ЛЕКЦИЯ 12.1
ОБОБЩЕНИЯ ТИПОВ

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ И
ПРОГРАММИРОВАНИЕ

ЛЕКТОР ФУРМАВНИН С.А.

ИНСТАНЦИРОВАНИЕ

- **Инстанцирование** – это процесс порождения специализации.

```
template <typename T>
T max(T x, T y) { return x > y ? x : y; }
....
max<int>(2, 3); // порождает template<> int max(int, int)
```

- Мы называем этот процесс неявным (implicit) инстанцированием.
- Оно порождает код через подстановку параметра в шаблон.

ИНСТАНЦИРОВАНИЕ И СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ

- Явная специализация может войти в конфликт с инстанцированием

```
template <typename T> T max(T x, T y);

// OK, указываем явную специализацию
template <> double max(double x, double y) { return 42.0; }

// никакой implicit instantiation не нужно
int foo() { return max<double>(2.0, 3.0); }

// процесс implicit instantiation нужен и он произошёл
int bar() { return max<int>(2, 3); }

// ошибка: ODR violation
template <> int max(int x, int y) { return 42; }
```

УДАЛЕНИЕ СПЕЦИАЛИЗАЦИЙ

- Частным случаем явной специализации является запрет специализации

```
// для всех указателей
template <typename T> void foo(T*);

// но не для char* и не для void*
template <> void foo<char>(char*) = delete;
template <> void foo<void>(void*) = delete;
```

- Подобным образом можно удалять и перегрузки

```
void foo(char*) = delete;
void foo(void*) = delete;
```

СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ПО NONTYPE ПАРАМЕТРАМ

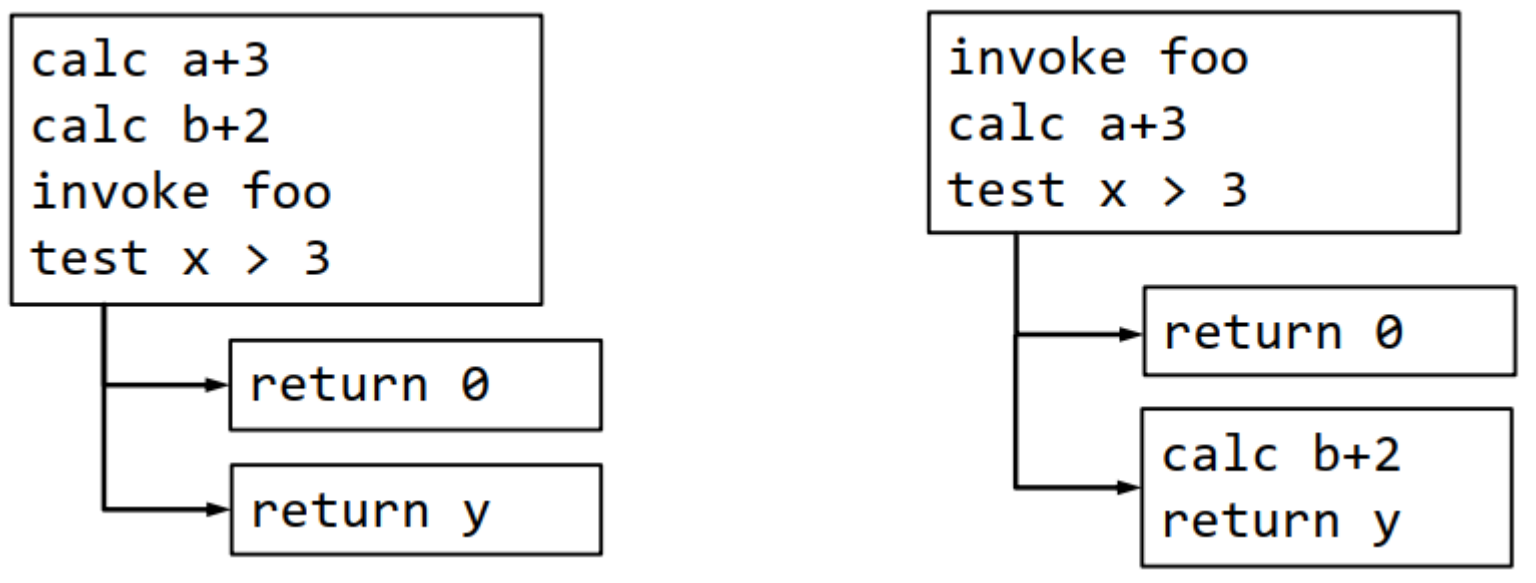
- Нет никаких проблем в том, чтобы специализировать класс по любой разновидности шаблонных параметров.
- Например по целым числам.

```
template <typename T, int N> class Array;
template <typename T> class Array<T, 3> {
  // тут более эффективная реализация для трёх элементов
```

- Немного сложнее придумать разумный пример специализации по указателям и ссылкам, можете подумать дома.

