



Министерство науки и высшего образования Российской
Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ «Информатика и системы управления»

КАФЕДРА «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

Отчет по лабораторной работе №2
по дисциплине «Функциональное и логическое
программирование»

Тема Определение функций пользователя

Студент Зайцева А. А.

Группа ИУ7-62Б

Оценка (баллы) _____

Преподаватели Толпинская Н.Б., Строганов Ю. В.

Москва — 2022 г.

Теоретические вопросы

1. Базис Lisp

Базис – это минимальный набор инструментов языка и структур данных, который позволяет решить любые задачи.

Базис Lisp :

- атомы (представляются в памяти пятью указателями – name, value, function, property, package) и структуры (представляющиеся бинарными узлами);
- базовые (несколько) функций, функционалов и форм: встроенные — примитивные функции (atom, eq, cons, car, cdr); формы (quote, cond, lambda, eval); функционалы (apply, funcall).

Атомы:

- символы (идентификаторы) – синтаксически – набор литер (букв и цифр), начинающихся с буквы;
- специальные символы – T, Nil (используются для обозначения логических констант);
- самоопределимые атомы – натуральные числа, дробные числа, вещественные числа, строки – последовательность символов, заключенных в двойные апострофы (например, “abc”);

Более сложные данные – списки и точечные пары (структуры), которые строятся с помощью унифицированных структур – блоков памяти – бинарных узлов.

Определения:

Точечная пара ::= (<атом> . <атом>) | (<атом> . <точечная пара>) | (<точечная пара> . <атом>) | (<точечная пара> . <точечная пара>);

Список ::= <пустой список> | <непустой список>, где

<пустой список> ::= () | Nil,

<непустой список> ::= (<первый элемент> . <хвост>),

<первый элемент> ::= <S-выражение>,

S-выражение ::= <атом> | <точечная пара>,

<хвост> ::= <список>.

Функцией называется правило, по которому каждому значению одного или нескольких аргументов ставится в соответствие конкретное значение результата.

Функционалом, или функцией высшего порядка называется функция, аргументом или результатом которой является другая функция.

Форма – функция, которая особым образом обрабатывает свои аргументы, т. е. требует специальной обработки.

2.Классификация функций

1. Чистые математические функции (имеют фиксированное количество аргументов, сначала выясняются все аргументы, а только потом к ним применяется функция);
2. Рекурсивные функции (основной способ выполнения повторных вычислений);
3. Специальные функции, или формы (могут принимать произвольное количество аргументов, или аргументы могут обрабатываться по-разному);
4. Псевдофункции (создают «эффект», например, вывод на экран);
5. Функции с вариантами значений, из которых выбирается одно;
6. Функции высших порядков, или функционалы – функции, аргументом или результатом которых является другая функция (используются для построения синтаксически управляемых программ);

Классификация базисных функций и функций ядра.

1. Селекторы: `car` и `cdr` (будут подробнее рассмотрены ниже).
2. Конструкторы: `cons` и `list` (будут подробнее рассмотрены ниже).
3. Предикаты – «логические» функции, позволяющие определить структуру элемента:
 - `atom` возвращает `T`, если значением её единственного аргумента является атом, иначе – `NIL`;
 - `null` возвращает `T`, если значение его аргумента – `NIL` (пустой список), иначе – `NIL`;
 - `listp` возвращает `T`, если значением её аргумента является список, иначе – `NIL`;

- `conspr` возвращает `T`, если значением её аргумента является структура, представленная в виде списковой ячейки, иначе – `NIL`.

4. Функции сравнения (принимают два аргумента, перечислены по мере роста «тщательности» проверки):

- `eq` корректно сравнивает два символьных атома. Так как атомы не дублируются для данного сеанса работы, то фактически сравниваются соответствующие указатели. Возвращает `T`, когда: 1) значением одного из аргументов является атом, и одновременно 2) значения аргументов равны (идентичны). В ином случае значением функции `eq` является `NIL`. (`eq 'ab 'Ab`) => `T`, но (`eq 1 2`) => `NIL`.
- `eq1` корректно сравнивает атомы и числа одинакового типа (синтетической формы записи). Например, (`eq1 1 1`) вернет `T`, а (`eq1 1 1.0`) – `Nil`, так как целое значение 1 и значение с плавающей точкой 1.0 являются представителями различных классов;
- `=` корректно сравнивает только числа, причем числа могут быть разных типов. Например, и (`= 1 1`), и (`= 1 1.0`) вернет `T`;
- `equal` работает идентично `eq1`, но в дополнение умеет корректно сравнивать списки (считая списки эквивалентными, если они рекурсивно, согласно тому же `equal`, имеют одинаковую структуру и содержимое; считая строки эквивалентными, если они содержат одинаковые знаки);
- `equalp` корректно сравнивает любые `S`-выражения.

