

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
прикладной математики и
информатики**

А.М. Райгородский

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Программирование на Rust
по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Системное программирование и прикладная математика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра алгоритмов и технологий программирования
курс:	2
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составили:

А.Д. Становой, учебный ассистент

В.В. Яковлев, канд. физ.-мат. наук, заведующий кафедрой

Программа обсуждена на заседании кафедры алгоритмов и технологий программирования 02.04.2024

Аннотация

В курсе изучается современное системное программирование на новом языке Rust. Это - естественное продолжение курсов Программирования на C++, Архитектуры Компьютерных и Операционных Систем, и Теории, и Практики Многопоточной Синхронизации, преподаваемых в МФТИ. Рассматривается история появления языка Rust, изучаются основы синтаксиса, стандартная библиотека, трейты, метапрограммирование, параллельные вычисления в языке, асинхронное программирование, тулинг вокруг языка, system safety на основе теории типов, примененных в языке для избегания memory unsafety, а также небезопасное подмножество языка. Активно производится сравнительный анализ с языками C++, Go, Python, Java.

В курс входит несколько десятков задач, простых и углубленных, призванных разобрать на практике разные аспекты данного языка. Также есть 3 проекта, предназначенных для написания цельного продукта на языке.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- овладение студентами правил языка программирования Rust и приемами использования языка Rust в практике программирования.

Задачи дисциплины

- изучение базовых и продвинутых возможностей языка Rust;
- распространение его среди молодых разработчиков.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- принцип исполнения программ на Rust.

уметь:

- реализовывать библиотеку общего назначения по заданным интерфейсам.

владеть:

- навыками работы с объектами и потоками и кругозором в выборе архитектурного решения поставленной задачи.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.
--	-----------------------------------------------------------------------------

№	Тема (раздел) дисциплины	Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Здравствуй, Rust! Обсуждение языка. Сравнение с C++. Основы языка.	2	2		7
2	Стандартная библиотека и коллекции.	2	2		5
3	Треиты. Функциональные возможности языка. Итераторы.	2	2		7
4	Таблица виртуальных методов. Управление памятью и формальные корни system safety.	2	2		5
5	Метапрограммирование в Rust. Написание идиоматичного кода.	2	4		5
6	Работа с файловой системой. Формальные корни system safety: исследования RustBelt.	2	4		5
7	Пакетный менеджер языка Rust: Cargo. Обработка ошибок.	2	2		5
8	Автоматические средства верификации и поддержки Rust кода.	2	2		5
9	Многопоточное программирование в Rust.	4	2		5
10	Асинхронный Rust и нетворкинг.	2	2		5
11	Unsafe Rust. Репрезентация типов в памяти.	2	2		5
12	Rust и взаимодействие с другими языками и операционной системой.	2	2		5
13	Техники ускорения Rust кода.	4	2		11
Итого часов		30	30		75
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 4 (Весенний)

1. Здравствуй, Rust! Обсуждение языка. Сравнение с C++. Основы языка.

- Почему нам вообще нужен Rust? Какие проблемы Rust решает? Где предполагается использовать Rust? Какие компании уже используют Rust? Где найти работу программистом на Rust?
- Что значат safe и unsafe. Что значат sound и unsound. Что Rust считает безопасным. Формальная модель RustBelt.
- Ключевые слова let и mut. Типы i8...i128, u8...u128, isize, usize, f32, f64, bool. Литералы. Shadowing.
- Ключевое слово as для примитивных кастов. Нетранзитивность кастов.
- Функции. Ключевое слово return. Выражения и условия.
- struct. Functional update. self и Self. Ключевое слово impl. Ассоциированные функции. Значение _.
- enum. size_of enum и дискриминант. std::cmp::Ordering. Сравнение с enum и union из C++.
- Синтаксис if, while. Именованный break. Синтаксический сахар if/while и let.
- match. Range matching. Множественные паттерны. Binding modes. Деструктуризация.
- Вывод типов.

