Технологии аппаратной виртуализации

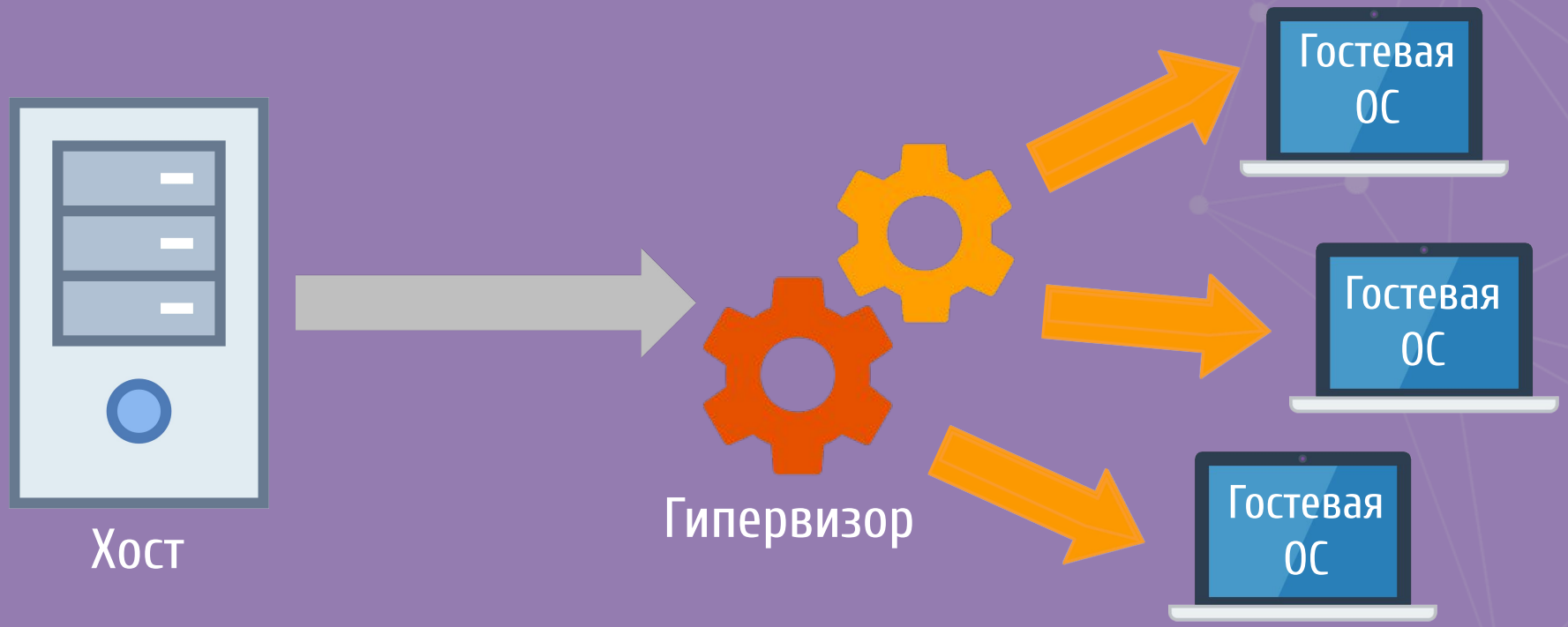
Доклад подготовил:

студент группы ЭВМб-14-1

Русецкий Никита

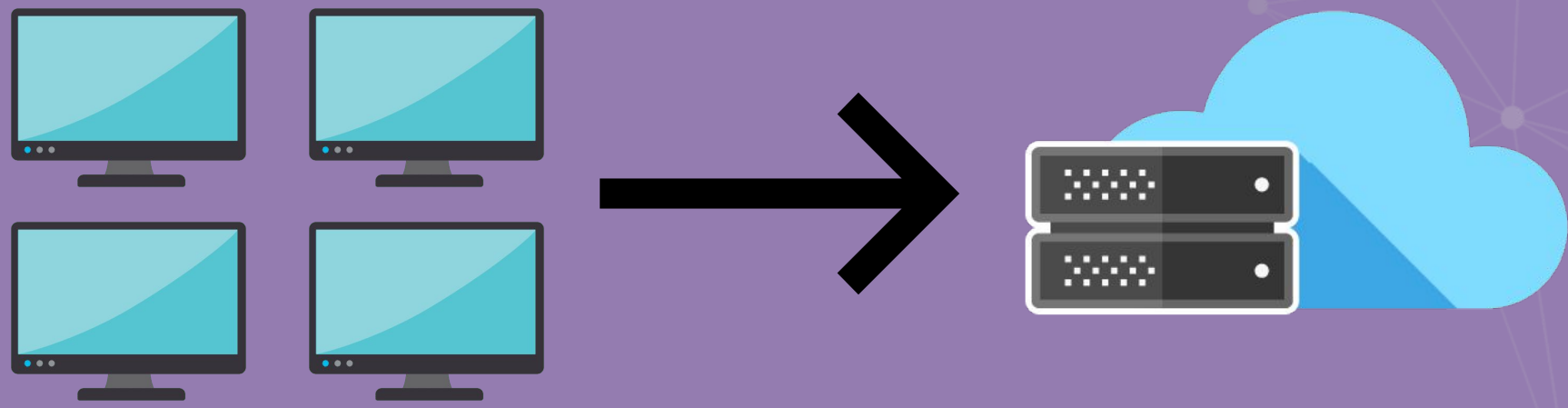
Что это?

- **Виртуализация** – технология, позволяющая запускать на одном физическом компьютере, называемом «*хостом*», несколько виртуальных операционных систем, называемых «*гостевыми ОС*»



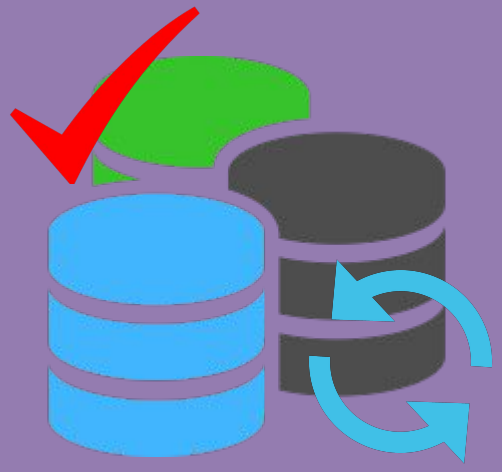
Зачем?

- Для обеспечения независимости гостевых ОС от аппаратной платформы;
- Для сосредоточения нескольких виртуальных машин на одной физической.



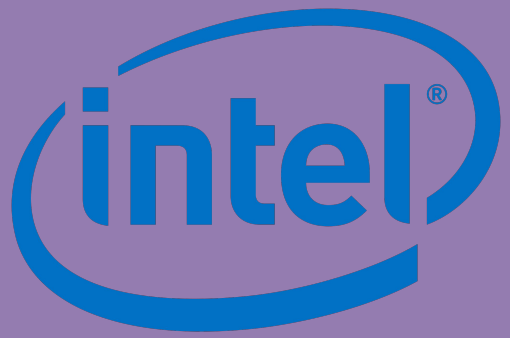
Какие преимущества?

- ✔ Обеспечивается существенная экономия на аппаратном обеспечении и обслуживании;
- ✔ Упрощается процедура резервного копирования и восстановления после сбоев.

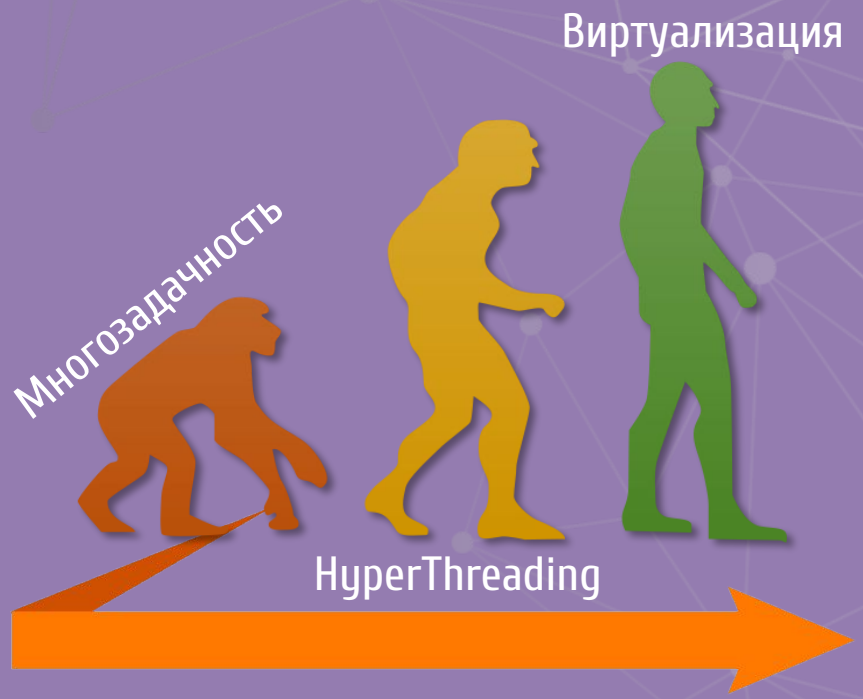


Немного истории

- 1985 год – *аппаратная* виртуализации впервые была воплощена в 386-процессорах (V86 mode)
- 1998 год – компания Vmware запатентовала *программные* техники виртуализации
- Вслед за Intel AMD выпускает процессоры с поддержкой аппаратной виртуализации

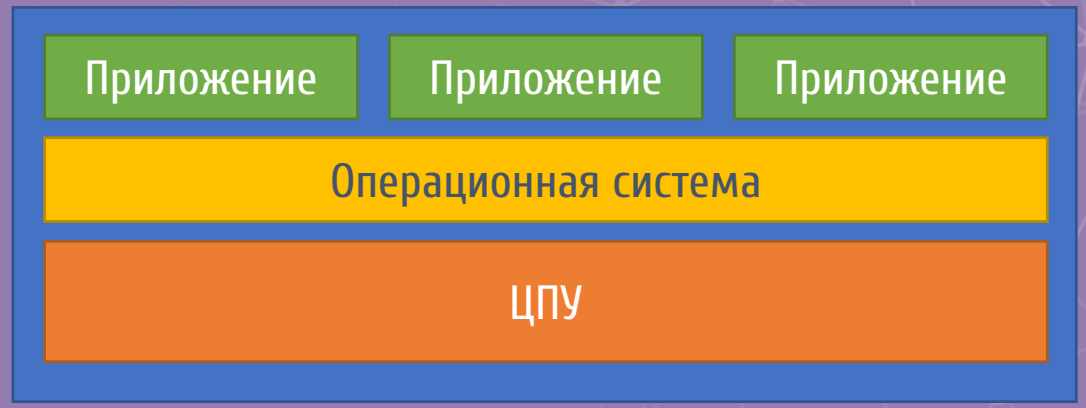


Эволюция уровней абстрагирования программных платформ



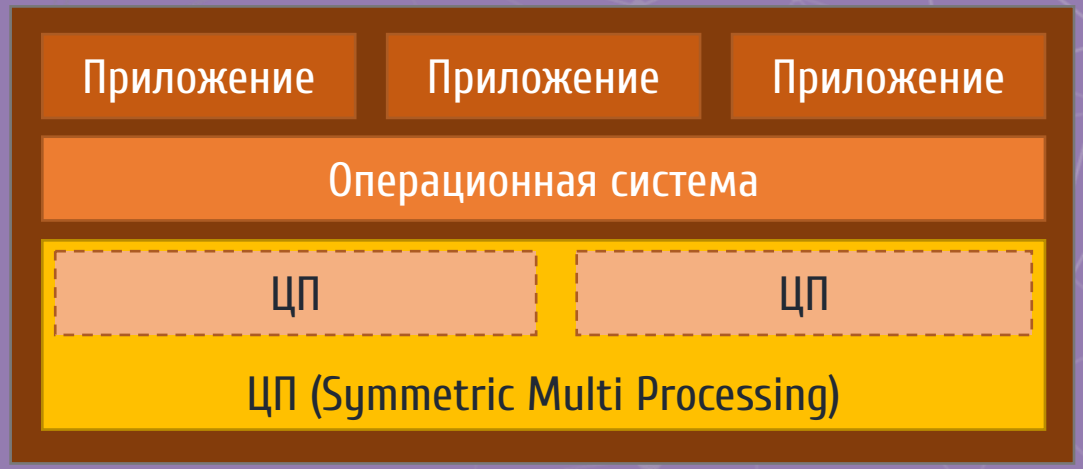
Многозадачность

- **Многозадачность** – первый уровень абстракции приложений. Каждое приложение разделяет ресурсы физического процессора в режиме разделения исполнения кода по времени