3. Способы создания функций

Определение функций пользователя в Lisp-е возможно двумя способами.

- Базисный способ определения функции - использование λ -выражения (λ -нотации). Так создаются функции без имени.

λ -выражение: (`lambda` λ -список форма), где λ -список – это формальные параметры функции (список аргументов), а форма – это тело функции.

Вызов такой функции осуществляется следующим способом: (λ -выражение последовательность_форм), где последовательность_форм – это фактические параметры.

Вычисление функций без имени может быть также выполнено с использованием функционала `apply`: (`apply` λ -выражение последовательность_форм),

где последовательность `_форм` – это список фактических параметров; или с использованием функционала `funcall`: `(funcall λ-выражение последовательность_форм)`, где последовательность `_форм` – это фактические параметры.

Функционал `apply` является обычной функцией с двумя вычисляемыми аргументами, обращение к ней имеет вид: `(apply F L)`, где `F` – функциональный аргумент и `L` – список, рассматриваемый как список фактических параметров для `F`. Значение функционала – результат применения `F` к этим фактическим параметрам.

Функционал `funcall` – особая функция с вычисляемыми аргументами, обращение к ней: `(funcall F e1 ... en)`, $n \geq 0$. Её действие аналогично `apply`, отличие состоит в том, что аргументы применяемой функции `F` задаются не списком, а по отдельности.

`funcall` используется тогда, когда во время написания кода количество аргументов известно, `apply` – когда неизвестно.

- Другой способ определения функции – использование макро-определения `defun`:

`(defun имя_функции λ-выражение),`

или в облегченной форме:

`(defun имя_функции (x_1, x_2, \dots, x_k) форма)`, где `(x_1, x_2, \dots, x_k)` – это список аргументов.

В качестве имени функции выступает символьный атом. Вызов именованной функции осуществляется следующим образом: `(имя_функции последовательность_форм)`, где последовательность `_форм` – это фактические параметры. Также для ее вызова можно воспользоваться рассмотренными выше функционалами `funcall` (например, `(foo 1 2 3) === (funcall #'foo 1 2 3)`) и `apply` (например, `(apply #'plot plot-data)`, где `plot-data` – список, хранящий аргументы).

λ-определение более эффективно, особенно при повторных вычислениях.

Параметры функции, переданные при вызове, будут связаны с переменными в списке параметров из объявления функции. Еще один способ связывания формальных параметров с фактическими – использование функции `let`:

`(let ((x_1 p1) (x_2 p2) ... (x_k pk)) e),`

где x_i – формальные параметры, p_i – фактические параметры (могут быть формами), `e` – форма (что делать).

4. Функции Car и Cdr

Функции car и cdr переходят по соответствующему указателю аргумента (бинарного узла).

Функция car от одного аргумента возвращает первый элемент списка, являющегося значением её аргумента.

Функция cdr возвращает хвост списка, являющегося значением её единственного аргумента (хвостом, или остатком списка является список без своего первого элемента).

Современные диалекты Лиспа обычно допускают для функций car и cdr мнемоничные синонимичные названия: first и rest соответственно.

5. Назначение и отличие в работе Cons и List

cons принимает 2 указателя на любые S-выражения и возвращает новую cons-ячейку (списковую ячейку), содержащую 2 значения. Если второе значение не NIL и не другая cons-ячейка, то ячейка печатается как два значения в скобках, разделённые точкой (так называемая точечная пара). Иначе, по сути, эта функция включает значение первого аргумента в начало списка, являющегося значением второго аргумента.