- T, &mut T, &T.
- Введение в generics. Введение в Vec и его интерфейс. Слайсы &[T].
- Напоминание о std::reference_wrapper из C++.
- Unit тип ().
- panic!, unimplemented!, unreachable!, todo!.
- loop. “Ненаселенный” тип !.
- Borrow checker: как не сдать и выучить Rust. Механизм “заимствования”.
- Введение в экосистему Rust. Плагины VS Code: официальный и rust-analyzer.
- Написание простой программы на Rust: команда cat. std::prelude. Основы cargo и rustc.

2. Стандартная библиотека и коллекции.

- Compound типы array и tuple. Что изменяется, когда их размер большой.
- Result и его интерфейс.
- Option, его интерфейс и оптимизации компилятора.
- VecDeque и его интерфейс.
- HashMap, HashSet и их интерфейс. Асимптотики.
- BTreeMap, BTreeSet и их интерфейс. Почему B-дерево не может быть полной заменой std::map.
- LinkedList, BinaryHeap и их интерфейс.
- String. Случайный доступ. UTF-8. &str и напоминание о string_view из C++. char и значение понятия Unicode scalar value.
- Аллокации на куче: Box, Rc, Cow и их интерфейс. Упоминание Arc.
- Почему Rc немутабелен.
- Модуль std::cell. Interior mutability. Cell, RefCell. Reentrancy.
- std::mem модуль и его безопасные функции: size_of, swap, replace, forget, drop.
- Основы Drop checker. Drop flags. Стабильность порядка drop и причины. Порядок инициализации.
- Exotically sized types: ZST, DST, Empty. Контейнеры, особенно Vec, когда T - это ZST.
- NonNull, NonZero.
- print!, println!, eprint!, eprintln!, write!, writeln! и блокирование IO.
- BufReader и BufWriter. Их интерфейс и уменьшение числа аллокаций.

3. Трейты. Функциональные возможности языка. Итераторы.

- Трейты. Return type polymorphism. Автоматические трейты. Ключевое слово where. Extension traits.
- Основные трейты стандартной библиотеки и их возможности. Default, Clone, Copy. Почему они не генерируются по умолчанию? Ord, PartialOrd. Eq, PartialEq. Hash, Hasher. Drop, ManuallyDrop и идиома RAII. Почему нельзя полагаться на drop order. Deref, DerefMut, Borrow. Index and IndexMut.
- Модуль std::ops. Трейты Add, Sub, Mul, Div, Rem, BitAnd, BitOr, BitXor, Shl, Shr и их -Assign варианты. Not, Neg.
- Трейты Debug и Display. Formatter. Мотивация их дизайна. Трейт ToString.
- Трейты FnOnce, Fn, FnMut. Замыкания. Capture clause. Ключевое слово move. Variable rebinding в отдельной области видимости.
- Модуль std::convert. Трейты From и Into, TryFrom и TryInto, AsRef и AsMut. Функция identity.
- Ассоциированные типы и константы.
- Итераторы. Ленивость итераторов. Трейты Iterator, IntoIterator. Имплементации итераторов в std. Итераторы в рантайме.
- API итераторов: map, filter, fold, flatten и другие.
- Мотивация дизайна трейта Iterator.
- Инвалидация итераторов в C++ и Rust.
- Итераторы и векторизация. Как вернуть итератор и замыкание из функции: ключевое слово impl.

- Полезные функции из модуля `std::iter`: `from_fn`, `empty`, `once`, `repeat`, `repeat_with`.
- Трейты `FromIterator`, `ExactSizeIterator`, `DoubleEndedIterator`, `Index`, `IndexMut`.
- `collect`, `flatten` и их имплементация.

4. Таблица виртуальных методов. Управление памятью и формальные корни system safety.

