностью. Схема здесь такая:

```
function arg  -- <<< Нет знака равенства
| CONDITION1 = EXPRESSION1
| CONDITION2 = EXPRESSION2
| ...
| CONDITIONn = EXPRESSIONn
| otherwise  = COMMON_EXPRESSION
```

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

```
function arg | CONDITION1 = EXPRESSION1 | ...
эта          либо                       равна этому
функция      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`. А ведь в ряде случаев эту цепочку можно сделать ещё более простой.

Сравнение с образцом

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

```

analyzeGold :: Int -> String
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	
	вот 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	эта функция	просто	общему выражению	
случае		равна		

Таким образом, 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 функции `analyzeGold`) 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.

Да, а 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. А с неформальной — это символ, который можно прочесть как «мне всё равно». Мы как бы говорим: «В данном конкретном случае нас не интересует конкретное содержимое аргумента, нам всё равно, мы тупо возвращаем строку `I don't know such a standard...`».

Важно отметить, что сравнение аргумента с образцами происходит последовательно, в данном случае 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 выражение `I don't know such a standard...`, и это вполне ожидаемо: первая же проверка гарантированно даст `True`, ведь с образцом `_` совпадает (или, как иногда говорят, матчится)

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 `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 -> EXPRESSION1  
  PATTERN2 -> EXPRESSION2  
  ...  
  PATTERNn -> EXPRESSIONn  
  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 с другими видами паттерн матчинга.

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. К сожалению, 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`, и код функции стал куда понятнее.

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`. Так, 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 последующей `if`-конструкции:

```
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/про-
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

```

В этом случае 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  -- Через ;
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:

```
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 вверху, 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
    correction = timeInS * 2
    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.

Запомните упоминание о неважности порядка введения выражений! К этой теме мы вернёмся в одной из следующих глав, которая откроет нам очередную тайну Haskell.

Конечно, порядок введения 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.

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 лишь 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. Авторы этой функции изначально рассчитывали на инфиксную форму `1 + 2`, а не на `(+) 1 2`, поэтому в определении имя функции заключено в круглые скобки:

`(+) :: ...`

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 применение 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.

Идентификаторы `div`, `class_` и `href` — это имена функций, а символы `!` и `$` — это операторы, записанные в своей обычной, инфиксной форме. Самое главное, что нам абсолютно необязательно знать, как они определены и как работают, чтобы понять этот «Haskell-based HTML». А в дальнейших главах мы не только встретимся с другими EDSL, но и заглянем во внутренности некоторых из них.

Вы спросите, а откуда взялись все эти `div` и `!?` Отвечаю: они взялись из конкретной Haskell-библиотеки. С библиотеками мы вскоре познакомимся.

Глава 11

Список: знакомство

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 особый тип, он характеризует уже не просто данные, но структуру данных. 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 четырёх 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 некоторых 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:

```
[]
```

Тип списка

Раз список представляет собой структуру, содержащую данные некоторого типа, возникает вопрос: как указать тип списка? Вот так:

```
[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:



Хранить в списке данные разных типов 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
```

```
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   |
```

Как 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.

Но как же, спросите вы, функция `print` узнаёт, как именно отобразить 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 чуток 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 длины применяем к этой строке функции `composeTwoOptionsFrom` или `composeThreeOptionsFrom`.

Но постойте, а где же тут список? Функция `handleTableRow` применяется к строке и вычисляет строку. А дело в том, что строка есть ни что иное, как список элементов. То есть тип `String` эквивалентен типу `[Char]`. Скажу более: `String` — это не более чем 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 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 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:

<code>newHost</code>	<code>:</code>	<code>hosts</code>
беру	и	в начало
это	добавляю	этого
значение	его	списка

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 уже три IP-адреса вместо двух.

Теперь, после знакомства со списком, мы будем использовать их постоянно. И в Haskell эта простая структура данных куда мощнее, чем может показаться на первый взгляд.

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, с которой нам следует познакомиться. В отличие от списка, кортеж может содержать данные как одного типа, так и разных.

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

Вот как он выглядит:

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

Круглые скобки, в отличие от списка. Этот кортеж содержит два элемента типа `String` и `Int` соответственно. Можно написать и так:

```
("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 запихнули в список — 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)
```

То есть тип кортежа явно отражает его содержимое. Поэтому если функция применяется к кортежу из двух строк, применить её к кортежу из трёх не получится, потому что типы таких кортежей различаются:

```
-- Несовместимые 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 — двуэлементный кортеж с этими аргументами.