Функция list, составляющая список из значений своих аргументов (у которого голова – это первый аргумент, хвост – все остальные аргументы), создает столько списковых ячеек, сколько аргументов ей было передано. Эта функция относится к особым, поскольку у неё может быть произвольное число аргументов, но при этом все аргументы вычисляются

Итак, отличия: cons является базисной, list – нет; cons имеет фиксированное количество аргументов (два), list – произвольное; cons создает точечную пару или список (в зависимости от второго аргумента), list – список; в отличие от функции cons, результат функции list симметричен относительно аргументов: $(\text{list } '(\text{A}) '(\text{B})) \Rightarrow ((\text{A})(\text{B}))$, но $(\text{cons } '(\text{A}) '(\text{B})) \Rightarrow ((\text{A}) \text{ B})$.

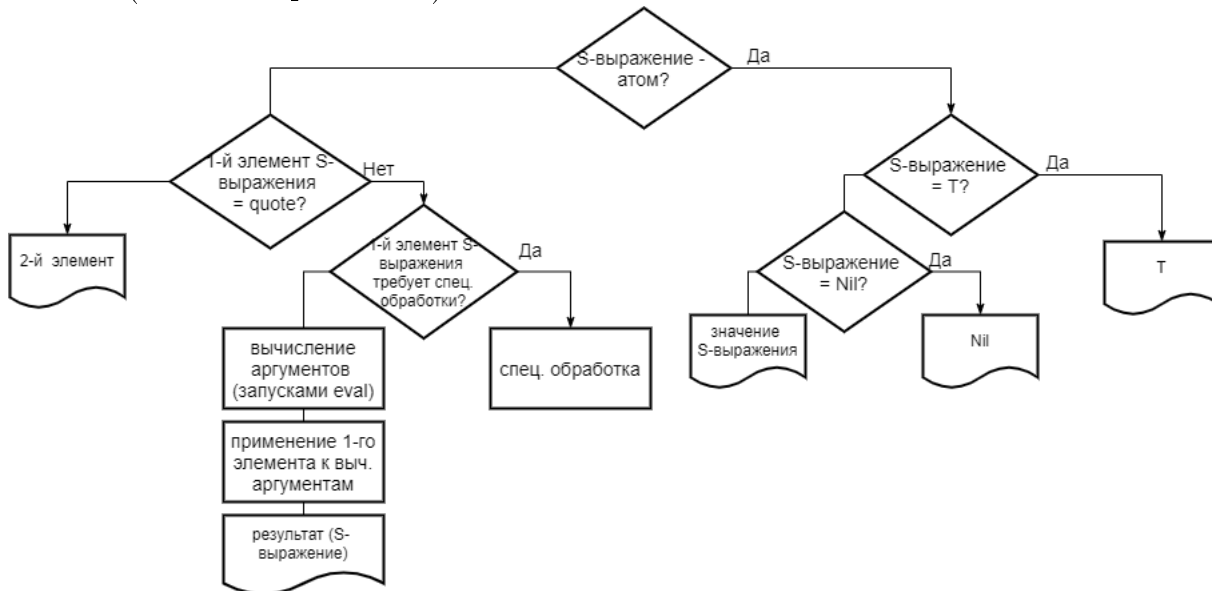
cons эффективнее list, list определяется с помощью cons.

Из указаний к выполнению работы

Eval выполняет двойное вычисление своего аргумента. Эта функция является обычной, и первое вычисление аргумента выполняет так же, как и любая обычная функция. Полученное при этом выражение вычисляется ещё раз. Такое

двойное вычисление может понадобиться либо для снятия блокировки вычислений (установленной функцией `quote`), либо же для вычисления сформированного в ходе первого вычисления нового функционального вызова.

Вызов (`eval` S-выражение):



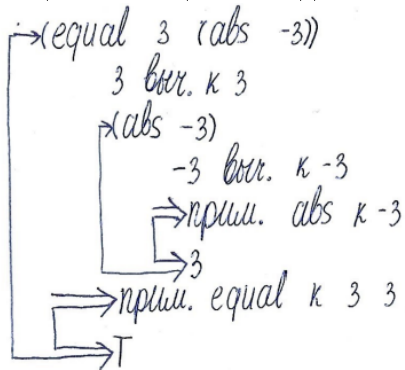
Квотирование объекта – это применение к нему функции `quote`, которая в качестве своего значения выдаёт сам аргумент, не вычисляя его. По сути, эта функция блокирует вычисление своего аргумента. Необходимость в этом нередко возникает при использовании обычных встроенных функций, чтобы задать аргументы в явном виде и избежать их вычисления. Константы–числа и атомы `T`, `Nil` при их использовании в качестве аргументов обычных функций можно не квотировать, поскольку значением любой константы является она сама. Функция `quote` используется часто, поэтому допускается упрощённый способ обращения к ней с помощью апострофа, маркирующего квотируемое выражение.

