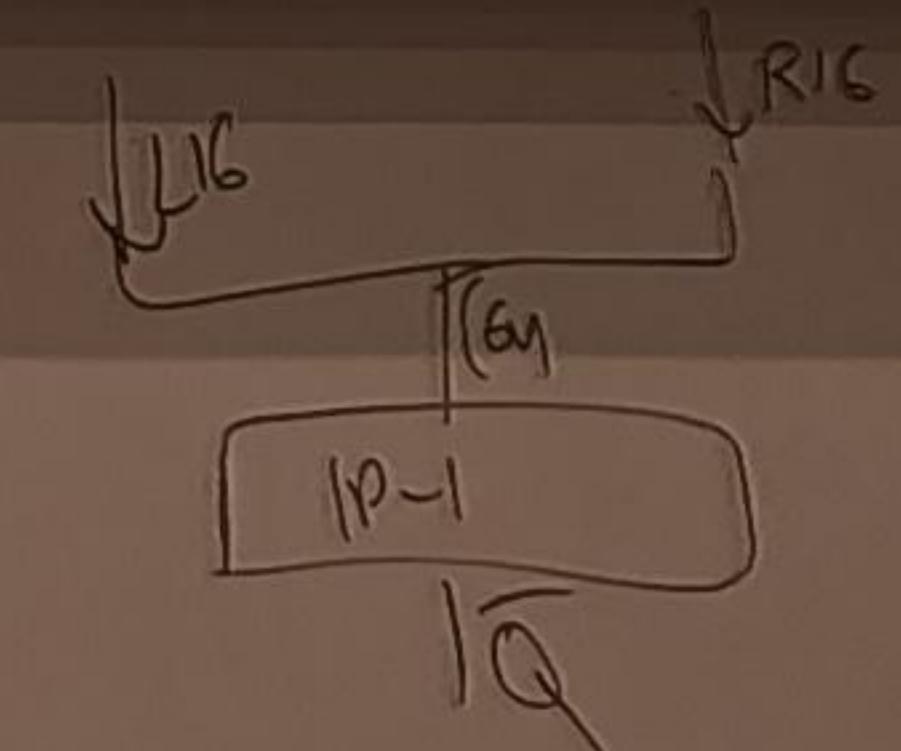


# Хеш-таблица

- Данные хранятся в файле, который можно только дополнять (append-only log).
- В оперативной памяти хранится хеш-таблица (словарь).
- Ключ → Смещение (offset) в файле данных.



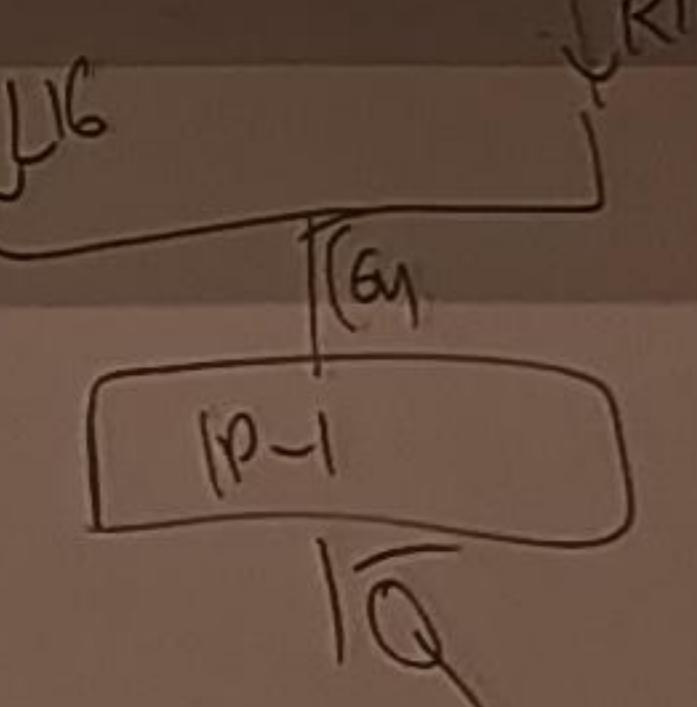
## Хеш-таблица

### Сегменты

- Разбить журнал на сегменты фиксированного размера.
- При заполнении сегмента — закрыть его и начать новый.
- Запустить фоновый процесс уплотнения (compaction) и слияния (merging) сегментов.

64

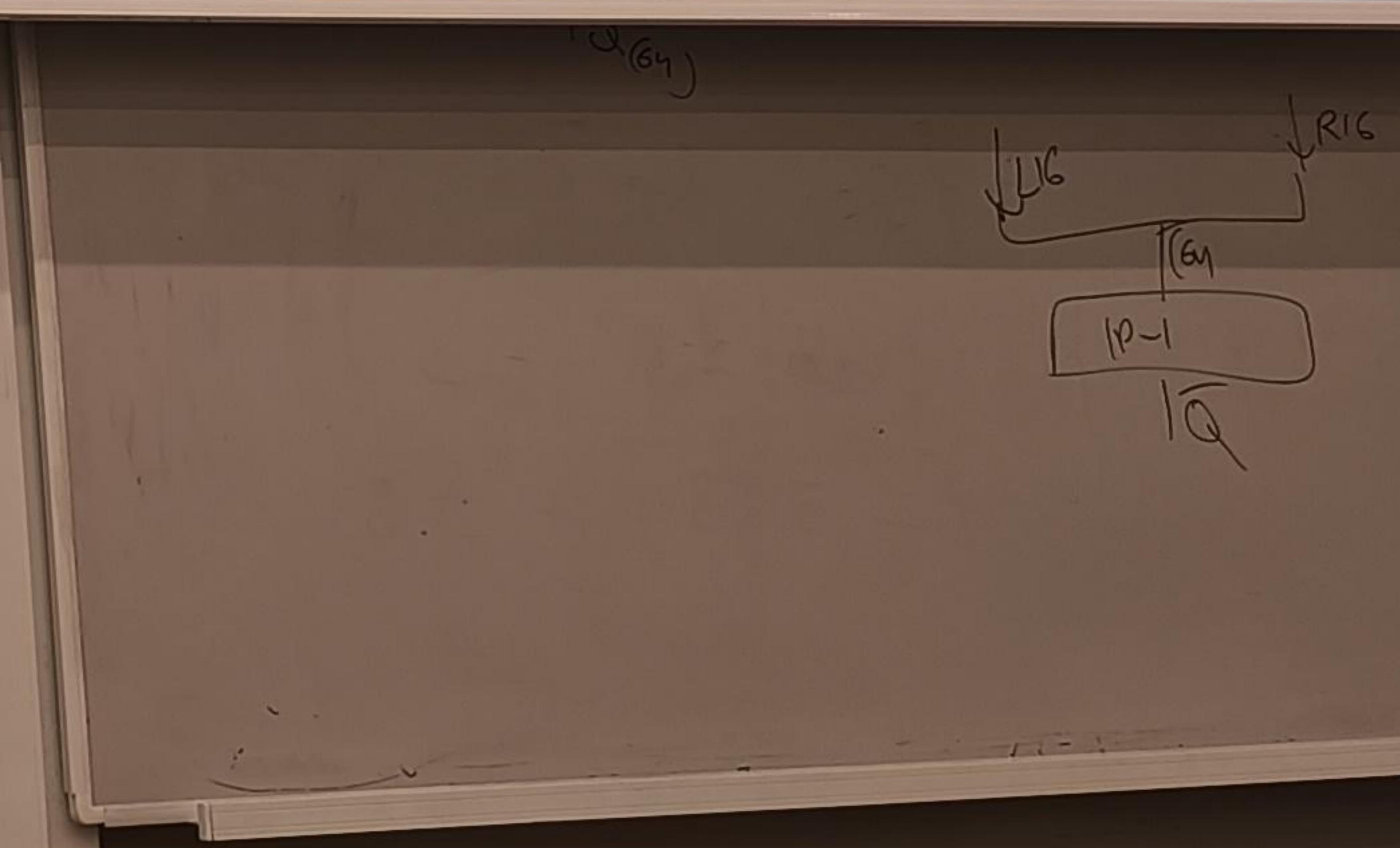
Q(64)