Двуэлементный кортеж называют ещё парой (англ. pair). И хотя кортеж может содержать сколько угодно элементов, на практике пары встречаются чаще всего.

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

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

это	к этому
а это	к тому

Мы просто пишем прямое соответствие между левой и правой сторонами определения. Ничего удобнее и проще и придумать нельзя. И если бы мы хотели получить кортеж из трёх элементов с дуближом хоста (ну вдруг), это выглядело бы так:

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

это	к этому	и к этому
а вот		к тому
это		

Таким же образом, через паттерн матчинг, мы извлекаем элементы из кортежа. Например:

```
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
        alias = snd pair
    in print (host ++ ", " ++ alias)
```

При запуске этой программы мы получим:

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

Оператор `++` — это оператор конкатенации, склеивающий две строки в одну. Строго говоря, он склеивает два списка, но мы-то уже знаем, что `String` есть ни что иное, как `[Char]`. Таким образом, `"google" ++ ".com"` даёт `"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 несколько 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 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"
                        то, что ты в конечном итоге вычислишь

    это вот
такая пара
    
```

Это «зеркальная» модель: через паттерн матчинг формируем:

```

-- Формируем правую сторону
-- на основе левой...
host alias = (host, alias)

_____
      _____
    
```

и через него же извлекаем:

```

-- Формируем левую сторону
-- на основе правой...
(host, alias) = ("173.194.71.106", "www.google.com")

_____
      _____
    
```


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 — вполне понятный `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 куда 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
type Patient = (UUID, FullName, Email, Age, DiseaseId)
```

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

```
-- А где пятый элемент?
patientEmail :: Patient -> Email
patientEmail (_, _, email, _) = email
```

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 невалиден. Вот почему при использовании паттерн матчинга следует быть внимательным.

На этом наше знакомство с кортежем считаю завершённым. Далее мы будем использовать их периодически, а в одной из следующих глав мы узнаем ещё об одном действии в отношении кортежа.

Глава 13

Лямбда-функция

Теперь мы должны познакомиться с важной концепцией — с лямбда-функцией. Потому что 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 λ).

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 λ .

ЛФ представляет собой простейший вид функции, эдакая функция, раздетая догола. 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:

$(\lambda x \rightarrow x * x) \ 5$

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

$(\lambda x \rightarrow x * x) \quad 5$

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 ЛФ предельно простое:

<code>\</code>	<code>x</code>	<code>-></code>	<code>x * x</code>
признак	имя		выражение
ЛФ	аргумента		

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

<code>\</code>	<code>x</code>	<code>у</code>	<code>-></code>	<code>x * у</code>
признак	имя 1	имя 2		выражение
ЛФ	аргумента	аргумента		

И когда мы применяем такую функцию:

```
(\x у -> x * у) 10 4
```

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

```
(\x у -> x * у) 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 у -> x * у
```

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

```
mul 10 4 = (\x у -> x * у) 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 `mul` из предыдущего примера?

```
where mul = \x y -> x * y -- Tun?
```

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 тоже 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 вон то — данные. Однако в Haskell между данными и функциями разницы нет, ведь и то и другое порождается неким выражением. И вот каков 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 такой|
это   тип
```

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 пусть имеет `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:

```
sqaure x = x * x
```

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

И раз функция характеризуется типом как и все другие данные, мы делаем ещё одно важное открытие: функциями можно оперировать как данными. И запомните эту важную и простую мысль!