В диалекте `Common Lisp` для замыкания функционального аргумента встроена специальная форма (`function F`), где `F` – определяющее выражение функции. Эту форму часто называют функциональной блокировкой, поскольку она аналогична по действию функции `quote`, но не просто квотирует аргумент, а как бы замыкает значения используемых в функциональном аргументе `F` свободных переменных, фиксируя их значения из контекста его определения. Функциональную блокировку можно записывать короче, с помощью двух знаков `#'` (получить функцию с данным именем").

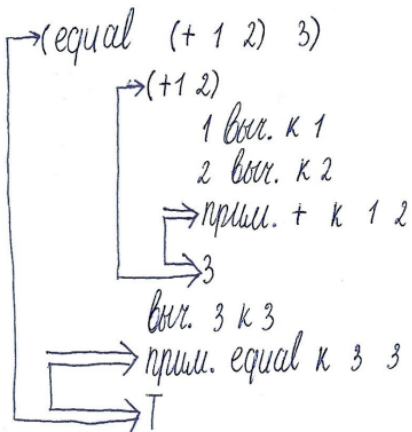
Практические задания

1. Составить диаграмму вычисления следующих выражений:

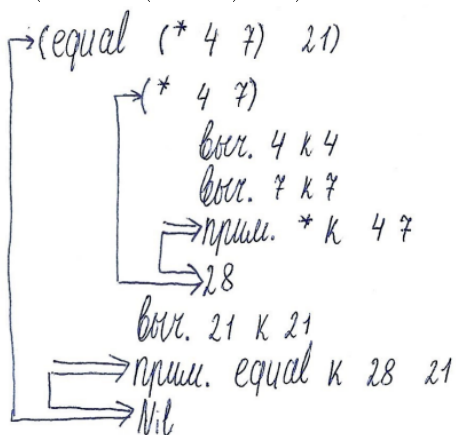
1. (equal 3 (abs - 3))



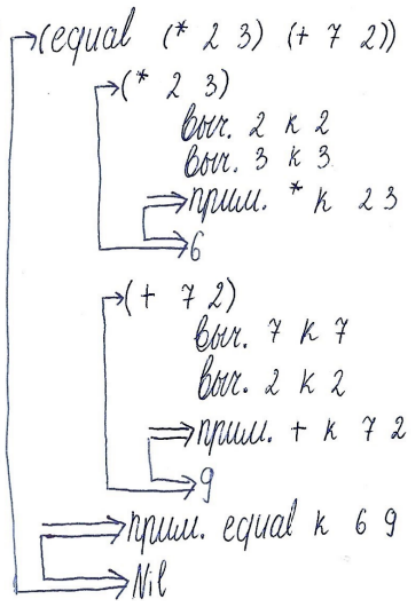
2. (equal (+ 1 2) 3)



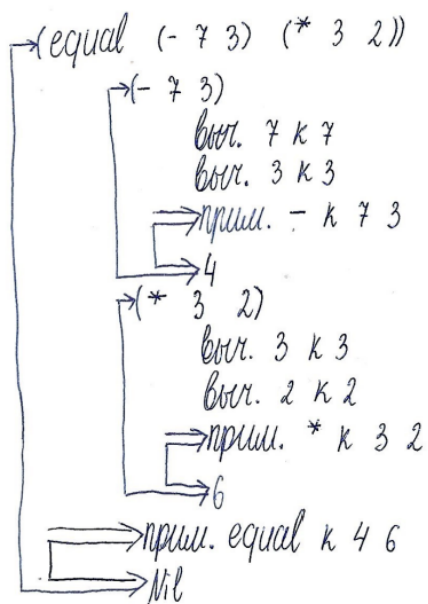
3. (equal (* 4 7) 21)