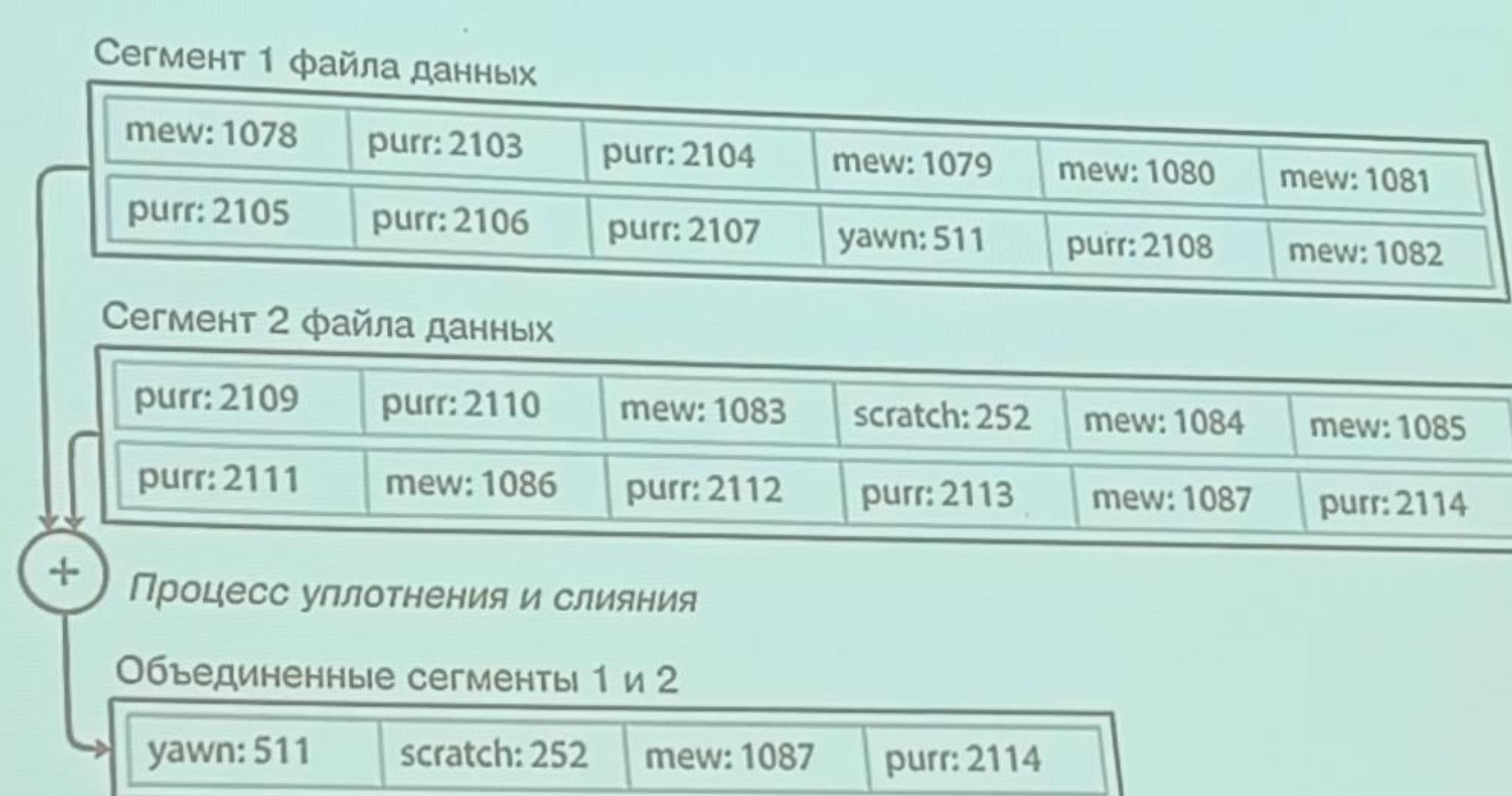
## Хеш-таблица

### Слияние

- Объединение нескольких небольших сегментов в один новый.
- Позволяет уменьшить общее количество сегментов.