ЛЕНИВОСТЬ И ЭНЕРГИЧНОСТЬ

```
int foo (int x, int y) { return (x > 3) ? 0 : y; }
foo (a + 3, b + 2);
```



ИНСТАНЦИРОВАНИЕ – ЛЕНИВЫЙ ПРОЦЕСС

- Ниже если бы инстанцирование было энергичным, была бы ошибка

```
template <int N> struct Danger {
  using block = char[N]; // ошибка если N меньше нуля
};
template <typename T, int N> struct Tricky {
  void test_lazyness() { Danger<N> no_boom_yet; }
};
int main() {
  Tricky<int, -2> ok; // ошибка только при ok.test_lazyness()
}
```

- Но в данном случае инстанцировалось ровно то, что мы попросили

ЯВНОЕ ИНСТАНЦИРОВАНИЕ

- Неявное инстанцирование компилятор проводит где захочет.
- Но вы можете взять точку инстанцирования под контроль.

```
template <typename T>
T max(T x, T y) { return x > y ? x : y; }

template int max<int>(int x, int y); // инстанцировать тут
```

- Вы можете (и часто должны) также заблокировать инстанцирование в остальных модулях, указав, что оно уже проведено где-то ещё.

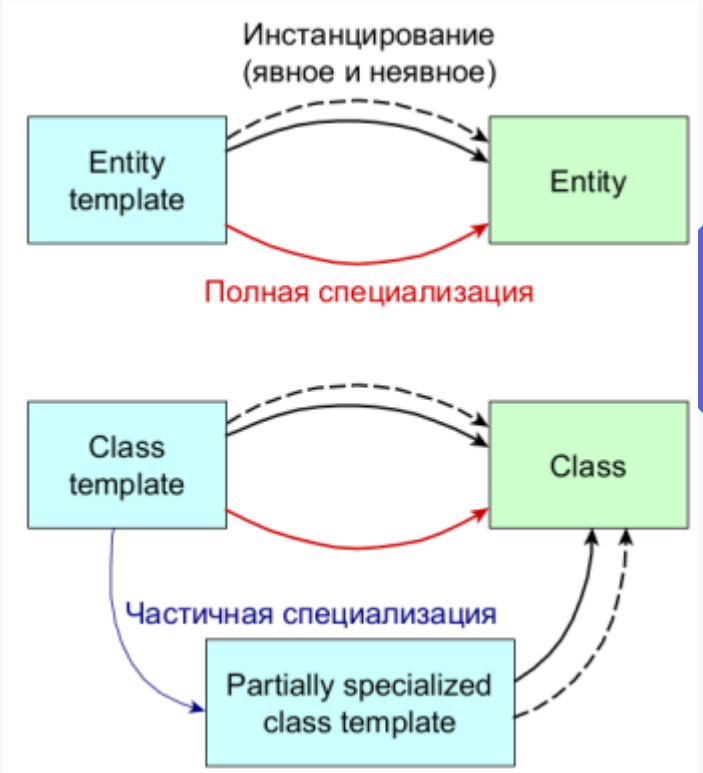
```
extern template double max<double>(double x, double y);
```

- При явном инстанцировании вы лишаетесь ленивого поведения.

ЧАСТИЧНАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ

- Для классов доступна также возможность специализировать шаблон частично.

```
template <typename T, typename U>
class Foo {}; // primary template
template <typename T>
class Foo<T, T> {}; // case T == U
template <typename T>
class Foo<T, int> {}; // case U == int
template <typename T, typename U>
class Foo<T*, U*> {}; // case pointers
```



СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ДЛЯ ПОХОЖИХ ТИПОВ

- Частичная специализация возможна по семейству похожих типов.

```
template <typename T> struct X;
template <typename T> struct X<std::vector<T>>;
X<int> a;                 // → primary template X<T>
X<std::vector<int>> b; // → X<std::vector<T>>
```

- Примерно так же можно специализировать для всех функций

```
template <typename T> struct Y;
template <typename R, typename T> struct Y<R(T)>;
```

УПРОЩЕНИЕ ИМЁН В СПЕЦИАЛИЗАЦИЯХ

Внутри основного шаблона класса мы всегда можем сокращать имя.

```
template <class T> class A {
  A* a1; // A здесь означает A<T>
};
```

- Это отлично работает также внутри частичной специализации.

```
template <class T> class A<T*> {
  A* a2; // A здесь означает A<T*>
};
```

- Разумеется указывать полные имена вполне легально (и часто лучше читается).