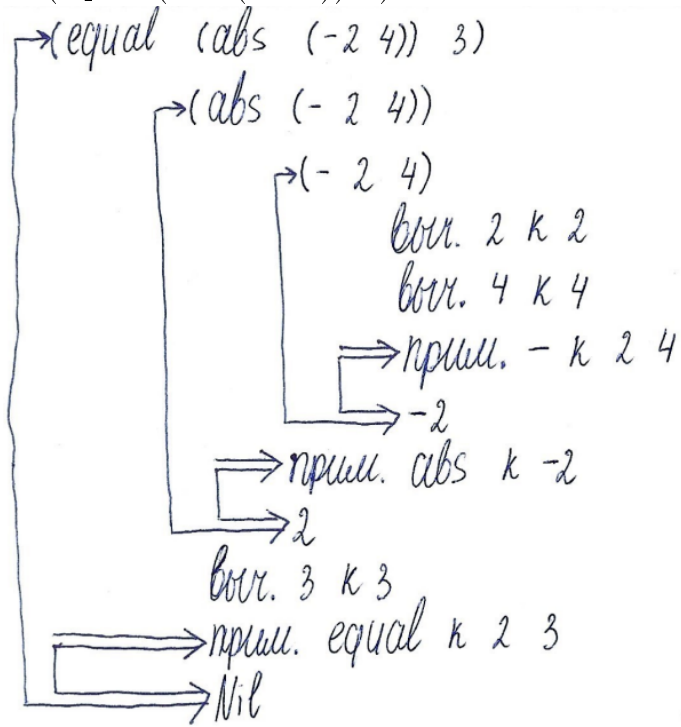
4. (equal (* 2 3) (+ 7 2))



5. (equal (- 7 3) (* 3 2))

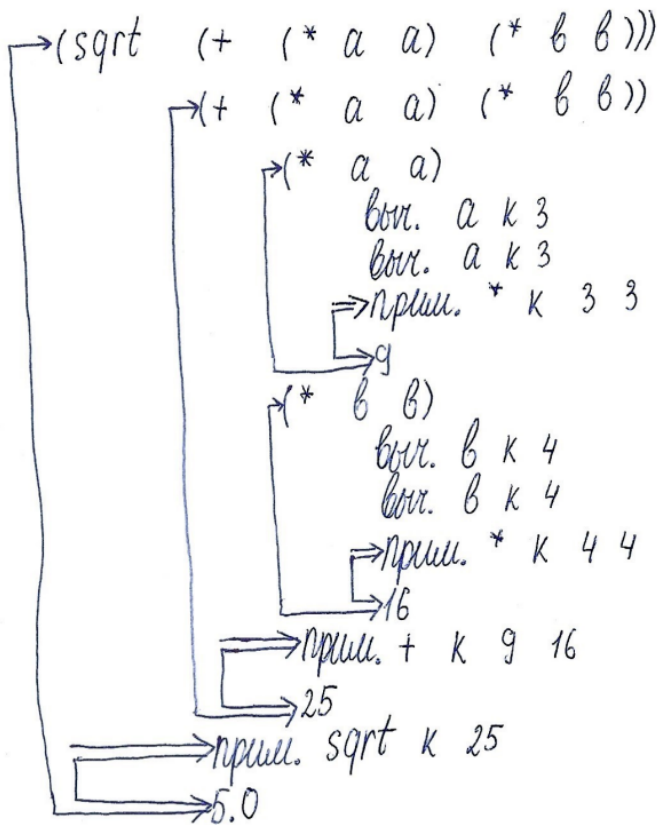


6. (equal (abs (- 2 4)) 3)



2. Написать функцию, вычисляющую гипотенузу прямоугольного треугольника по заданным катетам, и составить диаграмму её вычисления.

```
1 (defun hypotenuse (a b) (sqrt (+ (* a a) (* b b))))
2 (hypotenuse 3 4) => 5.0
```