# Хеш-таблица

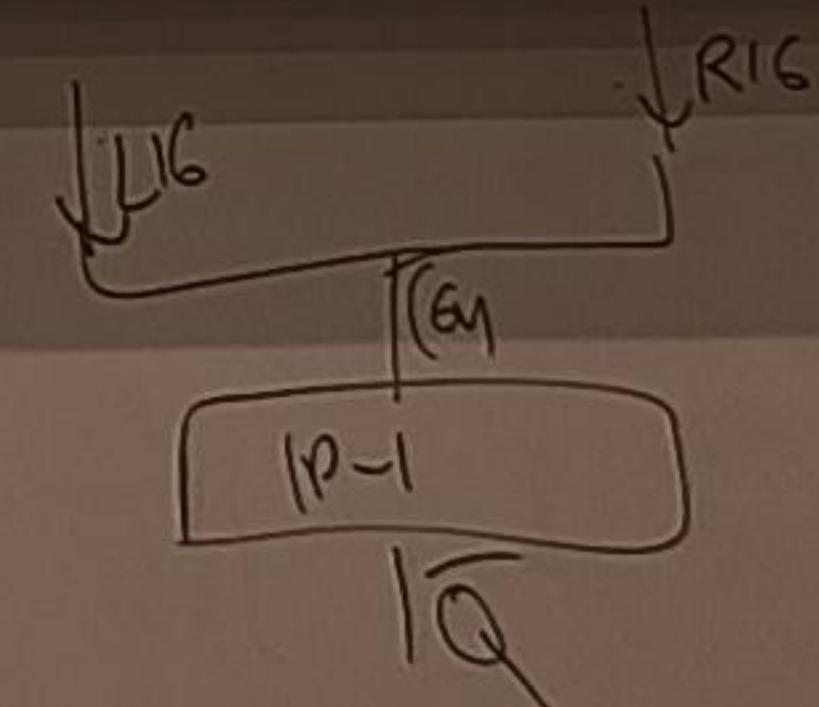


U6  
T61  
P61  
TQ

## Хеш-таблица

### Ограничение

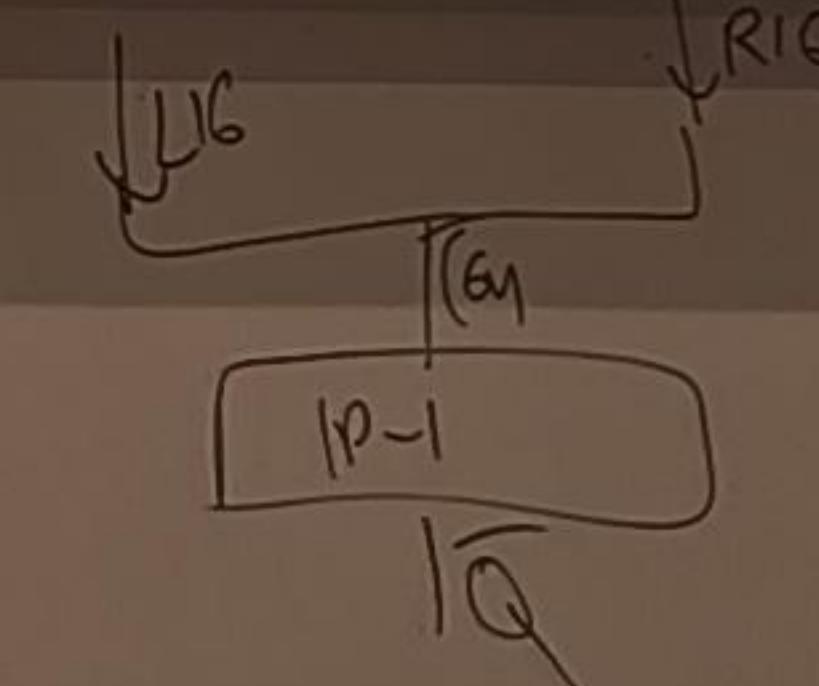
- Ключи должны помещаться в ОЗУ. Хеш-таблица на диске медленная из-за случайных чтений, дорогое расширения и сложности разрешения коллизий.
- Неэффективные запросы по диапазону. Невозможно быстро найти все ключи от 00000 до 99999. Необходимо обращаться к хеш-таблице для каждого ключа в диапазоне отдельно.



## SS-table

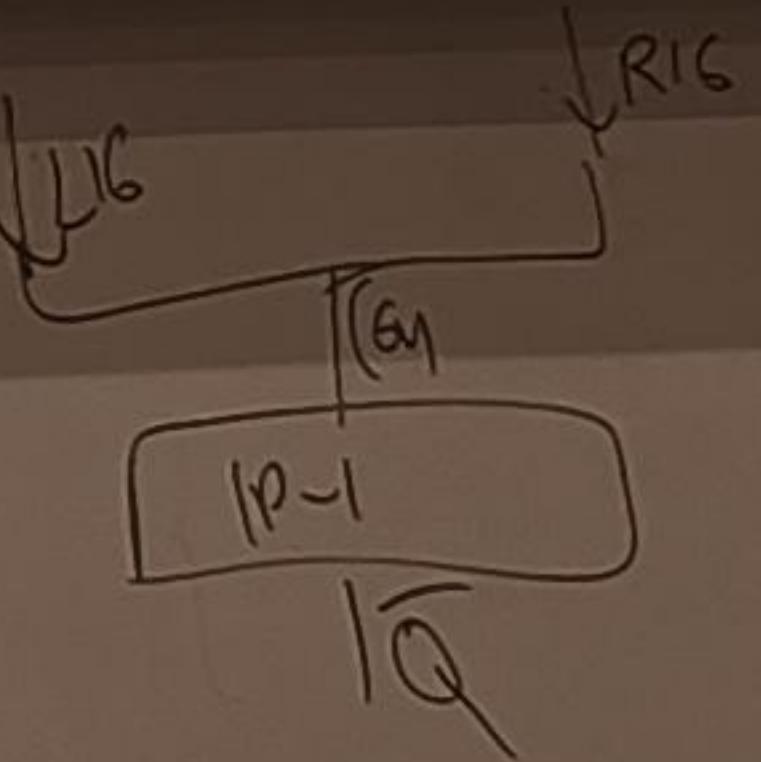
### Особенности

- Данные отсортированы по ключу
- Каждый ключ встречается только один раз (обеспечивается уплотнением)
- Порядок записи значений не важен - приоритет у более новых значений



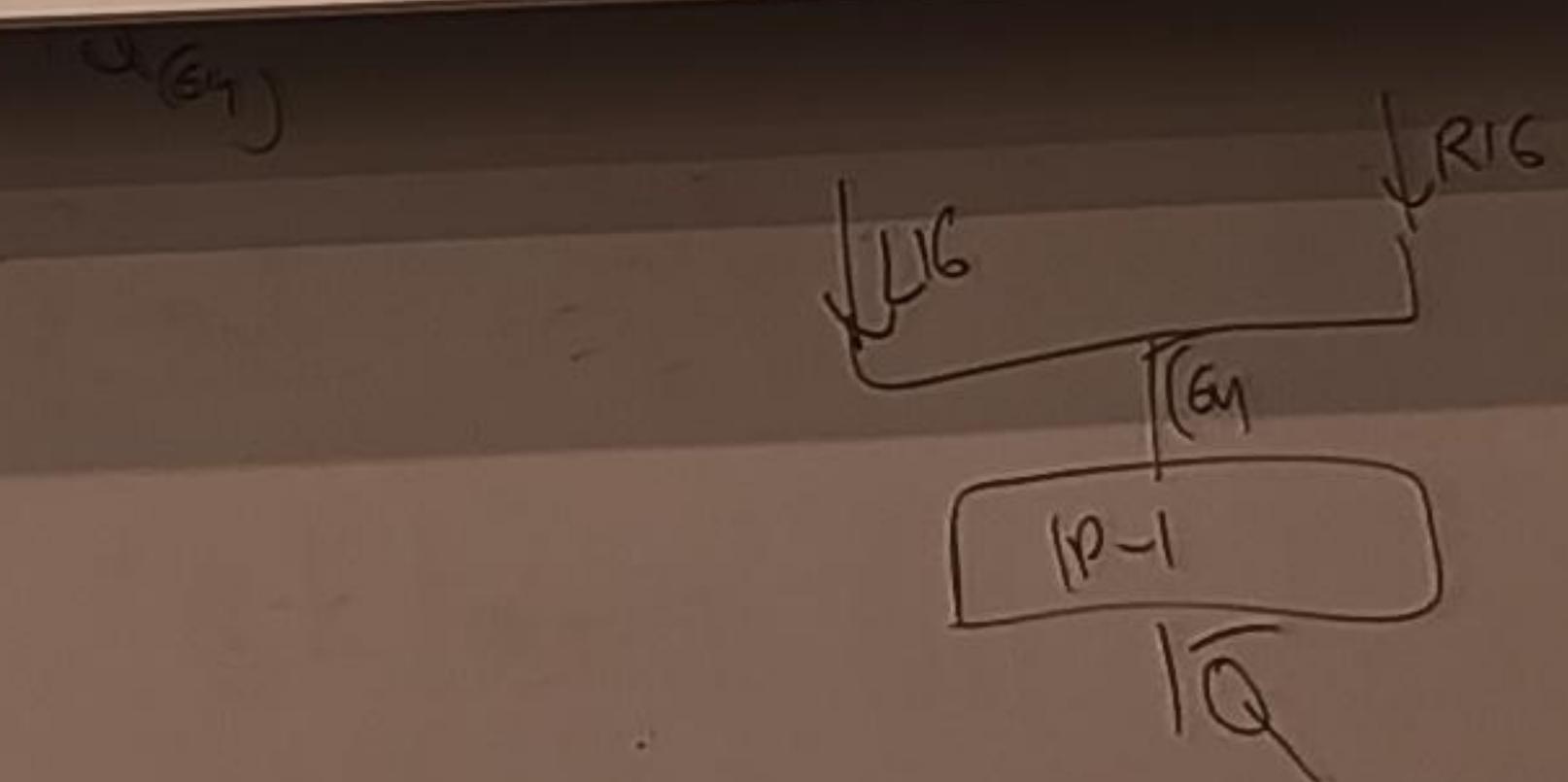
## Слияние

- Алгоритм, аналогичный сортировке слиянием
- Работает даже когда данные не помещаются в оперативной памяти
- При конфликте ключей берется значение из самого нового сегмента



## Разреженный индекс

- Не нужно хранить все ключи - только некоторые ориентиры
- Пример: известны смещения для "handbag" и "handsome" → "handiwork"
- Можно быстро просканировать небольшой диапазон
- 