CASE STUDY: UNIQUE_PTR

- Рассмотрим следующее использование unique_ptr

```
std::unique_ptr<int> ui{new int[1000]()}; // грубая ошибка
```

- В чём по вашему состоит грубая ошибка?

- Можем ли мы добавить к чему-то частичную специализацию, чтобы как-то предложить законный метод делать такие вещи?

```
std::unique_ptr<int[]> ui{new int[1000]()}; // хотелось бы так
```

- Хорошая ли идея добавлять частичную специализацию к самому классу `unique_ptr`?

ВСПОМИНАЕМ СТРУКТУРУ UNIQUE_PTR

Удаление отделено в параметр шаблона.

```
template <typename T, typename Deleter = default_delete<T>>
class unique_ptr {
  T *ptr_;
  Deleter del_;
public:
  unique_ptr(T *ptr = nullptr, Deleter del = Deleter()) :
    ptr_(ptr), del_(del) {}
  ~unique_ptr() { del_(ptr_); }
// и так далее
```

- Вспоминаем как мог бы выглядеть `default_delete`?

ЧАСТИЧНАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ

- На помощь приходит частичная специализация для массивов

```
template <typename T> struct default_delete {
  void operator()(T *ptr) { delete ptr; }
};

template <typename T> struct default_delete<T[]> {
  void operator()(T *ptr) { delete [] ptr; }
};
```

- Теперь при массиво-подобном T у нас будет вызван правильный deleter

ОБСУЖДЕНИЕ

- Можно ли шаблонную специализацию назвать разновидностью наследования?
- В наследовании тоже более специализированный класс наследует более общему.

НАРУШЕНИЕ LSP ДЛЯ ШАБЛОНОВ

- Увы, но (частично) специализированный шаблон может не иметь ничего общего с его полной версией (вплоть до разных имен методов).
- С точки зрения наследования это нарушение LSP.

```
template <typename T> struct S { void foo(); };
template <> struct S<int> { void bar(); };
S<double> sd; sd.foo(); // → primary template S<T>
S<int> si; si.bar(); // → specialization S<int>
```

- И, разумеется, шаблоны инвариантны к шаблонной генерализации. Каждая специализация считается новым, не связанным с прочими, типом.

ОБСУЖДЕНИЕ

- Рассмотрим вызов `si.bar()` внутри шаблонной функции

```
template <typename T> int foo(T si) { return si.bar(); }
```

- Учитывая ленивость подстановки и возможность специализаций, в какой момент компилятор должен принять решение валиден ли этот вызов?

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

- Должно ли разрешение имён в шаблонах (в том числе классов) происходить до инстанцирования или после?

```
template <typename T> struct Foo {
  int use() { return illegal_name; }
};
```

- Здесь `illegal_name` выглядит нелегальным именем, но может быть оно будет как-то легализовано после того как будет подставлен конкретный T?
- Нужно ли выдавать ошибку сразу или подождать подстановки параметра?

ДВУХФАЗНОЕ РАЗРЕШЕНИЕ ИМЁН

- Первая фаза: до инстанцирования. Шаблоны проходят общую синтаксическую проверку, а также разрешаются **независимые** имена
- Вторая фаза: во время инстанцирования. Происходит специальная синтаксическая проверка и разрешаются **зависимые** имена

- **Зависимое имя** — это имя, которое семантически зависит от шаблонного параметра. Шаблонный параметр может быть его типом, он может участвовать в формировании типа и так далее

```
template <typename T> struct Foo {
  int use() { return illegal_name; } // независимое имя, ошибка
};
```

ДВУХФАЗНОЕ РАЗРЕШЕНИЕ ИМЁН

- Первая фаза: до инстанцирования. Шаблоны проходят общую синтаксическую проверку, а также разрешаются **независимые** имена
- Вторая фаза: во время инстанцирования. Происходит специальная синтаксическая проверка и разрешаются **зависимые** имена

- **Зависимое имя** — это имя, которое семантически зависит от шаблонного параметра. Шаблонный параметр может быть его типом, он может участвовать в формировании типа и так далее

- Следует запомнить золотое правило:

Разрешение зависимых имён откладывается до подстановки шаблонного параметра

ПРИМЕР ВАНДЕРВОРДА

- Можем ли мы как-то исправить ситуацию?

```
template <typename T> struct Base {
  void exit();
};
template <typename T> struct Derived : Base<T> {
  void foo() {
    exit(); // можно подумать, что это Base::exit()
            // но exit — не зависимое имя, так что нет.
}
};
```

ПРИМЕР ВАНДЕРВОРДА

- Есть несколько способов сделать имя exit зависимым.

```
this->exit();
Base::exit(); // читается как Base<T>::exit();
```

- Это одно из немногих рациональных использований явного this.

```
template <typename T> struct Derived : Base<T> {
  void foo() {
    this->exit(); // ага, мы стреляем в двухфазное разрешение
```

- Хочется ещё раз призвать не использовать явный this нерационально.