- Таблица виртуальных методов. Толстый указатель. Ключевое слово `dyn`. Динамическая диспетчеризация. Динамическая диспетчеризация на стеке. `Dynamically sized types`.
- Модуль `std::any`. Трейт `Any`.
- Типе coercion и subtyping. `Fully Qualified Syntax` и когда его нужно использовать.
- Object Safety. Generics в таблице виртуальных методов. `Hash` и инлайнинг.
- Как Rust управляет памятью: aliasing и правило “Aliasing XOR Mutability” (AXM).
- Borrow checker, affine система типов.
- Lifetimes. Именованные ссылки. Lifetime elision. Reborrowing.
- Неограниченный 'static lifetime: почему он нам нужен и какое он имеет отношение к остальным лайфтаймам.
- Higher-Rank Trait Bounds (HRTB). Variance.
- Ключевое слово `ref` и `match`. Two phase borrows.
- Drop checker. Связь между `PhantomData` и variance inference.
- Оператор точка и правила автоматического вывода типов.

5. Метапрограммирование в Rust. Написание идиоматичного кода.

- Generics. Мономорфизация. Статический и динамический полиморфизм.
- Trait specialization.
- Причина, по которой нет частичной специализации generics: отвратительные последствия SFINAE.
- Макросы. `macro_rules!`. Паттерны, `$crate`. Идентификаторы. Гигиеничность. Проблемы макросов. Внутренние макросы.
- Основы крейта `serde`.
- Атрибуты. `non_exhaustive`, `deprecated`. Макросы `env!`, `option_env!`, `stringify`.
- Условная компиляция и крейт `cfg-if`.
- Процедурные макросы. `derive`, `cfg`, `test`. `recursion_limit` атрибуты для макросов.
- Основы крейта `syn`.
- Метапрограммирование. Вычисление констант и ключевое слово `const`. `Const generics`. Генерация кода макросами.
- Паттерны проектирования: `command`, `interpreter`, `newtype idiom`, `strategy`, `visitor`, `builder`, `fold`.
- Антипаттерны проектирования: использование `deref polymorphism`.
- Советы написания идиоматичного кода.

6. Работа с файловой системой. Формальные корни system safety: исследования RustBelt.

- Работа с файловой системой с модулем `std::fs`. Сравнение дизайна Rust и Go.
- Статья `GhostCell`. Обсуждение силы системы типов и статических проверок в Rust.
- Aliasing model. Статья `stacked borrows`.

7. Пакетный менеджер языка Rust: Cargo. Обработка ошибок.

- Cargo. Crates and modules. Compilation unit. What's in a crate. Coherence.
- Структура Cargo пакета. `Cargo.lock`, semantic versioning. Rustup. `crates.io`. Типы библиотечных крейтов.
- `use`, `mod`, `pub`, `super`, `crate`. Где `pub` не работает.
- Релизный цикл Rust. Сырые идентификаторы. Мигрирование на другую версию.
- Обработка ошибок. Recoverable и unrecoverable ошибки. Паника и `stack unwinding`. `Unwind safety`. `Result<T, E>`. Оператор `?` и устаревший `try!`. Лучшие практики обработки ошибок.
- Exception safety: минимальный и максимальный уровень.

- Управление паникой. `catch_unwind`, `resume_unwind`.
- Трейт `Error` и его проблемы.
- Основы крейтов `anyhow` и `thiserror`.

8. Автоматические средства верификации и поддержки Rust кода.

- Clippy и линты.
- Rust analyzer.
- MIR интерпретатор Miri.
- Rudra.
- Инструменты Dynamic Symbolic Execution (DSE): Rust verification tools (RVT), Cargo-KLEE.
- Модел чекеры: Rust Model Checker (RMC), SMACK
- Инструменты верификации: Haybale, Stateright.

9. Многопоточное программирование в Rust.