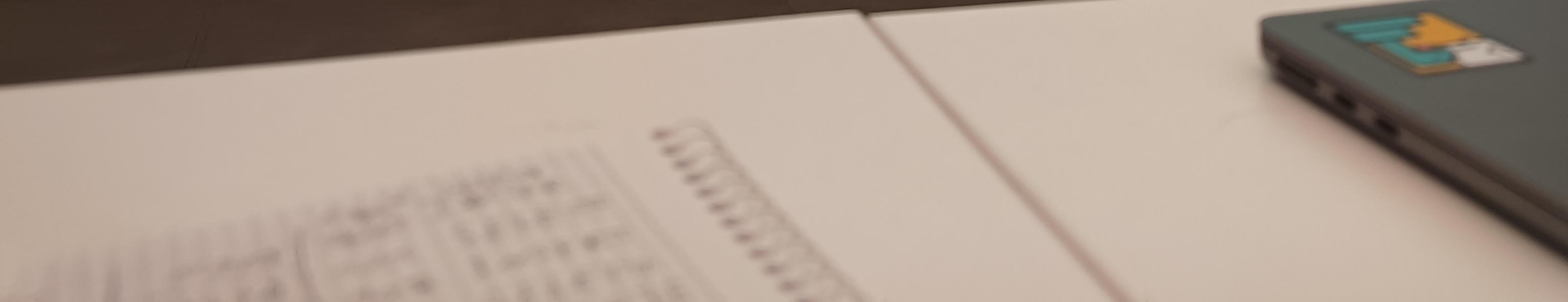
# MemTable

- Сбалансированное дерево в оперативной памяти (красно-черное, AVL)
  - Данные сохраняются отсортированными по ключу
  - Быстрая вставка в любом порядке



## Надежность

- Все операции немедленно записываются в журнал
- Журнал неупорядочен - используется только для восстановления
- После записи MemTable в SS-таблицу журнал удаляется

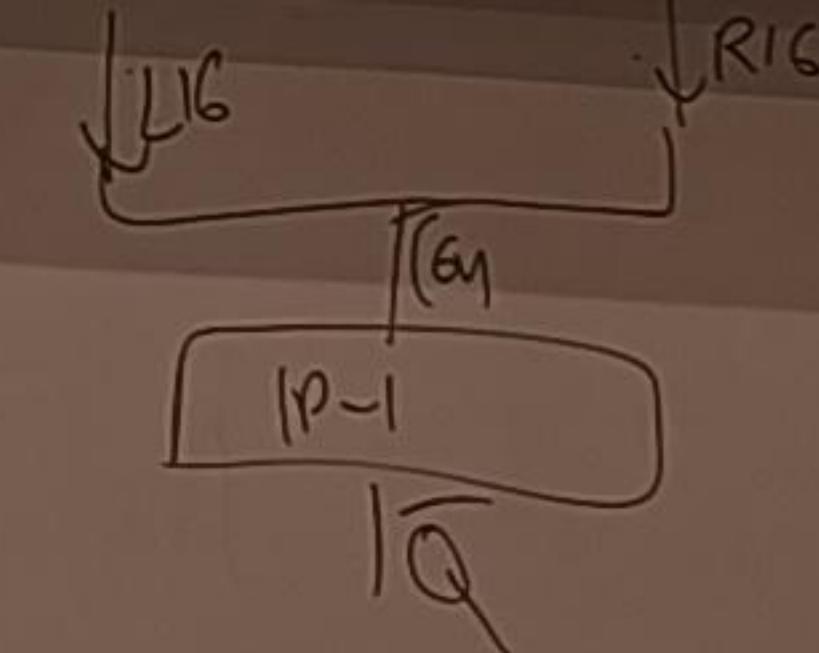


## Алгоритм работы

- Запись: Добавляется в MemTable и параллельно пишется в журнал для надежности
- Чтение: Поиск в MemTable → последнем сегменте → предыдущем и т.д.
- Фоновые процессы: При превышении лимита MemTable записывается в SS-таблицу, Регулярное слияние и уплотнение сегментов



Q<sub>64</sub>

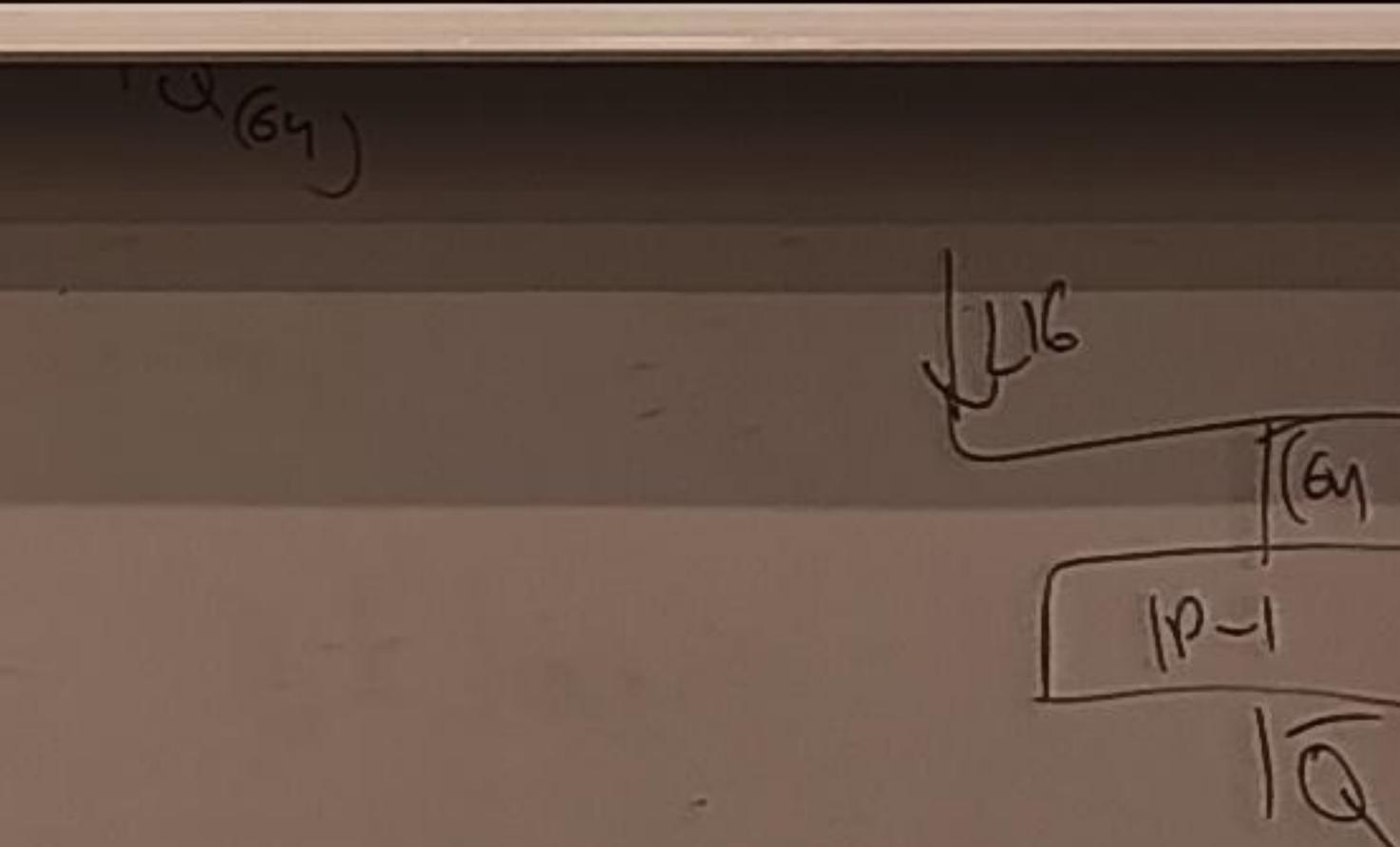
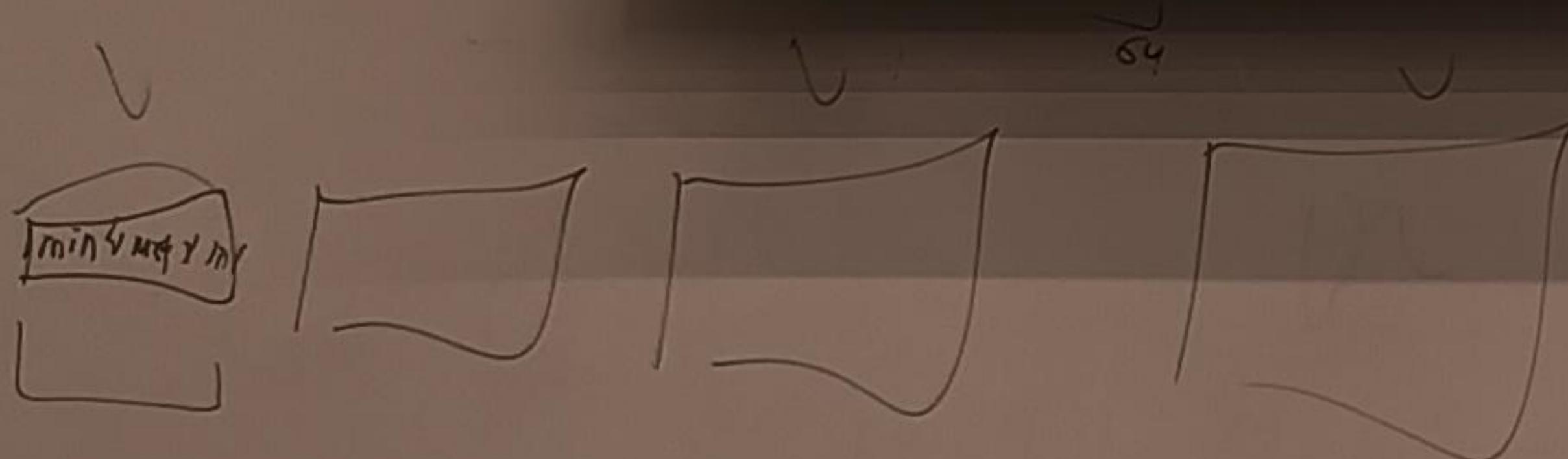