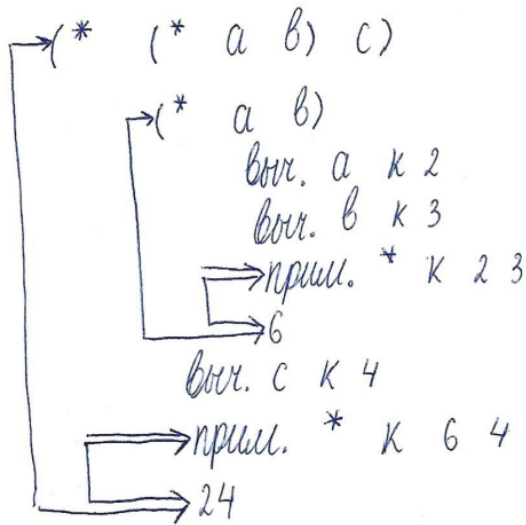


3. Написать функцию, вычисляющую объем параллелепипеда по 3-м его сторонам, и составить диаграмму ее вычисления.

```

1 (defun p_volume (a b c) (* (* a b) c))
2 (p_volume 2 3 4) => 24
3 ;; or
4 (defun p_volume (a b c) (* a b c))
5 (p_volume 2 3 4) => 24

```



4. Каковы результаты вычисления следующих выражений? (объяснить возможную ошибку и варианты ее устранения)

1.

```

1 (list 'a c) => The variable C is unbound.

```

Одна из возможных ошибок: переменная `c` не связана со значением. Решение: задать переменной `c` некоторое значение.

```

1 (let ((c 'c)) (list 'a c)) => (A C)

```

Другая из возможных ошибок: предполагалось, что `c` – это символ. Решение: использовать функцию `quote` (или сокращенную – апостроф) для блокировки вычисления аргумента.

```

1 (list 'a 'c) => (A C)

```

2.

```
1 (cons 'a (b c)) => Undefined function: B, Undefined variable: C
```

Одна из возможных ошибок: функция `b` не связана со своим определением, а переменная `c` не связана со своим значением. Решение: определить функцию `b` с одним аргументом (или переменным количеством аргументов), а переменной `c` задать некоторое значение.

```
1 (defun b (c) (cons 'b (cons c Nil)))  
2 (b 'c) => (B C)  
3 (let ((c 'c)) (cons 'a (b c))) => (A B C)
```

Другая из возможных ошибок: предполагалось, что `(b c)` – это список из символов `b` и `c`. Решение: использовать функцию `quote` (или сокращенную – апостроф) для блокировки вычисления аргументов.

```
1 (cons 'a '(b c)) => (A B C)
```

3.

```
1 (cons 'a '(b c)) => (A B C)
```

Ошибок нет

4.

```
1 (caddy (1 2 3 4 5)) => Undefined function: CADDY
```

Одна из возможных ошибок: функция `caddy` не связана со своим определением, а список `(1 2 3 4 5)` не кватирован. Решение: определить функцию `caddy`, принимающую один аргумент (или переменное число аргументов), и использовать функцию `quote` (или сокращенную – апостроф) для блокировки вычисления аргумента.

```
1 (defun caddy (arg) arg)  
2 (caddy '(1 2 3 4 5)) => (1 2 3 4 5)
```

Другая из возможных ошибок: предполагалось вызвать функцию `caddr` для получения третьего элемента списка `(1 2 3 4 5)`. Решение: исправить опечатку (заменить `caddy` на `caddr`) и использовать функцию `quote` (или сокращенную – апостроф) для блокировки вычисления аргумента.

```
1 (caddr '(1 2 3 4 5)) => 3
```

5.

```
1 (cons 'a 'b 'c) => The function CONS is called with three arguments ,  
   but wants exactly two.
```

Ошибка: функция `cons` вызвана с тремя аргументами, хотя она принимает два аргумента. Решение: предполагая, что автор хотел получить список из трех символов (`a b c`), можно либо первым аргументом передать символ `a`, а вторым – список (`b c`), либо использовать функцию `list` вместо `cons`.

```
1 (cons 'a '(b c)) => (A B C)  
2 (list 'a 'b 'c) => (A B C)
```

6.

```
1 (list 'a (b c)) => Undefined function: B, Undefined variable: C
```

(Аналогично пункту 2)

Одна из возможных ошибок: функция `b` не связана со своим определением, а переменная `c` не связана со своим значением. Решение: определить функцию `b` с одним аргументом (или переменным количеством аргументов), а переменной `c` задать некоторое значение.

```
1 (defun b (c) (cons 'b (cons c Nil)))  
2 (b 'c) => (B C)  
3 (let ((c 'c)) (list 'a (b c))) => (A (B C))
```