- Модель памяти Rust. Orderings. Connection of memory safety and absence of data races.
- Модуль `std::thread`.
- Потоки. Thread builder. Область видимости и `static`. `thread::scoped` и его проблемы. Closure scope. паника в closure scope.
- Основы крейтов `rayon` и `crossbeam`.
- Трейты `Send` и `Sync`. Unsafe трейты. `Ord` и `undefined behavior`.
- `std::atomic`: `Atomic` и `fence`.
- Arc и пример `undefined behavior` в `unsafe` коде. `Mutex` и `poisoning`. `RwLock`. `Lazy`.

10. Асинхронный Rust и нетворкинг.

- Мотивация дизайна асинхронной стороны Rust.
- `async` и `await`.
- `Stackless coroutines`.
- Трейт `Future`. Создание экзекутора.
- `Pin`, `Unpin` и примеры их использования. `PhantomPinned`.
- Обсуждение устройства различных протоколов нетворкинга.
- Модель Open Systems Interconnect (OSI). Напоминание о Ethernet, IP, UDP and TCP.
- Нетворкинг в Rust. Модуль `std::net`. `IpAddr`. `TcpListener`, `TcpStream` и `UdpSocket`.
- Сохранение метрик в Rust.
- Основы крейтов `tokio` и `loom`.

11. Unsafe Rust. Репрезентация типов в памяти.

- Ключевое слово `unsafe`. Контракт между `safe` и `unsafe` кодом. Что умеет `unsafe`. Когда нам нужен `unsafe`. Проблема: безопасный `mem::forget`. `mem::transmute`. Ключевое слово `static`. `UnsafeCell`. Указатели: `*const T`, `*mut T`.
- `MaybeUninit`. Оптимизации компилятора, `Container<MaybeUninit<T>>>` и `Container<T>`.
- Unsafe трейты. Проблемы с `safety` у `BTreeMap` и трейта `Ord`.
- WTF-8. `PathBuf` и `Path`.
- `CString` и `CStr`. `OsString` и `OsStr`.
- Основы крейтов `cbindgen` и `rust-bindgen`.
- Drop checker. Атрибут `may_dangle`.
- Имплементация `split_at_mut`.
- Обсуждение имплементации `Vec`.
- Обсуждение имплементации `Arc` и `Mutex`.
- Модуль `std::alloc`. Функции `alloc`, `alloc_zeroed`, `dealloc`, `Layout`. `GlobalAlloc`.
- `realloc` в Rust и C++. Как `move` работает в Rust и C++. Когда ломается `move` в C++. Обсуждение крейта `moveit`. Копирование и клонирование в Rust.

- Leaking. Обсуждение крейта `once_cell`.
- Репрезентация типов в памяти. Exotically sized type Extern. enum в памяти. Гарантии Option. “Разметка” данных: C, transparent, u*, i*, packed, align(n). Порядок полей.

12. Rust и взаимодействие с другими языками и операционной системой.

- Секции .data, .rodata, .bss и .text. Структура кучи и стека. Переполнение буфера.
- Использование C/C++ кода из Rust. Использование Rust кода из C/C++.
- Состояние Rust ABI.
- Советы для написания FFI.
- Обработка сигналов.
- Вызовы методов ядра.
- Состояние Rust в ядре Linux.

13. Техники ускорения Rust кода.

- Модуль `core::arch` и SIMD. `core::intrinsics` и его использование в стандартной библиотеке.
- Модуль `std::hint`.
- Link-time Optimization (LTO).
- Profile-guided Optimization (PGO).
- Профилирование Rust кода.
- Инлайнинг кода. Причины и примеры.
- `dyn` против `impl` когда оба могут быть использованы.
- Заметка о HashSet и HashMap. Siphash и альтернативы.
- Удаление и уменьшение числа аллокаций и реаллокаций. Профилирование malloc и free.
- Проблема коротких векторов. Обсуждение крейтов smallvec и arrayvec.
- Ускорение компиляции и линковки больших проектов на Rust.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Введение в программирование , учебное пособие / И. Ю. Баженова, В. А. Сухомлин. — Москва, ИНТУИТ, 2016.— URL: <https://e.lanbook.com/book/100695> (дата обращения: 30.12.2020). - Полный текст (Режим доступа : из сети МФТИ / Удаленный доступ)