# LSM-дерево

## Фильтр Блума

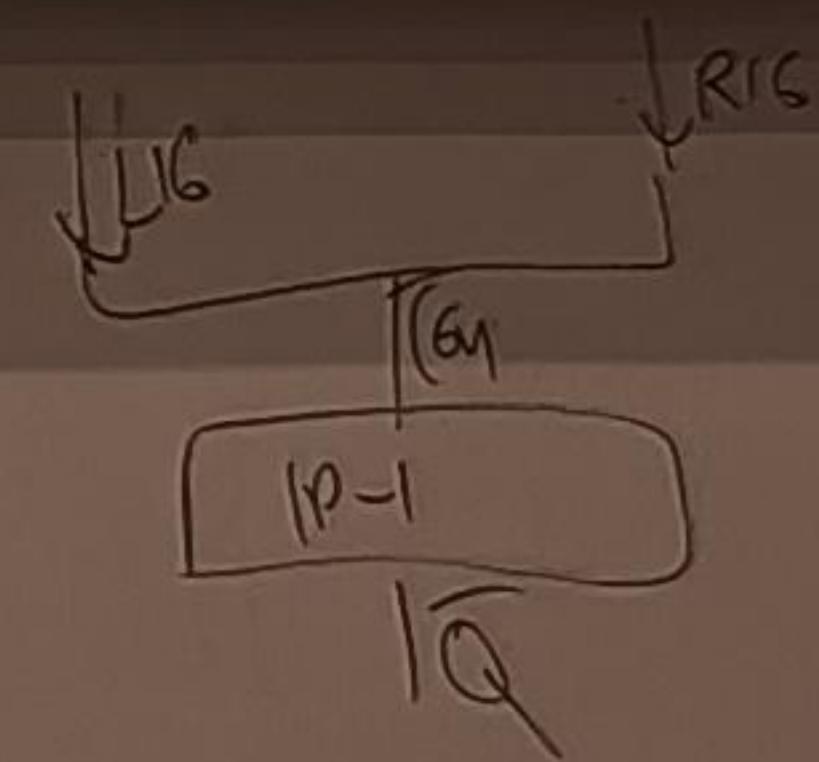
- Эффективная проверка отсутствия ключа
- Избегание ненужных чтений с диска
- "Возможно есть" / "Точно нет"

Notes



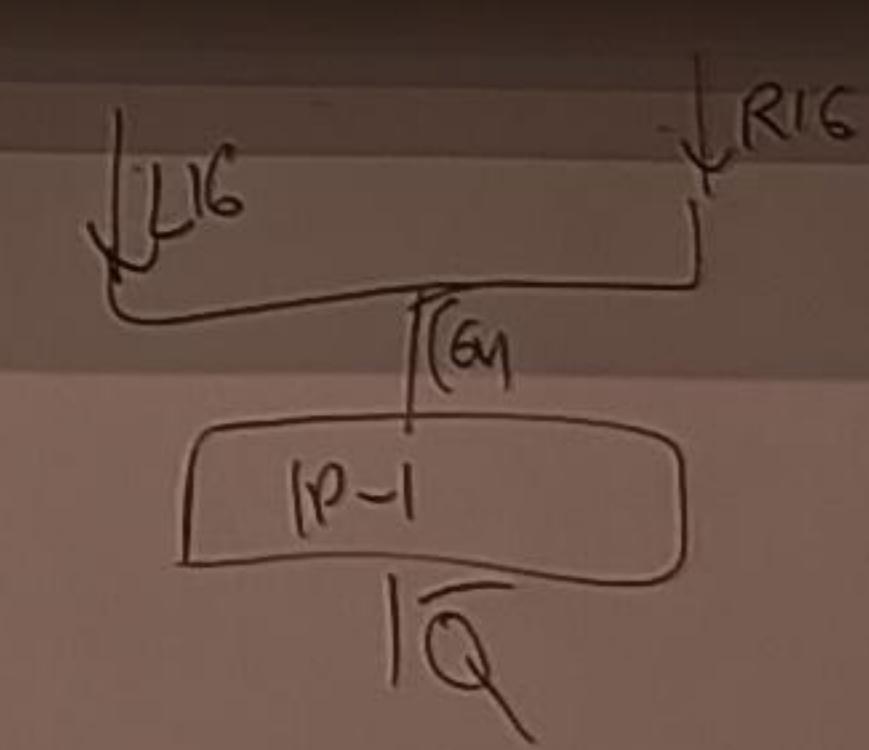
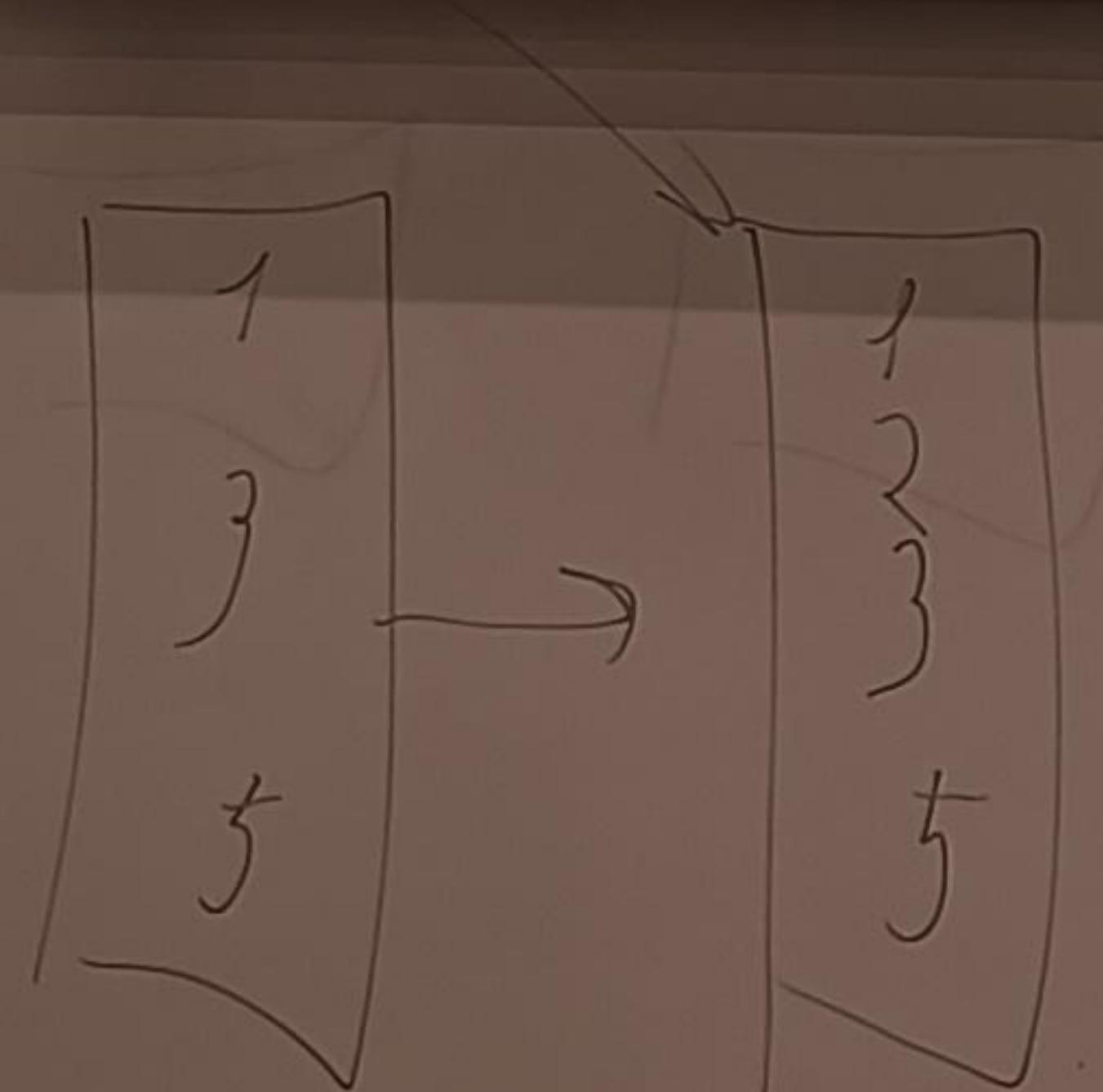
## Алгоритм работы

- Запись: Добавляется в MemTable и параллельно пишется в журнал для надежности
- Чтение: Поиск в MemTable → последнем сегменте → предыдущем и т.д.
- Фоновые процессы: При превышении лимита MemTable записывается в SS-таблицу, Регулярное слияние и уплотнение сегментов



## Уплотнение

- Size-tiered: Объединение маленьких SS-таблиц в большие
- Leveled: Разбиение по уровням с постепенным перемещением
- Разные компромиссы между скоростью и использованием диска



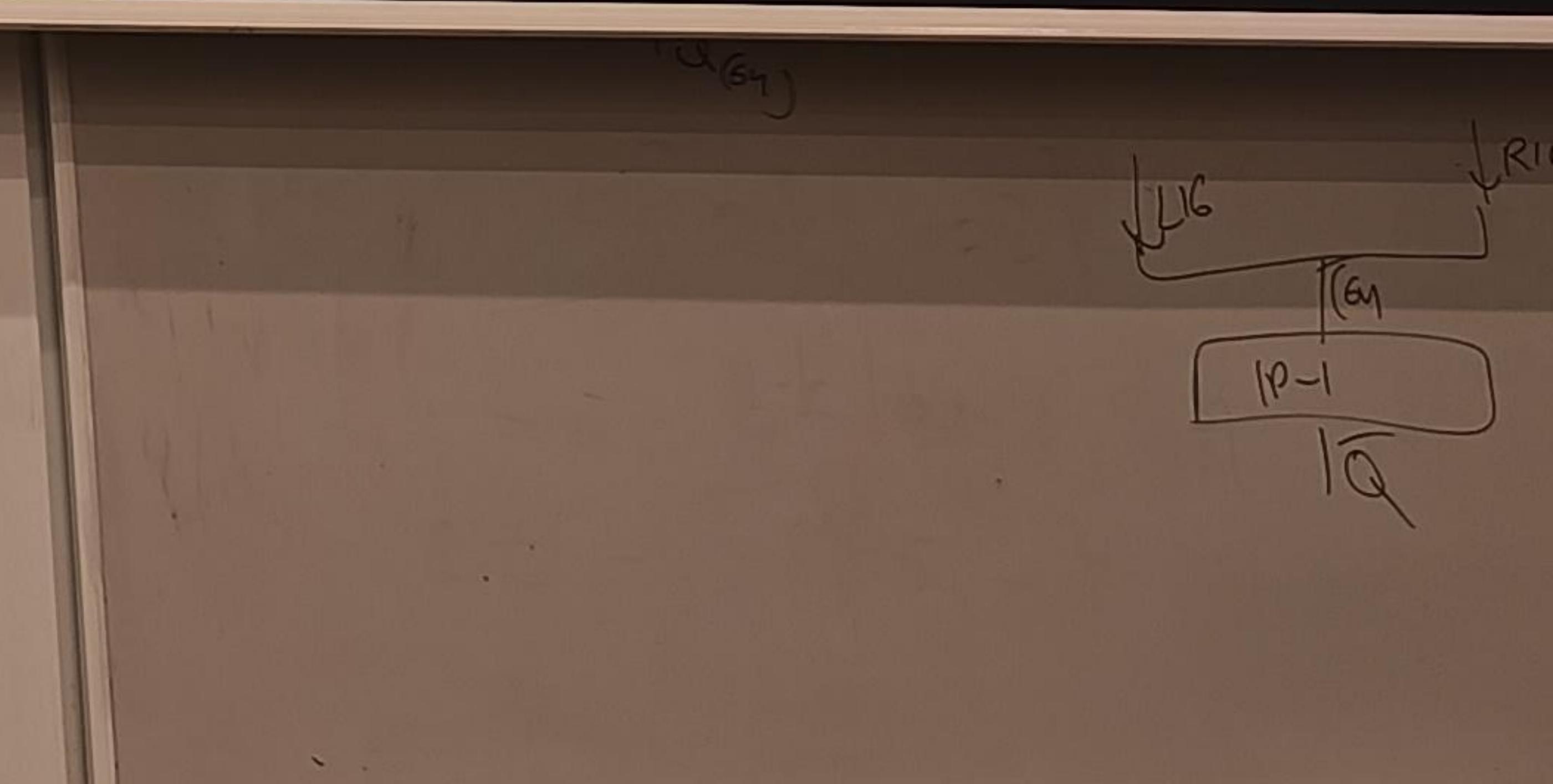
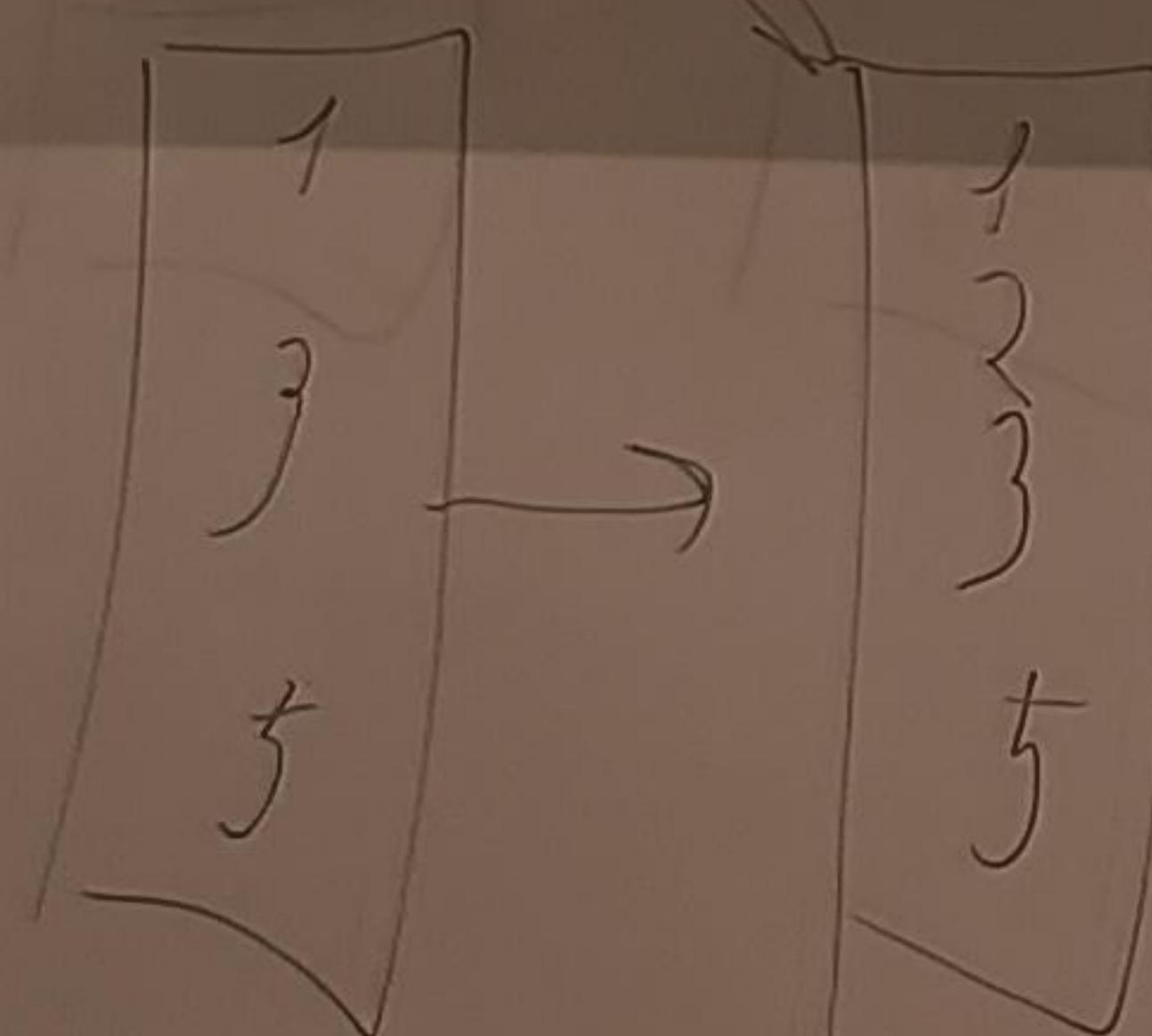
# В-Деревья

## Опасность операций с множеством страниц

- Разбиение страницы при переполнении
- Запись двух новых страниц
- Обновление родительской страницы

Note  
Merge Tree

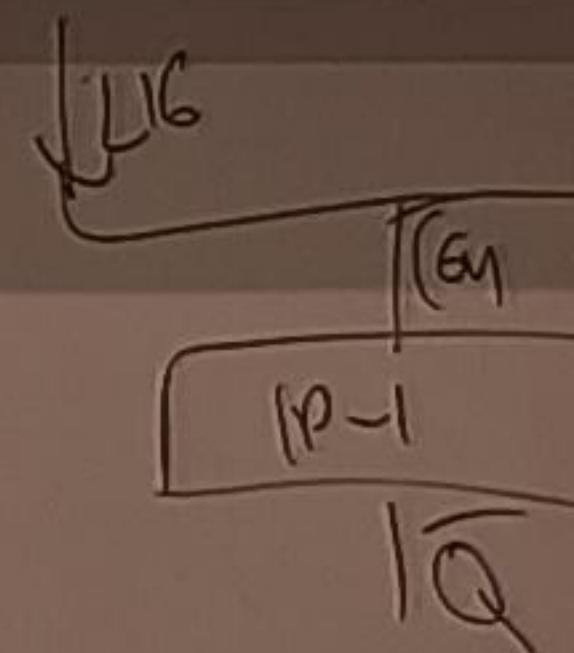
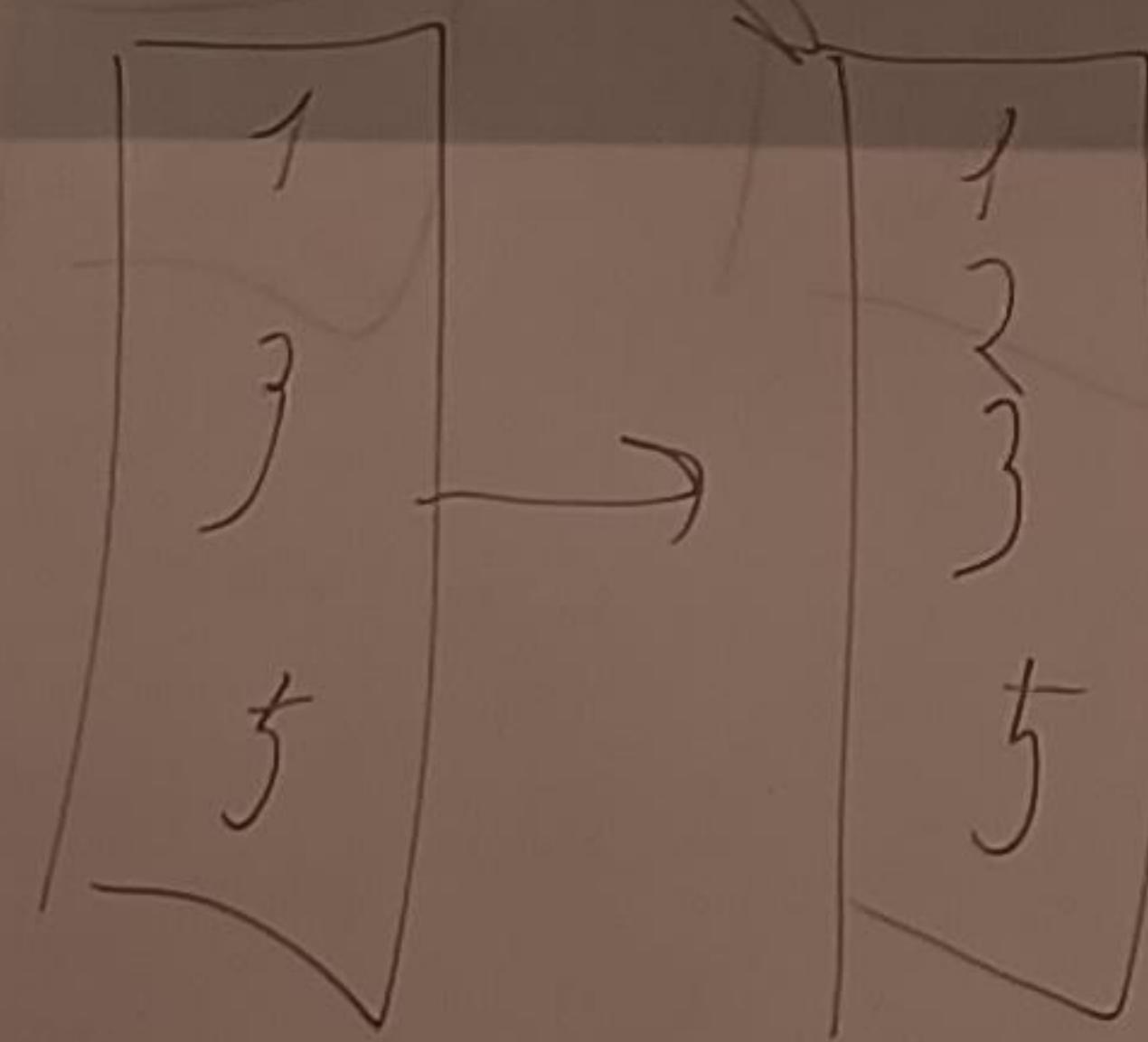
БУМ [STABLE  
MEMORY]



## Write-Ahead Log

- Файл только для добавления (append-only)
- Быстрая последовательная запись
- Используется для восстановления после сбоев

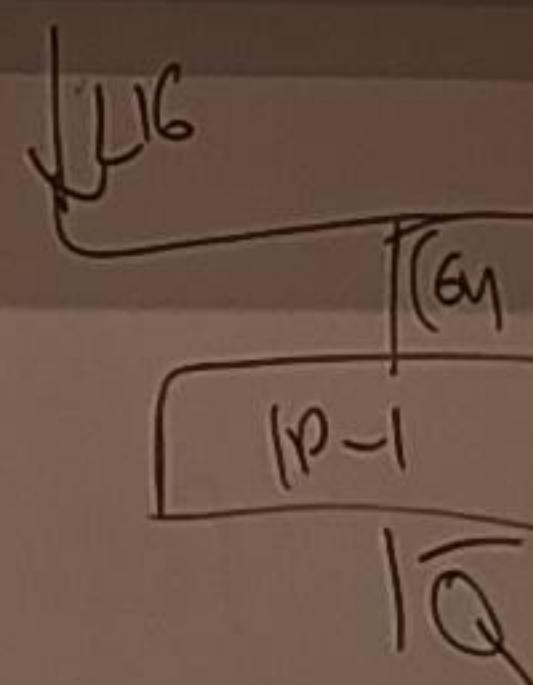
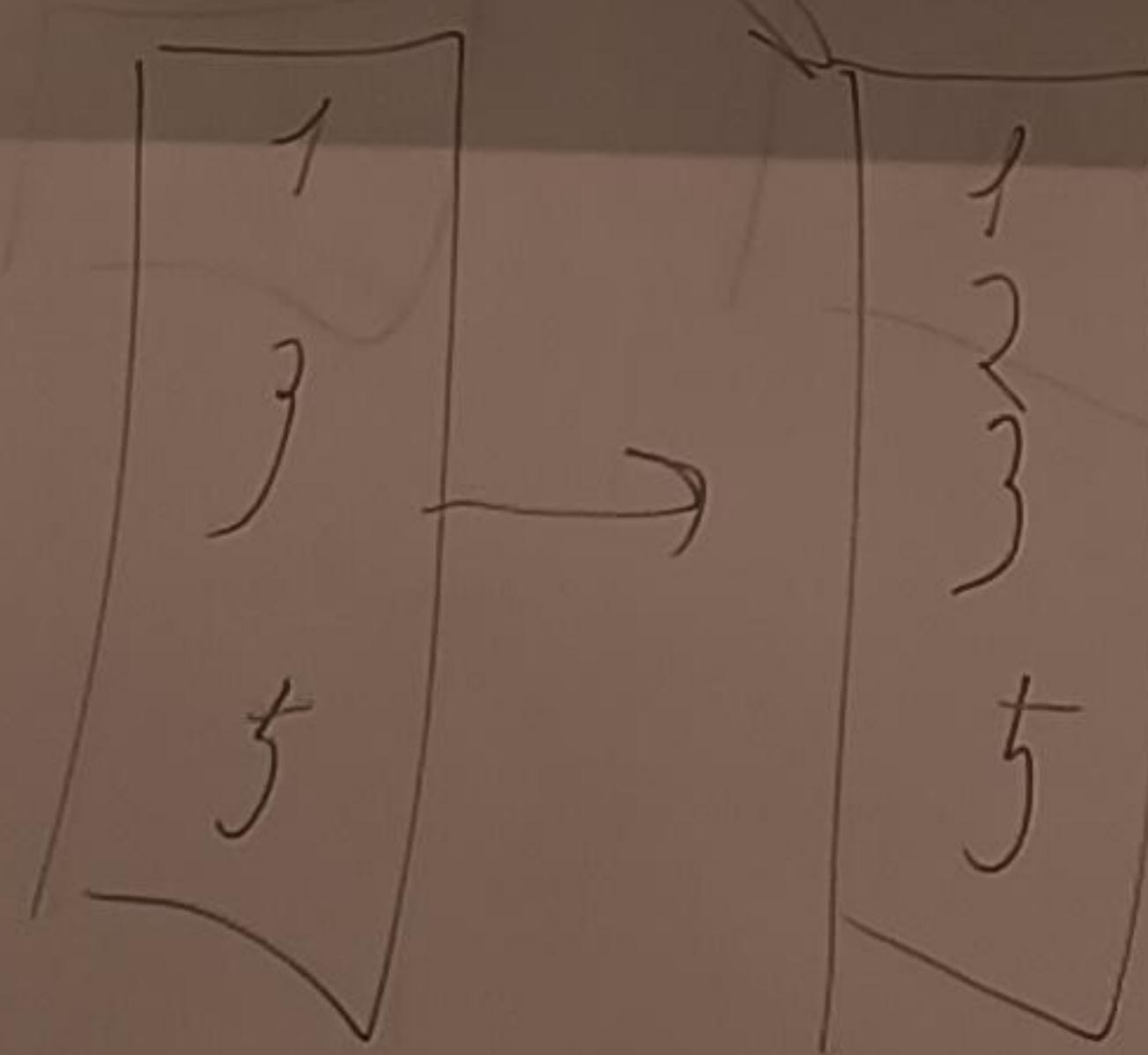
Index  
Merge Tree  
Риль блок [SSTABLE]  
VAL [инициал]



## Защелки (latches)

- Облегченные версии блокировок
- Защита структур данных при одновременном доступе
- Высокая производительность

Notes  
Merge Tree  
таблица SSTABLE  
стабильна



- LSM-деревья: Обычно быстрее при записи
- В-деревья: Обычно быстрее при чтении

Range Index  
B-tree Merge Tree

ФИЛТ БУК  
WAL

СТАБЛЕ  
БАНИЧ