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")
```

Поэтому при запуске программы мы получим:

```
Hi val1
```

Кстати, а каков тип списка `functions`? Его тип, в данном случае тип `[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:

```
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`-почтовый 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 и определена. Мы могли бы написать и более явно:

```

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

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

```

Вот, теперь уже сомнений не возникает. Указывать тип примитивных функций, как правило, необязательно.

А 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 ЛФ от одного аргумента. В этом случае мы конечно же не указываем тип этих выражений. Впрочем, если очень хочется, можете и указать:

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

Лямбда-выражение взято в скобки, чтобы указание типа относилось к выражению в целом, а не только к аргументу `e`. Впрочем, на практике указание типа ЛФ встречается нечасто, ибо незачем.

Вот мы и познакомились с «матерью Haskell». Теперь мы будем использовать ЛФ периодически.

И напоследок, вопрос. Помните тип функции `mul` в начале главы?

```
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 должно начинаться с большой буквы? Должно. А всё дело в том, что буква `a` в данном случае — это не имя типа. А вот что это такое, мы узнаем в одной из ближайших глав.

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!

При всём уважении к Lisp-программистам, 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 не можем сделать, ведь они являются 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 |-> ...
      +-----+           +-----+

```

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

Композиция и применение

Взгляните:

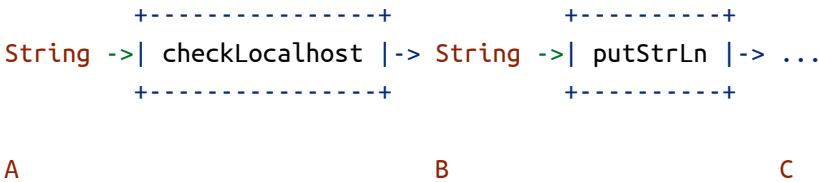
```
main :: IO ()
main = putStrLn . checkLocalhost $ "173.194.22.100"
```

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.

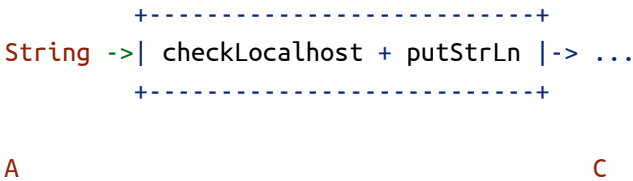
Оператор композиции объединяет две функции воедино (или компонует их, англ. compose). Когда мы пишем:

```
putStrLn . checkLocalhost
```

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



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 B, а `putStrLn` — из точки B в C, то композиция этих двух функций будет представлять собой функцию, приводящую нас сразу из A в C:



В данном случае знак `+` не относится к конкретному оператору, я лишь показываю факт «объединения» двух функций в третью. Разумеется, промежуточная точка `B` никуда не исчезла, просто она теперь скрыта от наших глаз.

И теперь нам стало понятнее, 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 `A` в точку `B`. Поэтому часто говорят о «функции из `A` в `B`». 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:

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

объединённая функция применяется к аргументу

Теперь получился настоящий конвейер: справа в него «заезжает» строка и едет «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      применяется этой
функция  после      функции
```

То есть композиция правоассоциативна: сначала применяется функция справа, а затем — слева. 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 Viñn' isn't on the map! "
```

Функция `logWarn` готовит переданную ей строку для записи в журнал. Функция `asciiOnly` готовит строку к выводу в нелокализованном терминале, функция `correctSpaces` убирает дублирующие пробелы, а функция `warning` делает строку предупреждением (например, добавляет строку “WARNING:” в начало сообщения). Таким образом, 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. Более того, определение функции `logWarn` можно сделать ещё более простым:

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

Погодите, но где же имя аргумента? Его больше нет, оно нам не нужно. Вспомните, что применение функции может быть легко заменено 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.

Как работает композиция

Если вдруг вы подумали, что оператор композиции уникален и встроен в Haskell — спешу вас разочаровать. Никакой магии, всё предельно просто. Этот оператор определён так же, как 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» функций: мы просто возвращаем ЛФ от одного аргумента, внутри которой правоассоциативно вызываем обе функции. А аргументом и является та самая строка с IP-адресом:

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

  putStrLn (checkLocalhost "173.194.22.100"))
```

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. Однако, как ни странно, мы с ней уже познакомились. Как мы узнали из предыдущих глав, функциями можно оперировать как значениями, в частности, использовать их в качестве аргументов функций и возвращать как результат функции. 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. Более того, 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. Вот её объявление:

```
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]`». На место типовых заглушек могут встать любые конкретные типы, в зависимости от того, к чему мы применим функцию `map`. Это делает данную функцию очень гибкой.

Например:

```
import Data.Char

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

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

Результатом работы этой программы будет строка:

HASKELL.ORG

Функция `map` применяется к двум аргументам: к функции `toUpper` и к строке `str`. Функция `toUpper` из стандартного модуля `Data.Char` переводит символ типа `Char` в верхний регистр:

```
toUpper 'a' = 'A'
```

Вот её объявление:

```
toUpper :: Char -> Char
```

Функция из Char в Char выступает первым аргументом функции map, подставим сигнатуру:

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

Ага, уже теплее! Мы сделали два новых открытия: во-первых, полиморфные заглушки a и b могут быть заняты одним и тем же конкретным типом, а во-вторых, сигнатура позволяет нам тут же понять остальные типы. Подставим остальные типы:

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

```
_____
```

А теперь вспомним о природе типа String:

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

Всё встало на свои места. Функция map в данном случае берёт функцию toUpper и бежит по списку, последовательно применяя эту функцию к его элементам:

```
map toUpper ['h','a','s','k','e','l','l','.','o','r','g']
```

Так, на первом шаге функция `toUpper` будет применена к элементу `'h'`, на втором — к элементу `'a'`, и так далее до последнего элемента `'g'`. Когда функция `map` бежит по этому списку, результат применения функции `toUpper` к его элементам служит элементами для второго списка, который будет в конечном итоге возвращён. Так, результатом первого шага будет элемент `'H'`, результатом второго — элемент `'A'`, а результатом последнего — элемент `'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 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 вместе.

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", "1.4", "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", "1.4", "1.6"]
```

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, опустив имя аргумента функции `ten`.

Композиция для отображения

Если мы можем передать функции `map` некую функцию для работы с элементами списка, значит мы можем передать ей и композицию функций. Вот как это может выглядеть:

```
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 этих функций 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

Генераторы списков

Понятие “list comprehension” в русскоязычной документации чаще всего переводится как “генератор списка”. Строго говоря, это не лучший перевод, но я не смог подобрать ничего лучшего.

Речь пойдёт об одной хитрой конструкции, предназначенной для прохода по элементам списка(ов) и применения к ним некоторых действий, в результате чего будет создан (сгенерирован) новый список. Да-да, это похоже на уже известные нам функции `map` и `filter`, однако есть некоторые дополнительные вкусы.

Хитрый список

Вот как это выглядит:

```
import Data.Char
```

```
main = print [toUpper c | c <- "http"]
```

На выходе получим:

"HTTP"

Рассмотрим поближе:

```
[toUpper c | c <- "http"]
```

Мы видим квадратные скобки... То есть перед нами список? Ну почти. Перед нами - генератор списка. Скелет такой конструкции можно представить так:

```
[OPERATION ELEM | ELEM <- LIST]
```

где LIST - список, ELEM - элемент этого списка, а OPERATION - функция, применяемая к каждому элементу. Мы говорим: “Возьми список LIST, последовательно пройди по всем его элементам и примени к каждому из них функцию OPERATION”. В результате значения, возвращаемые функцией OPERATION, породят новый список.

В данном случае мы пройдем по всем символам строки http и применим к каждому из её символов функцию toUpper, которая в свою очередь переведёт этот символ в верхний регистр. В результате мы получим новую строку "HTTP".

Добавляем предикат

Мы можем добавить предикат в эту конструкцию. Тогда её скелет станет таким:

```
[OPERATION ELEM | ELEM <- LIST, PREDICATE]
```

В этом случае мы говорим: “Возьми список LIST, последовательно пройди по всем его элементам и примени функцию OPERATION только к тем элементам, которые удовлетворяют предикату PREDICATE”.

Например:

```
import Data.Char
```

```
main = print [toUpper c | c <- "http", c == 't']
```

На выходе будет:

```
"TT"
```

Мы прошлись по всем четырём символам строки `http`, но функция `toUpper` была применена только к тем символам, которые удовлетворили предикату `c == 't'`. Именно поэтому на выходе мы получили строку лишь из этих двух символов.

Предикатов, кстати, может быть несколько. Например, так:

```
import Data.Char
```

```
main = print [toUpper c | c <- "http", c /= 'h', c /= 'p']
```

Вывод в этом случае будет таким же:

```
"TT"
```

Здесь два предиката, `c /= 'h'` и `c /= 'p'`. Они соединяются в единый предикат через логическое “И”, поэтому мы можем написать и так:

```
[toUpper c | c <- "http", c /= 'h' && c /= 'p']
```

Результат будет таким же.

Обратите внимание на комбинацию символов `/=`. Это функция проверки на неравенство, аналог оператора `!=` в языке C. Кстати, он тоже носит математический окрас. Сравните:

```
/=    -- Haskell-форма  
≠     -- математическая форма
```

Симпатично, не правда ли? Прямое сходство, мы лишь передвинули перечеркивающую косую палочку.

Больше списков

Мы можем использовать генератор для совместной работы с несколькими списками. Скелет в этом случае будет таким:

```
[OPERATION_with_ELEMs | ELEM1 <- LIST1, ..., ELEMN <- LISTN ]
```

Здесь мы работаем сразу с N списками, а OPERATION_with_ELEMs представляет собой функцию, в которую передаются все элементы наших списков. Например:

```
main =  
  print [prefix ++ name | name <- names, prefix <- namePrefix]  
  where names = ["James", "Victor", "Denis", "Michael"]  
        namePrefix = ["Mr. "]
```

На выходе получим:

```
["Mr. James", "Mr. Victor", "Mr. Denis", "Mr. Michael"]
```

Мы последовательно прошли по всем элементам списков `names` и `namePrefix`. Обратите внимание, в списке `namePrefix` лишь один префикс. Вот что будет, если префиксов два:

```
main =  
  print [prefix ++ name | name <- names, prefix <- namePrefix]  
  where names = ["James", "Victor", "Denis", "Michael"]  
         namePrefix = ["Mr. ", "sir "] -- Теперь префиксов два
```

В этом случае на выходе будет:

```
["Mr. James", "sir James", "Mr. Victor", "sir Victor", "Mr. Denis", "sir Denis"]
```

В этом случае мы последовательно использовали *каждый* элемент из списка `names` и *каждый* элемент из списка `namePrefix`.

Добавляем условие

Предикат не всегда применим к элементам списка. В ряде случаев нам нужно условие. Добавим его:

```
main =  
  print [if car == "Bentley" then "Wow!" else "Good!" | car <- cars]  
  where cars = ["Mercedes",  
                "BMW",  
                "Bentley",  
                "Audi",  
                "Bentley"]
```

Результат:

```
["Good!", "Good!", "Wow!", "Good!", "Wow!"]
```

Мы прошлись по списку марок автомобилей и применили к каждой из них условие, которое вернуло строку "Wow!" или строку "Good!".

Добавляем локальное выражение

Мы можем добавить сюда и локальное выражение с помощью уже известного нам `let`. Например так:

```
import Data.Char

main = print [toUpper c | c <- "http",
                        let hletter = 'h' in c /= hletter]
```

Промежуточное значение может быть использовано во избежание дуближа при наличии нескольких предикатов.

Пример

Разберём более практичный пример:

```
import Data.List

checkGooglerBy :: String -> String
checkGooglerBy email =
    if "gmail.com" `isSuffixOf` email
    then nameFrom email ++ " is a Googler!"
    else email
    where nameFrom fullEmail = takeWhile (/= '@') fullEmail

main = print [checkGooglerBy email | email <- ["adam@gmail.com",
        "bob@yahoo.com",
        "richard@gmail.com",
        "elena@yandex.ru",
        "denis@gmail.com"]]
```

Результат:

```
["adam is a Googler!", "bob@yahoo.com", "richard is a Googler!", "elena@yande
```

Мы проанализировали список email-адресов, и заменили все gmail-адреса фразой, начинающейся с имени пользователя.

Рассмотрим эту строку:

```
takeWhile (/= '@') fullEmail
```

Скелет стандартной функции `takeWhile` можно отобразить так:

```
takeWhile PREDICATE LIST
```

Здесь мы говорим: “Последовательно забирай (take) элементы из списка `LIST` до тех пор (While), пока `PREDICATE`, применённый к этим элементам, возвращает `True`. Если наткнёшься на элемент, не соответствующий этому предикату, немедленно прекращай работу и возвращай список из ранее полученных элементов”. Нам нужно извлечь имя пользователя из его email-адреса, а значит, мы бежим по `email` до тех пор, пока символы не равны '@', что и отражается предикатом `(/= '@')`. Как только натыкаемся на собачку - возвращаем всё, находящееся перед ней.

В сухом остатке

1. Генератор списка - это конструкция, порождающая новый список из одного или нескольких имеющихся списков.
2. Новый список порождается в результате применения различных функций к элементам имеющегося списка/списков.

```
title: Диапазоны
prevChapter: /ru/about-lists/lists-at-a-glance.html
nextChapter: /ru/about-lists/tuples.html
```

Диапазон - это конструкция, автоматически создающая список по заданному признаку.

Суть

Если нам нужно создать список целых чисел от 1 до 10, мы можем написать так:

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

а можем просто задать диапазон:

```
[1..10]
```

Готово. Разумеется, такой фокус можно проделать не только с числами. Например, вот так мы получим список всех букв английского алфавита в нижнем регистре:

```
main = print ['a'..'z']
```

На выходе получим красивый список символов (то есть обыкновенную строку):

```
"abcdefghijklmnopqrstuvwxyz"
```

Умные диапазоны

Диапазоны можно задавать весьма гибко. Например, так мы можем получить список всех чётных чисел от 2 до 30:

```
main = print [2,4..30]
```

Мы задали шаг между значениями элементов, а остальные значения были созданы уже автоматически.

Конечно, этот фокус работает не только с целыми числами, мы вполне можем написать и так:

```
main = print [1.1, 1.2..2.9]
```

В результате получим список чисел с шагом в 0.1.

Можно, кстати, и в порядке убывания:

```
main = print [120,110..10]
```

На выходе получим список с десятками:

```
[120,110,100,90,80,70,60,50,40,30,20,10]
```

А вот чего компилятор не потерпит, так это излишних указаний с вашей стороны. Поэтому не пишите так:

```
main = print [2,4,6..30]
```

и так тоже не пишите:

```
main = print [2,4..28,30]
```

Такого рода уточнения компилятору не нужны.

Без конца

Как вы помните, ленивость языка Haskell позволяет нам оперировать бесконечными списками. И мы можем создать такой список через диапазон.

Например, вот такой диапазон:

```
[1..]
```

создаст бесконечный список целых чисел, начиная с 1. Но, как вы уже знаете, в действительности созданный этим диапазоном список будет вовсе не бесконечным, а лишь *достаточно* большим:

```
main = print $ take 5 [1..]
```

Вывод:

```
[1,2,3,4,5]
```

Мы можем задать и шаг:

```
main = print $ take 5 [2,4..]
```

В этом случае вывод будет таким:

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

В сухом остатке

1. Диапазон служит для автоматического создания списка по заданным критериям.
2. Учитывая ленивую природу Haskell, мы можем оперировать диапазонами, создающими бесконечные списки.