Другая из возможных ошибок: предполагалось, что (`b c`) – это список из символов `b` и `c`. Решение: использовать функцию `quote` (или сокращенную – апостроф) для блокировки вычисления аргументов.

```
1 (list 'a '(b c)) => (A (B C))
```

7.

```
1 (list a '(b c)) => The variable A is unbound.
```

Одна из возможных ошибок: переменная `a` не связана со значением. Решение: задать переменной `a` некоторое значение.

```
1 (let ((a 'a)) (list a '(b c))) => (A (B C))
```

Другая из возможных ошибок: предполагалось, что `a` – это символ. Решение: использовать функцию `quote` (или сокращенную – апостроф) для блокировки вычисления аргумента.

```
1 (list 'a '(b c)) => (A (B C))
```

8.

```
1 (list (+ 1 '(length '(1 2 3)))) => Value of '(LENGTH '(1 2 3)) in  
  (+ 1 '(LENGTH '(1 2 3))) is (LENGTH '(1 2 3)), not a NUMBER.
```

Функция `+` в качестве аргументов ожидает аргументы типа `NUMBER`. Вторым аргументом ей передано `'(length '(1 2 3))`. Функция `length` возвращает длину переданного ей списка (тип `NUMBER`), однако апостроф блокирует вычисление. Таким образом, вместо длины списка типа `NUMBER` функции `+` в качестве второго аргумента передается значение `(LENGTH '(1 2 3))`. Решение - убрать апостроф, блокирующий вычисления аргумента.

```
1 (list (+ 1 (length '(1 2 3)))) => (4)
```

5. Написать функцию `longer_then` от двух списков-аргументов, которая возвращает `T`, если первый аргумент имеет большую длину

```
1 (defun longer_then (list1 list2) (> (length list1) (length list2)))  
2 (longer_then '(1 2 3) '(1 2)) => T  
3 (longer_then '(1 2) '(1 2 3)) => NIL  
4 (longer_then Nil '(1)) => NIL  
5 (longer_then '(1 2) '(1 2)) => NIL
```

6. Каковы результаты вычисления следующих выражений?

```
1 (cons 3 (list 5 6)) => (3 5 6)  
2 (cons 3 '(list 5 6)) => (3 LIST 5 6)  
3 (list 3 'from 9 'lives (- 9 3)) => (3 FROM 9 LIVES 6)  
4 (+ (length for 2 too)) (car '(21 22 23))) => The variable FOR is  
  unbound.  
5 (cdr '(cons is short for ans)) => (IS SHORT FOR ANS)  
6 (car (list one two)) => Undefined variables: ONE TWO  
7 (car (list 'one 'two)) => ONE
```

7. Дана функция (defun mystery (x) (list (second x) (first x))). Какие результаты вычисления следующих выражений?

Функции от SECOND до TENTH извлекают соответствующие элементы списка. LAST возвращает последнюю cons-ячейку в списке (если вызывается с целочисленным аргументом n, возвращает n ячеек).

```
1 (mystery (one two)) => The variable TWO is unbound
2 (mystery (last one two)) => The variable ONE is unbound
3 (mystery free) => The variable FREE is unbound
4 (mystery one 'two) => The variable ONE is unbound
```

Примеры корректной работы:

```
1 (mystery '(one two)) => (TWO ONE)
2 (mystery '(last one two)) => (ONE LAST)
3 (mystery (last '(one two))) => (NIL TWO)
4 (mystery '(free)) => (NIL FREE)
```

8. Написать функцию, которая переводит температуру в системе Фаренгейта температуру по Цельсию (defun f-to-c (temp)...))

Формулы: $c = 5/9 * (f - 32.0)$; $f = 9/5 * c + 32.0$. Как бы назывался роман Р. Брэдли Уэллса "451 по Фаренгейту" в системе по Цельсию?

```
1 (defun f-to-c (temp) (* (/ 5 9) (- temp 32.0)))
2 (f-to-c 451) => 232.77779
3
4 (defun c-to-f (temp) (+ (* (/ 9 5) temp) 32.0))
5 (c-to-f 232.77779) => 451.0
```

Ответ: "232.77779 по Цельсию"