КОНТРОЛЬНЫЙ ВОПРОС

```
template<typename T> void foo (T) { cout << "T"; }
struct S { };
template<typename T> void call_foo (T t, S x) {
  foo (x);
  foo (t);
}
void foo (S) { cout << "S"; }
int bar (S x) {
  call_foo (x, x); // что на экране?
}
```

КОНТРОЛЬНЫЙ ВОПРОС

```
template<typename T> void foo (T) { cout << "T"; }
struct S { };
template<typename T> void call_foo (T t, S x) {
  foo (x); // x независимое имя, разрешается в foo<S>(x)
  foo (t); // t зависимое имя, разрешение откладывается
}
void foo (S) { cout << "S"; }
int bar (S x) {
  call_foo (x, x); // здесь t разрешается в foo(S)
}
// На экране: TS
```

ЗАВИСИМЫЕ ИМЕНА ТИПОВ

- Зависимые имена типов могут вызывать неожиданные проблемы

```
struct S {
  struct subtype {};
};
template <typename T> int foo(const T& x) {
  T::subtype *y;
  // и так далее
}
foo<S>(S{}); // казалось бы всё хорошо?
```

ЗАВИСИМЫЕ ИМЕНА ТИПОВ

- Зависимые имена типов могут вызывать неожиданные проблемы

```
struct S {
  struct subtype {};
};
template <typename T> int foo(const T& x) {
  typename T::subtype *y;
  // и так далее
}
foo<S>(S{}); // теперь всё хорошо
```

- Эта техника называется устранением неоднозначности (disambiguation)

ЗАВИСИМЫЕ ИМЕНА ШАБЛОНОВ

- Зависимые имена шаблонов также могут вызывать неожиданные проблемы

```
template<typename T> struct S {
  template<typename U> void foo(){}
};
template<typename T> void bar() {
  S<T> s; s.foo<T>();
}
```

- Тут, как вы думаете, что-то не так или всё ok?

ЗАВИСИМЫЕ ИМЕНА ШАБЛОНОВ

- Зависимые имена шаблонов также могут вызывать неожиданные проблемы

```
template<typename T> struct S {
  template<typename U> void foo(){}
};
template<typename T> void bar() {
  S<T> s; s.template foo<T>();
}
```

- Без разрешения неоднозначности первая треугольная скобка означала бы оператор меньше
- Вместе: `typename T::template iterator<int>::value_type v;`

ОБСУЖДЕНИЕ

- Итак, для разрешения имён нужно иметь информацию о типах.
- Нельзя ли использовать эту информацию для вывод типов?

ОБСУЖДЕНИЕ

- Вернемся к примеру с функцией max

```
template <typename T>
T max(T x, T y) { return x > y ? x : y; }
....
a = max<int>(2, 3); // порождает template<> int max(int, int)
```

- Компилятор видит тип int для литералов, поэтому его явное указание не нужно

```
a = max(2, 3); // тоже ок
a = max(2, 3.0); // неоднозначность, вывод типов не сработает
a = max<int>(2, 3.0); // тоже ок, мы помогли компилятору
```

НЕУТОЧНЁННЫЕ ТИПЫ

- По исторической традиции вывод неуточнённого типа режет ссылки, константность и прочее

```
template <typename T>
T max(T x, T y) { return x > y ? x : y; }
const int &b = 1, &c = 2;
a = max(b, c); // → template<> int max<int>(int, int)
```

- Это сделано чтобы уменьшить число неоднозначностей

```
int e = 2; int &d = e; // вроде разные типы, но вывод работает
a = max(d, e); // → template<> int max<int>(int, int)
```

ВЫВОД КОНСТРУКТОРАМИ КЛАССОВ

- Начиная с C++17 конструкторы классов могут использоваться для вывода типов

```
template<typename T> struct container {
  container(T t);
  // и так далее
};
container c(7); // → container<int> c(7);
```

- Внезапно будет работать также списочная инициализация но пока неясно как.

```
std::vector v {1, 2, 3}; // → std::vector<int>
```

ПРОБЛЕМА: ВЫВОД ЧЕРЕЗ КОСВЕННОСТЬ

- Конструктор класса сам может быть шаблонным

```
template<typename T> struct container {
  template<typename Iter> container(Iter beg, Iter end);
  // и так далее
};
std::vector<double> v;
container d(v.begin(), v.end()); // → container<double>?
```

- Компилятор умён, но не настолько умён чтобы сходить в `std::iterator_traits`
- Тут надо как-то ему подсказать где искать `value_type`

ХИНТЫ ДЛЯ ВЫВОДА (C++17)

Пользователь может помочь выводу в сложных случаях

```
template<typename T> struct container {
  template<typename Iter> container(Iter beg, Iter end);
  // и так далее
};

// пользовательский хинт для вывода
template<typename Iter> container(Iter b, Iter e) ->
  container<typename iterator_traits<Iter>::value_type>;

std::vector<double> v;
container d(v.begin(), v.end()); // → container<double>
```

ВЫВОД БЕЗ КОНСТРУКТОРА

- Агрегатное значение может и не иметь конструктора

```
template <typename T> struct NamedValue {
  T value;
  std::string name;
};
```

- Тоже можно немного помочь компилятору.

```
NamedValue(const char*, const char*) -> NamedValue<std::string>;
```

- Теперь конструируем агрегат из двух строк.

```
NamedValue n{"hello", "world"}; // → NamedValue<std::string>
```

ОБСУЖДЕНИЕ

- Мы хотим такой же гибкости для локальных переменных?

ВСТРЕЧАЕМ AUTO И DECLTYPE

- Для локальных переменных ключевое слово auto работает по правилам вывода типов шаблонами.

```
template <typename T> void foo(T x);
const int &t;
foo(t); // → foo<int>(int x)
auto s = t; // → int s
```

- Для точного вывода существует decltype

```
decltype(t) u = 1; // → const int& u
```

DECLTYPE: ЧТО ТАКОЕ ТОЧНЫЙ ТИП?

- Приоритет для decltype это точный тип параметра.

```
const int &x = 42;
decltype(x) y = 42; // → const int &y = 42;
```

- Это прекрасно. Но есть проблема:

```
struct Point { int x, y; };
Point porig {1, 2};
const Point &p = porig;
decltype(p.x) x = 0; // здесь int x или const int &x?
```

DECLTYPE: NAME AND EXPRESSION

```
struct Point { int x, y; };
Point porig {1, 2};
const Point &p = porig;
```

- Случай `decltype(id-expr)`

```
decltype(p.x) x = 0; // → int x = 0;
```

- Случай `decltype(expr)`

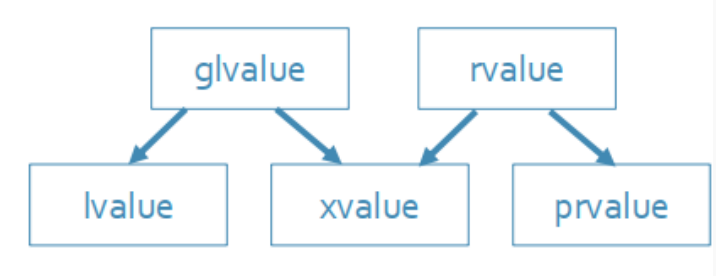
```
decltype((p.x)) x = 0; // → const int &x = 0;
```

- Точный тип это `decltype(name)`, а вот `decltype(expr)` работает от категории.

ВСПОМНИМ: КАТЕГОРИИ ВЫРАЖЕНИЙ

- Любое выражение в языке относится к одной из категорий

```
int x, y;
x     = x + 1; x      = x;
lvalue   prvalue   lvalue  lvalue to prvalue
y     = std::move(x);
lvalue   xvalue
```



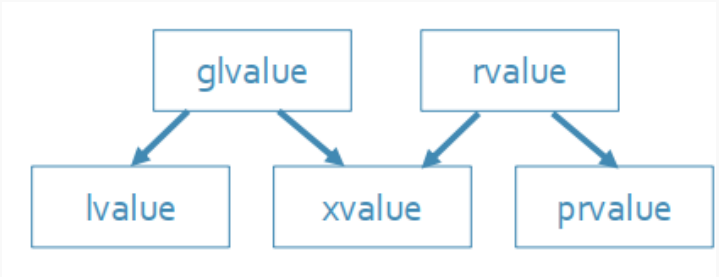
- Есть две обобщающие категории: glvalue и xvalue

ЧЕТЫРЕ ФОРМЫ DECTYPE

- decltype существует в двух основных видах: для имени и для выражения
- decltype(name) выводит тип с которым было объявлено имя
- decltype(expression) работает чуточку сложнее
- decltype(lvalue) это тип выражения + левая ссылка
- decltype(xvalue) это тип выражения + правая ссылка
- decltype(prvalue) это тип выражения
- В итоге левые или правые ссылки встречаются в неожиданных местах.

```
int a[10]; decltype(a[0]) b = a[0]; // → int& b
```

- Это может выглядеть странно, но это логично – ссылка определяет lvalueness



ПРОБЛЕМА В C++11

- Итак, мы в 2012 году и у нас нет auto для возвращаемого типа функций

```
template <typename T> auto // C++11 Error!
makeAndProcessObject (const T& builder) {
  auto val = builder.makeObject();
  // что-то делаем с val
  return val;
}
```

- Как написать эту функцию в реалиях 2012 года?

ПОПЫТКА РЕШЕНИЯ

- На самом деле эта проблема сохраняется в свежих версиях стандарта, но её стало сложнее демонстрировать
- Итак, мы в 2012 году и у нас нет auto для возвращаемого типа функций

```
template <typename T> decltype(builder.makeObject()) // Fail
makeAndProcessObject (const T& builder) {
  auto val = builder.makeObject();
  // что-то делаем с val
  return val;
}
```

- Это не работает, так как имя builder ещё не введено в область видимости.

РЕШЕНИЕ ДЛЯ C++11

Для решения используется так называемый расширенный синтаксис.

```
int foo(); // обычный синтаксис
auto foo() -> int; // расширенный синтаксис
```

Использование очевидно

```
template <typename T>
auto makeAndProcessObject(const T& builder) ->
                                    decltype (builder.makeObject()) {
  auto val = builder.makeObject();
  // что-то делаем с val
  return val;
}
```

РЕШЕНИЕ ДЛЯ C++14 И ПОЗДНЕЕ

- Для статического решения можно использовать нефиксированную сигнатуру.

```
int foo (); // функция с фиксированной сигнатурой
auto foo(); // функция для которой возвращаемый тип выводится
```

- Использование также несложно

```
template <typename T>
auto makeAndProcessObject (const T& builder) {
  auto val = builder.makeObject();
  // что-то делаем с val
  return val;
}
```

USE BEFORE DEDUCTION

- Бывают случаи когда такой вывод сбивается

```
auto bad_sum_to(int i) {
  // use before deduction
  return (i > 2) ? bad_sum_to(i-1) + i : i;
}
```

- Для этой ошибки вовсе не обязательна рекурсия

```
auto func();
int main() { func(); } // use before deduction
auto func() { return 0; } // deduction
```

ОБСУЖДЕНИЕ

- Кажется ли вам хорошей идеей нефиксированная сигнатура для внешних API, например для методов классов в общих хедерах?
- Именно поэтому даже сейчас форма со стрелочкой используется когда мы знаем как именно формируется тип.

```
// фиксированная сигнатура если всё внутри decltype известно
auto foo() -> decltype(some information);
```

- Бывает также абсурдное использование этой формы просто для красоты.

```
auto main() -> int { return 42; } // ошибки тут нет, но....
```

ИДИОМА FOR-AUTO

- Обход итератором начиная с C++11 скрыт за for-auto идиомой
- Допустимый вариант

```
for (auto it = v.begin(), ite = v.end(); it != ite; ++it)
  use(*it);
```

- Эквивалентный (почти эквивалентный) вариант

```
for (auto elt : v)
use(elt);
```

- Что если use берёт ссылку? Первый вариант отдаст ссылку перевязав её. Второй вариант, увы, срежет тип и, значит, скопирует значение

ОБСУЖДЕНИЕ: AAA INITIALIZERS

- Предложенный Гербом Саттером принцип AAA состоит в том, чтобы делать любую инциализацию через auto

```
auto x = 1;
auto y = 1u;
auto c = Customer{"Jim", 42};
auto p = v.cbegin();
```

- Начиная с C++17 он действительно работает (вспоминаем prvalue elision)

```
auto a = std::atomic<int>{9}; // ok только в C++17
auto arr = std::array<int, 100>{}; // быстро с C++17
```

- Некоторая критика этого принципа основана на сложности чтения кода.

ПРОБЛЕМЫ С AAA

Первое: не следует тянуть AAA в нестатические функции. Эта идиома **только** для инициализации **локальных переменных**

```
auto foo(int x); // non-fixed ABI (from C++14)
int foo(auto x); // non-fixed ABI (from C++20)
```

Второе: есть случаи когда это всё ещё не работает

```
auto x = long long {42}; // FAIL
auto x = static_cast<long long>(42); // ok, but...
const int & foo();
auto x = foo(); // decays
auto x = static_cast<const int&>(foo()); // still decays
```

ВЫВОД ТИПОВ ИЗ ССЫЛОЧНЫХ ТИПОВ

- Рассмотрим вывод типов с помощью auto

```
int x;
int &y = x;
auto &&d = move(y); // → ???
```

- Уточнённое с помощью rvalue reference, auto не может игнорировать ссылку
- Формально вывод выглядит так:

```
auto &&c = y; // → int & && c = y;
auto &&d = move(y); // → int && && d = move(y);
```

- Чтобы получился корректный тип, ссылки должны быть свёрнуты (collapsed).

ПРАВИЛА СВЁРТКИ ССЫЛОК

Inner	Outer	Result
T&	T&	T&
T&	T&&	T&
T&&	T&	T&
T&&	T&&	T&&

- Левая ссылка выигрывает, если она есть
- Для предыдущего примера это даёт

```
auto &&c = y;          // → int & && c = y;
                       // → int &c = y;
auto &&d = move(y);    // → int && && d = move(y);
                       // → int &&d = move(y);
```

- Правила вывода дают интересную картину: `auto&` это всегда lvalue ref, но `auto&&` это либо lvalue ref, либо rvalue ref (зависит от контекста)

```
auto &&y = x; // x это some& → y это some&
```

УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ ССЫЛОК

Правила вывода дают интересную картину: `auto&` это всегда lvalue ref, но `auto&&` это либо lvalue ref, либо rvalue ref (зависит от контекста)

```
int x;
auto &&y = x; // → int &y = x;
```

- Это в целом работает и для `decltype` и для шаблонов (но для шаблонов есть одна техническая трудность)

```
decltype(x) && z = x; // int &z = x;
template <typename T> void foo(T&& t);
foo(x); // foo<???>(int& t) как вы думаете, чему равен T?
```

- Такие ссылки называют **forwarding references** или **универсальными ссылками**
- Этот термин не является официальным и введен Скоттом Мейерсом в своих книгах и используется программистами по всему миру.

НЕБОЛЬШОЕ УТОЧНЕНИЕ

- При сворачивании типов шаблонами мы должны также вывести тип шаблонного параметра.

```
template <typename T> int foo(T&&);
int x;
const int y = 5;
foo(x); // → int foo<int&>(int&)
foo(y); // → int foo<const int&>(const int&)
foo(5); // → int foo<int>(int&&)
```

- Для консистентности он выводится в ссылку для lvalue но не для rvalue!

НЕУНИВЕРСАЛЬНЫЕ ССЫЛКИ

- Контекст сворачивания требует вывода типов, а не их подстановки:

```
template<typename T> struct Buffer {
  void emplace(T&& param); // здесь T подставляется
template<typename T> struct Buffer {
  template<typename U>
  void emplace(U&& param); // здесь U выводится
```

- Контекст для сворачивания не будет создан, если тип уточнён более, чем `&&`

```
const auto &&x = y; // никакого сворачивания ссылок
template<typename T> void buz(const T&& param); // аналогично
```

ИДИОМА FOR-AUTO&&

- Теперь мы знаем ответ на поставленный ранее вопрос

- Допустимый вариант

```
for (auto elt : v)
  use(elt);
```

- Куда лучший вариант

```
for (auto && elt : v) // elt это T& или T&&
  use(elt);
```

- Он лишён недостатков, которые мы замечали ранее

ОБСУЖДЕНИЕ: AAARR

- Almost Always Auto Ref Ref это расширение идиомы AAA, отлично справляющееся с большинством случаев

```
auto&& y = 1u;
auto&& c = Customer{"Jim", 42};
auto&& p = v.cbegin();
const int& foo();
auto&& f = foo(); // ok, const int& inferred
```

- **Что вы думаете про AAARR?**

ПРОЗРАЧНАЯ ОБОЛОЧКА

- Представим теоретическую задачу сделать функцию максимально "прозрачной" то есть пробрасывающей свои аргументы без расходов

```
template <typename Fun, typename Arg>
??? transparent (Fun fun, Arg arg) {
  return fun(arg);
}
```

- Начнём с простейшего вопроса: что она возвращает?
- Функция может возвращать как правую, так и левую ссылку.

ЗНАКОМИМСЯ: DECLTYPE(AUTO)

- Совмещает ~~худшие~~ лучшие стороны двух механизмов вывода
- Вывод типов является точным, но при этом выводится из всей правой части

```
double x = 1.0;
decltype(x) tmp = x; // два раза x не нужен
decltype(auto) tmp = x; // это именно то, что нужно
```

- Однако что стоит справа expr или id-expr? Зависит от выражения...

```
decltype(auto) tmp = x; // → double
decltype(auto) tmp = (x); // → double&
```

НАСТАВЛЕНИЕ

Пожалуйста не пользуйтесь этой штукой если абсолютно не уверены.

ПРОЗРАЧНАЯ ОБОЛОЧКА

- Кажется для прозрачной оболочки это идеально подойдёт

```
template<typename Fun, typename Arg> decltype(auto)
transparent(Fun fun, Arg arg) { return fun(arg); }
```

- Увы, её недостаток теперь в том, что она не слишком прозрачна

```
extern Buffer foo(Buffer x);
Buffer b;
Buffer t = transparent(&foo, b); // тут явное копирование b
```

СНОВА ПРОЗРАЧНАЯ ОБОЛОЧКА

- Возможный выход: сделать аргумент ссылкой

```
template<typename Fun, typename Arg> decltype(auto)
transparent(Fun fun, Arg& arg) { return fun(arg); }
```

- Но появляется новая беда: теперь rvalues не проходят в функцию

```
extern Buffer foo(Buffer x);
Buffer b;
Buffer t = transparent(&foo, b); // ok
Buffer u = transparent(&foo, foo(b)); // ошибка компиляции
```

СНОВА ПРОЗРАЧНАЯ ОБОЛОЧКА

- Возможный выход: перегрузить по константной ссылке

```
template<typename Fun, typename Arg> decltype(auto)
transparent(Fun fun, Arg& arg) { return fun(arg); }

template<typename Fun, typename Arg> decltype(auto)
transparent(Fun fun, const Arg& arg) { return fun(arg); }

Buffer t = transparent(&foo, b); // ok
Buffer u = transparent(&foo, foo(b)); // ok, но копируется
```

- Но есть проблемы:
  - Всего 10 аргументов потребуют 1024 перегрузки
  - Вызов для rvalue всё ещё требует копирования

СНОВА ПРОЗРАЧНАЯ ОБОЛОЧКА

- Решение для первой проблемы: универсализовать ссылку

```
template<typename Fun, typename Arg> decltype(auto)
transparent(Fun fun, Arg&& arg) { return fun(arg); }

Buffer t = transparent(&foo, b); // ok
Buffer u = transparent(&foo, foo(b)); // ok, но копируется
```

- Но есть проблемы:
  - ~~Всего 10 аргументов потребуют 1024 перегрузки~~
  - Вызов для rvalue всё ещё требует копирования

ЧЕГО БЫ НАМ ХОТЕЛОСЬ?

- Решение для второй проблемы: условное перемещение

```
template<typename Fun, typename Arg> decltype(auto)
transparent(Fun fun, Arg&& arg) {
  if (arg это rvalue)
    return fun(move(arg));
  else
    return fun(arg); }

Buffer t = transparent(&foo, b); // ok
Buffer u = transparent(&foo, foo(b)); // ok, но копируется
```

- Это решило бы часть проблем. Но это не легальный C++. Хотя, постойте....

РЕШЕНИЕ: ИСПОЛЬЗОВАТЬ STD::FORWARD

- Решение для второй проблемы: условное перемещение

```
template<typename Fun, typename Arg> decltype(auto)
transparent(Fun fun, Arg&& arg) {
  return foo(std::forward<Arg>(arg));
}
Buffer t = transparent(&foo, b); // ok
Buffer u = transparent(&foo, foo(b)); // ok
```

- Это называется perfect forwarding и бывает удивительно полезной идиомой
- Три главных составляющих: контекст вывода `T`, тип `T&&` и `std::forward<T>`

ОБСУЖДЕНИЕ: EMPLACE

- Что если мы пробросим аргументы для конструктора?

```
MyVector<Heavy> vh;
vh.push(Heavy{100}); // создаёт, потом перемещает
vh.emplace(100); // пробрасывает, создаст на месте
```

- Это может очень существенно сократить количество операций
- Внезапно настоящий `std::vector` это умеет и более того, умеет принимать произвольное количество аргументов конструктора.
- Но об этом и многом другом в следующий раз.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Дорохова Т.Ю., Основы алгоритмизации и программирования : учебное пособие для СПО / Т.Ю. Дорохова, И.Е. Ильина. – Саратов, Москва : Профобразование, Ай, Пи Ар Медиа, 2022. – 139 с.
2. Scott Meyers, "Effective Modern C++: 42 Specific Ways to Improve Your Use of C++11 and C++14"
3. Дональд Кнут, Искусство программирования. Том 1. Основные алгоритмы / Ю.В. Козаченко. - 3-е изд – Москва, Санкт-Петербург: ВИЛЬЯМС, 2018. – 721 с.
4. Davide Vandevoorde, Nicolai M. Josuttis – C++ Templates. The Complete Guide, 2nd edition, Addison-Wesley Professional, 2017
5. Bob Steagall "Back to Basics: Templates" (2 parts), CppCon, 2021
6. Bjarne Stroustrup – The C++ Programming Language (4th Edition) , 2013