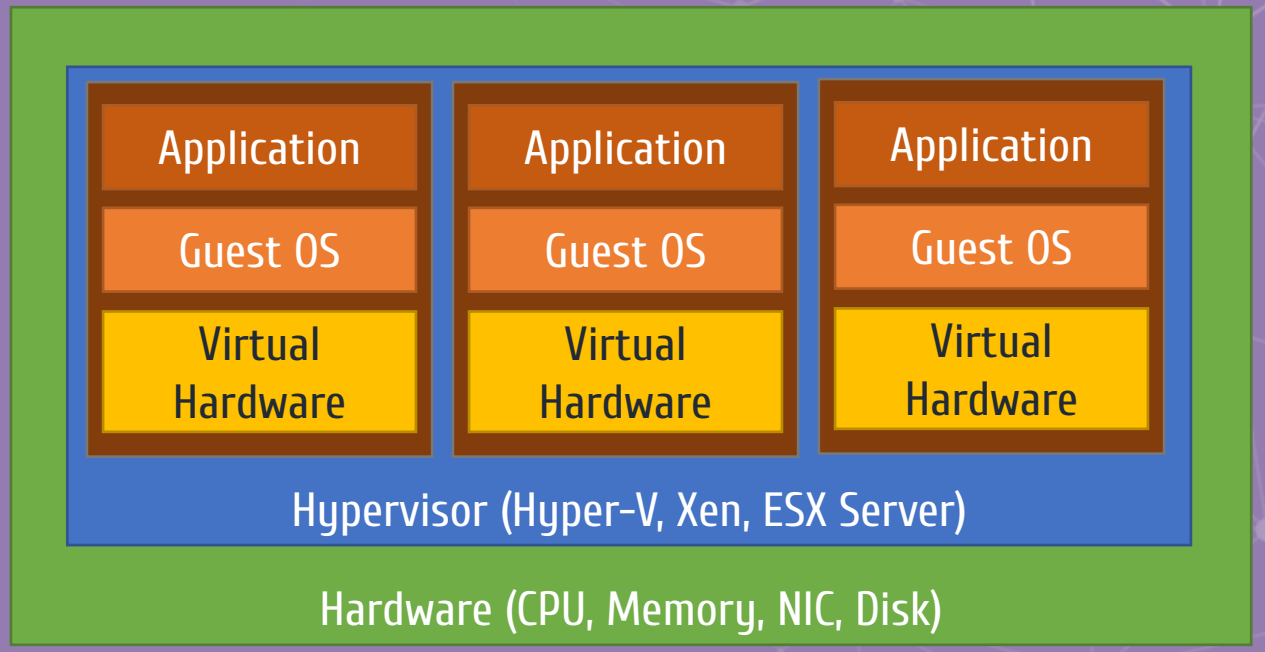
HyperThreading

- Технология HyperThreading в широком смысле представляет собой аппаратную технологию виртуализации.
- В рамках одного физического процессора происходит симуляция двух виртуальных процессоров с помощью техники Symmetric Multi Processing (SMP).



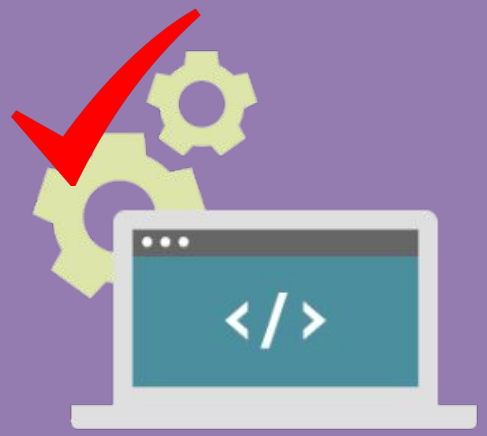
Виртуализация

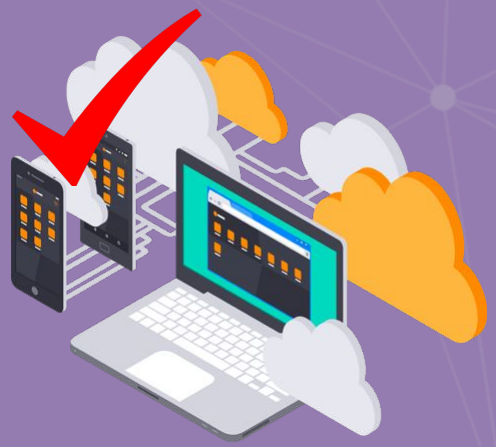
- Виртуализация представляет собой эмуляцию нескольких виртуальных процессоров для каждой из гостевых ОС.
- Технология SMP позволяет представлять несколько виртуальных процессоров в гостевой ОС при наличии технологии HyperThreading или нескольких ядер в физическом процессоре.



Преимущества аппаратной виртуализации

+ Упрощение разработки платформ виртуализации
+ Возможность увеличения быстродействия платформ виртуализации
+ Возможность независимого запуска нескольких виртуальных платформ
+ Отвязка гостевой системы и архитектуры хостовой платформы и реализации платформы виртуализации





Аппаратная виртуализация

Принципы работы

Архитектура VM

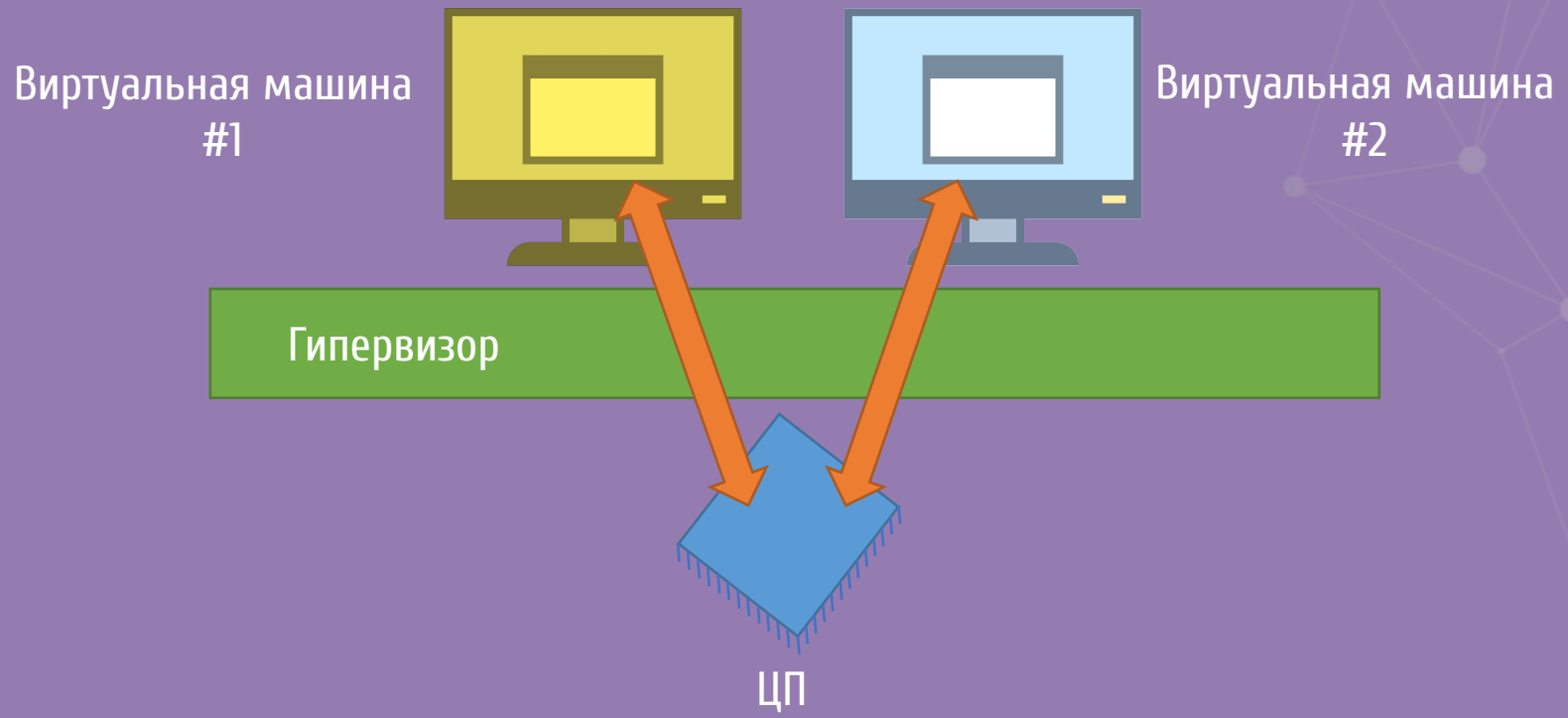
- **Монитор виртуальных машин** (*Virtual Machine Monitor*) или **Гипервизор** (*Hypervisor*) обеспечивает или позволяет одновременное, параллельное выполнение нескольких операционных систем на одном и том же хост-компьютере.
- Гипервизор также обеспечивает изоляцию операционных систем друг от друга, защиту и безопасность, разделение ресурсов между различными запущенными ОС и управление ресурсами.

Требования к гипервизору

- Гипервизор должен быть способен к:
  - Самозащите от ПО гостевой машины
  - Изоляции одной гостевой ОС от другой
  - Предоставлению интерфейса гостевому ПО
- Чтобы достичь этого, гипервизор должен иметь доступ к:
  - ЦП, памяти и устройствам ввода/вывода
- Способы разделения ресурсов между виртуальными машинами:
  - Временное мультиплексирование
  - Разделение ресурсов
  - Посреднические аппаратные интерфейсы

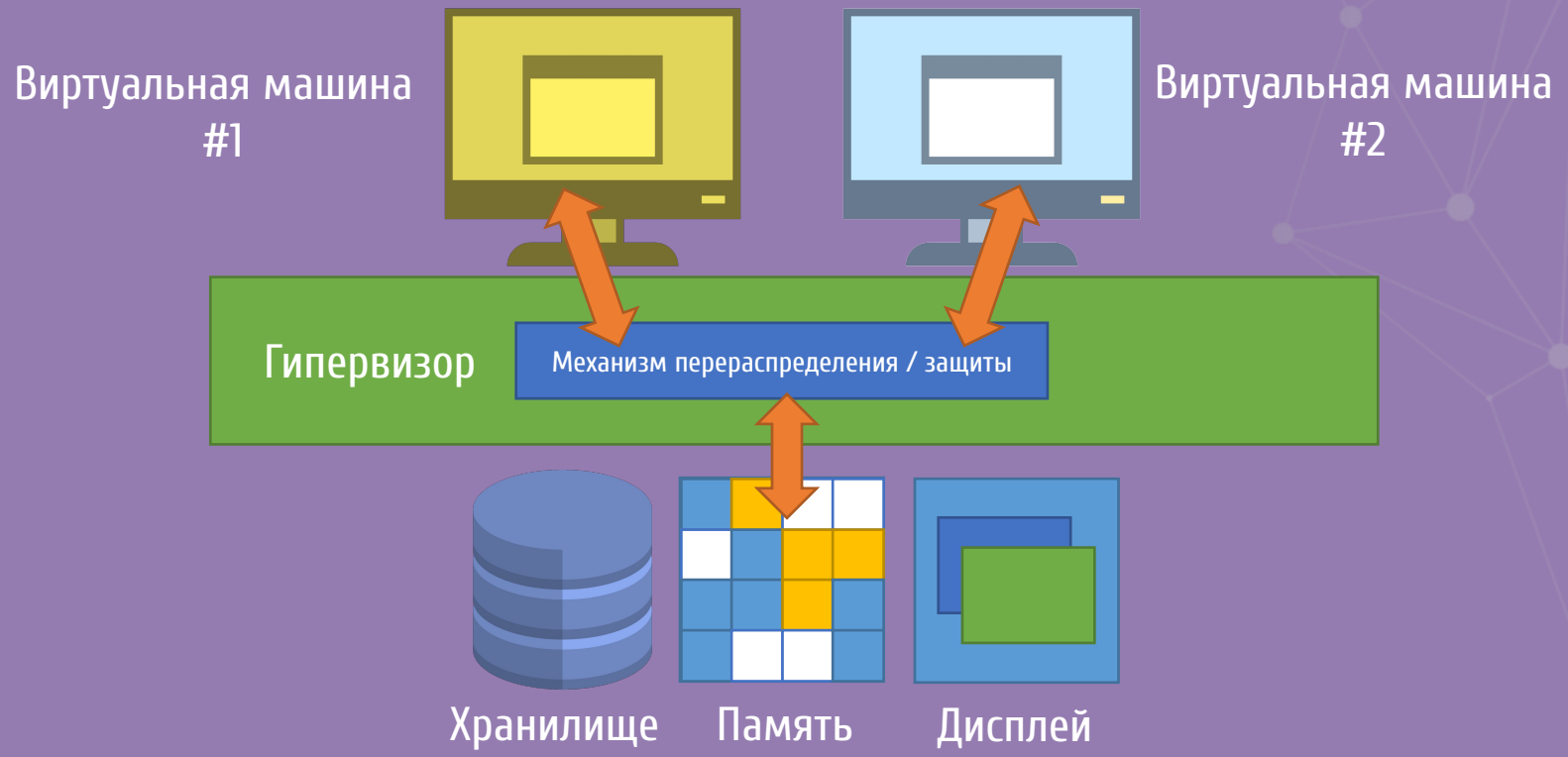
Временное мультиплексирование

- Виртуальной машине разрешен доступ к ресурсам на определенный период времени перед тем, как произойдет переключение к другой виртуальной машине



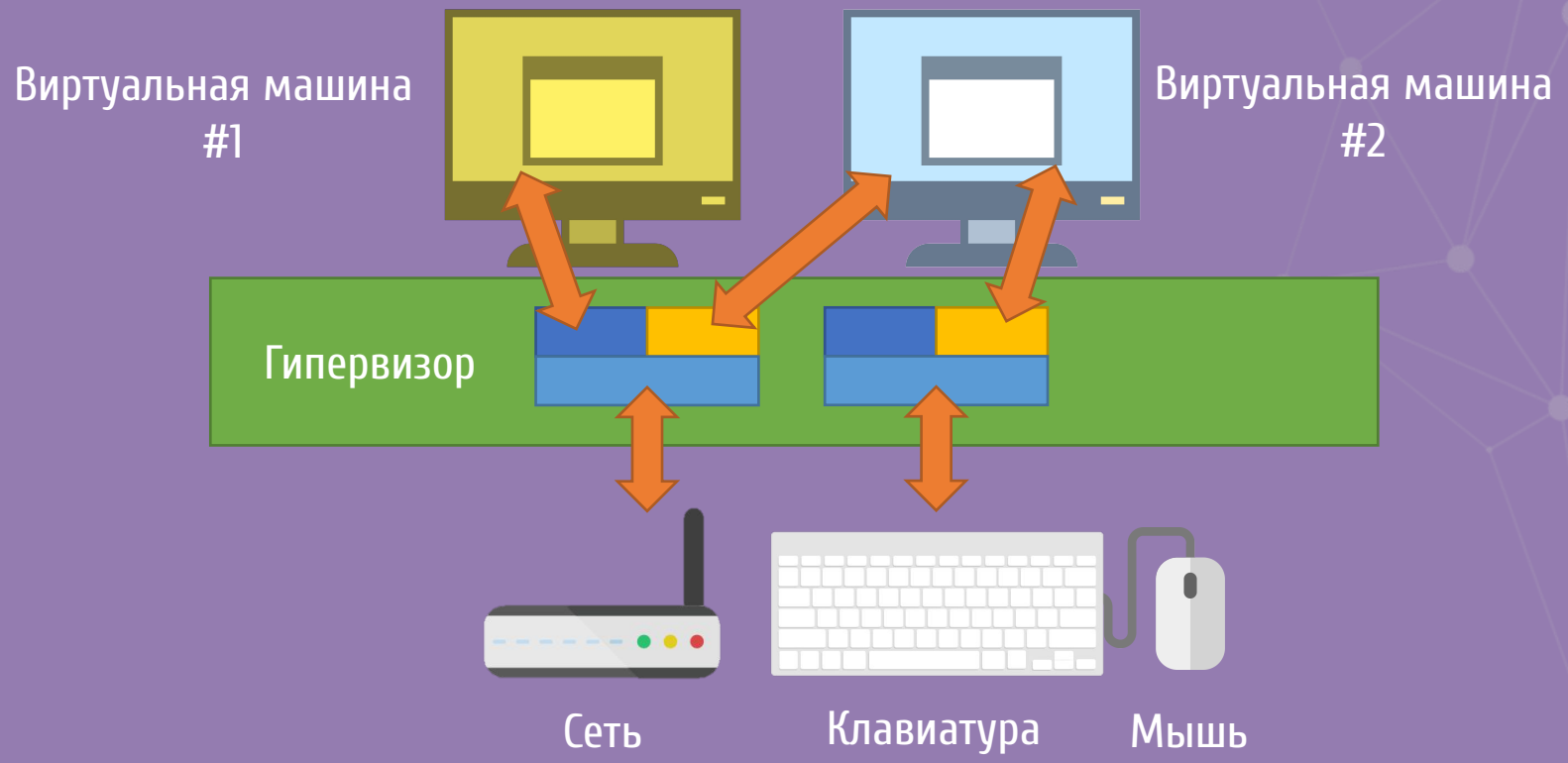
Разделение ресурсов

- Гипервизор распределяет «объем владения» физическими ресурсами между виртуальными машинами



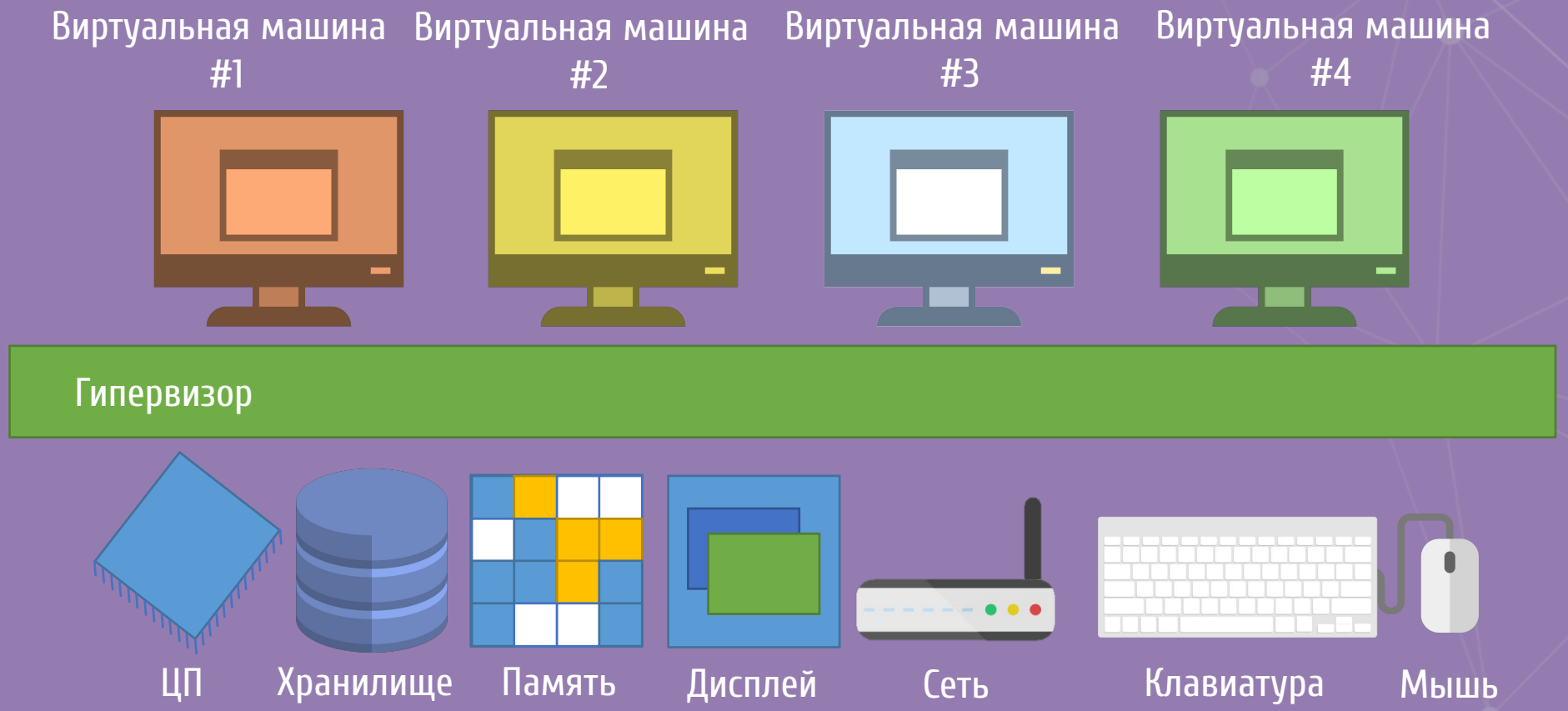
Посреднический доступ к физ. ресурсам

- Гипервизор сохраняет владение физическими ресурсами



Все вместе

- Гипервизор применяет все три метода для создания иллюзии, что гостевая ОС запускается в естественной среде



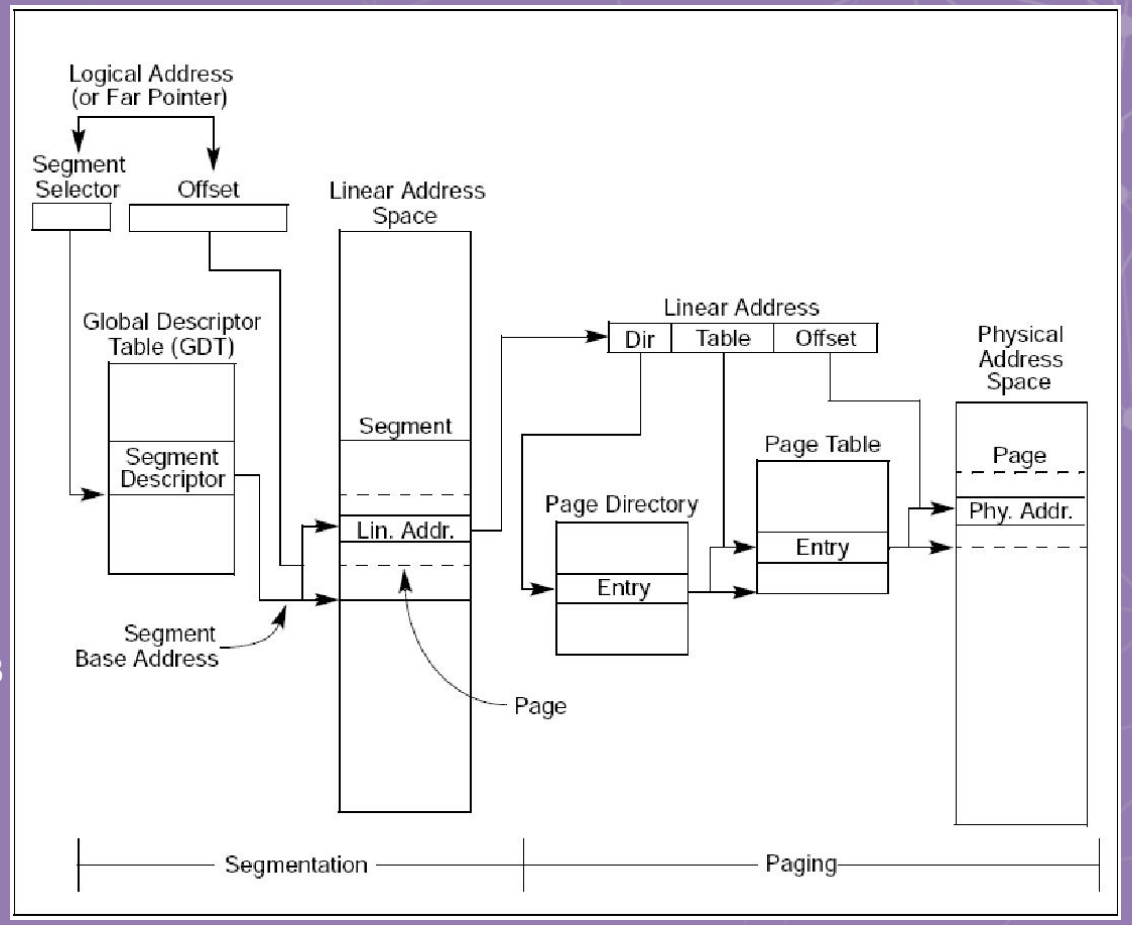
Виртуализация: стратегии реализации

IA-32

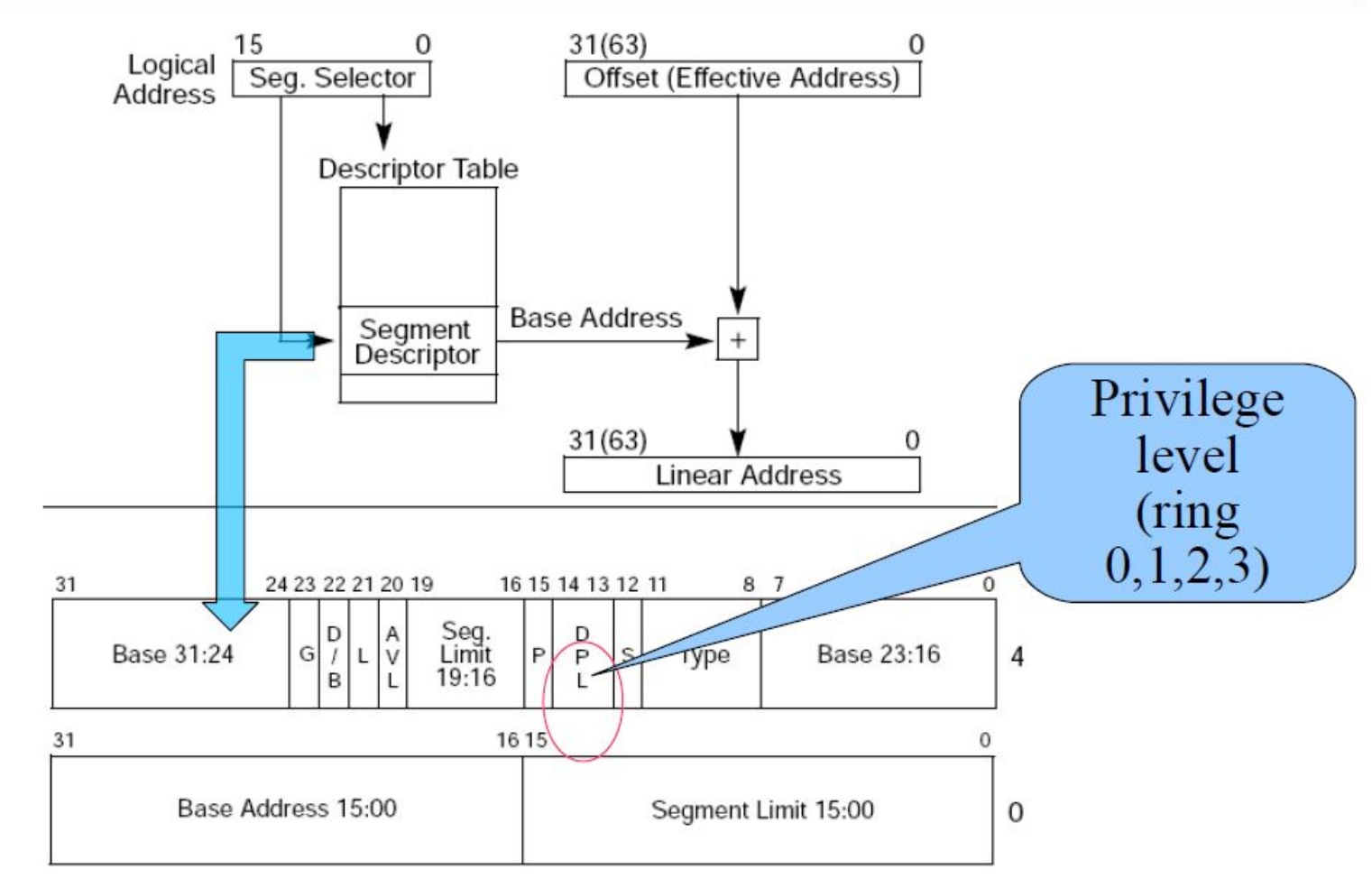
- IA-32 обеспечивает 4 уровня привилегий (кольца защиты)
- Защита, основанная на сегментах
  - Разделенная между 4 кольцами
- Защита, основанная на страницах
  - Разделяет только режимы пользователя и супервизора
  - Режим пользователя: код исполняется в 3 кольце
  - Режим супервизора: код исполняется в 0-2 кольцах

Управление памятью в IA-32

- Микропроцессор в защищенном режиме преобразует логические адреса в физические в два этапа: сначала блок управления сегментами выполняет трансляцию сегмента, преобразуя логический адрес, состоящий из селектора сегмента и относительного адреса (смещения), в 32-х разрядный линейный адрес, а затем блок страничной трансляции выполняет разбиение на страницы, преобразуя линейный адрес в физический. Микропроцессор не предусматривает механизмов запрещения сегментации, с другой стороны, страничная трансляция - опциональный механизм и может использоваться либо не использоваться в зависимости от особенностей операционной системы.

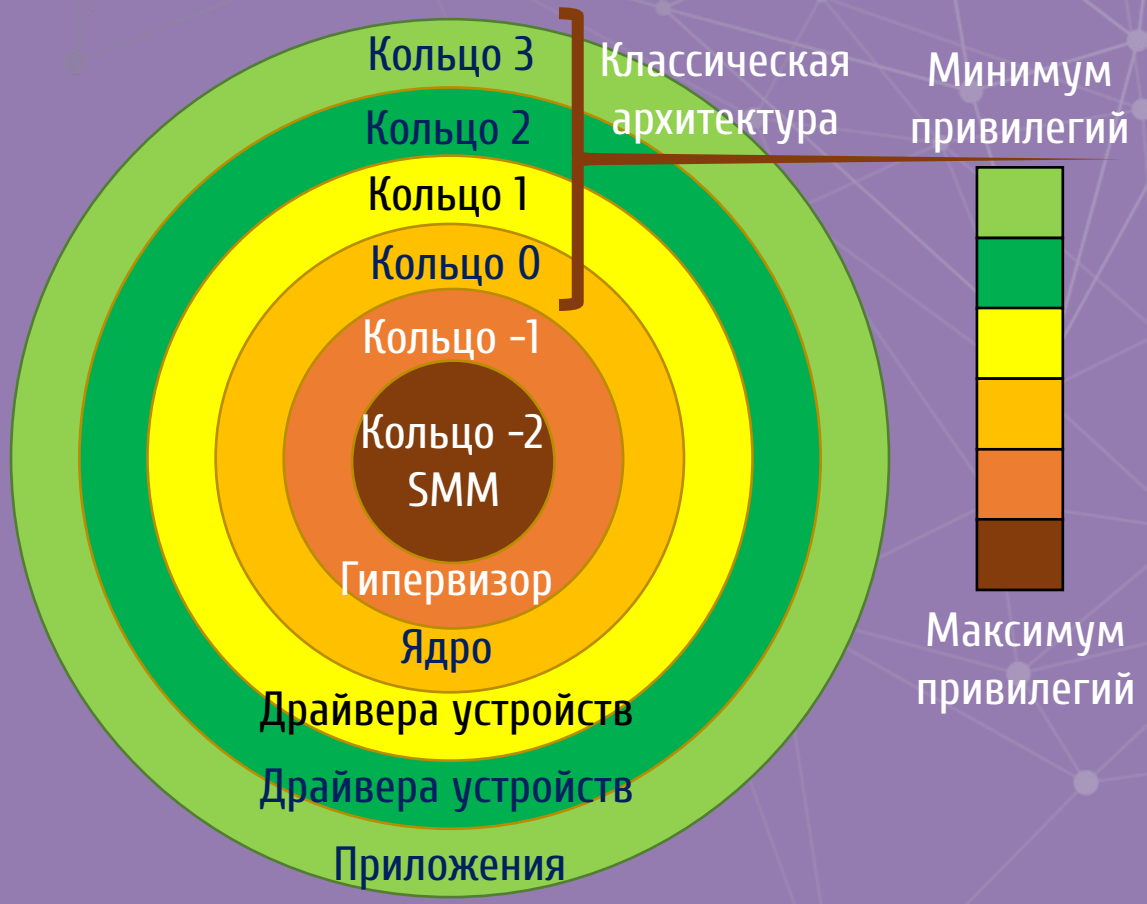


Дескриптор сегмента



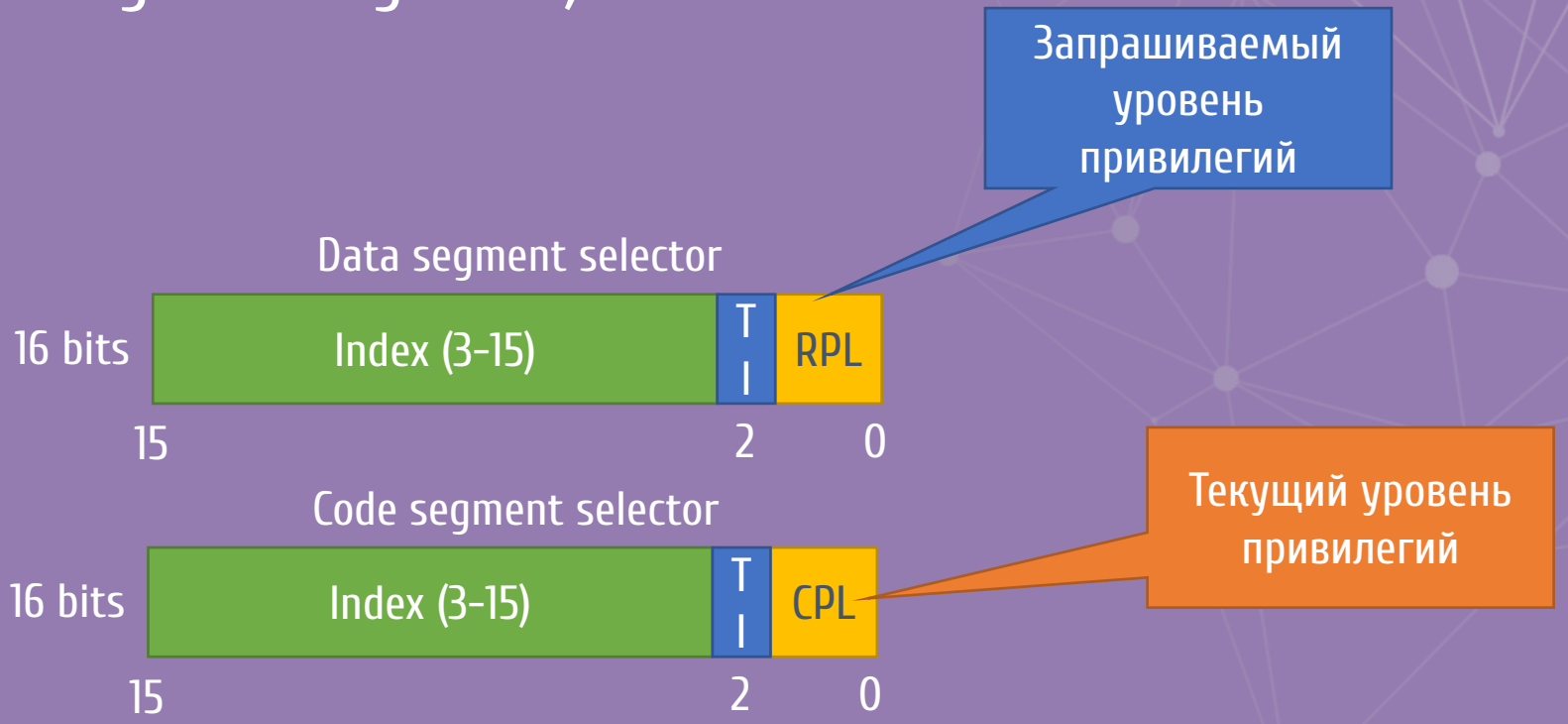
Кольца защиты

- Механизм колец строго ограничивает пути, с помощью которых управление можно передать от одного кольца к другому, а также предписывает ограничения на операции доступа к памяти, которые могут быть произведены внутри кольца.



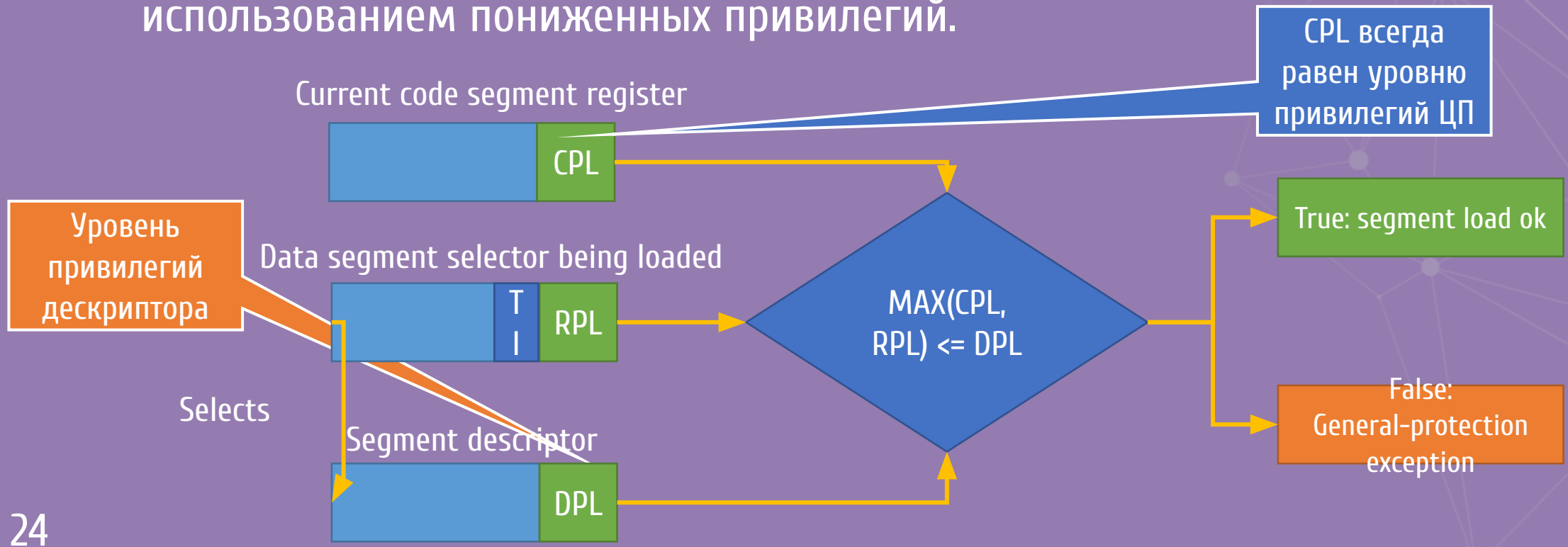
Механизм защиты

- Содержание селектора сегмента данных полностью загружается в различные сегментные регистры, такие как SS («Stack segment register») и DS («Data segment register»)

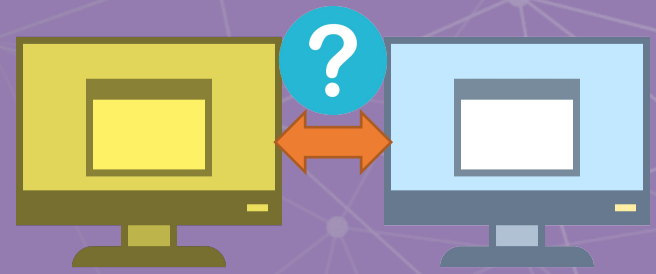


Механизм защиты

- MAX() выбирает наименее привилегированные CPL и RPL и сравнивает их с уровнем привилегий дескриптора (DPL).
- Идея RPL заключается в том, чтобы позволить коду ядра загружать сегмент с использованием пониженных привилегий.



Проблемы работы гипервизора

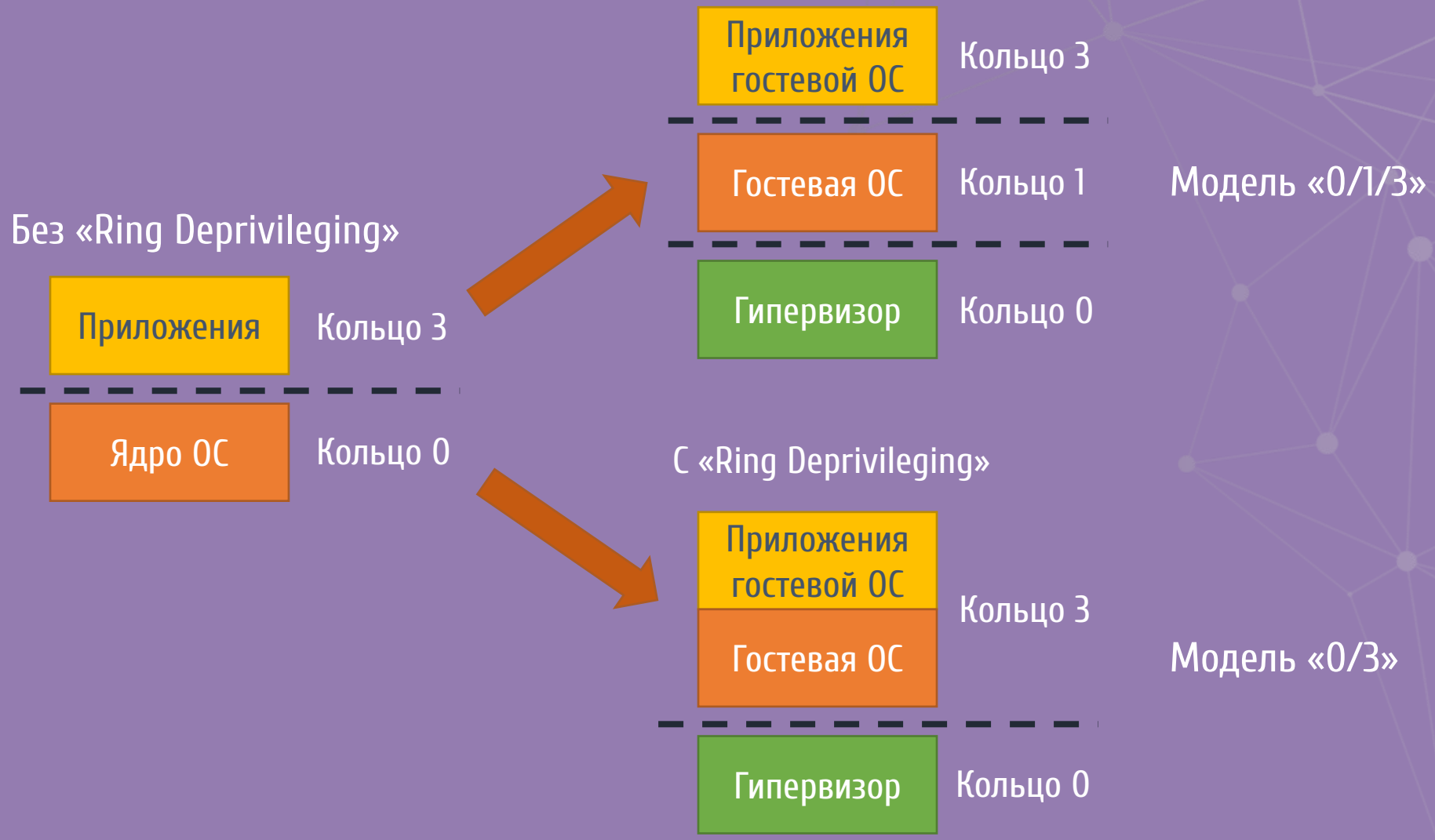


- ОС и приложения ВМ не должны знать, что существует гипервизор или то, что они разделяют ресурсы ЦП с другими ВМ
- Гипервизор должен изолировать системное ПО гостевых ОС друг от друга
- Гипервизор должен исполняться защищенно от гостевой ОС
- Гипервизор должен предоставлять платформенный интерфейс для системного ПО гостевой ОС

Классическое решение

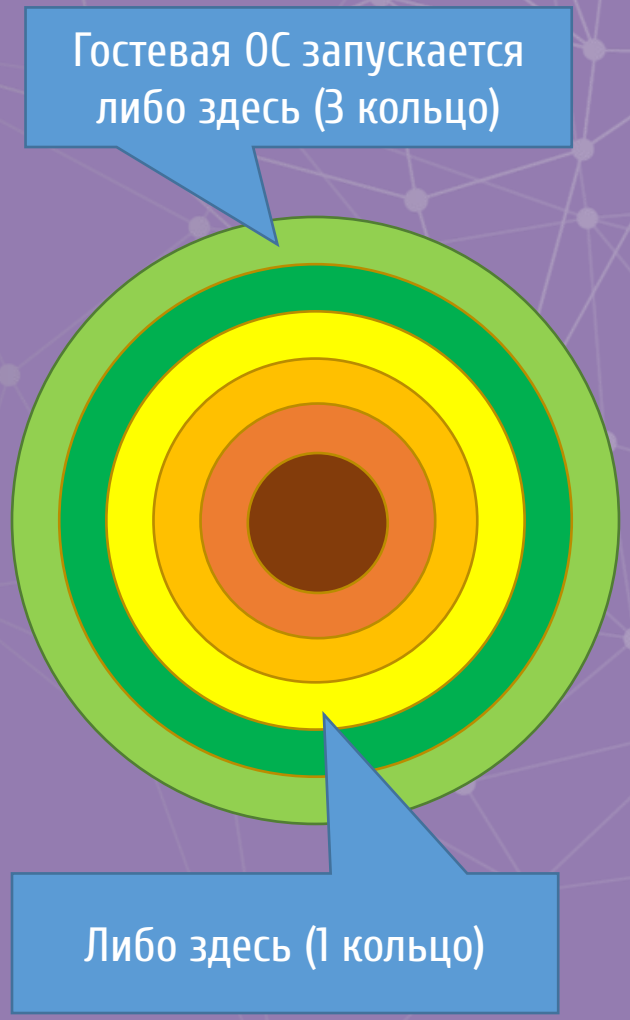
- «Trap-and-emulate»
  - Запускать гостевую ОС в депривилегированном режиме
  - Все инструкции, требующие привилегий, исполнять в гипервизоре
  - Гипервизор эмулирует инструкции, например, использует виртуальные прерывания, а не физические

Вот так вот


Без «Ring Deprivileging»
Приложения
Кольцо 3
Ядро ОС
Кольцо 0
Приложения гостевой ОС
Кольцо 3
Гостевая ОС
Кольцо 1
Модель «0/1/3»
Гипервизор
Кольцо 0
С «Ring Deprivileging»
Приложения гостевой ОС
Кольцо 3
Гостевая ОС
Модель «0/3»
Гипервизор
Кольцо 0

Решение для IA-32

- Любое гостевое ПО должно исполняться на кольце выше нулевого
- Привилегированные инструкции генерируют исключеня => гипервизор запускается на кольце 0 для обработки ошибок
- Гостевая ОС не должна вмешиваться в работы гипервизора
- Гипервизор переводит привилегированные инструкции в форму, в которой они могут быть исполнены ОС
- Любая непривилегированная инструкция, созданная ОС или приложением, должна исполняться на виртуальной машине
- Гостевая ОС может быть лишена привилегий двумя путями:
  - Она может исполняться на кольце 1 (модель 0/1/3)
  - Или же на кольце 3 (модель 0/3/3)



Проблемы виртуализации

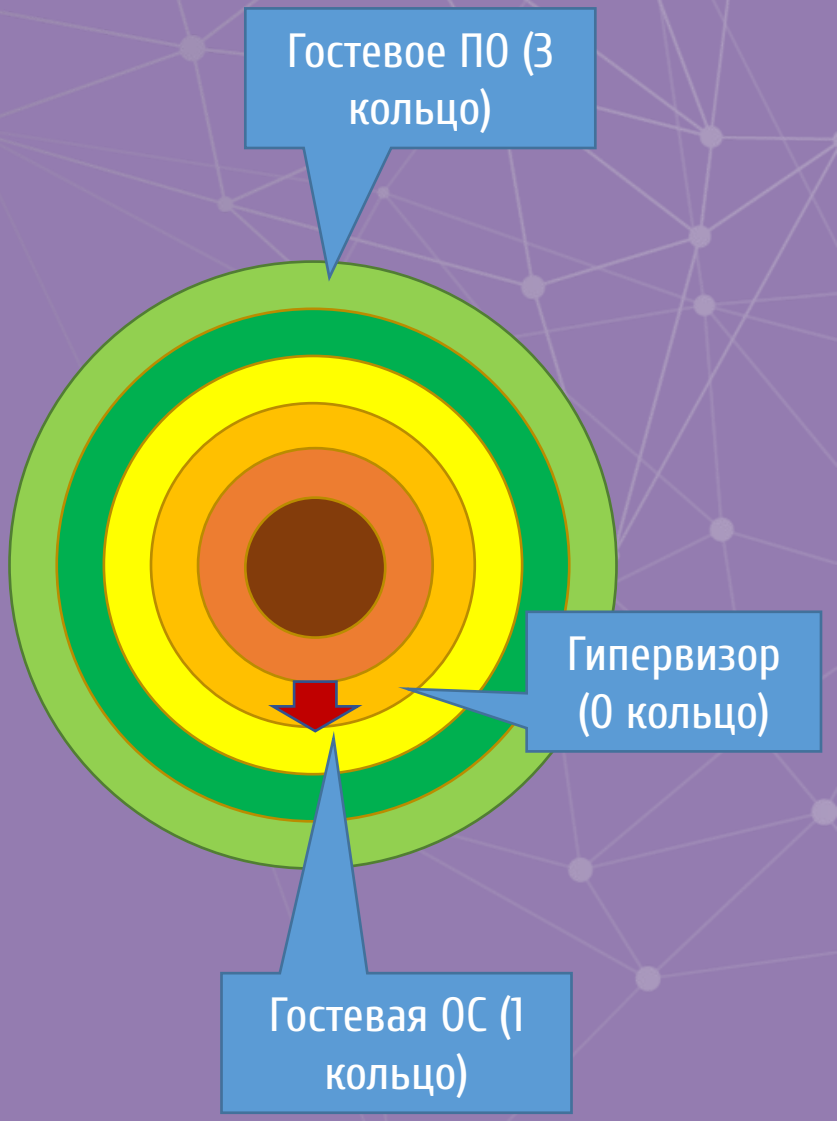
Проблемы виртуализации

- Ring Aliasing
- Address-Space Compression
- Excessive Faulting
- Non-trapped instructions
- Interrupt Virtualization
- Ring Compression

Ring Aliasing

- Возникает, если ПО исполняется на уровне, отличном от том, для которого оно было написано

- Последствия:
  - Система может определить, что исполняется не на своём уровне привилегий (возвращается General Protection Exception)



Address-Space Compression

- Гипервизор может полностью работать в адресном пространстве гостевой ОС, но он будет использовать значительную его часть
- Гипервизор может работать в отдельном адресном пространстве, но он должен использовать минимальное пространство гостевой ОС для управления переходами между гостевым ОС и гипервизором (IDT и GDT для IA-32)

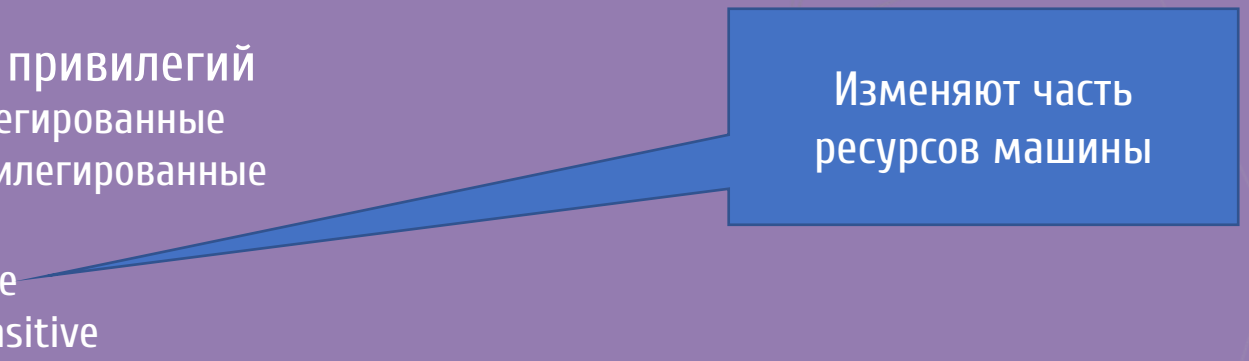
Excessive Faulting

- SYSENTER всегда выполняет переход к уровню привилегий 0, а SYSTEXIT возвращает ошибку, если выполняется вне кольца 0 (General Protection Exception)
- Эмуляция SYSENTER* и SYSEXIT** вызывает серьезные проблемы с производительностью

- *SYSENTER – механизм быстрого системного вызова, команда оптимизирована для наиболее быстрого перехода на нулевой уровень привилегий
- **SYSEXIT – механизм быстрого системного вызова, команда оптимизирована для наиболее быстрого перехода на уровень привилегий 3 с уровня привилегий 0.

Виды инструкций

- Инструкции
  - По уровню привилегий
    - Привилегированные
    - Непривилегированные
  - Sensitivity
    - Sensitive
    - Non-sensitive



- При выполнении в пользовательском режиме, привилегированные команды «отлавливаются».
- «Отлавливание» («Trapping») означает, что машина принудительно переходит в системный режим, посредством чего выполняет некоторый код операционной системы, чтобы справиться с ситуацией
- В некотором смысле, отлавливание предупреждает операционную систему об исполнении команд

Non-trapping instructions

- Проблема в том, что не все sensitive-инструкции X86 являются привилегированными инструкциями. Это означает, что модификация ресурса может произойти без ведома VMM, что может быть опасным

Interrupt Virtualization

- Механизм маскировки внешних прерываний для предотвращения их вызова, когда ОС не готова – большая проблема для гипервизора
- Гипервизор должен управлять маскированием прерываний, чтобы предотвратить маскирование внешних прерываний гостевой операционной системой
- IA-32 использует флаг прерываний (IF) в регистре EFLAGS для управления прерыванием маскировки. IF = 0, если прерывания маскируются

Access to Hidden State

- Некоторые компоненты процессора не представлены в виде доступных системному ПО регистров
- IA-32 содержит скрытый кэш дескриптора для сегментного регистра

Ring Compression

- Механизм «Ring deprivileging» использует механизм, основанный на привилегиях, для защиты гипервизора от гостевого ПО.
- IA-32 включает два механизма: «segment limits» и «paging»:
  - «Segment limits» не применяется в 64-битном режиме
  - Подкачка страниц должна быть использована:
    - Проблема: IA-32 «paging» не отличает уровни привилегий 0-2
    - Гостевая ОС должна исполняться на уровне привилегий 3 (модель 0/3/3)
    - Гостевая ОС не защищена от гостевых приложений

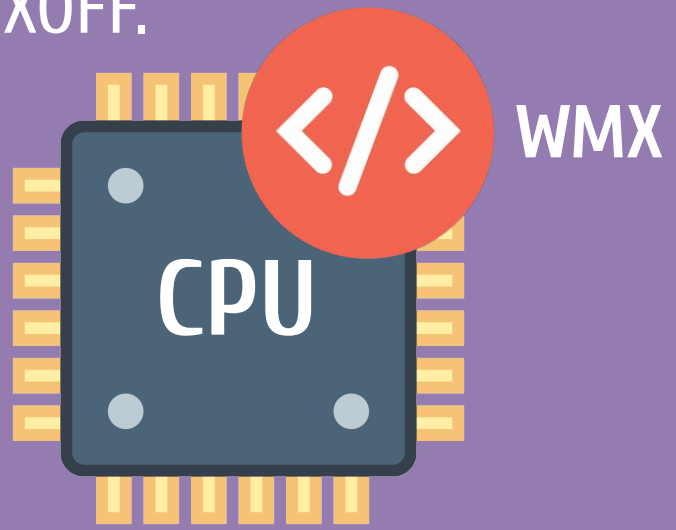
Frequent Access to Privileged Resources

- Существует риск падения производительности, когда многократно осуществляется доступ к привилегированным ресурсам с последующей генерацией ошибок и исключений, которые должны быть обработаны гипервизором

Решение проблем виртуализации при помощи VT-x

Что необходимо?

- Virtual Machine eXtensions (VMX) определяют поддержку виртуальных машин на x86 –платформе на уровне процессора
- Расширенный набор инструкций:
- VMPTRLD, VMPTRST, VMCLEAR, WMREAD, WMWRITE, WMCALL, WMLAUNCH, WMRESUME, WMXON и WMXOFF.



WMX

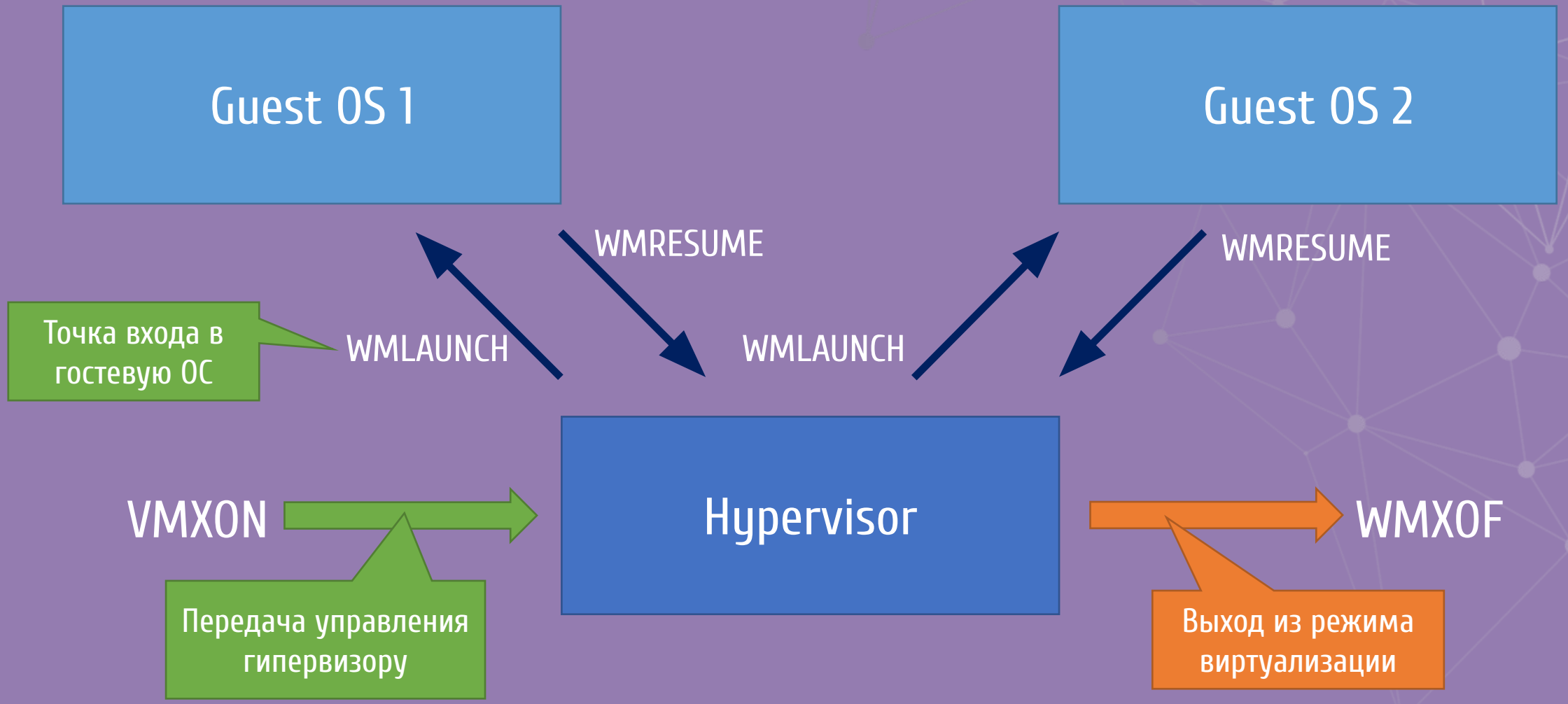
Инструкции

Инструкция	Описание
VMXON, WMXOFF	Вход и выход из режима VMW-root
WMLAUNCH	Начальный переход от гипервизора к гостевой ОС, вводит WMX в non-root режим
WMRESUME	- Используется для последующих входов - Вступает в WMX non-root режим работы - Загружает состояние гостевой ОС и критерий выхода из VMCS
WMEXIT	- Используется при переходе из гостевой ОС в гипервизор - Вступает в WMX root режим работы - Сохраняет состояние гостевой ОС в VMCS - Загружает состояние VMM из VMCS
WMPTRST, VMPTRL	Считывает и записывает указатель VMCS
WMREAD, WMWRITE, WMCLEAR	Читает из VMCS, пишет в него и очищает

VMX-операции

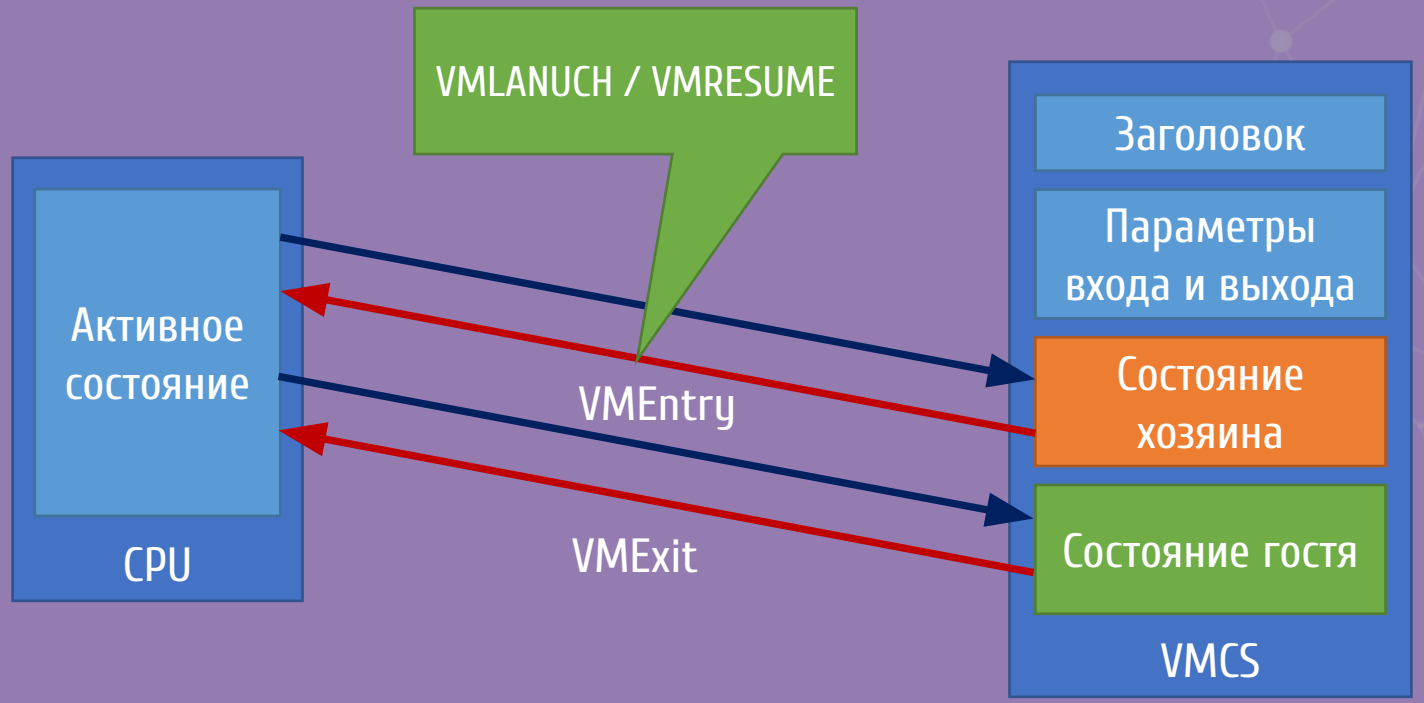
- Два режима:
  - **Root** – полностью привилегированный, предназначенный для VMM
  - **Non-root** – не полностью привилегированный, предназначенный для гостевого ПО
- Оба режима поддерживают все четыре уровня привилегий от 0 до 3

Жизненный цикл



Virtual Machine Control Structure

- Virtual Machine Control Structure (VMCS) – структура, главной целью которой является сохранение состояний «гостя» и «хозяина».



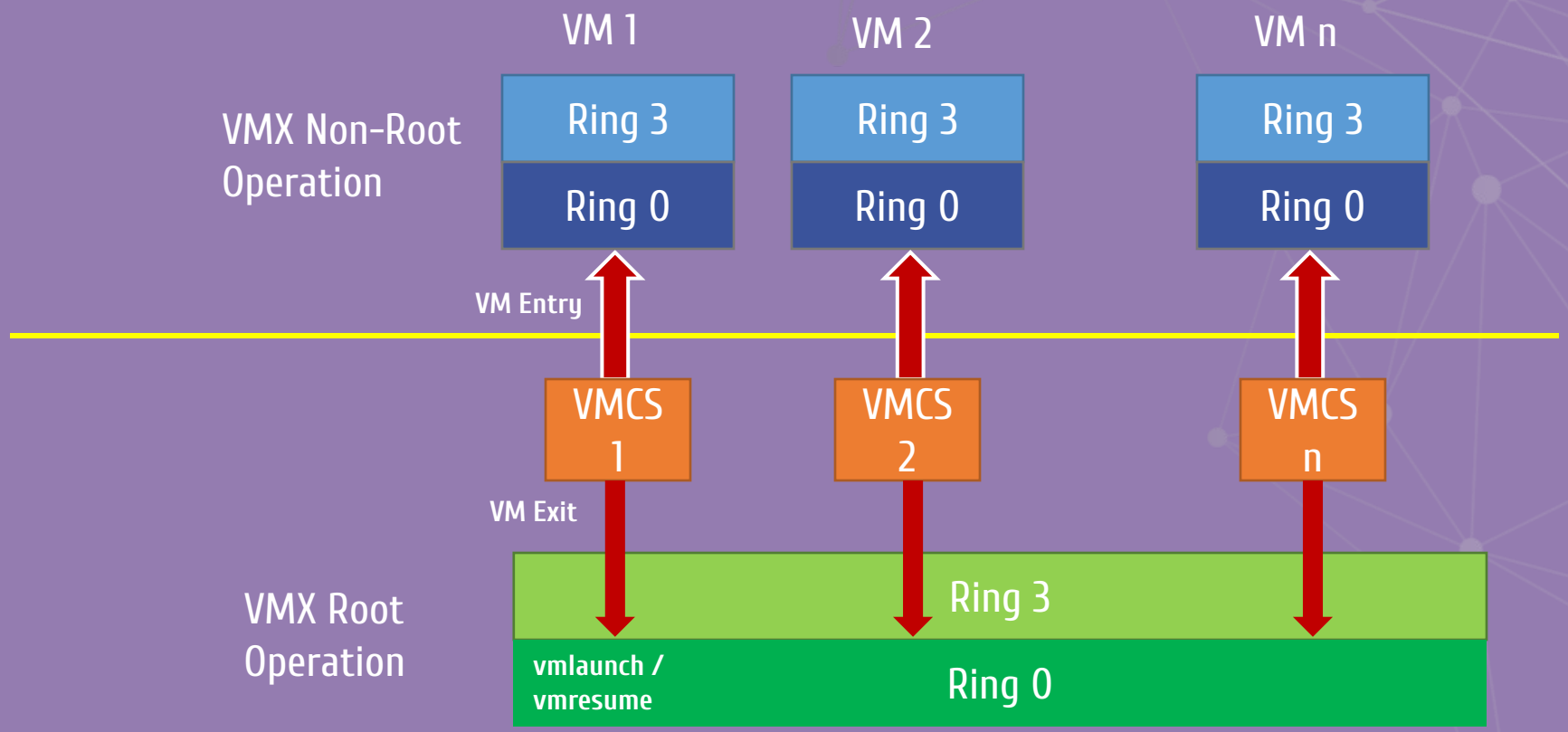
Virtual Machine Control Structure

- Управляет поведением процессора в non-root режиме и работой с VMX
- Конфигурируется гипервизором
- Управляет закрытием гостевой ОС при помощи VMCS указателя

Virtual Machine Control Structure

- Состоит из шести логических групп:
  - Guest-state area: состояние процессора сохраняется в область состояния гостя при закрытии WM из подгружается во время ее загрузки
  - Host-state area: состояние процессора подгружается из области состояния хоста при закрытии WM
  - VM-execution-fields: поля, управляющие работой процессора в режиме non-root
  - VM-exit control fields: поля, управляющие выходом WM
  - VM-entry control fields: поля, управляющие входом WM
  - VM-exit information fields: read-only поля, получающие информацию при закрытии WM, описывающие причину завершения работы WM

Переходы WMX

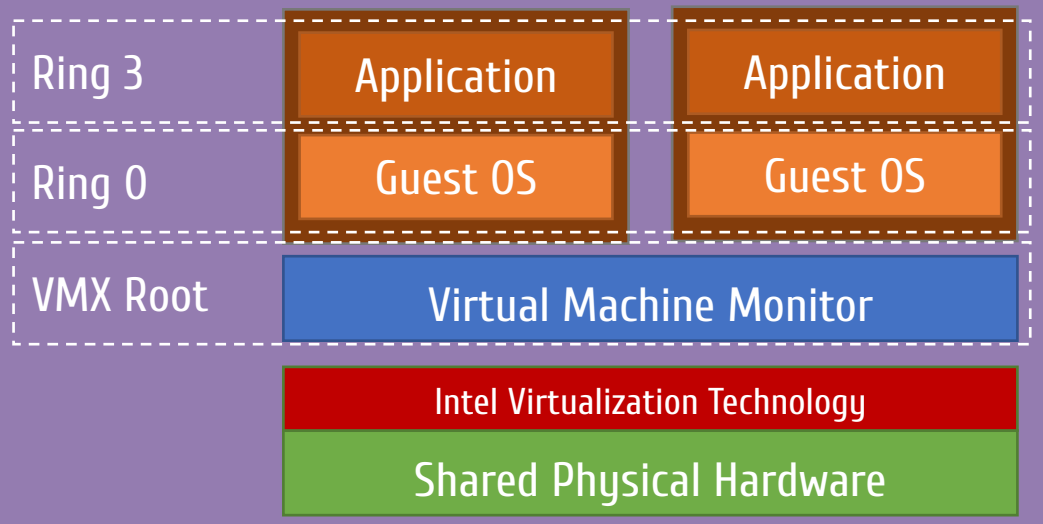


Address-Space Compression

- Каждый переход между гостевым ПО и гипервизором может изменять линейное адресное пространство, позволяя гостевому ПО полностью использовать его
- Переходы WMX управляются VMCS, который находится в физическом адресном пространстве, а не в линейном

Ring Aliasing and Ring Compression

- VT-x позволяет гипервизору запускать гостевое ПО на уровне предполагаемых привилегий:
  - Устраняет проблемы со смещением кольца – такая инструкция, как PUSH (CS регистра) не может обнаружить, что ОС запускается в виртуальной среде
  - Устраняет проблемы сжатия кольца, возникающие, когда гостевая ОС выполняется на том же уровне привилегий, что и гостевые приложения



Non-faulting Access to Privileged State

- VT-x избегает этой проблемы двумя способами:
  - Генерация VMExits во время каждого завершения
  - Обеспечивает конфигурацию прерываний и исключений

Guest System Calls

- Проблемы возникают с инструкциями SYSENTER и SYSEXIT, когда гостевая ОС исполняется вне 0 уровня привилегий. Эта проблема решена, потому что гостевая ОС может исполняться на 0 уровне.

Interrupt Virtualization

- VT-x обеспечивает поддержку виртуализации прерываний
- Он включает в себя компонент управления работой виртуальной машины, управляющий внешними прерываниями

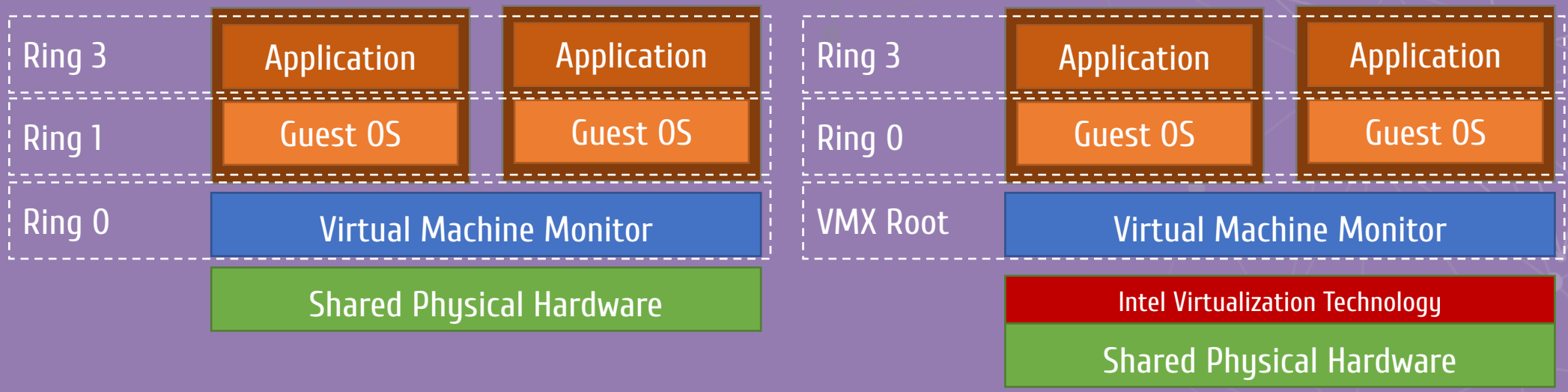
Access to Hidden State

- VT-x включает в гостевой области VMCS поля, отвечающие за состояния ЦПУ, которые не представлены в доступных программному обеспечению регистрах
  - Процессор загружает значения из этих полей при каждом входе виртуальной машины и сохраняет их при выходе

Frequent Access to Privileged Resources

- VT-x позволяет гипервизору избежать лишних расходов на частый доступ к TPR (Task Priority Register)
  - Гипервизор может настроить VMCS так, чтобы он вызывался только тогда, когда требуется

VT-x



Pre VT-x	Post VT-x
Ring 0 понижает привилегии гостевой ОС	Гипервизор исполняется в «root mode»
Гостевая ОС знает, что она исполняется не на Ring 0	Гостевая ОС исполняется прямо на «железе»
	«Ring deprivileging» для гостевых ОС убран

Заключение

- Поддержка технологий аппаратной виртуализации в процессорах открывает широкие перспективы по использованию виртуальных машин в качестве надежных, защищенных и гибких инструментов для повышения эффективности виртуальных инфраструктур

Спасибо за внимание!