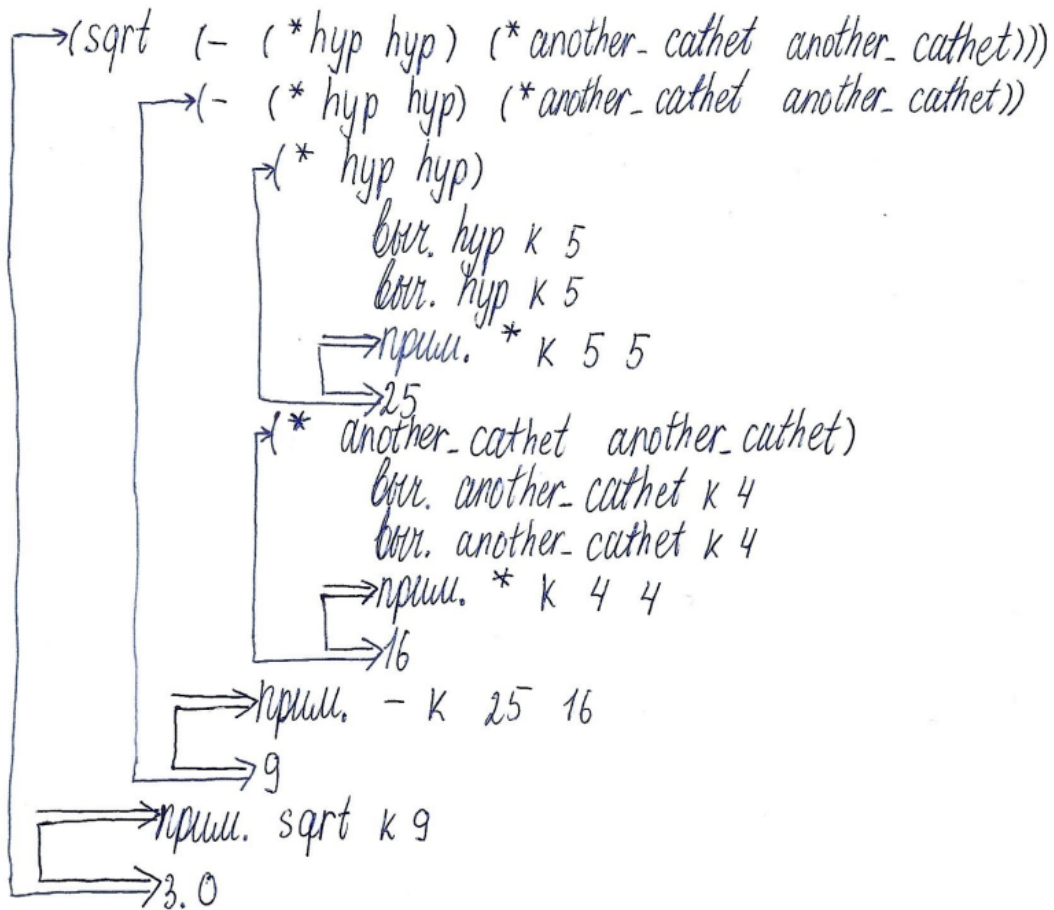
9. Что получится при вычисления каждого из выражений?

```
1 (list 'cons t NIL) => (CONS T NIL)
2 (eval (list 'cons t NIL)) => (T)
3 (eval (eval (list 'cons t NIL))) => The function T is undefined
4 (apply #cons "(t NIL)) => illegal complex number format: #CONS
5 ;(apply #'cons '(t NIL)) => (T)
6 (eval NIL) => NIL
7 ;(eval t) => T
8 (list 'eval NIL) => (EVAL NIL)
9 (eval (list 'eval NIL)) => NIL
```


Дополнительно

1. Написать функцию, вычисляющую катет по заданной гипотенузе и другому катету прямоугольного треугольника, и составить диаграмму ее вычисления.

```
1 (defun cathet (hyp another_cathet) (sqrt (- (* hyp hyp) (*  
2   another_cathet another_cathet))))  
(cathet 5 4) => 3.0
```



2. Написать функцию, вычисляющую площадь трапеции по ее основаниям и высоте, и составить диаграмму ее вычисления.

```
1 (defun trapezoid_area (a b h) (* 0.5 h (+ a b)))  
2 (trapezoid_area 2 4 3) => 9.0
```