Дополнительная литература

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Система GitLab для автоматического тестирования домашней работы.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

- Материалы лекций в репозитории курса.
- Задачи курса.
- Студенту будет предложено зайти в Telegram канал и чат, где он сможет оперативно получать дополнительные материалы: блоги, презентации с конференций, статьи, ответы на свои вопросы.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Системное программирование и прикладная математика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра алгоритмов и технологий программирования
курс:	2
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчики:

А.Д. Становой, учебный ассистент

В.В. Яковлев, канд. физ.-мат. наук, заведующий кафедрой

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Программирование на Rust» обучающийся должен:

знать:

- принцип исполнения программ на Rust.

уметь:

- реализовывать библиотеку общего назначения по заданным интерфейсам.

владеть:

- навыками работы с объектами и потоками и кругозором в выборе архитектурного решения поставленной задачи.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

1. Система типов.
2. Числовые типы.
3. Коллекции.
4. Строковые типы.
5. Константы.
6. Управление памятью.
7. Синтаксис языка.
8. Объектная система.
9. Особенности программирования.
10. Сравнение с другими языками.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Реализовать граф объектов на сырых указателях.
2. В файле `src/lib.rs` реализуйте функцию `add`, которая складывает два числа.
3. Напишите несколько функций для работы с итераторами:
`count()` - создаёт итератор, который возвращает по порядку числа от 0 до `u64::MAX`. При вызове `.next()` после того, как вернулся `u64::MAX`, можно паниковать.
4. Напишите несколько функций для работы с итераторами:
`cycle(into_iter)` - создаёт бесконечный итератор, который возвращает зацикленно последовательность элементов, полученную из `into_iter`. Заметьте, что нижележащий итератор должен истощаться лениво,
а не сразу при вызове `cycle`. `Item` обязан быть `Clone`.
5. Напишите несколько функций для работы с итераторами:
`extract(into_iter, index)` - возвращает пару, первый элемент которой - `Option<Item>`, где `Item` -

элемент итератора под номером `index` (начиная с 0), если таковой есть. Второй элемент пары - итератор, который должен возвращать элементы исходного итератора в той же последовательности,

но без извлечённого элемента. Заметьте, что исходный итератор должен быть истощён не более, чем на `index + 1` элемент.

6. Напишите несколько функций для работы с итераторами:

`tee(into_iter)` - возвращает пару из двух независимых итераторов, каждый из которых возвращает ровно ту же последовательность элементов, что исходный итератор. Исходный итератор должен при этом

истощаться лениво: из него всегда должно быть извлечено кол-во элементов, равное максимуму из

кол-ва извлечённых элементов у двух итераторов, которые `tee` вернул. `Item` обязан быть `Clone`.

7. Напишите несколько функций для работы с итераторами:

`group_by(into_iter, f)` - объединяет все идущие подряд элементы, для которых `f` возвращает одинаковое значение, в группы. `group_by` возвращает итератор по парам, где первый элемент - это `f(item)`,

а второй элемент - это вектор из идущих подряд элементов, таких, что `f(item)` для каждого из этих

элементов равен первому элементу пары.

8. Напишите библиотеку ORM (Object-relational mapping).

9. Реализуйте интерпретатор игрушечного языка программирования Polka.

10. Напишите распараллеленный `grep`.

Критерии оценивания

- оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений
- оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений
- оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, и правильное обоснование принятых решений
- оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он знает материал, и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;
- оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет фрагментарно основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

- оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач
- оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, который не знает формулировок основных понятий дисциплины.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины,